



HAL
open science

L'aménagement des littoraux touristiques français et la perte de biodiversité : l'heure des grands choix

Sylvain Pioch, Michel Desse

► **To cite this version:**

Sylvain Pioch, Michel Desse. L'aménagement des littoraux touristiques français et la perte de biodiversité : l'heure des grands choix. *Norois*, 2023, 266, pp.91-112. 10.4000/norois.13224 . hal-04217118

HAL Id: hal-04217118

<https://hal.science/hal-04217118>

Submitted on 26 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

1 **L'aménagement des littoraux touristiques français et la perte de**
2 **biodiversité : l'heure des grands choix**

3

4 *The development of French tourist coastlines and the loss of biodiversity: time for major*
5 *choices*

6

7 Titre court en français : aménagement des littoraux touristiques et biodiversité

8

9 Sylvain Pioch* et Michel Desse

10

11 Pioch Sylvain, MCF – HDR, EA Laboratoire de Géographie et d'Aménagement de

12 Montpellier – LAGAM, Université Paul Valéry Montpellier 3, 34000 Montpellier.

13 Sylvain.pioch@univ-montp3.fr

14 Michel Desse, Professeur de géographie. Nantes Université, CNRS, UMR LETG. Courriel :

15 michel.desse@univ-nantes.fr

16

17 **Article reçu le 18/06/2021 et définitivement accepté le 31/01/2023**

18

19 **Résumé**

20 La France connaît une forte littoralisation depuis la fin du XIX siècle, qui s'accompagne
21 d'ouvrages en mer et par l'artificialisation de son littoral. Les plages des stations touristiques
22 ont été particulièrement affectées par ce processus. Promenades, ports de plaisance,
23 enrochements de protections ont dénaturé les lieux et entraîné une forte baisse de la
24 biodiversité. Dans ces conditions, les mesures d'évaluation environnementale, permettent de
25 prendre en compte la valeur des écosystèmes afin d'atténuer l'impact des aménagements, voir
26 à recréer de nouveaux supports de vie. L'écoconception des aménagements littoraux et côtiers
27 apparaît comme une des solutions permettant de réduire leurs impacts sur les écosystèmes
28 sous-marins.

29

30 **Abstract**

31 *Since the late 19th century, France has experienced an intense coastal development, which*
32 *includes construction of offshore structures at sea, and the artificialization of its coastline.*
33 *The beaches located in tourist resorts have been particularly affected by this process, as their*
34 *area has been distorted by the development of sightseeing walks, marinas or even rip-rap and*
35 *similar protection works. This has led to a sharp decline in biodiversity. In this context,*
36 *environmental assessment tools allow us to take into consideration the ecosystems' value, to*

37 *mitigate the impact of new constructions or even to recreate alternative supports for wildlife.*
38 *The eco-design of coastal and shore developments appears to be a solution to mitigate their*
39 *impacts on underwater marine ecosystems.*

40

41 **Mots-clés** : aménagement, littoral, tourisme, adaptation, biodiversité, France

42 *Keywords: coastal management, tourism, biodiversity, adaptation, France*

43 **Introduction**

44

45 Depuis le milieu du XXe siècle, les littoraux français et en particulier ceux des stations
46 balnéaires ne cessent d'être artificialisés, ports de plaisances, promenades de bord de mer,
47 terre-pleins pour parking à voiture ou à bateau, enrochements pour consolider les terrains
48 gagnés sur la mer (Miossec, 1995). Ainsi, entre 1970 et 1985 se sont 2609 ha qui ont été
49 artificialisés en France, sur les 5290 comptabilisés par le MEDAM en 2020, véritable « choc
50 d'artificialisation » littoral.

51 Plus récemment, avec la problématique du changement climatique, les ouvrages de protection
52 se multiplient pour protéger un quartier, pour rehausser un ouvrage existant, pour atténuer
53 l'érosion des plages (Audère et Robin, 2021). Durant la même période, les pratiques de loisir
54 et de tourisme sur la plage et la mer côtière se sont intensifiées, occupant l'ensemble des
55 différentes composantes de l'arrière à l'avant côte et sur des temporalités de plus en plus
56 longues. Cette double dynamique perturbe les écosystèmes littoraux, les détruisent parfois, les
57 dénaturent au point qu'ils perdent une partie de leur originalité qui en constituait l'atout
58 initial. Pourtant Martin Juignier (2017) montre que, suite à la succession de tempêtes
59 morphogènes survenues dans la dernière décennie, une prise de conscience aiguë émerge
60 concernant le rôle que peuvent jouer les cordons dunaires face aux aléas côtiers, relançant
61 l'idée que certains cordons sont assimilés à des systèmes naturels de défense devant faire
62 l'objet d'une surveillance. La capacité de protection dunaire est donc replacée au cœur de la
63 vision sociale du rôle joué par ces milieux dans les zones à forts enjeux humain et non
64 humains (Juignier, 2017).

65 Depuis la fin des années 1970 et la loi sur la protection de la nature (Loi n° 76-629 du 10
66 juillet 1976), les mesures d'évaluation environnementale permettent, en fonction des projets,
67 et de la volonté des acteurs, de prendre en compte les écosystèmes (Latune *et al.*, 2019). Ce
68 droit de la nature se traduit, dans le cadre des études d'impacts environnementales, par
69 l'objectif prioritaire d'éviter, puis de réduire, pour *in fine* compenser (séquence ERC) les
70 impacts négatifs des aménagements (Bigard *et al.*, 2020). Malgré tout, l'érosion de la
71 biodiversité se poursuit dramatiquement, nécessitant à la fois de renforcer la séquence ERC et
72 développer un nouvel objectif de « Pas de Perte Nette » (PPN) de biodiversité, exigé depuis
73 2016 (Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et
74 des paysages). En réponse, ces évolutions louables entraînent peu à peu une modernisation
75 des concepts de génie civil à disposition des aménageurs, avec par exemple des solutions
76 fondées sur la nature (SFN) et l'écoconception des infrastructures pour réduire les pertes

77 (Salgues *et al.*, 2020). Soulignons également que jusqu'ici la qualité de la réponse des études
78 d'impacts, et de la séquence ERC en particulier, est très faible, voire nulle pour les milieux
79 littoraux, avec un véritable « droit à détruire » dénoncé par de nombreux auteurs. Cela
80 entraîne l'accélération délétère de l'artificialisation, car on laisse croire que le droit de la
81 nature serait respecté (Jacob *et al.*, 2016 ; Zu Ermgassen *et al.* 2019). A court et moyen
82 termes, au côté d'un renforcement du contrôle et de l'évaluation de la séquence ERC, les
83 SFN avec l'écoconception des aménagements littoraux et côtiers apparaissent comme une des
84 solutions permettant la réduction des impacts écologiques, tout autant que le développement
85 des écosystèmes côtiers sous-marin, contribuant aussi à l'attractivité des lieux en leur
86 conférant une valeur esthétique (Pioch *et al.*, 2018).

87

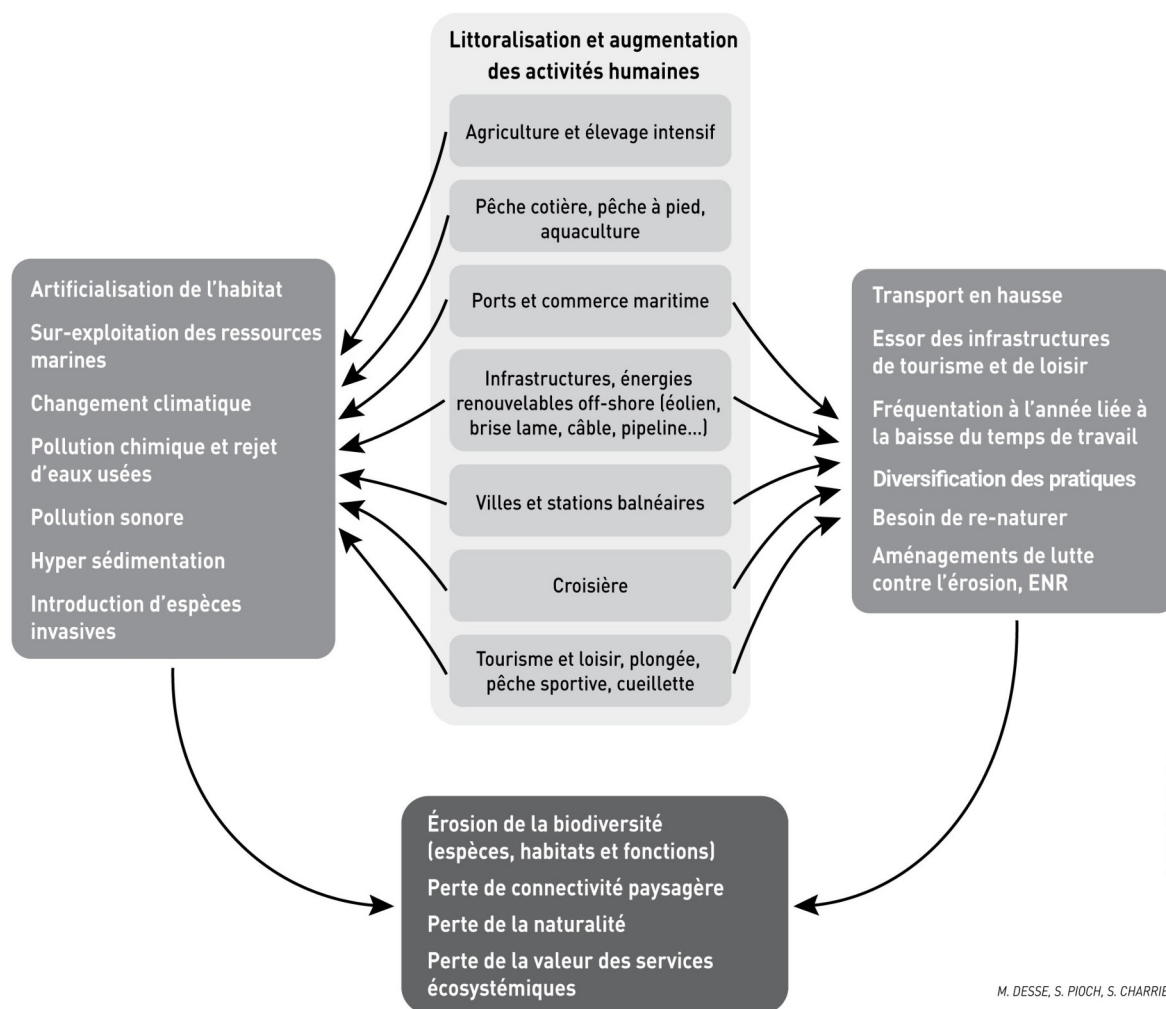
88 **Artificialisation, nouvelles pratiques des plages et érosion de la biodiversité**

89

90 **Un constat : la perte de biodiversité liée à des atteintes multiples**

91

92 Les plages et les eaux côtières subissent une forte érosion de la biodiversité qui dépend en
93 partie des pressions anthropiques qui s'y exercent (**Erreur** : source de la référence non
94 **trouvée**).



© IGFARUN, Université de Nantes

M. DESSE, S. PIOCH, S. CHARRIER

95

96 **Figure 1** : Pressions anthropiques et facteurs d'érosion de la biodiversité littorale.

97 **Figure 1: human pressures and biodiversity losses**

98

99 En conséquence, le récent rapport de l'OFB (2019), sur l'état de conservation des habitats
 100 marins et côtiers métropolitains d'intérêt communautaire évalué pour la période 2013-2018,
 101 indique que 90% de ces derniers sont dans un état défavorable ou mauvais (seuls 6 % seraient
 102 en bon état de conservation). De plus, la Commission Générale des Pêches pour la
 103 Méditerranée (CGPM, 2020) rapporte que plus des 3/4 des stocks de poisson y sont
 104 surexploités, contre 1/3 dans le reste du monde. Au niveau des plages qui sont considérées
 105 comme l'attrait principal d'une station touristique à la fois paysagé et lieu de pratiques, les
 106 secteurs fréquentés sont les plus pauvres en biodiversité du fait du ramassage des laines de
 107 mer et du nettoyage du sable (parfois journalier en saison estivale) qui détruit les dunes
 108 embryonnaires support de nombreuses espèces de la faune ou de la flore (Zielinski *et al.*,
 109 2019).

110 Au cours du XX^{ème} siècle, l'implantation d'infrastructures liées au développement touristique a
111 été parfois réalisée sans prise en compte de la dynamique naturelle des espaces côtiers. Cette
112 urbanisation mal contrôlée a mis sous tension une bande côtière qui constitue un espace
113 contraint en perpétuelle évolution. Le processus de création du risque est amorcé dès lors que
114 ces infrastructures sont implantées dans des secteurs où les aléas naturels tendent à contracter
115 l'espace disponible, temporairement (submersion marine) ou de manière irréversible (érosion
116 côtière). Aujourd'hui, certaines collectivités doivent gérer cet héritage, de surcroît dans un
117 contexte d'élévation du niveau marin ; tandis que d'autres poursuivent l'œuvre de leurs
118 prédécesseurs, créant un « coastal squeeze » une compression côtière, décrite par Doody
119 (2004). Les mauvais choix de gestion de l'érosion côtière, comme les enrochements,
120 conduisent à la destruction d'habitats dunaires voire à la disparition des plages. De même, les
121 opérations de rechargement de plage peuvent affecter les espèces du haut de plage (Kerguillec
122 *et al.*, 2019). La fréquentation de la plage, en saison estivale, mais aussi à l'année dans le
123 cadre des plages urbaines, ou des plages situées dans les aires de loisir urbain, contribue aussi
124 à cette érosion de la biodiversité : brassage du sable, piétinement, tassement, sur la plage mais
125 aussi en mer (baignade, surf, longe-côte) (Robert, Trémélo., 2017 ; Cabioch, 2023). En milieu
126 dunaire, la sur-fréquentation affecte la fragile végétation. Durant le premier confinement
127 (mars/avril 2020), l'absence de fréquentation a permis la re-végétalisation (plage des
128 Minimes à la Rochelle, plage de Pornichet, plage des Orpellières à Sérignan) et la nidification
129 de certaines espèces protégées¹ en haut de plage (Grand Gravelot à Morgat, hirondelle dans
130 les talus dunaires ou Pluvier à collier interrompu et Sternes naines ainsi que Pierregarin à
131 Sérignan, par exemple).

132 Cette érosion de la biodiversité est renforcée par la pollution des eaux de baignade (Amara,
133 2010). Les polluants proviennent des fleuves côtiers, des émissaires, des stations d'épuration
134 proches du littoral, des épandages de lisiers à proximité des rivages et apparaissent comme
135 une source polluante exogène (Thibaut *et al.*, 2011). Au contraire, la macération des algues
136 vertes sur les plages situées en zone abritée, liée à l'eutrophisation des eaux côtières,
137 constitue, une source endogène, tout comme les pollutions issues de l'utilisation des crèmes
138 solaires qui tendent à impacter les chaînes trophiques littorales, en particuliers les récifs
139 coralliens au large de certaines plages tropicales fréquentées.

1 ¹ Inscrites à l'Annexe I de la directive « oiseaux », à l'annexe II de la convention de Berne sur la
2 conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe et à l'annexe II de la convention de Bonn
3 sur les espèces migratrices de la faune sauvage

140 Les pratiques de pêche et de cueillette de coquillages sont anciennes sur les littoraux de la
141 Manche et de l'Atlantique et participent à l'érosion de la biodiversité (Hitier *et al.*, 2010). Il
142 en est de même des flottilles de plaisanciers qui pêchent parfois à l'année au droit des ports de
143 plaisance (Desse et Charrier, 2017). Cette prédation est renforcée par le braconnage en pêche
144 sous-marine de nuit, ou des excès en pêche à la ligne qui se pratique à l'année de jour comme
145 de nuit (lagunes et épis du Languedoc ou de Camargue, plages proches de Lorient). Des eaux
146 côtières abritant une forte biodiversité deviennent pauvres, n'accueillant que certaines espèces
147 particulièrement résistantes.

148

149 **De la mise en tourisme aux multi usages de la plage et des eaux côtières par les loisirs**

150

151 Depuis le début du XIX^{ème} siècle aux années 1960, les pratiques balnéaires se localisaient
152 essentiellement sur la plage (Desse, 2022). Voir la mer, respirer l'air du large, contempler le
153 panorama constituait les premières pratiques nécessitant la construction de promenoirs ou
154 promenades en haut de plage ou sur la plage (les planches de Deauville). Les bains de mer
155 sont prisés en Atlantique ou sur les côtes de la Manche, tout d'abord dans des cabines à
156 traction animale, puis sur la plage au début du XX^{ème} siècle et gagneront la Méditerranée dans
157 les années 1920. Jusqu'au milieu des années 1960, la plage constitue le lieu privilégié des
158 jeux (ballon, tennis, circuits de billes, châteaux de sables) même si certaines accueillent des
159 courses de chevaux, de vélo... Le bain de mer ne dépasse guère la barrière des vagues, et rares
160 sont les bons nageurs et les plongeurs en apnée.

161 A partir des années 1960, les activités nautiques se développent. Durant la même période, la
162 construction des ports de plaisance, concourent à l'essor de la plaisance le long des côtes
163 françaises.

164 Depuis les années 1980, les loisirs sous-marins se diffusent à leur tour et quittent la sphère des
165 initiés de la chasse sous-marine ou de la plongée avec bouteille. Avec la diffusion des clubs
166 de plongée, permettant une pratique dans toutes les mers en fonction des opportunités de
167 séjours, le développement des sports sous-marins doit aussi à l'amélioration des équipements
168 permettant les plongées en profondeur et en hiver (Robert et Plouvier, 2017). Ces dernières
169 années, les aides à la propulsion se multiplient : scooter sous-marins, aide à la propulsion
170 fixées sur le corps du plongeur.

171 Dans ces conditions les pratiques nautiques permettent d'accéder à l'ensemble des
172 écosystèmes, de les observer, d'y pratiquer une activité de pêche ou de chasse sous-marine,
173 répondant aux attentes des pratiquants mais au détriment souvent des biocénoses marines. En

174 fonction des zones de pratique régulière ou occasionnelle, les atteintes peuvent être parfois
175 très fortes.

176 Depuis les années 1960, les temporalités ont aussi évoluées. Après une forte fréquentation en
177 juillet et août, la plage était abandonnée et réservée aux résidants à l'année. A partir des
178 années 1980, la plaisance se pratique en été et aux intersaisons. Depuis les années 2000, la
179 fréquentation est continue, surtout dans les banlieues bleues urbaines. D'une part la
180 population à l'année, surtout retraitée, est plus élevée et d'autre part la diminution continue
181 de la durée du travail permet la pratique des loisirs toute l'année (Viard., 2006). Certains sites
182 connaissent ainsi une pratique intensive quotidienne de la promenade, du surf, de la sortie en
183 mer.

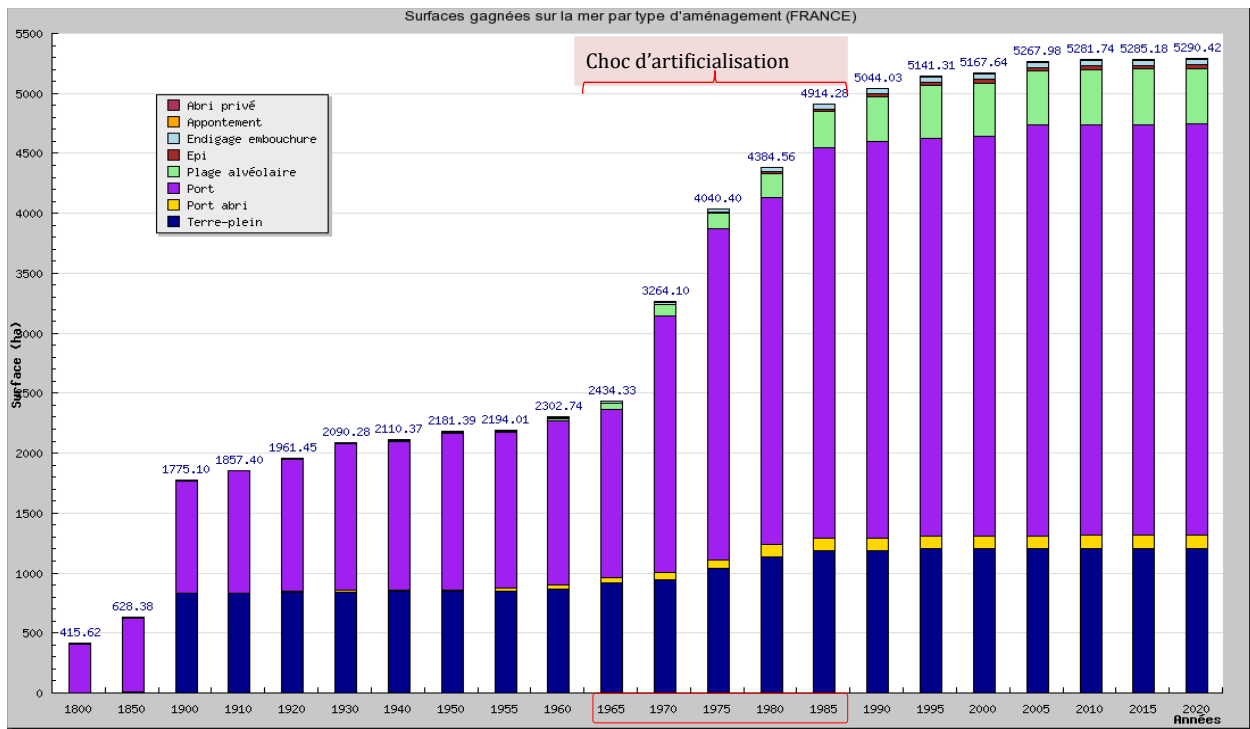
184

185 **Une artificialisation continue**

186

187 Jusqu'aux années 1950, les aménagements touristiques impactaient peu les écosystèmes
188 littoraux. Le front de mer et sa promenade occupaient le haut de plage en remplaçant le front
189 de dune, ou au sommet des microfalaises. Surtout, hormis la promenade des Anglais, elles
190 restent d'une étendue limitée. L'artificialisation des littoraux apparaît à la moitié des années
191 1960, avec la multiplication des ports de plaisance qui nécessitent une zone technique et de
192 stockage de bateau qui très souvent sont gagnées sur la mer par un terre-plein, et d'autre par la
193 création de digue afin de protéger un plan d'eau. Ces digues portuaires pouvant s'étendre sur
194 des fonds compris entre 10 et 20 mètres afin d'accueillir des unités de grande plaisance de
195 plus de 25 mètres. Ce « choc d'artificialisation » se situe dans les années 60 à 80, où nous
196 avons multiplié par deux les surfaces gagnées sur la mer (Figure 2 ; MEDAM, 2020).

197



198
199

200 **Figure 2** : Surfaces gagnées sur la mer par type d'aménagement depuis 1800 (adapté de
201 *www.medam.org*)

202 **Figure 2: Surfaces reclaimed from the sea by type of development since 1800**

203

204 Durant cette période, afin de protéger les rivages nouvellement urbanisés, la Mission
205 interministérielle d'aménagement touristique du Languedoc Roussillon étend ses
206 aménagements en mer par des épis et la création de plages alvéolaires. Aux Antilles, les zones
207 dédiées au tourisme et à l'hôtellerie internationale s'implantent à proximité des aéroports et
208 des villes. Dans ces conditions, afin de pallier l'absence de plage, chaque hôtel construit son
209 enrochement et sa plage alvéolaire. Sur les côtes atlantiques et de la Manche, la mise en
210 tourisme des communes littorales et l'essor de certaines stations populaires s'accompagnent
211 du renforcement du front de mer avec des immeubles, un boulevard de front de mer, une
212 promenade (Saint-Jean de Mont, Saint-Gilles Croix de Vie, Le Touquet). D'autres terre-pleins
213 concernent les routes littorales entre le Port et Saint-Denis de la Réunion, entre le Carbet et
214 Saint-Pierre à la Martinique, le long de la plage de Pentrez, en fond de baie de Douarnenez.
215 Des polders correspondent à l'extension et à l'adaptation des ports au tourisme de croisière,
216 ou encore à l'extension des lignes d'aéroport à Nice, mais aussi aux Antilles au détriment de
217 la mangrove.

218 Entre Menton et Port de Bouc, en 1990, Meinesz *et al.* (1991). comptait 193 ouvrages d'une
219 superficie supérieure à 100 m², dont 64 ports inférieurs à 2 hectares, 71 ports de plaisance et

220 de commerce supérieurs à deux hectares, 27 digues et terre-pleins isolés, 26 plages alvéolaires
 221 et trois grands ouvrages dont l'aéroport de Nice (235 hectares de terre-plein et 3,75 hectares
 222 de plan d'eau altérés). Au total, ces aménagements occupaient 1590 hectares par les terre-
 223 pleins et les digues. Les plans d'eaux des ports et des plages alvéolaires étaient estimés à 1842
 224 hectares, correspondant à 16% de cette portion de littoral.

225 Depuis les années 1990, les terre-pleins construits n'ont pas été remis en cause. Au contraire,
 226 de nouveaux enrochements sont apparus, dans un contexte de lutte contre l'érosion côtière
 227 accentuée par le réchauffement climatique. En France, ce sont aujourd'hui plus de 15% des
 228 côtes qui sont artificielles, dont 1350 km² de polders littoraux (Goeldner-Gianella, 2013).

229 Certains de ces enrochements ont une fonction de protection sans porter d'infrastructures
 230 touristiques : Noirmoutier, le littoral du Prêcheur à la Martinique... Ailleurs, les municipalités
 231 tentent de protéger les fronts de mer par des enrochements (Lacanau), des murs (Trébeurden).

232 De nouveaux terre-pleins accompagnent l'essor du tourisme de croisière, de la grande
 233 plaisance (quai des milliardaires à Antibes pouvant accueillir des yachts de plus de 150
 234 mètres) nécessitant l'allongement des quais, le dragage, le dérochement parfois. D'après
 235 l'inventaire du MEDAM (Côtes Méditerranéennes françaises. Inventaire et impacts des
 236 aménagements gagnés sur le domaine marin) en 2019, l'artificialisation des plages s'est
 237 ralentie, pour atteindre 19% du littoral de Menton à Port de Bouc et 19,5% pour le Languedoc
 238 et le Roussillon. L'artificialisation impacte l'ensemble des littoraux métropolitains (**Tableau**
 239 **1**) et d'outre-mer.

240 **Tableau 1** : L'artificialisation des littoraux métropolitains en 2016 (MEDAM, 2020)

241 *Tableau 1: French coastal artificialization (MEDAM, 2020)*

242

	Linéaire de côte en km	Dont artificialisé en Km ²
De la frontière belge à la pointe de Corsen (limite Manche - Atlantique)	3417	931
De la pointe de Corsen à la frontière espagnole	5509	1116
De la frontière espagnole à Port de Bouc (embouchure du Rhône)	2200	230

De Port de Bouc à la frontière italienne	1307	395
Total	12 433	2 672

243

244 Les impacts sont directs pour les terrains gagnés sur la mer entraînant une destruction
 245 irréversible des zones couvertes d'ouvrages (terre-pleins, digues, quais, enrochements...) et
 246 un appauvrissement irréversible des zones transformées en plan d'eau portuaires.

247 En Méditerranée, parmi ces espèces se développant sur cet espace exigu, on trouve des
 248 grandes algues brunes (Stramenopiles du genre *Cystoseira*) et des algues rouges calcaires,
 249 constituant au fil du temps des concrétions dites en « trottoir » (Rhodophytes des
 250 genres *Lithophyllum* et *Titanoderma*) (Thibaut *et al.*, 2011). Les espèces de ces genres, qui
 251 constituent la principale biomasse au niveau de la mer (et servent ainsi de support ou d'abri
 252 pour les autres espèces animales ou végétales adaptées à ce milieu), recolonisent très mal les
 253 substrats artificiels (béton, roches...), souvent en compétition sur ces substrats non naturels
 254 avec des espèces envahissantes (Bulleri et Chapman, 2010). Par exemple, l'inventaire de la
 255 répartition des *Cystoseires* devant les côtes françaises de la Méditerranée montre que moins
 256 de 0,5 % du trait de côte artificiel a été recolonisé par les espèces de ce genre (Thibaut *et al.*,
 257 2011). En fonction de la nature des matériaux, certaines espèces s'adaptent et apparaissent,
 258 notamment le long des épis en mer ou dans les ports de plaisance, mais la diversité des
 259 biocénoses marines demeure tout de même en régression et le développement d'espèces
 260 exotiques favorisées dans ces ouvrages artificiels (Gauff *et al.*, 2023). Notons toutefois des
 261 programmes de restauration intéressants avec le bouturage et l'ensemencement naturel, une
 262 fois les boutures transplantées acclimatées, en France (Javel *et al.*, 2012).

263 Les impacts indirects se localisent dans le bassin de croisière et concernent les zones de
 264 mouillage forain, les ancres détruisant les substrats comme les herbiers à posidonies, les fonds
 265 coralliens et les herbiers à phanérogames aux Antilles, ou encore les champs d'algues en
 266 Manche/Atlantique. L'abandon de macro déchets impacte aussi ces zones fréquentées.

267 On le voit, les trajectoires passées des politiques d'aménagement des territoires côtiers, et les
 268 impacts négatifs en résultant, ne peuvent perdurer. Il est désormais absolument nécessaire de
 269 mieux prendre en compte la qualité de l'environnement pour un aménagement désirable,
 270 c'est-à-dire qui n'a pas d'impact négatif voire un impact positif sur les écosystèmes littoraux.

271

272 **Réparer la Nature ou séparer aménagement et environnement**

273

274 Les efforts sont réellement énormes et représentent, ne nous y trompons pas, une mutation
275 civilisationnelle (sinon une révolution). La priorité est de refréner nos appétits pour de
276 nouvelles surfaces. L'ennemi c'est cette forme d'artificialisation prédatrice d'espaces
277 naturels, sans accepter notre responsabilité collective de gestionnaire d'un environnement
278 sain. Pour cela, il est nécessaire de repenser un modèle d'aménagement instaurant l'objectif
279 de pas de perte nette de biodiversité, ainsi que d'ouvrages supports de biodiversité. Mais à
280 court terme, il est aussi important de prendre en compte l'inertie de cette machine
281 anthropocentrée qui aménage toujours plus, surtout sur le littoral. Tout d'abord, est-il réaliste
282 d'imaginer que l'homme pourrait, une fois les pressions sur l'environnement maîtrisées (ce
283 qui est une priorité indiscutable), réparer ce qui est détruit ? Avant de répondre à cette
284 question, il paraît utile de rappeler une simple lapalissade : la meilleure réparation est celle
285 qui n'a pas lieu. Mieux vaut éviter de détruire, plutôt que de tenter de réparer. Techniquement,
286 les retours d'expériences récents de réparation du milieu aquatique marin, démontrent que
287 dans de nombreux cas, une fois les pressions stoppées, les écosystèmes peuvent être réparés
288 (Duarte *et al.*, 2020). Ils peuvent dès lors reprendre un fonctionnement, sinon identique à ce
289 qu'ils étaient avant impact (cela est impossible à 100%, on ne sait toujours pas reproduire la
290 vie), au moins remis sur des trajectoires écologiques autonomes et auto-entretenuës, sans
291 autres interventions humaines. C'est ce que confirme l'article paru dans *Nature* par Duarte *et*
292 *al.* (2020) dressant l'état des lieux et le potentiel de restauration écologique des milieux
293 marins. Ces travaux, à l'échelle mondiale, démontrent que l'abondance, la structure et les
294 fonctions de la vie marine pourraient se rétablir d'ici 2050. Mais il insiste également sur le fait
295 que les principales pressions doivent être atténuées puis stoppées, en priorité l'artificialisation
296 des milieux naturels. Soulignons que la facture de la restauration des écosystèmes marins,
297 couplée à la création d'aires marines protégées représenterait, d'après leur estimation, 10 à
298 20 Md de \$/an, soit 1/20 du PIB américain ou 1/10 du PIB français. Pour Jean-Paul Gattuso,
299 l'un des co-auteurs, un dollar investi dans la préservation des océans en rapporterait 10 via
300 l'écotourisme ou la pêche. Protéger 50 % de la surface de l'océan, comme recommandé,
301 pourrait créer plus d'1 million de nouveaux emplois. En outre, cela pourrait générer une
302 économie de 52 milliards de dollars pour les assureurs, en diminuant les risques de tempêtes
303 et de submersions littorales (Duarte *et al.* 2020).

304 La leçon à retenir est que l'avenir reste dans nos mains, à nous de nous en saisir. Mais pour
305 réaliser ces ambitions, nous pouvons aussi nous appuyer sur des outils d'encadrement
306 normatifs de nos pratiques, liés à l'évaluation environnementale (études d'impacts) des
307 projets, plans et programmes d'aménagement.

308

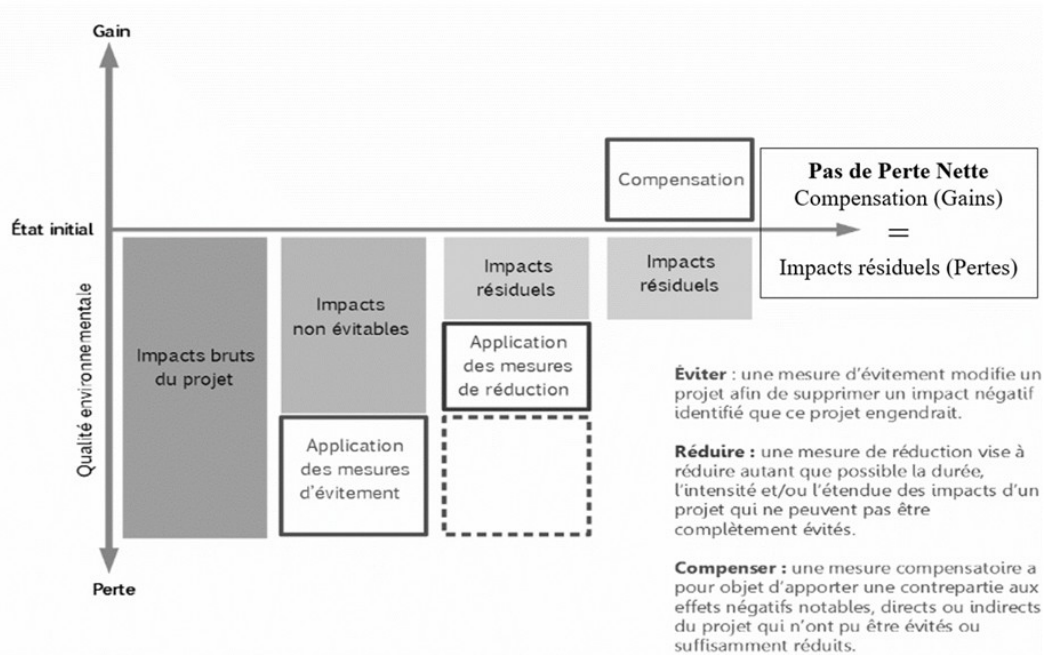
309 **L'évaluation environnementale remède à notre goût pour l'artificialisation de** 310 **l'environnement ?**

311

312 Les autorisations d'aménagement des plages, comme tout espace public national, doivent
313 observer une procédure réglementaire, codifiée principalement dans les Codes de
314 l'Environnement (CE) et de l'Urbanisme. Remarquons tout d'abord que l'étude d'impact
315 environnementale (EIE), ou évaluation environnementale, désigne à la fois une démarche
316 méthodologique cadrée et un dossier réglementaire (Pioch, 2017). La première est une analyse
317 détaillée de l'impact des projets de travaux, d'ouvrages et d'aménagements sur
318 l'environnement, conduite par le maître d'ouvrage au même titre qu'il étudie la faisabilité
319 technique et économique de son projet. Le second est le document qui expose, notamment à
320 l'intention de l'autorité qui délivre l'autorisation et à celle du public, la façon dont le maître
321 d'ouvrage a pris en compte l'environnement tout au long de la conception de son projet. Les
322 dispositions sur lesquelles il s'engage pour en atténuer les impacts (rappelées dans l'arrêté
323 préfectoral d'autorisation, ou permis d'aménager) sont exposées à destination du public (l'une
324 des finalités de l'Etude d'Impact Environnementale, rappelons-le).

325 En France, elle est définie par la Loi n°76-629 du 10 juillet 1976 (modifié par l'ordonnance n°
326 2016-1058 du 3 août 2016 et le décret n° 2016-1110 du 11 août 2016) et les articles L-110-1
327 et L122-1 à L122-3-5, ainsi que R122-1 et suivants du CE. Ces articles reprennent les
328 Directives européennes 2011/92/UE concernant l'évaluation des incidences de certains projets
329 publics et privés sur l'environnement (modifiées par les Directives 85/337/CE et 2014/52/CE
330 du Parlement européen et du Conseil du 16 avril 2014, Art. 5). L'EIE repose,
331 schématiquement, sur quatre étapes progressives, selon une logique comparative de « Before
332 After Control Impact » ou BACI (Green, 1979 ; Michel, 2001). La première étape de
333 l'évaluation consiste à réaliser l'état initial de l'environnement du projet. La deuxième
334 propose d'analyser les effets et les impacts, avant de définir dans un troisième temps les
335 raisons du choix du projet, parmi les variantes possibles. Enfin la quatrième étape présente les
336 mesures mises en place pour éviter, réduire et si besoin compenser (séquence E-R-C) les
337 impacts négatifs notables (ou significatifs) du projet, justifiant ou non l'obtention d'une

338 autorisation par les services instructeurs. La finalité étant d'atteindre une « non perte nette »
 339 (PPN) de biodiversité, c'est-à-dire une équivalence entre d'un côté des pertes (emprise et zone
 340 d'impact d'un projet) et des gains (projet compensatoire), obligation introduite dans par la Loi
 341 Reconquête de la Biodiversité, de la Nature et des paysages de 2016. Cette notion de PPN
 342 constitue une révolution dans la conception de projet et l'aménagement des territoires sur
 343 laquelle nous reviendrons plus tard (Figure 3).
 344



345
 346 **Figure 3** : Séquence ERC définitions et finalité du « Pas de Perte Nette » ou PPN (adapté de
 347 Müller, 2017)

348 **Figure 3: Avoid Reduce Offset (ARO) sequence, definition and objective of the « no net**
 349 **loss » (adapted from Muller et al., 2017)**

350
 351 *Démarche pivot de l'évaluation environnementale : la séquence Éviter Réduire et*
 352 *Compenser (ERC)*

353
 354 La réflexion au cœur de l'étude d'impact repose sur l'acronyme : « E.R.C », pour Éviter,
 355 Réduire et Compenser les impacts négatifs notables d'un projet (Quétier *et al.*, 2014). Cette
 356 séquence hiérarchique est présentée, par le ministère de l'environnement, comme « *l'outil*
 357 *majeur pour permettre à la France d'atteindre ses objectifs nationaux en matière de lutte*
 358 *contre l'érosion de la biodiversité* » (Courtejoie, 2014). La séquence ERC est pensée comme
 359 une régulation de l'artificialisation irraisonnée jouant le rôle d'outil d'acceptabilité sociale des
 360 aménagements détruisant la nature. Elle est intégrée par l'Etat, les aménageurs et la société
 361 civile dans les politiques d'aménagement (Bigard *et al.*, 2018).

362 Quant à son ultime volet, selon Gobert (2010) la compensation serait un rempart ultime situé
363 « *quelque part entre un développement durable et une croissance strictement économique* ».
364 Pourtant, I. Doussan (2014) nous rappelle également que « *l'obligation de prévenir les*
365 *atteintes à l'environnement (éviter) doit être véritablement un principe fondateur du droit de*
366 *l'environnement ; la réduction des atteintes et plus encore leur compensation n'en sont que*
367 *des dérogations* ».

368 Éviter, réduire puis compenser les atteintes portées à l'environnement dans une finalité
369 précise, mesurable, quantifiable de PPN n'est possible que dans un cadre réglementaire
370 appliqué par des experts de l'environnement, associés à des bureaux d'études aptes à qualifier,
371 puis contrôler rigoureusement les résultats des mesures E, R ou C. Par exemple, si la
372 réalisation d'un aménagement destiné à lutter contre l'érosion d'une plage de station balnéaire
373 détruisait un habitat remarquable (banc d'Hermelle, ou un herbier marin) sur plusieurs
374 centaines de m² (impact notable), le maître d'ouvrage devrait dès, lors avec son bureau
375 d'étude en environnement et en génie civil, réfléchir aux solutions d'évitement des impacts
376 négatifs notables. L'évaluation des pertes évitées, issues d'une emprise du projet optimisée
377 (épis de protection flottant, déplacement du projet...) serait quantifiable et le projet modifié
378 en fonction. Les impacts résiduels notables font dès lors l'objet de réflexion sur leur
379 réduction, avec par exemple le recours à des solutions constructives de la digue, moins
380 dommageables pour les habitats naturels (limiter les fines remises en suspension, travaux en
381 période de faible migration d'animaux...). Cette deuxième série de mesures de réduction
382 nécessitera aussi de définir une évaluation ex-ante, clé d'un contrôle ex-post probant
383 (performance de la mesure). Enfin, la compensation des impacts résiduels notables sur la
384 surface d'habitat finalement impossible à éviter, ni réduire, fait l'objet d'une quantification
385 des pertes biophysiques (fonctions écologiques, habitats et espèces). La compensation
386 permettrait de dégager une « équivalence » (même valeur écologique) potentielle, avec projet
387 de restauration écologique, ailleurs, mais proche qualitativement : transplantation d'herbiers
388 ou d'Hermelles, gestion des ancrages par la création de zone de mouillages organisés, par
389 exemple (si ces mesures sont peu risquées et faisables). Une fois ces éléments détaillés et
390 expliqués dans l'EIE les services instructeurs pourront valider le dossier d'autorisation qui,
391 après enquête publique, permettra à l'aménageur d'obtenir le permis d'aménager délivré par
392 le préfet.

393 La loi pour la Reconquête de la Nature et des Paysages RBNP, institutionnalise deux concepts
394 révolutionnaires en aménagement avec l'objectif d'absence de perte nette ou « pas de perte
395 nette » (« *No Net Loss* » aux Etats Unis), en cas de destruction de milieu naturel dans le cadre

396 de projets d'aménagement et celui de « zéro artificialisation nette » (ZAN). Ce dernier
397 concept étant, pour l'instant, lié à la qualité pédologique des sols terrestres
398 (imperméabilisation notamment, mais notons l'impasse sur les sols marins) et l'emprise
399 surfacique, nous ne le traiterons pas ici, sans minorer la complexité d'application qu'il revêt
400 pour les aménageurs obligés à présent de déconstruire ici, pour construire ailleurs. Nous
401 proposons d'approfondir celui de PPN, tant cet objectif soulève de questions
402 épistémologiques intéressant notre propos sur un renforcement du lien entre aménagement et
403 environnement, au cœur de l'évaluation environnementale.

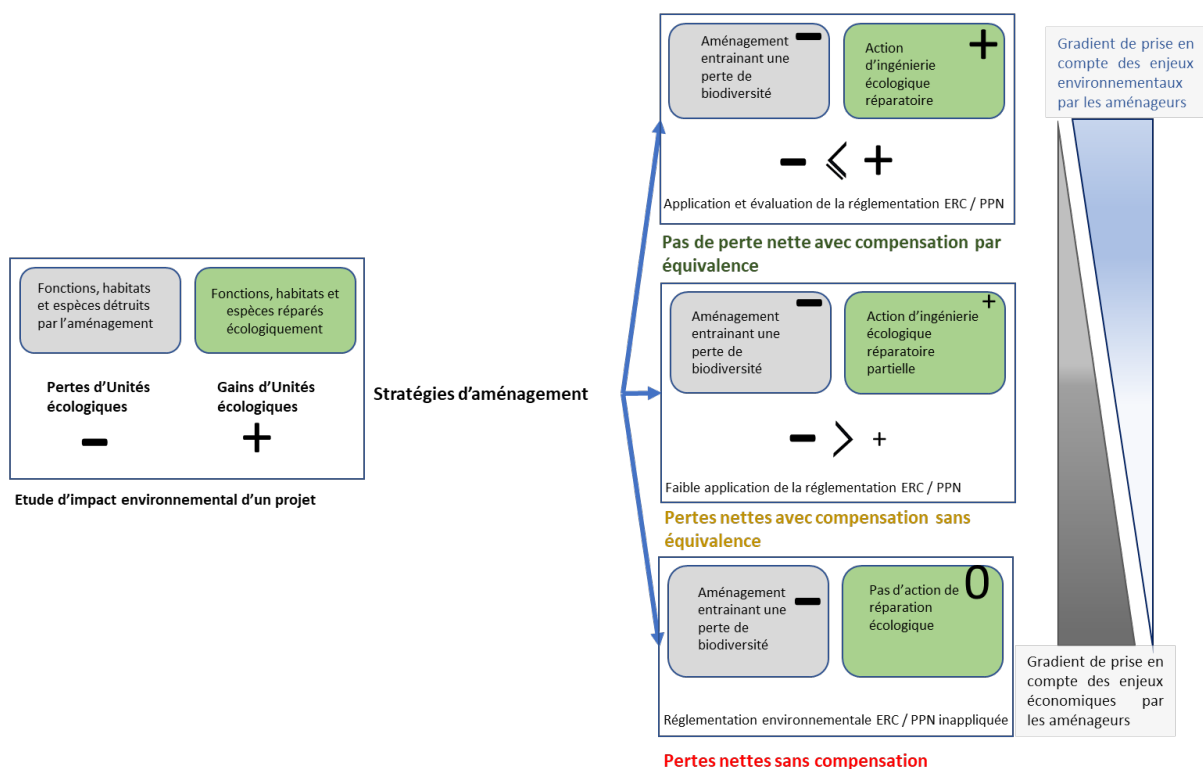
404

405 *Les aménageurs face à 3 scénarios possibles de prise en compte, ou pas, du nouvel objectif de*
406 *Pas de Pertes Nettes (PPN) de biodiversité*

407

408 Sans éluder le problème soulevé par l'évaluation des pertes comme des gains écologiques, sur
409 un écosystème marin dont seulement 10% des espèces le peuplant serait connues, il n'en reste
410 pas moins important d'évaluer les incidences sur l'environnement de tout projet.
411 Théoriquement, il serait donc possible de concilier développement et environnement. Mais
412 pratiquement, entre une biodiversité détruite et une autre disponible pour des actions de
413 conservation, les politiques de prise en compte de l'environnement dans l'aménagement
414 s'établiraient entre trois tendances (Figure 4).

415



416

417 **Figure 4** : Options stratégiques d'aménagement avec la séquence ERC et l'objectif français
 418 actuel de l'absence de perte nette de biodiversité fixé par la loi RBNP de 2016 (adapté de Bull
 419 *et al.*, 2013)

420 **Figure: 4 Strategic options of planning with ARO sequence and the No net loss concept**
 421 **(adapted from Bull et al., 2013)**

422

423 Sur cette figure 4, l'encadré du bas à droite équivaut à ne pas appliquer la réglementation
 424 environnementale. Les aspects économiques prévalent, il n'y a pas d'identification de pertes
 425 ou elles sont qualifiées de « non » notables (donc pas de perte), pas de contrôle et au final des
 426 pertes nettes liées à l'aménagement. La deuxième stratégie, encadré au-dessus, consiste à
 427 appliquer partiellement la réglementation, sans chercher d'équivalence. Les enjeux
 428 économiques restent importants, mais la réglementation arrive à faire évoluer en partie la
 429 prise en compte d'enjeux environnementaux. Enfin la dernière situation, en haut à droite,
 430 dénote une stratégie assumée de prise en compte de l'environnement dans le projet
 431 d'aménager, avec un objectif de PPN (équivalence biophysique entre pertes et gains). C'est de
 432 la difficile, mais importante mise en place de cette troisième vision stratégique pour
 433 l'aménagement du territoire maritime côtier qu'il est question ici.

434

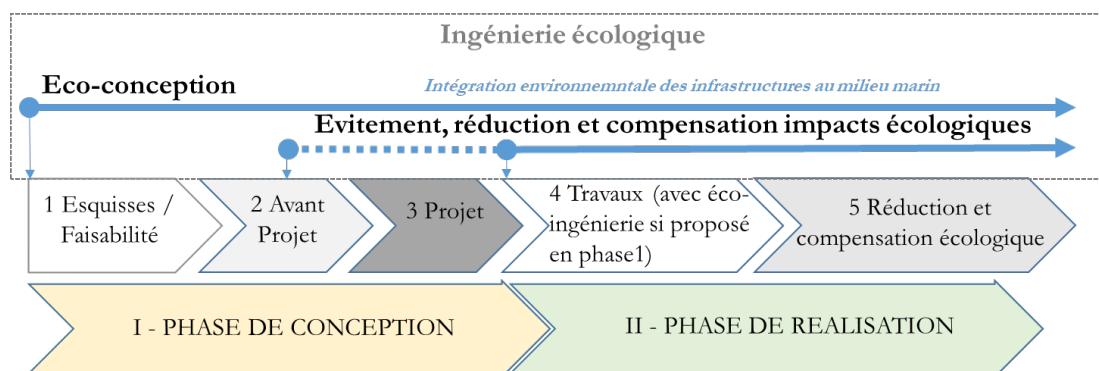
435 **La voie des solutions fondées sur la nature pour réduire les pertes de**
436 **biodiversité : l'écoconception des aménagements maritimes et côtiers**

437

438 **Concepts et définitions de ces solutions de transition écologique en aménagement côtier**

439

440 Dans le fondement épistémologique des recherches sur la relation homme-nature, où la
441 géographie est particulièrement à l'aise consubstantiellement, les concepts utilisés dans une
442 finalité de renaturer la culture s'ancrent dans les champs des jeunes sciences de la durabilité et
443 de la biologie de la conservation ainsi que des disciplines plus anciennes liées à l'écologie, au
444 génie civil et à l'aménagement ou l'urbanisme. La transdisciplinarité est de mise, car pour
445 Francis et Lorimer (2011) l'objectif de réconcilier nature et culture, dans le projet d'aménager
446 les territoires urbains, est le plus grand challenge scientifique et social du XIX^{ème} s. Pour ces
447 mêmes auteurs, l'apport de l'ingénierie écologique est un facteur décisif vers l'écoconception.
448 Ce dernier terme nous paraît important car il convoque ce lien entre nature et culture,
449 bénéficiant aux deux, dans une perspective de « gagnant-gagnant » (Rosenzweig, 2003).
450 Remarquons la faiblesse de cette intuition dans les infrastructures actuelles, comme Rey et al.
451 (2018) « *de par l'absence ou la pauvreté de biodiversité sur ces ouvrages [...], ils présentent*
452 *en général une « moins-value » écologique* ». En effet, trop souvent, les aménageurs prennent
453 en compte les enjeux environnementaux, une fois les enjeux économiques résolus (Figure 5).



454

455 **Figure 5 :** Méthodologie d'écoconception des projets (flèche bleue du haut) par rapport à
456 l'approche classique intégrant l'environnement tardivement (flèche du bas). La démarche
457 d'écoconception commence dès la première phase de conception, au niveau des esquisses.
458 Alors que les considérations environnementales sont actuellement introduites au plus tôt à la
459 phase avant-projet (AVP) pour éviter, réduire ou compenser les impacts négatifs
460 d'infrastructures, de fait, peu intégrées au milieu naturel (Pioch *et al.*, 2018)

461 **Figure 5:** *Ecodesign methodology for infrastructures (top blue arrow) compared to the*
462 *classic approach integrating lately the environment (bottom arrow). The eco-design process*
463 *begins in the first design phase, at the level of preliminary design. While environmental*

464 *considerations are currently introduced at the earliest during the detail design (AVP) to*
465 *avoid, reduce or offset for the negative impacts of infrastructures, which are in fact poorly*
466 *integrated into the natural environment (Pioch et al., 2018)*

467
468 D'après le syndicat des ingénieurs français, Syntec-ingénierie, l'écoconception est le fait de
469 de prendre en compte des données écologiques, sans générer de surcoût à terme, pour
470 concevoir un projet (Syntec Ingénierie, 2010). La définition de l'écoconception des
471 infrastructures marines serait ainsi de « *concevoir des projets d'aménagement maritimes*
472 *durables avec des fonctions techniques et écologiques précises/spécifiques², qui génèrent des*
473 *co-bénéfices socio-écosystémiques, sans générer de surcoût à terme* » (Pioch et Souche,
474 2021). Il nous paraît également important d'aborder un aspect esthétique respectant les
475 paysages sous-marins et de ne pas dénaturer les littoraux aménagés (Figure 6).



476

477 **Figure 6** : A gauche lest de mouillage « classique » de forme cubique sans fonction
478 écologique ni réflexion paysagère, à droite lest de mouillage écoconçu, avec un design bio-
479 inspirée des racines de mangroves aux formes mieux intégrées au paysage sous-marin
480 (photos : S. Pioch)

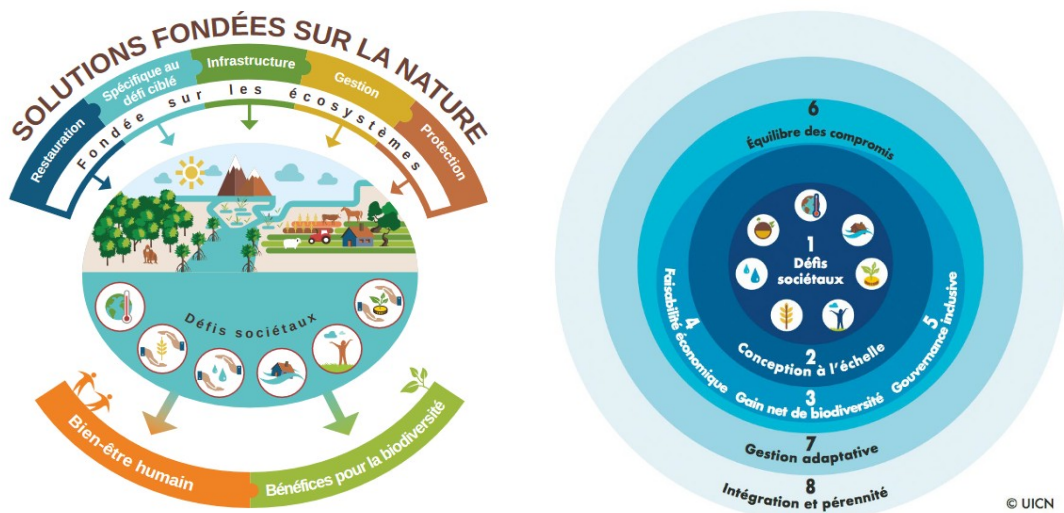
481 **Figure 6: Left « regular » mooring system, cubic design without ecological nor habitat**
482 **functions target, on right eco-mooring system with a design mimicking mangrove roots (S.**
483 **Pioch)**

484
485 Le lien avec la bio-inspiration peut aussi utilement être rappelé, en cherchant à mimer les
486 mécanismes favorisant la biodiversité (formes, dimensions, orientations, couleurs...), ainsi
487 que l'intégration d'un ouvrage aux paysages maritimes immergés et émergés, dans un paysage
488 encore largement préservé. Il est en effet toujours surprenant qu'aucune règle paysagère n'ait
489 été imposée pour limiter la « barrière » de blocs d'enrochement de protection contre l'érosion,
490 auquel font face des millions de plagistes. Un arasement et un élargissement de ces ouvrages
491 est pourtant tout à fait réalisable techniquement, avec des effets mécaniques sur la houle
492 identique, pour libérer la vue et le paysage maritime. Ces approches sont depuis quelques

4 ² Précises donc évaluables, quantifiables, exigibles ; spécifiques donc adaptée à chaque site ou type de projet demandé

493 années regroupées sous un vocable proche du marketing territorial, les « solutions fondées sur
 494 la nature » (Nature Based Solutions). L'Union Internationale pour la Conservation de la
 495 Nature (UICN), a vulgarisé le concept qui inclut l'écoconception des infrastructures dans leur
 496 définition (Cohen-Shacham et al., 2016) « les Solutions fondées sur la Nature sont les actions
 497 qui s'appuient sur les écosystèmes afin de relever les défis globaux comme la lutte contre les
 498 changements climatiques ou la gestion des risques naturels » (Erreur : source de la référence non
 499 trouvée).

500



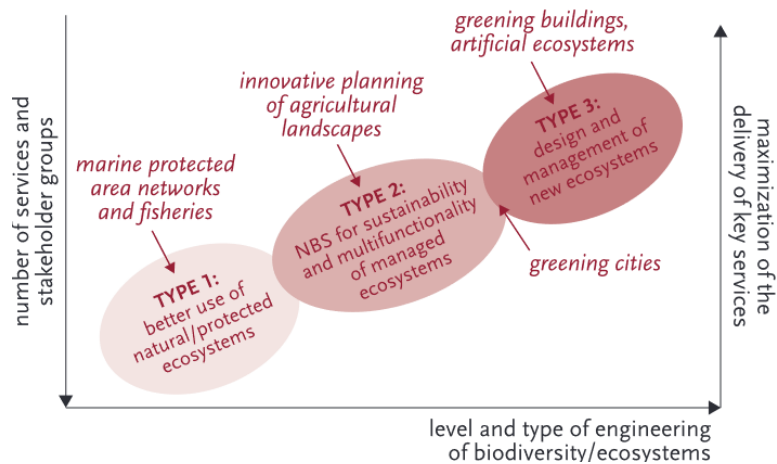
501

502 **Figure 7** : A gauche, schéma de la définition des solutions fondées sur la nature (SFN)
 503 proposé par l'UICN, où les infrastructures sont citées comme terrain d'application et à droite
 504 les 8 critères permettant de définir et d'utiliser des SFN (schémas IUCN© adapté de Cohen-
 505 Shacham et al., 2016).

506 **Figure 7:** To the left, diagram of nature-based solutions (NBS) definition proposed by
 507 IUCN, where infrastructures are cited as field of application and to the right 8 criteria to
 508 define and apply NBS (from Cohen-Shacham et al., 2016).

509

510 L'acception est très large, ainsi pour H. Eggermont *et al.* (2015), il existe trois types de
 511 Solutions Fondées sur la Nature, (i) celles reposant sur la gestion de la nature par la nature
 512 (réserve naturelle, gestion des ressources) en s'appuyant sur de nombreux acteurs, (ii) celles
 513 faisant appel à de la planification territoriale (agroécologie et agriculture durable) ou enfin
 514 (iii) celles s'appuyant sur une plus-value technique ou écologique apportée par le
 515 développement de la nature dès la conception des ouvrages (toits végétalisés, lests écoconçus)
 516 avec un haut niveau d'ingénierie écologique (Erreur : source de la référence non trouvée). Ces trois
 517 types reposent tout de même sur des concepts liés à l'écologie de la restauration.



518

519 **Figure 8:** Trois principaux types de SFN sont définis, différant par le niveau d'ingénierie ou
 520 de gestion appliqué à la biodiversité et aux écosystèmes (axe des abscisses), et par le nombre
 521 de services fournis, le nombre d'acteurs ciblés et le niveau probable de maximisation des
 522 services ciblés (axe des ordonnées) (Eggermont *et al.*, 2015)

523 *Figure 8: Three main types of NBS are defined, differing in the level of engineering or*
 524 *management applied to biodiversity and ecosystems (x-axis), and in the number of services*
 525 *to be delivered, the number of stakeholder groups targeted, and the likely level of*
 526 *maximization of the delivery of targeted services (y-axis).*

527

528 Cette définition apporte une nouveauté intéressante, en effet, favoriser la biodiversité serait un
 529 facteur d'amélioration et d'efficacité performancielle des ouvrages. Dans les SFN de type 2 et
 530 3, l'homme redécouvrirait l'utilité technologique de la nature pour renforcer des ouvrages
 531 destinés au développement de ses activités (par exemple la protection contre l'érosion des
 532 côtes, le développement des ressources) mais également au maintien des écosystèmes naturels
 533 *per se*. Les solutions fondées sur la nature liées à l'écoconception (type 3) sont un
 534 changement de paradigme fort en aménagement. Le projet qui artificialise les côtes tendait,
 535 jusqu'ici, à considérer la nature comme une contrainte. Les solutions fondées sur la nature
 536 offrent un positionnement radicalement opposé. La nature pourrait au contraire devenir un
 537 levier à mobiliser pour protéger les sociétés, mais également restaurer la biodiversité et les
 538 services écosystémiques dans les zones urbanisées côtières (Gutleben, 2020). Dès lors, les
 539 solutions fondées sur la nature amènent l'aménageur à s'appuyer sur le fonctionnement de la
 540 nature, alors qu'il s'est longtemps efforcé de s'en défendre. La mise en œuvre de ces solutions
 541 est appelée de leurs vœux par des acteurs internationaux (COP 26, Congrès mondial de
 542 l'UICN, Union Européenne), nationaux (Office Français de la Biodiversité, Assises
 543 Nationales de la Biodiversité) ou locaux (Stratégie Régionale de Biodiversité, application de
 544 la loi « Gestion des Milieux Aquatiques et la Prévention des Inondations » qui encourage les

545 SFN) (Rey et al., 2018). Les perspectives de recherche portant sur les Solutions Fondées sur
546 la Nature connaissent actuellement un essor important. Comme au sein de l'Union
547 Européenne qui encourage les expérimentations, via les programmes FEDER ou Life +
548 « Climate Action » avec le projet fondamental et fédérateur ARTISAN³, piloté par l'Office
549 Français de la Biodiversité, qui assure, entre autre, l'inventaire et la publication d'atlas des
550 SFN. Toujours porté à l'échelle européenne, citons également les projets THESEUS⁴,
551 URBANE⁵, MACOBIOS⁶, EcoCoast (adossé au programme mondial « World Harbour
552 Project⁷ »), MARINEFF⁸ ou enfin « Sea-based Ecostructure⁹», qui ont pour objectif de relier
553 adaptation au changement climatique et résilience côtière, par des expérimentations centrées
554 sur le génie civil côtier et l'ingénierie écologique. Néanmoins, il existe encore très peu de
555 travaux en SHS, notamment en géographie et aménagement, publiés sur les SFN en zone
556 côtière. Citons les projets en cours ADAPTOM (Fondation de France, 2022-2024) dont
557 l'objectif est de dresser un retour d'expérience sur les SFN en Outre-Mer français, le projet
558 DIGUES (ANR, 2019-2022) portant sur les SFN employées sur les traits de côte dans un
559 gradient de naturalité (dépoldérisation) questionné, et enfin l'ouvrage en aménagement qui
560 dresse un point bilan des SFN et de l'écoconception des infrastructures côtières proposé par
561 Pioch et Souche (2021).

562 Cependant, malgré cet engouement pour les SFN, de nombreux projets ont été abandonnés
563 faute de moyens et par peur d'un manque d'efficacité, exprimé par les collectivités
564 territoriales (Fernandes et Guimar, 2018). La suspicion sur l'efficacité réelle de ces outils
565 d'aménagement, aussi appelées « solutions douces » lorsqu'elles s'appuient sur des processus
566 uniquement naturels (création de merlons sablo-vaseux, transplantation de mangrove ou de
567 corail, ensemencement d'huitres), a également été observé lors d'un travail d'enquête réalisé
568 en baie d'Authie, pour le programme de recherche DIGUES (d'Avdeew, 2021). Ainsi, les
569 habitants usagers ont massivement rejeté le scénario proposé de recul des digues et de travaux
570 de développement d'un schorre « naturel » afin de créer une protection contre l'érosion et la
571 submersion côtière. Avec 78% de réponses négatives la perception de la performance de cette

5 ³ Life intégré ARTISAN : Accroître la Résilience des Territoires au changement climatique par l'Incitation
6 aux Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN), qui vise en effet à faciliter l'atteinte des objectifs
7 du PNACC-2 et du Plan Biodiversité de la France à travers l'émergence de projets de Solutions fondées sur
8 la Nature pour s'adapter aux conséquences des changements climatiques sur l'ensemble du territoire.

9 ⁴ <https://www.interregeurope.eu/good-practices/theseus-project-innovative-coastal-technologies-for-safer-european-coasts-in-a-changing-climate>

10 ⁵ www.urbaneproject.org

11 ⁶ <https://macobios.eu/>

12 ⁷ <http://sims.org.au/research/long-term-projects/world-harbour-project/>

13 ⁸ <http://marineff-project.eu/>

14 ⁹ <http://www.ecostructureproject.eu/>

572 technique est très mauvaise. Mais plus intéressant, les travaux montraient que la crainte d'un
573 manque de protection représentait le quart des réponses et l'attachement au digue
574 « classiques » patrimoniales, était très fort avec en moyenne 73% des enquêtés qui
575 répondaient que « les digues faisaient partie du patrimoine local ». Logiquement, ils
576 préféraient à 71% « le maintien des digues dans leur état actuel », marquant une crainte pour
577 le changement et l'innovation dans ce domaine. Pour ces habitants usagers, la protection
578 contre les submersions marine côtières est liée aux digues « classiques », augmentant la
579 résistance au changement et à l'acceptabilité de solutions fondées sur la nature (d'Avdeew,
580 2021). Pourtant, les retours d'expériences, encore peu importants il est vrai, tendraient à
581 valider le fait que les solutions fondées sur la nature, en plus de leur efficacité, sont
582 intéressantes sur le plan de la faisabilité technique et économique, avec une baisse
583 significative des coûts de maintenance, à court et long terme, que les ouvrages classiques de
584 protection (Fernandes et Guimar, 2018). Certains auteurs parlent même d'un gain de
585 protection et d'efficacité des ouvrages écoconçus, par le bio-fouling qui y serait favorisé
586 (Coombes *et al.*, 2015 ; Souche *et al.*, 2016).

587 588 **Des travaux de recherche aux applications : exemples choisis d'aménagements** 589 **écoconçus**

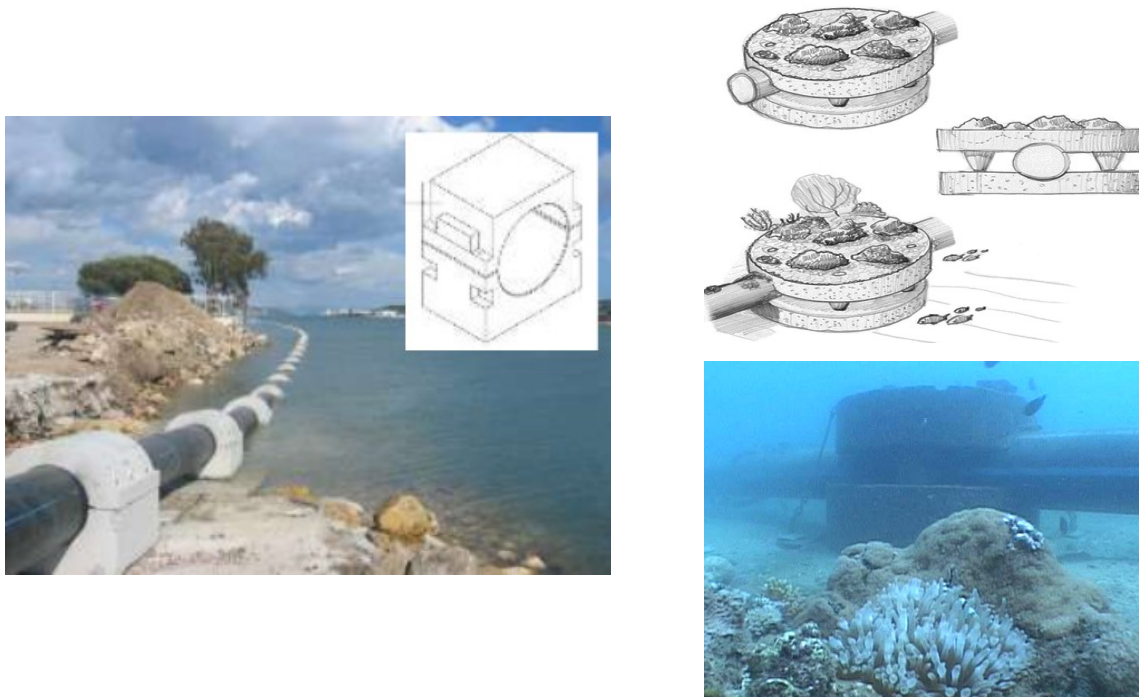
590
591 Ce propos volontariste pourrait paraître porteur d'une forme de bien-pensance irréaliste, ou
592 irénique, face à l'ampleur des questions soulevées par les résultats de nos choix
593 d'aménagement des territoires, depuis la deuxième moitié du XX^{ème}. Des paroles, mais peu
594 d'actes. Il est vrai que sur les littoraux, comme ailleurs, les projets et constructions
595 (portuaires, éoliens, protection des côtes...) s'enchaînent, mais qu'il n'y a rien de nouveau
596 sous le soleil environnemental. Si la majorité des projets peine encore à s'approprier les
597 objectifs de PPN, de SFN ou d'écoconception, nous pouvons aussi voir des innovations
598 intéressantes dans nos modes d'aménager.

599 Au sujet du PPN, notons la rédaction par le Ministère de la Transition Ecologique d'une
600 méthodologie standardisée d'évaluation des pertes et des gains écologiques des projets
601 d'aménagement ¹⁰ (incluant le milieu marin) (CGDD, 2021). D'autre part, la base
602 cartographique Géoportail s'est enrichie d'une couche localisant les sites de mesures
603 compensatoires (notons que le volet « maritime » est en route) « Géo-MCE¹¹ ». Cette base

16 ¹⁰ [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Approche_standardis](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Approche_standardis%C3%A9e_dimensionnement_compensation_%C3%A9cologique.pdf)
17 [_%C3%A9e_dimensionnement_compensation_%C3%A9cologique.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Approche_standardis%C3%A9e_dimensionnement_compensation_%C3%A9cologique.pdf)

18 ¹¹ <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/mesures-compensatoires-des-atteintes-a-la-biodiversite>

604 permettra d'éviter les doubles compensations, ou de « perdre » les connaissances liées à
 605 l'implantation de mesures compensatoires sur un territoire, tout en facilitant leur suivi et la
 606 vérification des résultats par les associations environnementales, par exemple.
 607 Ces éléments influencent le recours aux SFN et à l'écoconception côtière qui permet de
 608 réduire les pertes écologiques liées au projet d'aménagement. Ainsi, l'un des tout premiers
 609 ouvrages écoconçus au monde a été réalisé en 2009 dans un département français, au sein du
 610 jeune parc marin de Mayotte, pour le Syndicat mixte de gestion des eaux mahorais (SIEAM)
 611 (Pioch *et al.*, 2011). Il s'agissait d'un projet de réhabilitation d'une canalisation sous-marine
 612 d'abduction d'eau potable (AEP) entre Mamoudzou et Daoudzi, d'un diamètre de 400 mm sur
 613 2,5 km de linéaire et des fonds de 0 à 26 m, pour un coût total de 5 millions d'euros. Il a
 614 permis de réaliser des cavaliers de lestage de canalisation (classiquement cubiques) qui
 615 développent des habitats adaptés aux espèces lagunaires coralliennes. D'un point de vu
 616 paysager, leur forme arrondie est plus harmonieuse au sein des massifs circulaires coralliens
 617 (Figure 9).
 618



619 **Figure 9** : Lests classiques de canalisation ou de câbles sous-marins cubiques à gauche et
 620 lests éco-conçus « bio-inspirés » à droite avec sur la photo au premier plan une « patate » de
 621 corail et à l'arrière plat un éco-cavalier (Photos : à gauche S. Delaplace, droite Egis eau,
 622 dessin : conception S. Pioch, réalisation J.L. Feron)
 623 *Figure 9: Regular pipe and cubic mooring for submarine pipeline on the left and eco-*
 624 *designed “bio-inspired” mooring on the top right with a coral formation in the foreground*
 625 *in bottom right (Pictures: to the left S. Delaplace, to the right Egis eau, scheme design S.*
 626 *Pioch drawing J.L. Feron)*

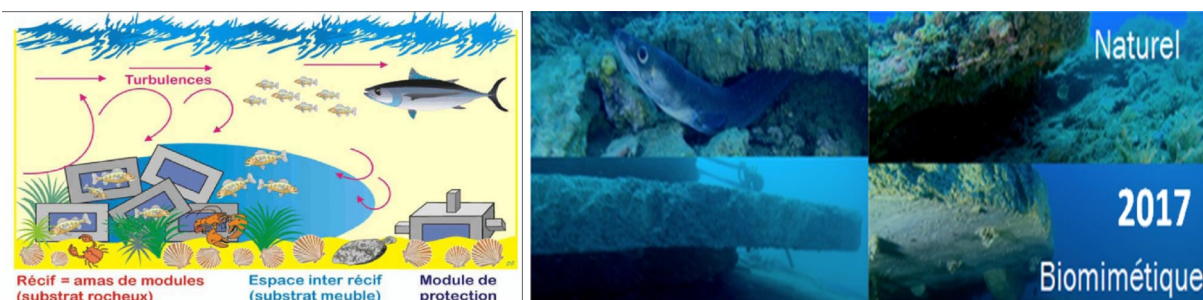
627

628 Le suivi écologique a été mené durant six mois, en 2010. Il révélait environ 40 espèces de
629 poissons présents sur les éco-cavaliers, alors que l'ancienne canalisation (de trente ans),
630 laissée en place avant son démantèlement, n'en comptabilisait que la moitié, du fait de
631 l'absence d'habitat ménagé par l'homme (lest en forme de cube plein). L'autre intérêt de cette
632 première expérience grandeur nature, a été de rassurer la maîtrise d'ouvrage quant au coût et
633 la technique d'une solution écoconçue. En effet, prise dès les phases de conception,
634 l'approche d'écoconception entraîna un surcoût de moins de 1% du coût prévisionnel des
635 travaux.

636 L'écoconception peut aussi s'appliquer aux récifs artificiels (RA), outils de gestion des
637 écosystèmes marins, utilisés dès les années 1970, en France, pour développer la production
638 halieutique, protéger les fonds du chalutage illégal et plus récemment, depuis les années 2010,
639 la restauration écologique (Salaün *et al.* 2022). Ces ouvrages étaient souvent sous formes
640 cubiques, en béton « classiques », lisse en surface. L'office de l'environnement Corse a lancé
641 en 2017 un appel à projet de recherche pour l'écoconception de RA bio-mimétiques, selon 6
642 objectifs : (i) offrir des habitats adaptés aux espèces cibles de la pêche du site, à certains
643 stades de leur évolution (juvéniles ou adultes) ; (ii) restaurer des fonds marins dégradés par les
644 activités humaines ; (iii) tester de nouveaux concepts adaptés aux conditions locales ; (iv)
645 proposer un design fonctionnel écologiquement ; (v) tester de nouveaux types de structures
646 pour adaptation aux moyens de fabrication locaux : modularité ; (vi) tester différents types de
647 matériaux : béton, acier ou bio-concrétion.

648 Afin d'atteindre l'objectif bio-mimétique, le coffrage des éléments a été réalisé à l'aide d'un
649 moule en élastomère fourni par la société LIB-Industries. L'usage de ce type de coffrage
650 autorise l'obtention d'une rugosité multi-échelle propice au développement du bio-fouling
651 adaptée à des objectifs de biomimétisme, car elle permet de reproduire un état de surface
652 similaire à une roche naturelle (10).

653



654

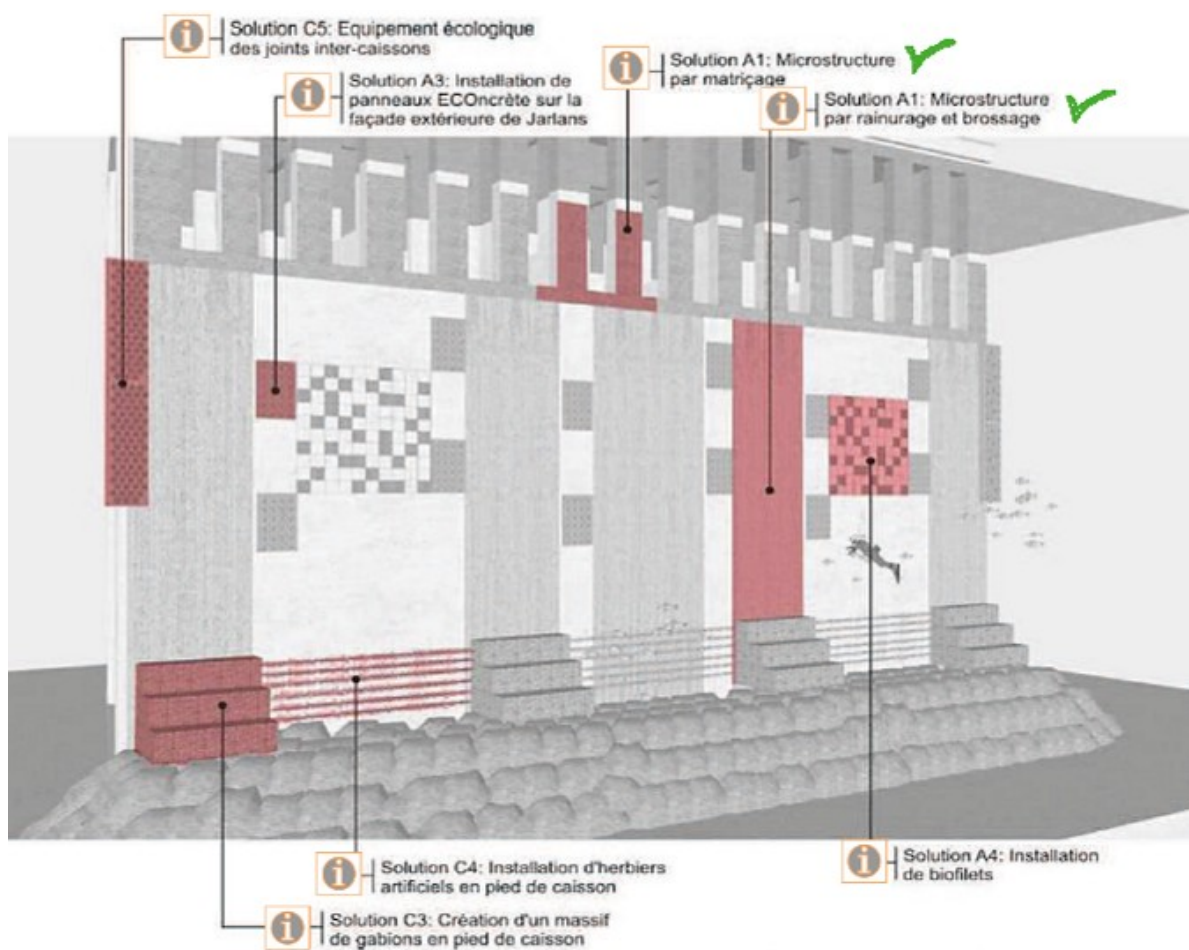
655

656 **Figure 10** : A gauche principe de fonctionnement des récifs artificiels de design cubique
657 « classique » (source : Ifremer), à droite RA bio-inspiré et en comparaison sur la photo les
658 roches naturelles (en haut) qui ont servis de modèle (en bas) (photos : OEC, Alexandra
659 Agostini).

660 **Figure 10: On the left, artificial reefs system and the "regular" design (source: Ifremer),**
661 **on the right bottom bio-inspired RA and right top natural rocks which served as model**
662 **(photos: OEC, Alexandra Agostini).**
663

664 Le suivi scientifique, réalisé par la station marine de la Stareso en Corse, a permis de valider,
665 après 3 ans, la présence de 80% des espèces cibles halieutiques visées comme par exemple le
666 chapon (*Scorpenae scrofa*), le denti (*Dentex dentex*), la liche (*Seriola dumerili*) ou encore la
667 langouste (*Palinurus elephas*), ainsi qu'une colonisation d'espèces sessiles proches des roches
668 naturelles adjacentes.

669 Citons enfin pour l'ampleur et la complexité technique de réussir à développer des solutions
670 écoconçues, l'extension en mer de six hectares réalisée par la principauté de Monaco, en
671 2019. Dix-sept méga-caissons équipés de chambres Jarlan (ouvrage d'amortissement des
672 houles) ont été écoconçus pour la faune et la flore sous-marine, des petits fonds côtiers de
673 substrats durs méditerranéens (**Figure 11**).



674

675 **Figure 11** : Élévation des caissons avec les solutions A1 d'écoconception pour l'amélioration
676 de l'insertion de l'ouvrage dans l'environnement monégasque (source : gouvernement
677 princier).

678 *Figure 11: Elevation of the caissons with eco-designed solutions A1 to improve the*
679 *integration of the structure into the Monegasque environment (source: Princely*
680 *Government).*

681
682 Le suivi écologique, initié en 2020, permettra d'apporter une évaluation de l'écoconception
683 des chambres Jarlan qui équipe 16 des 17 caissons, le 17^{ème} servant de témoin pour quantifier
684 les gains nets.

685 En Atlantique, Manche et Mer du Nord, les ouvrages écoconstruits sont moins nombreux mais
686 accompagnent les nouveaux polders de montage et maintenance de l'éolien en mer à Brest et
687 à Cherbourg. Ils pourraient à l'avenir s'inscrire dans les projets d'extensions de ports de
688 plaisance, émissaires ou d'éoliens en mer.

689 En effet, le port de Brest entame depuis une dizaine d'années des travaux d'extension d'un
690 terre-plein portuaire afin d'accueillir les zones techniques de montage et d'entretien des
691 éoliennes offshore. De nombreuses expertises environnementales entre 2011 et 2014 ont
692 contribué à ajuster ces travaux dans la démarche « Éviter Réduire Compenser » décrite plus
693 tôt. A Brest, en 2014, Suez Consulting, propose des cuvettes médiolittorales pour protéger les
694 alevins. Bouygues TP Régions France, titulaire du marché des travaux de la digue,
695 accompagné par Setec In vivo, propose en 2017, la fabrication d'un écobloc cubique de
696 grande dimension avec une cuvette profonde correspondant à un habitat favorisant le
697 maximum de biodiversité. L'écoconception de la digue ne comprend pas moins de cent
698 écoblocs. Concrètement, l'écobloc est un bloc cubique de 1,9 m de côté, en partie creux, avec
699 des dimensions équivalentes à celles des plus gros enrochements utilisés afin de pouvoir être
700 intégrés dans le profil de l'ouvrage sans en modifier la stabilité. La cuvette est délimitée à
701 l'intérieur par un amas de béton pyramidal, dont la surface est en béton désactivé afin de créer
702 de la rugosité. Pour la région Bretagne, cette opération améliorant la valeur écologique des
703 infrastructures permet d'acquérir un retour d'expérience fort qui pourra bénéficier aux autres
704 ports régionaux.

705 A Cherbourg, le projet franco-britannique "Marineff" est de créer à la fois des récifs artificiels
706 et des éléments d'infrastructures. Les blocs de béton ainsi conçus ont été immergés en
707 septembre 2020 pour renforcer la digue de la rade. La vingtaine d'éléments constituent des
708 blocs incorporant des matériaux répondant à des spécificités techniques favorisant la
709 biodiversité. Ce "béton bio réceptif" fait office de véritables rochers, il a été conçu par une

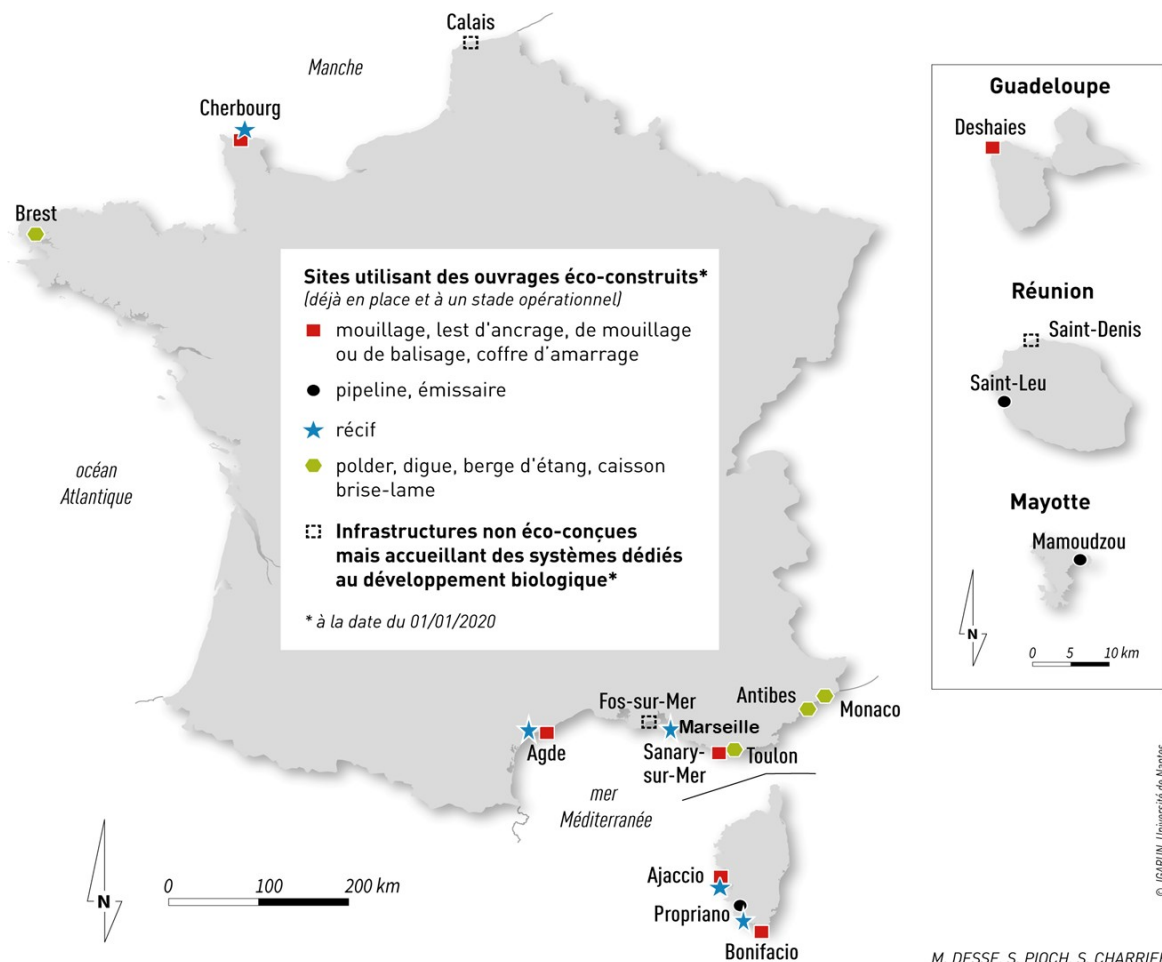
710 équipe de l'ESITC (École supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction) de Caen.
711 Des granulats de béton réalisés à partir de coquillages ont été pensés pour stimuler le captage
712 des larves d'huîtres. Chaque anfractuosité des éléments est destinée à favoriser l'installation
713 de la faune et de la flore marine. On y trouve : des orifices circulaires pour que le homard
714 puisse s'installer, d'autres carrés, de tailles différentes, qui doivent permettre le refuge des
715  trilles et des tourteaux, des rainures qui sont réalisées pour les espèces qui cherchent
716 l'ombre, une surface rugueuse pour certains blocs qui doit favoriser la composition d'un
717 biofilm permettant aux algues de se fixer.

718 Le suivi est assuré par des biologistes de l'Université de Caen. Les nouveaux blocs de "béton
719 biomimétiques" pourraient servir d'éléments de digue ou de fondation pour des éoliennes en
720 mer (Vivier, 2021 ; Lacroix et Pioch, 2011).

721 Enfin, à une échelle locale, mais qui devrait être reconduite dans de nombreux site de
722 mouillages organisés, nous citerons l'écoconception des lests des bouées d'amarrage, de la
723 baie de Deshaies, réalisé en 2013 (Pioch et Léocadie, 2017). Ces 50  co-mouillages, organisés
724 au sein de la zone de mouillage et d'équipement légers (ZMEL) sont adaptés pour des navires
725 de plaisance de 8 à 15 mètres et immergés entre 4 et 15 mètres de fonds. Le but est double :
726 stopper la destruction des fonds marins par ancrage sur les herbiers et les coraux et développer
727 la faune et la flore marine. Leur objectif est de faciliter la fixation de jeunes coraux, pour le
728 repeuplement des zones adjacentes abîmées. En outre les dispositifs (trous, cavités et tunnels)
729 permettent de créer une nurserie pour les poissons juvéniles et les jeunes langoustes, afin de
730 les protéger de la prédation d'une espèce invasive prédatrice, le poisson lion. Le suivi
731 scientifique a permis de démontrer, 6 ans après l'immersion, que 9 des 17 espèces de corail
732 s'étaient implantés sur les b tons rendus rugueux et que la diversité d'espèce était 25% plus
733 importante sur ces ouvrages que sur les zones coralliennes naturelles adjacentes, du fait de la
734 diversité des habitats cr s (Bouchon *et al.*, 2018).

735 La carte proposée ci-après permet de dresser un état des lieux des aménagements utilisant un
736 ouvrage écoconçu au niveau français, ainsi que de localiser les sites proposés en exemple
737 (Figure 12).

738



739

740

741 **Figure 12** : Localisation des sites littoraux et maritimes français utilisant des ouvrages
742 écoconçu à un stade opérationnel (non expérimental) au 1/01/2020.

743 **Figure 12: Location of French coastal and maritime sites using eco-designed structures at**
744 **an operational stage (non-experimental) at 2020/01/01**
745

746 Conclusion

747

748 Les stations balnéaires, connaissent des fréquentations accrues toute l'année qui pèsent sur les
749 écosystèmes de la mer côtière aux espaces sensibles rétro-littoraux. Les ouvrages en mer,
750 épis, digues, brises lames, éolien off-shore, pipe-line, émissaires et ports participent, avec
751 cette fréquentation, aux pressions et atteintes portées aux biocénoses marines. Comment
752 seront les littoraux et leurs stations balnéaires en 2100, à l'aube du XXII^{ème} siècle :
753 « résilientes », « écoconçues », « biopositives » ?

754 Comment les choix actuels liés à l'aménagement conditionneront l'aventure humaine sur cette
755 portion de l'espace si riche, si intense en promesses mais exposée à de nombreux effets

756 (artificialisation, pollutions, espèces invasives, surpêche) et surtout au spectre du changement
757 climatique : hausse d'au moins 2°c après 2050 (+50° en été sur les plages françaises),
758 élévation du niveau des mers entre 0,7 et 1 m ou plus, en 2100 ? Nul ne le sait exactement.
759 Mais des options fortes, issues d'une gouvernance inspirée et partagée, peuvent être prises
760 avec l'appui d'une acculturation des conséquences avec les habitants usagers futurs « gardiens
761 des côtes » (Weisbein, 2016), car certains effets catastrophiques sont déjà sous nos yeux... et
762 leur accroissement est prévisible. Nous avons tenté de relever certaines pistes qui semblent
763 positives et porteuses de sens, séquence ERC, objectif de PPN ou solutions fondées sur la
764 nature utilisant l'écoconception des ouvrages côtiers. Mais soyons vigilant, dans un monde
765 lent à rompre avec ses habitus et ses traditions. Car ces solutions en partie ou totalement
766 issues de la nature peuvent aussi servir d'alibi pour construire plus et plus vite, grâce à un
767 « *green washing* » de façade (Firth *et al.*, 2020). Il faut relever les manches et enfin nous
768 réinventer pour évoluer.

769 Dorénavant, sur les plages, les littoraux, comme ailleurs, l'aménageur ne peut plus
770 uniquement répondre à un besoin socio-économique, il est responsable de l'avenir de la vie
771 (marine) par ses choix d'organisation des établissements humains. Il n'est plus condamné à
772 « bétonner » la mer et le littoral, il peut aussi, à son échelle, s'inscrire dans l'effort impérieux
773 de préservation, puis de réconciliation avec la biodiversité.

774 L'environnement naturel revêt une valeur intrinsèque qui désormais motive les acteurs, face
775 aux enjeux de survie de l'humanité, à améliorer notre projet d'habiter la terre. Il y a urgence.
776 Le passage de l'Homo consommateur à l'Homo conservateur, gestionnaire responsable de
777 cette belle maison commune n'est plus une option, c'est notre avenir.

778

779

780 **Bibliographie**

781 AMARA R., 2010. Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des
782 écosystèmes marins. Exemple de la Manche-mer du nord, *VertigO - la revue électronique en*
783 *sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 8 | octobre 2010, mis en ligne le 04 octobre
784 2010, consulté le 10 mars 2021. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/10129> ; DOI :
785 10.4000/vertigo.10129

786 AUDÈRE M., ROBIN M., 2021. Assessment of the vulnerability of sandy coast to erosion (short
787 and medium term) for coastal risk mapping (Vendée, W France), *Ocean and coastal*
788 *management*, vol. 201, n°1, p. 1-15.

789 AVDEEW, M. d', 2021. Émergence de la compétence GEMAPI à l'échelon local : d'une
790 défense « dure » à une défense « douce » contre le risque inondation ? Mémoire de M2,
791 Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, p.

792 BERNARD N., 2016. Géographie du nautisme, Rennes, PUR, 341 p.

793 BIGARD C., REGNERY B., PIOCH S., THOMPSON J. D., 2018. De la théorie à la pratique de la
794 séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC): éviter ou légitimer la perte de biodiversité ?,
795 *Développement durable et territoires*, vol. 9, n°1, DOI :
796 10.4000/developpementdurable.12032.

797 BIGARD C., THIRIET P., PIOCH S., THOMPSON J.D., 2020. Strategic landscape-scale planning
798 to improve mitigation hierarchy implementation: An empirical case study in Mediterranean
799 France, *Land Use Policy*, vol. 90, DOI : 10.1016/j.landusepol.2019.104286.

800 BOUCHON C., BOUCHON-NAVARO Y., DE LAVIGNE S., CORDONNIER S., 2018. *Suivi des*
801 *communautés marines zones de mouillages et d'équipements légers (ZMEL) en mouillages*
802 *éco-récifs commune de Deshaies*, Rapport, Université des Antilles, Borea et Caraïbes Aqua
803 Conseil, 40 p.

804 BULL J. W., SUTTLE K. B., GORDON A., SINGH N. J., MILNER-GULLAND E. J., 2013.
805 Biodiversity offsets in theory and practice, *Oryx*, vol. 47, n°3, p. 369-380.

806 BULLERI, F., CHAPMAN, M. G., 2010. The introduction of coastal infrastructure as a driver of
807 change in marine environments, *Journal of Applied Ecology*, vol. 47, n°1, 26-35.

- 808 CABIOCH B., 2023. *Les grandes villes littorales et leurs plages. Une approche par les*
809 *politiques publiques de gestion à Marseille, Barcelone et Valence*, Thèse de doctorat en
810 géographie, Aix-Marseille Université, 371 p.
- 811 COHEN-SHACHAM E., WALTERS G., JANZEN C., MAGINNIS S., (eds.), 2016. *Nature-based*
812 *solutions to address global societal challenges*, Gland, IUCN, 97 p.
- 813 COOMBES, M. A., LA MARCA, E. C., NAYLOR, L. A., THOMPSON, R. C., 2015. Getting into
814 the groove: opportunities to enhance the ecological value of hard coastal infrastructure using
815 fine-scale surface textures, *Ecological Engineering*, vol. 77, p. 314-323.
- 816 COURTEJOIE N., 2014. *La séquence « éviter, réduire et compenser », un outil de préservation*
817 *des milieux naturels*, Paris, Ministère de la Transition Ecologique, CGDD, coll. Le point sur,
818 n° 184, 4 p.
- 819 CGDD, 2021. *Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique*
820 *guide de mise en œuvre*, Paris, Ministère de la Transition Ecologique, OFB et CEREMA,
821 149 p.
- 822 CGPM., 2020. *La situation des pêches en Méditerranée et en mer Noire*, FAO, 20 p.
- 823 DESSE M., CHARRIER S., 2017. La grande plaisance, un secteur économique en plein essor.
824 *Études caribéennes*, n°36., DOI : 10.4000/etudescaribeennes.10562
- 825 DESSE M., 2022. *La commune balnéaire en 2050*, Université Virtuelle Environnement et
826 Développement Durable UVED, URL : <http://uved.univ-nantes.fr/SBD50/index.html>
- 827 DOODY J.P., 2004. Coastal squeeze?—an historical perspective, *Journal of Coastal*
828 *Conservation*, vol. 10, n°1, 129-138.
- 829 DOUSSAN I., 2014. Pour une "vision renouvelée" de la biodiversité, *Droit de l'environnement*,
830 n° 228, p. 284.
- 831 DUARTE C. M., AGUSTI S., BARBIER E., BRITTEN G. L., CASTILLA J. C., GATTUSO J. P. *et al.*,
832 2020. Rebuilding marine life, *Nature*, vol. 580, n°7801, p. 39-51.
- 833 FERNANDES, J. P., GUIOMAR, N., 2018. Nature-based solutions: The need to increase the
834 knowledge on their potentialities and limits, *Land Degradation & Development*, vol. 29, n°6,
835 p. 1925-1939.

836 GAUFF, R. P., JOUBERT, E., CURD, A., CARLIER, A., CHAVANON, F., RAVEL, C.,
837 BOUCHOUCHA, M., 2023. The elephant in the room: Introduced species also profit from refuge
838 creation by artificial fish habitats, *Marine Environmental Research*, vol. 185, DOI :
839 10.1016/j.marenvres.2022.105859.

840 GUTLEBEN, C., 2020. Les solutions fondées sur la nature, in Clergeau P. (dir.), *Urbanisme et*
841 *Biodiversité. Vers un Paysage Vivant Structurant le Projet Urbain*, p.57.

842 JACOB, C., PIOCH, S., THORIN, S., 2016. The effectiveness of the mitigation hierarchy in
843 environmental impact studies on marine ecosystems: A case study in France, *Environmental*
844 *Impact Assessment Review*, vol. 60, p. 83-98.

845 JUIGNER M., 2017. *La Géomatique au service de l'observation du trait de côte. Contribution*
846 *à l'étude des aléas côtiers sur les littoraux dunaires de la région Pays de la Loire (France)*,
847 Thèse de doctorat en Géographie, Université de Nantes, 230 p.

848 FRANCIS R. A., LORIMER J., 2011. Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs
849 and walls, *Journal of environmental management*, vol. 92, n°6, 1429-1437.

850 FIRTH, L. B., AIROLDI, L., BULLERI, F., CHALLINOR, S., CHEE, S. Y., EVANS, A. J., HAWKINS,
851 S. J., 2020. Greening of grey infrastructure should not be used as a Trojan horse to facilitate
852 coastal development, *Journal of Applied Ecology*, vol. 57, n°9, 1762-1768.

853 GOBERT J., 2010. Éthique environnementale, remédiation écologique et compensations
854 territoriales : entre antinomie et correspondances, *VertigO, la revue en sciences de*
855 *l'environnement*, vol. 10, n° 1, DOI : 10.4000/vertigo.9535.

856 GOELDNER-GIANELLA, L., 2013, *Dépoldériser en Europe Occidentale - Pour une géographie*
857 *et une gestion intégrée du littoral*, Publications de la Sorbonne, Territoires en mouvement,
858 Paris, 350 p.

859 GREEN, R. H., 1979. *Sampling design and statistical methods for environmental biologists*,
860 New York, John Wiley & Sons, 272 p.

861 HITIER B, RATISKOL G, L'HEVEDER J., 2010. *Evaluation de la fréquentation des zones de*
862 *pêche à pied sur le littoral Loire-Bretagne. Résultats des campagnes menées en 2009 sur le*
863 *littoral compris entre la baie du Mont-Saint-Michel (Ille et Vilaine) et la pointe de*

864 *Châtelaiillon (Charente-Maritime)*, Nantes, IFREMER/LETG UMR 6554 CNRS, 54 p. +
865 annexes.

866 JAVEL, F., THIBAUT, T., GRONDIN, J., BLANFUNÉ, A., 2012. CYSTORE. *Valorisation*
867 *écologique des ouvrages maritimes par la transplantation des algues du genre Cystoseira*,
868 poster, Colloque Euro-méditerranéen sur les récifs artificiels, Marseille, URL :
869 https://www.researchgate.net/publication/281386204_CYSTORE_Valorisation_ecologique_d
870 [es_ouvrages_maritimes_par_la_transplantation_des_algues_du_genre_Cystoseira](https://www.researchgate.net/publication/281386204_CYSTORE_Valorisation_ecologique_d)

871 KERGUILLEC R, AUDÈRE M, BALTZER A, DEBAINE F, FATTAL P, JUIGNER M, LAUNEAU P, LE
872 MAUFF B, LUQUET F, MAANAN M, POUZET P, ROBIN M, ROLLO., 2019. Monitoring and
873 management of coastal hazards: Creation of a regional observatory of coastal erosion and
874 storm surges in the pays de la Loire region (Atlantic coast, France), *Ocean and Coastal*
875 *Management*, vol. 181, DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2019.104904.

876 LACROIX, D., PIOCH, S., 2011. The multi-use in wind farm projects: more conflicts or a win-
877 win opportunity ?, *Aquatic Living Resources*, vol. 24, n°2, 129-135.

878 LATUNE, J., LEVREL, H., FRASCARIA-LACOSTE, N., 2019. Où en est la France en matière de
879 compensation écologique ? *Cybergeog: European Journal of Geography*, DOI :
880 10.4000/cybergeog.33228.

881 MEDAM, 2020. *Côtes méditerranéennes françaises. Inventaire et impact des aménagements*
882 *gagnés sur le domaine marin*, Site consulté le 17/06/2021, URL : <http://www.medam.org/>

883 MEINESZ A, ASTIER J-M, BELLONE E, LEFEVRE J-R, GENOT I, HESSE B, VITIELLO., 1991.
884 *Impact des aménagements gagnés sur la mer sur les côtes françaises de la Méditerranée*,
885 *Actes du colloque. Le littoral, ses contraintes environnementales et ses conflits d'utilisation*,
886 *Nantes, Université de Nantes.*

887 MICHEL P., 2001. *L'étude d'impact sur l'environnement : objectifs, cadre réglementaire*,
888 *conduite de l'évaluation*, Paris, Ministère de l'aménagement du territoire et de
889 l'environnement, 124 p.

890 MIOSSEC, A. 1995. Le traitement du recul de la ligne de rivage en France : pratiques sociales
891 autour d'un problème de nature, *Norois*, vol. 165, n°1, p. 153-172.

892 MÜLLER A., 2017. *La séquence « éviter, réduire et compenser », un dispositif consolidé,*
893 Paris, Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Thema, URL :
894 [http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0086/Temis-](http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0086/Temis-0086377/THEMA_22.pdf)
895 [0086377/THEMA_22.pdf](http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0086377/THEMA_22.pdf) Consulté le 26 mars 2021.

896 PIOCH S., SAUSSOLA P., KILFOYLEB K., SPIELER R., 2011. Ecological design of marine
897 construction for socio-economic benefits: Ecosystem integration of a pipeline in coral reef
898 area, *Procedia Environmental Sciences*, n°9, p. 148-152.

899 PIOCH S., 2017. *Vers une nouvelle gouvernance côtière entre aménagement et*
900 *environnement ? La compensation des impacts de l'homme sur l'environnement dans les*
901 *projets d'aménagements maritimes*, HDR en géographie et aménagement, Université Paul
902 Valéry Montpellier 3, vol. X, p.

903 PIOCH S., LÉOCADIE A., 2017. *Overview on eco-moorings facilities: commented bibliography.*
904 *International Coral Reef Initiative (ICRI)*, Foundation for the Research on Biodiversity
905 (FRB), rapport, 19 p.

906 PIOCH S., RELINI G., SOUCHE J. C., STIVE M. J. F., DE MONBRISON D., NASSIF S., SIMARD F.,
907 STIVE M., SPIELER R., KILFOYLE, K., 2018. Enhancing eco-engineering of coastal
908 infrastructure with eco-design : Moving from mitigation to integration, *Ecological*
909 *Engineering*, vol. 120, 574-584.

910 PIOCH, S., SOUCHE, J. C., 2021. *L'écoconception des infrastructures maritimes : Vers un*
911 *aménagement intégré à l'environnement*, Londres, ISTE Group, 275 p.

912 QUÉTIER F., REGNERY B., LEVREL H., 2014. No net loss of biodiversity or paper offsets? A
913 critical review of the French no net loss policy, *Environmental Science & Policy*, vol. 38, 120-
914 131.

915 REY, F., BRETON, V., BREIL, P., MÉRIAUX, P. 2018. Les solutions fondées sur la nature pour
916 accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques,
917 *Sciences Eaux Territoires*, vol. 2, n° 26, 36-41.

- 918 ROBERT S., TRÉMÉLO M.L., 2018. *Analyse spatiale des pratiques des usagers de trois plages*
919 *urbaines de Marseille*, poster, merIgéO, Aix-en-Provence, URL :
920 <https://www.hal.inserm.fr/LABEX-DRIIHM/hal-01746087v1>
- 921 ROBERT S., PLOUVIER T., 2017. Lieux et pratiques de la plongée sous-marine sur la côte
922 marseillaise : pour une approche géographique intégrée de l'espace marin littoral, *Vertigo*,
923 DOI : 10.4000/vertigo.18529.
- 924 ROSENZWEIG, M. L., 2003. Reconciliation ecology and the future of species diversity, *Oryx*,
925 vol. 37, n°2, 194-205.
- 926 SALAÜN, J., PIOCH, S., DAUVIN, J. C., 2022. Les récifs artificiels, un outil évolutif pour
927 l'aménagement du milieu marin: approche géographique en France métropolitaine, *Noroi*,
928 vol. 263, n°2, p. 7-29.
- 929 SALGUES M., PIOCH S., SOUCHE J.C., DE WEERDT K., 2020. L'écoconception maritime : une
930 révolution pour les maitres d'ouvrages, *Revue Paralia*, vol. 13, DOI :10.5150/revue-
931 paralia.2020.n01.
- 932 SOUCHE, J. C., LE SAOUT, G., SALGUES, M., PIOCH, S., 2016. Effets de bétons bio-actifs sur
933 la colonisation marine en environnement méditerranéen, *Matériaux & Techniques*, vol. 104,
934 n°5, DOI : 10.1051/mattech/2016033.
- 935 SYNTEC INGENIERIE, 2010. Ingénierie – Eco-conception, *Les cahiers de l'ingénierie de*
936 *projet*, n° 79, 48 p.
- 937 THIBAUT T., MARKOVIC L., BLANFUNÉ A., 2011. *Préfiguration du réseau macroalgues –*
938 *Bassin Rhône Méditerranée Corse – Application de la directive Cadre Eau, rapport d'état*
939 *écologique des masses d'eau. Littoral rocheux de la Corse*, Contrat Agence de l'Eau RMC –
940 Unsa, 22 p. + Atlas cartographique.
- 941 VIARD J., 2006. *Eloge de la mobilité. Essai sur le capital temps libre et la valeur travail*, La
942 Tour-d'Aigues, Editions de l'Aube, 251 pages.
- 943 VIVIER B., 2021. *Rôle de la colonisation d'infrastructures marines sur la production et la*
944 *biodiversité des écosystèmes côtiers en Manche*, Thèse de doctorat en biologie, Université de
945 Caen Normandie, 318 p. + Annexes.

946 WEISBEIN J., 2016. Défendre le littoral en croisant les expertises. Le cas des Gardiens de la
947 côte, *Noréis. Environnement, aménagement, société*, vol. 238-239, n°1-2, p. 97-108.

948 ZIELINSKI S, BOTERO C, YANES A., 2019. To clean or not to clean? A critical review of beach
949 cleaning methods and impacts, *Marine pollution bulletin*, volume 139, p. 390-401, DOI :
950 10.1016/j.marpolbul.2018.12.027.

951 ZU ERMGASSEN, S. O. S. E., UTAMIPUTRI, P., BENNUN, L., EDWARDS, S., BULL, J. W., 2019.
952 The role of “no net loss” policies in conserving biodiversity threatened by the global
953 infrastructure boom, *One Earth*, vol. 1, n°3, 305-315.

954

955 Liste des Figures et tableau :

956 [Figure 13](#) : Pressions anthropiques et facteurs d'érosion de la biodiversité littorale.

957 **Figure 1: human pressures and biodiversity losses**

958

959 [Figure 14](#) : Surfaces gagnées sur la mer par type d'aménagement depuis 1800 (adapté de
960 www.medam.org)

961 **Figure 2: Surfaces reclaimed from the sea by type of development since 1800**

962

963 Tableau 2 : L'artificialisation des littoraux français en 2016 (MEDAM, 2020)

964 **Tableau 1: French coastal artificialization (MEDAM, 2020)**

965

966 [Figure 15](#) : Séquence ERC définitions et finalité du « Pas de Perte Nette » ou PPN (adapté de
967 Müller, 2017)

968 **Figure 3: Avoid Reduce Offset (ARO) sequence, definition and objective of the « no
969 net loss » (adapted from Muller et al., 2017)**

970

971 [Figure 16](#) : Options stratégiques d'aménagement avec la séquence ERC et l'objectif français
972 actuel de l'absence de perte nette de biodiversité fixé par la loi RBNP de 2016 (adapté de Bull
973 et al., 2013)

974 **Figure: 4 Strategic options of planning with ARO sequence and the No net loss
975 concept (adapted from Bull et al., 2013)**

976

977 [Figure 17](#) : Méthodologie d'écoconception des projets (flèche bleu du haut) par rapport à
978 l'approche classique intégrant l'environnement tardivement (flèche du bas). La démarche
979 d'écoconception commence dès la première phase de conception, au niveau des esquisses.
980 Alors que les considérations environnementales sont actuellement introduites au plus tôt à la

981 phase avant-projet (AVP) pour éviter, réduire ou compenser les impacts négatifs
982 d'infrastructures, de fait, peu intégrées au milieu naturel (Pioch et al., 2018)

983 **Figure 5: Ecodesign methodology for infrastructures (top blue arrow) compared to the**
984 **classic approach integrating lately the environment (bottom arrow). The eco-design process**
985 **begins in the first design phase, at the level of preliminary design. While environmental**
986 **considerations are currently introduced at the earliest during the detail design (AVP) to**
987 **avoid, reduce or offset for the negative impacts of infrastructures, which are in fact poorly**
988 **integrated into the natural environment (Pioch et al., 2018)**

989 Figure 18 : A gauche lest de mouillage « classique » de forme cubique sans fonction
990 écologique ni réflexion paysagère, à droite lest de mouillage écoconçu, avec un design bio-
991 inspirée des racines de mangroves aux formes mieux intégrées au paysage sous-marin
992 (photos : S. Pioch)

993
994 **Figure 6: Left « regular » mooring system, cubic design without ecological nor habitat**
995 **functions target, on right eco-mooring system with a design mimicking mangrove roots (S.**
996 **Pioch)**

997
998 Figure 19 : A gauche, schéma de la définition des solutions fondées sur la nature (SFN)
999 proposé par l’UICN, où les infrastructures sont citées comme terrain d’application et à droite
1000 les 8 critères permettant de définir et d’utiliser des SFN (schémas IUCN© adapté de Cohen-
1001 Shacham et al., 2016).

1002 **Figure 7: To the left, diagram of nature-based solutions (NBS) definition proposed by IUCN, where**
1003 **infrastructures are cited as field of application and to the right 8 criteria to define and apply NBS (Cohen-**
1004 **Shacham et al., 2016).**

1005

1006 Figure 20 : Trois principaux types de SFN sont définis, différant par le niveau d'ingénierie ou de gestion appliqué à la
1007 biodiversité et aux écosystèmes (axe des abscisses), et par le nombre de services fournis, le nombre d'acteurs ciblés et le
1008 niveau probable de maximisation des services ciblés (axe des ordonnées) (Eggermont et al., 2015)

1009 **Figure 8: Three main types of NBS are defined, differing in the level of engineering or**
1010 **management applied to biodiversity and ecosystems (x-axis), and in the number of services**
1011 **to be delivered, the number of stakeholder groups targeted, and the likely level of**
1012 **maximization of the delivery of targeted services (y-axis).**

1013
1014 Figure 9 : Lests classiques de canalisation ou de câbles sous-marins cubiques à gauche et lests
1015 écoconçus « bio-inspirés » à droite avec sur la photo au premier plan une « patate » de corail
1016 et à l’arrière plat un éco-cavalier (Photos : à gauche S. Delaplace, droite Egis eau, dessin
1017 conception S. Pioch réalisation J.L. Feron)

1018 **Figure 9: Regular pipe and cubic mooring for submarine pipeline on the left and eco-**
1019 **designed “bio-inspired” mooring on the top right with a coral formation in the**
1020 **foreground in bottom right (Pictures: to the left S. Delaplace, to the right Egis eau,**
1021 **scheme design S. Pioch drawing J.L. Feron)**

1022

1023 Figure 10 : A gauche principe de fonctionnement des récifs artificiels de design « classique »
1024 (source : Ifremer), à droite RA bio-inspiré et en comparaison sur la photo les roches naturelles
1025 qui ont servis de modèle (photos : OEC, Alexandra Agostini).

1026 **Figure 10: On the left, artificial reefs system and the "regular" design (source:**
1027 **Ifremer), on the right bottom bio-inspired RA and right top natural rocks which**
1028 **served as model (photos: OEC, Alexandra Agostini)**

1029 Figure 1121 : Élévation des caissons avec les solutions A1 d'écoconception pour
1030 l'amélioration de l'insertion de l'ouvrage dans l'environnement monégasque (source :
1031 gouvernement princier).

1032 **Figure 11: Elevation of the caissons with eco-designed solutions A1 to improve the**
1033 **integration of the structure into the Monegasque environment (source: Princely**
1034 **Government).**

1035
1036 *Figure 12 : Localisation des sites littoraux et maritimes français utilisant des ouvrages*
1037 *écoconçus à un stade opérationnel (non expérimental) au 1/01/2020.*

1038 **Figure 12: Location of French coastal and maritime sites using eco-designed**
1039 **structures at an operational stage (non-experimental) at 1/01/2020**

1040