

Solutions béton

La continuité écologique des cours d'eau	P. 2
Les passes à poissons	P. 3
L'anguille, des Sargasses au Roubion	P. 4
La biodiversité, dans une logique « gagnant-gagnant »	P. 5
Des récifs artificiels : pourquoi, où, comment ?	P. 6
Des modules à assembler	P. 7
Le début d'une grande aventure	P. 8



Le béton, comme un poisson dans l'eau

Les **qualités du béton** en ont fait depuis longtemps un matériau clé dans les aménagements fluviaux et maritimes : solidité, résistance, neutralité chimique. Les aménagements des rivières, des ports et du littoral ont souvent été conduits sans précaution pour l'environnement, mais les temps ont changé. Dans une première étape, l'étude d'impact sur l'environnement, créée en France par la loi de 1976 sur la protection de la nature, proposait une attitude défensive de lutte contre les dégâts qu'un aménagement pouvait provoquer. Cette posture est aujourd'hui renforcée par une approche « offensive ».

Comment faire pour que les aménagements, outre leur fonction spécifique, contribuent à la qualité de l'environnement ? Le béton a tous les arguments pour relever un tel défi. Il faut toutefois que cette préoccupation, du « double dividende », soit présente dès l'origine de chaque projet, et que tous les acteurs soient mobilisés ensemble sur cette ambition. Sous cette réserve, qui est aussi la voie de la qualité, le béton s'épanouit dans l'eau, comme un poisson.

Texte : Dominique Bidou, Patrick Guiraud

La continuité écologique des cours d'eau

Photo : © Thierry Degen/METL-MEDDE



→ Chaussée déversoir de Saint-Pierre-de-Maillé sur la Gartempe.

Il s'agit ici de la « trame bleue », sœur jumelle et inséparable de la « trame verte », née de la loi Grenelle 1 (article 24), au titre de la biodiversité. La trame bleue concerne les rivières et autres zones humides. Les cours d'eau constituent des couloirs pour la vie aquatique, mais aussi pour la vie de nombreux animaux qui leur sont inféodés, notamment les amphibiens, et ceux qui colonisent les berges. Les obstacles à l'écoulement des eaux peuvent entraîner une série de dérèglements, tels que la hausse de la température et des proliférations algales, avec des conséquences sur toute la vie aquatique et subaquatique. Depuis l'antiquité, les rivières ont été aménagées. Tantôt pour qu'elles deviennent franchissables, tantôt pour produire de l'énergie, rendre possible la navigation, prélever et stocker de l'eau pour les besoins humains et l'irrigation, lutter contre des inondations, créer des étangs

pour la pisciculture, etc. Ces ouvrages, dont une bonne partie a été abandonnée depuis des années, ont laissé des traces. Les seuils et les barrages sont nombreux sur les cours d'eau : de l'ordre de 60 000 pour toute la France. Dans le prolongement de la directive européenne 2000/60/CE et de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006, la loi Grenelle 1 (article 29) fixe des objectifs ambitieux de rétablissement des continuités. « ...atteindre ou conserver, d'ici 2015, le bon état écologique ou le bon potentiel pour les masses d'eau superficielles ; en particulier l'aménagement des obstacles les plus problématiques pour la migration des poissons sera mis à l'étude ». Au terme de ce délai, les 2/3 des masses d'eau devront avoir retrouvé une bonne santé, et pour cela leur continuité.

L'inventaire des seuils et des barrages a été lancé et l'Office National

de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) a mis en place, avec ses partenaires, un Référentiel des Obstacles à l'Écoulement¹ (ROE). L'objectif est de constituer une banque de données, contenant les données essentielles et communes à l'ensemble des acteurs de l'eau et de l'aménagement du territoire. Le référentiel ROE permet de visualiser la position des obstacles sur des cartes ou sur des photographies aériennes et de télécharger les données de chaque ouvrage. Il sera enrichi d'une base de données sur la continuité écologique (ICE) des ouvrages, avec les possibilités de leur franchissement par les espèces piscicoles et le risque d'impact sur le transport sédimentaire.

UN DÉFI MAJEUR

La restauration de la continuité écologique des cours d'eau est une des conditions pour atteindre le bon état des eaux et protéger la biodiversité. Sa réalisation d'ici à 2015 constitue

¹ – Disponible sur le site [Eaufrance](http://eaufrance.fr).

un défi majeur et implique une action coordonnée de l'ensemble des acteurs de l'eau.

DE NOMBREUX OUVRAGES À CONSTRUIRE

Dans certains cas, il s'agira d'effacer tel ou tel ouvrage aujourd'hui abandonné, notamment de vieux moulins. Dans d'autres, ce sera la construction d'ouvrages spécifiques pour rétablir les continuités : échelles à poissons pour la « montaison », ou canaux dédiés à la « dévalaison ». Il faut en effet permettre aux cycles naturels des poissons, notamment pour leur reproduction, de se réaliser sans obstacle. Les adultes remontent pondre dans des frayères en amont, et il faut éviter que la descente des jeunes poissons soit retardée, pour qu'ils ne deviennent pas la proie de plus gros qu'eux ou d'oiseaux tels que les cormorans, et qu'ils ne passent à travers des turbines où la moitié d'entre eux sont tués. De nombreux ouvrages de franchissement devront donc être construits au cours des prochaines années. ■

Qu'est-ce que la continuité écologique ?

Notion introduite en 2000 par la directive cadre sur l'eau, la continuité écologique d'un cours d'eau est définie comme la libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri, le bon déroulement du transport naturel des sédiments ainsi que le bon fonctionnement des réservoirs biologiques (connexions, notamment latérales, et conditions hydrologiques favorables). ■

(Article R214-109 du code de l'environnement définissant un obstacle à la continuité écologique).

Remerciements

De nombreuses bonnes fées se sont penchées sur le berceau de ce numéro de *Solutions béton*. Fabien Aigoui (Grontmij Environnement & Infrastructures) ; Jean-Marc Beynet, Consultant ; Jean-Michel Bocognano (Grand Port Maritime de Marseille) ; Michel Cavaillès, (Port-Camargue) ; Étienne Clamagirand (Architeuthis) ; Sylvain Colot (ASF) ; Didier Grosdemange (IN VIVO) ; Gil Chartier (RCA) ; Jean-Yves Jouvenel (P2A Développement) ; Philippe Lenfant (université de Perpignan) ; Frédéric Martareche (Seaboost) ; David de Monbrison (BRL Ingénierie) ; Martin Perrot (EGIS Eau) ; Julie Person (Pôle Mer Méditerranée) ; Sylvain Pioch (université de Montpellier) ; Jean-Claude Souche (École des mines d'Alès) ; Benoît Thauvin (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc). Qu'elles soient remerciées chaleureusement.

Les passes à poissons

Photo : VNF



→ Passe à poissons de Chatou vue de dessus.

Quand les obstacles aux mouvements des poissons ne peuvent être éliminés, notamment quand il s'agit d'ouvrages hydrauliques en exploitation, le rétablissement de la continuité écologique est obtenue par des passes à poissons. Ce sont des équipements destinés à accompagner les poissons dans leur remontée du courant, adaptés aux caractéristiques de chaque espèce.

Les passes à poissons peuvent être aménagées sur de grands fleuves, comme sur les petites rivières. Sur la Seine, par exemple, les sept barrages de navigation entre Paris et Rouen seront à terme équipés d'une passe à poissons : Notre-Dame-de-la-Garenne, Méricourt, Andrézy, Chatou, Bougival et Suresnes. Les passes sont construites en même temps que les barrages, ou à l'occasion de travaux de modernisation. Celle de Chatou sera mise en service au printemps 2014. Elle s'insère au pied de la pile rive gauche du barrage, et permet aux poissons de franchir un dénivelé de 3,5 m, grâce à une série de 16 bassins successifs de 3,10 x 2,65 m. Les parois entre les bassins présentent une fente verticale permettant un débit de 1 m³/seconde, avec une chute de 20 cm entre chaque bassin. La morphologie du parcours a été étudiée pour s'adapter à toutes les espèces de poissons, y compris les anguilles. Des vannes à l'amont et à l'aval permettent de réguler le débit. Elles sont automatiquement gérées par

l'automate du barrage et fonctionnent grâce à des capteurs de niveau d'eau. Le béton utilisé est le même que pour les piles du barrage, afin de conserver une unité esthétique.

LES TYPES DE PASSES À POISSONS

La passe à poissons de Chatou appartient à la famille des bassins successifs. Une série de bassins en béton, avec un passage aménagé de manière à limiter l'effort demandé aux poissons et à le répartir sur une série de petites chutes plutôt qu'une seule, qui serait hors de portée. Ce type de passe à poissons, d'une pente de 5 à 10 %, est recommandé quand il faut prendre en compte de nombreuses espèces de poissons. La passe sera conçue en fonction de l'espèce la plus exigeante. On peut

jouer sur une série de paramètres selon la nature du site, du risque de sédimentation et de blocage de corps flottants qui obstrueraient les points de passage, et des espèces de poissons. Il existe des bassins à échancrures déversantes, à « jet plongeant » ou « jet de surface », à fentes verticales, et il y a mille manières de les disposer, au milieu ou le long des parois par exemple. Nous sommes dans le domaine du sur-mesure, et chaque passe nécessite une étude particulière associant le biologiste à l'hydraulicien. Outre sa robustesse et sa neutralité dans le milieu, le béton offre une grande souplesse de mise en œuvre et s'adapte à toutes les exigences.

Pour les pentes plus importantes, jusqu'à 20 %, les « échelles à ralentisseur » peuvent être installées. Ce sont des déflecteurs de formes plus ou moins complexes disposés sur le fond et/ou sur les parois d'un canal. Ils réduisent la vitesse moyenne du flux et créent des courants hélicoïdaux qui dissipent l'énergie au sein de l'écoulement. Ces passes restent plus sélectives, et sont utilisées quand il s'agit essentiellement de salmonidés. Enfin, si on met à part les écluses et les ascenseurs à pois-

sons qui relèvent d'une autre logique, il y a les passes à anguilles. À l'inverse des saumons et de la plupart des espèces amphibiotiques, qui passent de l'eau salée à l'eau douce, les anguilles frayent en mer, et ce sont les alevins qui remontent les rivières. Ils ne disposent guère de capacité de nage, et procèdent soit par opportunisme, avec les courants, soit par reptation. Les passes à anguilles se composent d'une rampe, où elles progressent en rampant, et d'un bassin amont en marge du courant, pour éviter qu'elles ne soient entraînées vers l'aval une fois parvenues en haut de la rampe. Les rampes peuvent consister en un tapis artificiel de type brosse, adapté aux civelles, ou en un revêtement de type « macroplots », décrit dans le *Guide passes à poissons* de VNF¹. « Il est composé de dalles en béton parsemées de plots plus ou moins tronconiques assurant un appui lors de la reptation de l'anguille. Par conception, l'écartement des plots est plus important que celui des soies sur les brosses (30 à 40 mm) ce qui conduit à ne retenir ce substrat que pour les anguillettes et anguilles. » ■

1 – Réalisé par le CETMEF pour VNF.

Le principe des passes à poissons



Le principe général des dispositifs de franchissement consiste à attirer les migrants en un point déterminé du cours d'eau à l'aval de l'obstacle et à les inciter, voire à les obliger à passer en amont, en leur ouvrant une voie d'eau (passes à poissons *stricto sensu*) ou en les piégeant dans une cuve et en déversant celle-ci en amont (ascenseurs et systèmes de piégeage et de transport).

Pour qu'une passe puisse être considérée comme efficace, le poisson doit en trouver l'entrée, la franchir sans retard, stress ou blessures préjudiciables à sa migration vers l'amont. La conception d'un dispositif de franchissement doit prendre en compte certains aspects du comportement des espèces migratrices. En particulier, son efficacité est fortement liée aux conditions hydrodynamiques et au respect de vitesses appropriées dans l'ouvrage. Les vitesses doivent rester compatibles avec les capacités de nage des espèces concernées : les passes doivent permettre le passage de tous les individus et pas uniquement celui des « athlètes ». ■

Extrait de *Passes à poissons, expertise et conception des ouvrages de franchissement*, de M. Larinier, J.-P. Porcher, F. Travade et G. Gosset, collection « Mises au point ».

L'anguille, des Sargasses au Roubion

Photo : Grontmij



→ La passe à poissons sur le Roubion.

Chaque situation exige une réponse particulière. Il y a donc, à partir des grands types de passes à poissons, une infinité d'ouvrages différents, étudiés et réalisés en fonction d'une analyse fine du contexte et des objectifs poursuivis. L'éventail est large, entre les grandes passes à poissons sur les fleuves, comme celle de Gamsheim sur le Rhin, et de nombreuses autres plus modestes,

sur le chevelu des cours d'eau. Les ouvrages sont réalisés pour l'immense majorité d'entre eux avec du béton, qui garantit leur stabilité et permet de s'adapter à toutes les spécifications souhaitées par leurs concepteurs.

Prenons le cas de la passe à poissons sur le Roubion, dans la Drôme. Dans le cadre de la mise en place du programme de requalification envi-

ronnementale de son réseau et des aménagements en faveur de la biodiversité, ASF s'est engagé à créer une passe à poissons pour restaurer une libre circulation amont-aval du Roubion. En effet, au moment de la construction de l'autoroute A7, un seuil avait été créé pour protéger l'autoroute des crues du Roubion. Ce seuil de plus de 2,5 m était infranchissable pour les poissons et les mammifères terrestres comme la loutre.

UNE SOMME D'EXPERTISE

Pour la définition et la conception de cet ouvrage, les services d'ASF (Direction Opérationnelle de l'Infrastructure Est et Direction Technique de l'Infrastructure) se sont appuyés sur l'expertise terrain et le conseil de nombreux partenaires dont l'ONEMA, l'Agence de l'eau, le bureau d'études Naturalia, la LPO 26, la Fédération Départementale de la Pêche, le Syndicat de Rivière Jabron/Roubion, l'Association Migrateurs Rhône Méditerranée, la DDT 26, le

bureau d'études Ginger environnement et Berthouly TP constructeur. C'est la somme de l'expertise de toutes ces parties prenantes qui a permis la réalisation de l'ouvrage et un chantier respectueux du cours d'eau.

UNE CONVERGENCE D'INTÉRÊTS ÉCOLOGIQUES

La passe à poissons sur le Roubion s'intègre en tant qu'ouvrage prioritaire dans un Plan de gestion anguille animé au niveau national. Le Roubion est un lieu de convergence de nombreux intérêts écologiques. Ce site fait également partie du réseau Natura 2000. Il a été identifié par l'ONEMA et inscrit dans les obstacles à l'écoulement des eaux sur les cours d'eau (Eau France). L'ouvrage a également été conçu pour être adapté aux franchissements d'espèces semi-aquatiques, telles que le castor et la loutre d'Europe, grâce à une banquette surélevée sur le côté (petit chemin au sec). ■

Témoignage

SYLVAIN COLOT, *conducteur d'opérations, réseau ASF*

Nous étions face à un seuil de 2,5 m de haut, empêchant toute progression de l'anguille à contre-courant, et notre objectif premier était de lui permettre de remonter le cours d'eau.

Nous avons opté pour la conception d'une passe à poissons linéaire de type rustique. Il s'agit en fait d'un ouvrage linéaire rugueux, avec une microrugosité de fond, et une macrorugosité réalisée sous forme de plots pour casser les débits. La passe a une forme de rampe en béton avec une pente douce (5 % maximum), et un bassin de repos en

son milieu. Afin de faciliter l'entretien de cet ouvrage, nous avons également recherché un dispositif limitant les embâcles, phénomène commun lors des épisodes pluvieux du fait du caractère méditerranéen de la rivière.

Un bureau d'études spécialisé nous a assistés pour la conception de cette passe à poissons. C'est un savoir-faire particulier, d'autant plus que nous avons souhaité rendre cette passe à poissons efficace 95 % de l'année.

Nous sommes dans une zone naturelle dite Natura 2000. Nous

avons donc des obligations environnementales strictes, nécessaires à la conservation de cet espace naturel. À cela se sont ajoutées les contraintes réglementaires liées aux travaux en rivière.

Nous avons travaillé avec une entreprise locale, un « génie civiliste » qui a l'habitude de réaliser ce type d'ouvrages. Le chantier a été réalisé hors d'eau, le Roubion ayant été dévié provisoirement en amont le temps des travaux.

Le béton a été choisi car il apporte de la stabilité à l'ou-

vrage, nécessaire pour une tenue dans le temps et pour absorber les variations de régime du cours d'eau.

La conception avec ce type de matériau a permis de s'ancrer dans le sol, de se raccorder à des palplanches d'un côté, et à des enrochements sur la rive de l'autre. Il a été ferrailé dans toute la masse avec des reprises au travers des plots...

À ce jour, cet ouvrage apporte entière satisfaction et son intégration dans l'environnement est parfaite. ■

La biodiversité, dans une logique « gagnant-gagnant »

Photo : © Laurent Ballesta



→ À Marseille, la nature a trouvé refuge dans la mer.

« Chaque fois que l'on met du béton dans l'eau, il faut réfléchir aux formes et aux matériaux, pour obtenir une contribution au développement de la biodiversité, en plus de l'objectif propre de l'ouvrage », affirme Martin Perrot (chef de projet en génie écologique, EGIS Eau).

L'état du milieu marin est devenu un enjeu majeur dans le monde. En Europe, la perte de la biodiversité marine fait l'objet de recommandations communautaires et plus particulièrement des Directives-Cadre sur l'Eau (2000/60/CE, adoptée le 23 octobre 2000) et sur la stratégie pour le milieu marin (2008/56/CE, adoptée le 17 juin 2008). Ajoutons les engagements du Grenelle de la mer, sur la qualité des eaux marines. Il y est notamment prévu (Engagement n° 69), parallèlement à l'instauration de la trame verte et bleue du Grenelle de l'Environnement, d'instaurer une « trame bleue marine ». Les continuités écologiques doivent être restaurées là où elles sont nécessaires, entre la terre et la mer, mais aussi au sein du milieu marin, quand des équipements ou l'appauvrissement du milieu les compromettent. Quelle que soit la référence institutionnelle, il s'agit de préserver les

milieux en bon état, et de réhabiliter les milieux dégradés, dans un contexte où les aménagements et l'implantation d'équipements sur le littoral sont en développement.

INTÉGRER AMÉNAGEMENT ET PROTECTION

Pour que les interventions humaines en mer et sur le littoral soient bénéfiques pour la biodiversité, les opérateurs cherchent à intégrer aménagement et protection. Au-delà du respect des obligations réglementaires, il s'agit de préfigurer les nouvelles pratiques d'aménagement intégré et d'innover tant sur les plans technique et conceptuel qu'en termes de concertation ou d'animation des réseaux de recherche. « Les ports et les ouvrages marins peuvent avoir un rôle bénéfique sur la biodiversité. C'est le cas notamment sur des fonds où la vie marine est pauvre. On apporte des substrats durs, solides, avec des formes adaptées qui offrent des opportunités de développement de la vie », explique Frédéric Martareche, directeur technique de Seaboost¹.

¹ – Seaboost est une filiale du groupe EGIS, créée pour l'écoconception et la construction d'ouvrages maritimes.

Les bassins portuaires sont très attractifs pour les larves au plan alimentaire, mais ne proposent que peu d'abris pour les protéger des nombreux prédateurs qui se concentrent dans ces masses d'eau et aux abords des digues. Il faut donc profiter de toutes les opportunités pour créer des conditions favorables à la biodiversité dans les ports, notamment la construction d'ouvrages en béton. Cette démarche s'inscrit dans les nouvelles missions des ports, depuis la loi de 2008 selon laquelle tout « grand port maritime » doit entrer dans une perspective de Développement Durable, et prendre en charge « la gestion et la préservation du domaine public naturel et des espaces naturels dont il est propriétaire ou qui lui sont affectés ». Comme le dit Jean-Michel Bocognano, Responsable Développement Durable au Grand Port maritime de Marseille : « La réhabilitation se fait à l'occasion de projets, quand on construit un quai ou un terminal. On intègre la fonction écologique au nouvel équipement, mais ça ne suffit pas. Nous intervenons aussi à une échelle plus vaste, sur des sites proches, même s'ils ne sont pas directement sur l'emprise du projet. » Mais à la réhabilitation, souvent nécessaire, il préfère ce qu'il appelle l'hybridation, des ouvrages neufs conçus à la fois pour satisfaire des

fonctions nautiques, et pour favoriser la biodiversité. Ses partenaires pour cela sont de grands bureaux d'études français, « qui voient naître de nouveaux marchés sur cette idée de donner des fonctions écologiques à des ouvrages qui, au départ, n'étaient pas faits pour ça ». Un point de vue partagé par les intéressés : « Dans l'écoconception d'ouvrages techniques, comme des aménagements portuaires, il n'y a pas beaucoup de références dans le monde, et la France est très bien placée. L'intégration de l'écologie dans les projets techniques a le vent en poupe », affirme Frédéric Martareche, conforté par Martin Perrot : « La France manifeste dans ce domaine une dynamique particulière. Il y a un énorme champ d'expériences et de recherches, et les Français peuvent s'y engouffrer sans complexes. Les scientifiques français sont reconnus à l'international. » ■

Photo : © Laurent Ballesta



→ Un refuge en béton pour la blennie.

La nature est aussi sous l'eau

Marseille redécouvre la mer depuis peu de temps. Il reste des enjeux naturels forts dans le port, mais ils sont sous l'eau et on ne les voit pas. C'est très important, parce qu'il n'y a pas beaucoup de nature à Marseille. Le port est ancien, et il est particulièrement riche tant par le nombre de poissons qu'on y trouve que par leur taille. ■

Jean-Michel Bocognano

Des récifs artificiels : pourquoi, où, comment ?

Une première mission de ces récifs est de protéger les fonds marins contre des agressions telles que le chalutage sauvage. S'y ajoute de plus en plus une fonction dite de production, qui consiste à offrir le gîte et le couvert à certaines espèces. Ils participent aussi à l'aménagement des ports où les eaux sont riches en nutriments mais pauvres en refuges. Les habitats artificiels permettent de le faire, et offrent une gamme de modules très étendue.

Pour Julie Person, Chef de projet Environnement marin au Pôle Mer Méditerranée, « le pôle Mer Méditerranée favorise et soutient des projets où plusieurs formes de récifs sont testées pour observer le comportement de différentes catégories de biodiversité marine : les larves, les juvéniles, certaines espèces de poissons. En fonction du design, on favorise une biodiversité ou une autre ».

Le béton offre à cet égard une grande souplesse, comme le souligne Jean-Marc Beynet, consultant : « Le béton, lourd et résistant à la houle, permet d'obtenir des formes coffrées optimisées en fonction de ce que les hydrobiologistes marins nous disent ».

Pour David de Monbrison, biologiste au sein de BRL ingénierie, « les récifs peuvent être ajustés dans leur forme et leur organisation en fonction des objectifs, des espèces et des moyens. Ce qui nous manque, c'est

de passer d'une approche « projet local » à une vision stratégique de grande ampleur, qui planifie sur le long terme le développement de projets avec des formes et des structures qui changent au fur et à mesure que l'on s'éloigne des côtes en construisant un lien entre nurseries côtières et récifs de production gradués en allant vers le large ».

La première préoccupation est le choix du site. « Il doit y avoir une connectivité biologique avec d'autres territoires naturels ou artificialisés. Le lien avec des herbiers ou des zones rocheuses et des aménagements est très important pour l'implantation des juvéniles, par exemple. »

ÉLOGE DE LA COMPLEXITÉ

La morphologie et l'organisation des récifs sont des leviers importants pour améliorer leur efficacité : design, volume, organisation spatiale des modules ou des groupes de modules. La complexité est importante. On peut l'obtenir de multiples manières, par exemple en créant des amas d'éléments de tailles diverses dits « chaotiques », ou en faisant éclater le béton, de manière à offrir une rugosité de l'ensemble, et une multitude de cavités et d'angosités. Cette recherche de la complexité vaut aussi pour les ports et les mâts d'éoliennes off shore.

Pour les quais existants, des structures ajoutées, permanentes ou mobiles, peuvent apporter un gain de complexité. Pour les équipements neufs, il faut prévoir dès la conception la manière de créer la rugosité et la complexité attendue. Des études particulières peuvent être envisagées pour que les formes données aux ouvrages n'affectent pas leur résistance.

IMPORTANCE DE LA COLONNE D'EAU

C'est toute la « colonne d'eau » qui est importante. Selon les étages, on trouve des juvéniles, des larves, des œufs, des plus gros poissons, etc. Les échanges entre les niveaux participent à la richesse biologique de l'ensemble. Cette gestion de la colonne d'eau n'est encore pas assez prise en considération. Par exemple pour les pylônes des éoliennes off shore. « On reste dans un système classique, d'un côté l'infrastructure, et de l'autre des récifs artificiels que l'on dispose autour. On ne valorise pas la surface du pylône lui-même, qui pourrait être traitée, et la colonne d'eau qu'il y a autour. Son effet biologique pourrait être optimisé avec un travail intégré d'un ingénieur Génie Civil et d'un biologiste », précise David de Monbrison. Philippe Lenfant, professeur à l'université de Perpignan confirme ce point de vue : « Il va y avoir des allers-retours au sujet de la résistance de l'ouvrage. Nous allons proposer des creux, des transparences qui vont fragiliser le système ; nous allons proposer des mesures de restauration complémentaires ».

D'une manière générale, la recherche peut éclairer les concepteurs des ouvrages marins. « On exploite les connaissances accumulées

depuis 20 ans dans les zones marines protégées, en termes de nurseries, d'écologie du poisson, etc. » Il souligne en outre un point qui fait l'unanimité des acteurs : « Il faut accompagner les aménagements d'un plan de gestion. L'ouvrage peut devenir un outil de surexploitation du milieu, du fait de son attractivité. »

Les récifs artificiels sont de très bons instruments de dialogue entre tous les usagers de la mer. Ils créent une capacité de sensibilisation et d'ouverture, de changement des comportements y compris dans des zones où les conflits antérieurs étaient importants. Ils offrent des possibilités de compensation pour les pêcheurs, face à l'artificialisation du littoral, les projets de dragage ou l'implantation de nouveaux équipements comme les éoliennes off shore.

DES CHAMPS D'OPPORTUNITÉS

Il n'en demeure pas moins que les récifs artificiels ne peuvent résoudre à eux tout seuls la question de l'appauvrissement de la biodiversité marine, et de la chute des prises de pêche. Les aménagements intégrés représentent des champs d'opportunités importantes : aménagements portuaires, infraportuaires, éoliennes, érosion du trait de côte. L'écoconception de ces ouvrages, récente, connaît des développements intéressants, et dont l'envergure devrait largement dépasser celle des récifs artificiels. En France, plusieurs ports, comme Marseille-Fos, Calais et Le Guilvinec, sont entrés dans cette logique, ainsi que la route littorale à la Réunion. Autant d'opportunités pour montrer les qualités écologiques du béton en mer. ■

« Les récifs artificiels désignent des structures immergées volontairement, dans le but de créer, protéger ou restaurer un écosystème riche et diversifié. Ces structures peuvent induire chez les animaux des réponses d'attraction, de concentration, de protection et, dans certains cas, une augmentation de la biomasse de certaines espèces. » IFREMER ■

Des modules à assembler

Photo : © IN VIVO



→ Immersion de caissons de 1,5 m de côté.

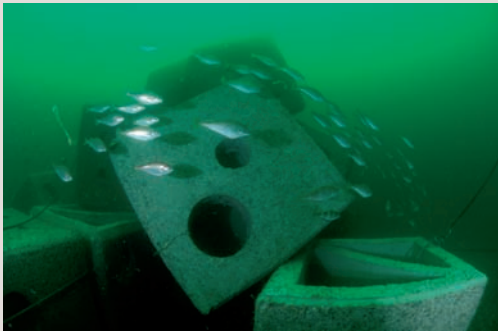


Photo : Emmanuel Donfut, Balao

→ Suivi des récifs artificiels au large d'Étretat par IN VIVO.

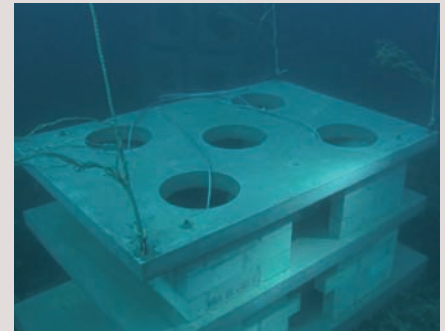


Photo : © Mairie de Marseille

→ Modules chicanes : 19 m³ (béton et agglos).

Chaque récif artificiel ou chaque aménagement demande une réponse sur mesure, adaptée aux conditions locales et aux objectifs poursuivis. Une grande diversité de modules existent (plus de 100 rien qu'en France) qui utilisent le béton. Pour prendre un exemple, la société IN VIVO a immergé au large des côtes d'Agadir, au Maroc, des groupes de 5 tétrapodes de 1,5 m de haut, un des premiers modules conçus dès les années 1950 par la Sogreah, d'un mètre cube et de 2,4 t chacun, pour obtenir des unités de protection d'un poids total de 7 t, compte tenu de la poussée d'Archimède.

UNE GRANDE DIVERSITÉ DE MODULES

Pour les récifs de production, plusieurs opérateurs ont mis au point des modules élémentaires en béton, mais l'optimisation des formes et des surfaces fait l'objet de recherche, notamment par des équipes du CEFREM de l'université de Perpignan ou du CEFE de l'université de Montpellier.

Pour reprendre l'exemple d'Agadir, ce sont des unités d'aménagement qui ont été conçues, sur quelques hectares, avec une stratégie d'implantation des éléments, de protection et de production. Les récifs de production sont des assemblages de cubes en béton évidés conçus pour cette opération, offrant chacun 21 m² de surface de colonisation.

À Marseille, sous l'égide de la mairie, la société BRL ingénierie a conçu une approche écosystémique pour le projet Récifs Prado qui est devenu une des références en Méditerranée. La complexité des habitats est obtenue grâce à une combinaison optimisée de 6 types de modules en béton entre 10 à 187 m³, constitués en villages sous-marins.

Étienne Clamagirand, architecte et créateur de la société Architeuthis, a déposé dès 1999 un brevet sur un module en Composé Ciment Verre, Hexapora. « Il s'agit d'un système de plateaux en béton séparés par des entretoises. En fonction du nombre des cavités que l'on veut. Les biologistes, qui connaissent l'éthologie des espèces, peuvent proposer des récifs adaptés au mérou, ou au sar par exemple. »

Des éléments préfabriqués en béton peuvent également être utilisés pour des ouvrages de Génie Civil en mer. Les carapaces des digues, qui les protègent de la houle, sont constituées de gros blocs de béton, qui se sont affinés ces dernières années, avec des tétrapodes, puis des Accropodes™, des combinaisons avec des amas rocheux et du béton. Ces structures géométriques laissent de larges espaces pour la vie marine, spécialement les gros poissons. Pour les rendre plus productives, des éléments plus fins peuvent être intégrés, comme les Hexapodes®.

DES ESPACES DE VIE

Parmi les autres ouvrages marins en béton, citons aussi les cavaliers qui maintiennent des émissaires sur les fonds marins, mis au point par Egis Eau. Ce peut être des pipe-lines, ou des tuyaux d'évacuation d'eaux après traitement en stations d'épuration. On parle alors d'écocavaliers. À Propriano, en Corse, l'émissaire de la station d'épuration de la communauté de communes Sartenaï-Valinco a fait l'objet d'un aménagement particulier.

Pour protéger l'ouvrage, 15 récifs de 3 m de diamètre ont été posés, constitués chacun de 4 plaques en béton empilées pour un poids de 10 t. Chaque plaque est dotée de 3 pieds qui permettent la création d'espaces interstitiels entre plaques lors de l'empilement. Les hauteurs variables des pieds permettent de réaliser des espaces interplaques de hauteur variable en fonction des espèces ciblées. Chacun des espaces interplaques est équipé de murets répartis sur deux circonférences. L'ensemble est solidarisé par scellement à l'aide de tiges en fibre de verre permettant la manipulation de l'écorécif en un « bloc », une fois les plaques assemblées. Plusieurs options de rugosité sont testées dans cette opération.

Il est frappant d'observer la diversité des opérations menées, et des moyens mis en œuvre, rendue possible par l'étendue de la gamme des



Photo : © P2A Développement

→ Pose de récifs avec une barge au large de Cagnes-sur-Mer.



Photo : © P2A Développement

→ Pose « à la main » du module MSAR en Polynésie.

bétons. La nature de la surface fait encore débat. Sylvain Pioch, maître de conférences à l'université de Montpellier 3 au sein du CEFE (CNRS-UM3), pilote depuis 2009 un projet de recherche avec EGIS Eau, le conseil général de l'Hérault, la société BEC, l'École des mines d'Alès et l'aquarium de Montpellier. « Nous avons immergé 40 t de béton proactif pour tester plusieurs palettes : béton coquillé, enrichi, désactivé, avec rugosités, mélanges de matériaux pour faire baisser le pH (proche de l'eau de mer), fibrés ou armés..., et une plaque témoin en béton lisse. » En 4 ans, certaines plaques ont été entièrement colonisées par une biodiversité importante, alors que d'autres présentaient une colonisation plus lente. ■

Le début d'une grande aventure

L'aventure du béton en mer est diversifiée : après les ports, les récifs et les émissaires, voici la pose de véritables filtres à pollution : des structures installées au-dessous de cages à poissons de fermes marines, colonisées par des animaux filtreurs tels que des éponges ou des gorgones, ou encore au débouché en mer d'émissaires des eaux traitées par des stations d'épuration littorales.

Autre approche environnementale, sur la question des déchets marins, l'incorporation dans le béton de produits issus de dragages de ports. Un projet de cette nature, au stade R & D, est en cours actuellement à Port-Camargue. Citons enfin la digue flottante de Monaco, ensemble de 352 m de long, en béton précontraint, qui permet de protéger le port contre la houle et d'offrir une

capacité nouvelle sans impact sur les fonds marins.

Didier Grosdemange, directeur associé d'IN VIVO, met l'accent sur une des conditions du succès de ces opérations : « *Quand on travaille sur un sujet d'écoconception, il faut qu'il y ait toutes les équipes : les entreprises, les poseurs, et les experts qui travaillent sur l'environnement.* »

Pour l'immersion des récifs, le recours

à des grues sur des barges est le plus fréquent, mais des moyens plus souples peuvent être mis en œuvre.

Des modules en béton léger peuvent être mis à l'eau « à main d'homme », selon Jean-Yves Jouvenel, gérant de la société P2A Développement. L'incorporation de fibres de verre permet de fabriquer des structures très fines, et par suite très légères (600 kg pour le module MSAR). ■

Point de vue des experts

JEAN-CLAUDE SOUCHE, responsable du département Génie Civil, Pôle Matériaux et Structures du Génie Civil – Laboratoire C2MA, École Nationale Supérieure des Mines d'Alès

Le béton offre des réponses adaptées

Les ouvrages en béton sont parfaitement en mesure de répondre aux exigences de service, de durabilité et de sécurité structurale tout au long de la durée d'utilisation prévue dans la mesure où la formulation du matériau aura été étudiée, où l'acte de conception aura été correctement mené et où la qualité d'exécution aura été satisfaisante.

Le vieillissement des ouvrages en béton est essentiellement dû à trois principaux processus de dégradation :

- les agressions mécaniques dues à des conditions de service exigeantes ;
- les agressions chimiques de l'environnement sur le béton ;
- la corrosion des armatures, essentiellement sous l'effet des ions chlorure.

En environnement marin, il faut veiller à choisir un ciment et des granulats adaptés.

Les normes ciment (NF EN 197-1) et béton (NF EN 206-1/CN) apportent des éléments de spécification qui peuvent être substitués par l'approche perfor-

mantielle qui offre de belles perspectives pour la durabilité des futurs ouvrages en béton en environnement marin.

Pour la construction d'habitats marins, le design de structures en béton peut être mené avec une très grande liberté dans la mesure où le béton permet des formes, des états de surface et des assemblages divers. On peut même valoriser certains déchets, comme des produits issus de la conchyliculture. Tout ceci est possible en répondant bien sûr aux exigences de base

de service, de sécurité et de durabilité.

Au travers de toutes les possibilités qu'il offre, le béton autorise donc une démarche d'écoconception en ayant un meilleur bilan environnemental et dans des conditions économiques acceptables.

La notion d'écobéton est donc un axe d'avenir pour les ouvrages terrestres bien sûr, mais probablement aussi sous la mer. ■

SYLVAIN PIOCH, maître de conférences à l'université de Montpellier 3, chercheur au Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CNRS-UM3)

Développer des écobétons vecteurs de biodiversité

En France, on utilise du béton coquillé (granulats issus de coquilles broyées) ou des bétons avec des rugosités améliorées (projets « écorécif » en Languedoc-Roussillon, ou « Typi » ALR dans les Landes). D'autres bétons utilisant des fibres de verre ou des granulats poreux sont également testés. Il semble que dans le monde, les aspects

de rugosité et de granulats associés aux bétons soient les plus développés : aux USA avec des « Reef-Ball » et « Eco-Reef » (corail broyé mélangé au ciment), en Angleterre avec les « Ash-Crete » (cendres issues de déchets d'usine thermique), en Corée avec des bétons fibrés (fibres naturelles de coco)... Chaque pays adapte des tech-

niques aux ressources locales et à ses objectifs écologiques spécifiques. En partant dès le XVIII^e siècle du simple bois, puis de la pierre, les Japonais ont développé depuis 60 ans des bétons destinés à améliorer le développement de la flore et de la faune marines en mêlant divers matériaux. Depuis, les Coréens, Brésiliens, Américains et récem-

ment les Français ont développé des bétons écologiques. On peut résumer à 5 axes les efforts pour développer des écobétons vecteurs de biodiversité : texture/rugosité, couleur, adjuvants « *profooling* », granulats bioactifs et composés chimiques non toxiques. ■