



Mer et Littoral : un bien commun ?

Christophe Baley, Christine Chauvin, Gwénaél Le Maguer

► To cite this version:

Christophe Baley, Christine Chauvin, Gwénaél Le Maguer. Mer et Littoral : un bien commun ?. 233 p., 2021.
⟨hal-03228290⟩

HAL Id: hal-03228290

<https://hal.science/hal-03228290v1>

Submitted on 24 May 2022

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.



HAL Authorization

MER ET LITTORAL : UN BIEN COMMUN ?

UNE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE

Actes du Séminaire International de l'Institut Archipel
Université Bretagne Sud 17-19 juin 2019

Coordination éditoriale :
Christophe Baley, Christine Chauvin, Gwénaél Le Maguer

COLLECTION ARCHIPEL - UNIVERSITÉ BRETAGNE SUD

Institut citoyen
d'études maritimes
& littorales

archipel :
Université Bretagne Sud

© 2021, Éditions Archipel - Université Bretagne Sud
ISBN 978-2-9573619-0-8
ISBN 978-2-9573619-1-5 (version e-book)
Achevé d'imprimer en Avril 2021
par Université Bretagne Sud (Lorient - Bretagne)
Imprimé en France
Dépôt légal : Avril 2021
25 € TTC

Vous pouvez imprimer cet ouvrage en citant les références ci-dessus, et les auteurs.

For information on Archipel Institute visit our website at www-archipel.univ-ubs.fr
Information on Université Bretagne Sud at www.univ-ubs.fr

MER ET LITTORAL : UN BIEN COMMUN ?

OUVRAGE COLLECTIF

Coordination de l'ouvrage :
Christophe Baley, Christine Chauvin, Gwénaél Le Maguer

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

ARCHIPEL, L'INSTITUT CITOYEN D'ÉTUDES MARITIMES ET LITTORALES DE L'UNIVERSITÉ BRETAGNE SUD

Pr. Jean Peeters, Président de l'Université Bretagne Sud

p10

LE SÉMINAIRE «MER ET LITTORAL : UN BIEN COMMUN ?»

Pr. Christine Chauvin, Vice-présidente Relations Internationales de l'Université Bretagne Sud

p12

DES REGARDS SUR LA MER

Pr. Christophe Baley, responsable scientifique de l'institut Archipel

p13

PENSER EN ARCHIPEL, UNE EXIGENCE POUR DEMAIN ?

Dr. Jean-Michel Le Boulanger

1^{er} Vice-Président du Conseil Régional de Bretagne, chargé de la Culture et de la démocratie régionale Maître de conférences en géographie (UBS, TEMOS)

p19

PARTIE I REGARDS DE JURISTES

LE DROIT COMME OUTIL DE GESTION CITOYENNE DES BIENS COMMUNS MARITIMES ET TERRESTRES

Olivier Moreteau, Professeur de droit (LSU, Etats-Unis)

p26

COMMENT RENDRE POSSIBLE CE QUI EST NÉCESSAIRE, SOIT PAR LE CONSENSUS, SOIT PAR LA CONTRAINTE ? RÉFLEXIONS À PARTIR DU DROIT DE L'UNION EUROPÉENNE

Dr. Anne-Sophie Lamblin Gourdin (UBS, Lab-LEX)

p39

LA LOI LITTORAL EN HUIT QUESTIONS, POUR COMBATTRE QUELQUES IDÉES REÇUES

Dr. Laurence Molinero (UBS, Lab-LEX)

p47

PARTIE 2

LES MILIEUX LITTORAUX : LA BIO-SURVEILLANCE D'ESPACES COMMUNS

ENJEUX DE SURVEILLANCE ET DE PRÉSERVATION D'UN ESPACE PARTAGÉ, CONVOITÉ, REVENDIQUÉ MAIS ... COMMUN.

Pr. Olivier Sire (UBS, IRDL),

Pr. Hedi Ben Mansour (Univ. de Monastir, Tunisie)

Dr. Christian Raheiniaina (Univ. de Toliara, Madagascar),

Dr. David Menier (UBS, LGO)

Pr. Saïd Chakiri (UIT, Kenitra, Maroc)

.....p58

PARTIE 3

LES POLITIQUES PUBLIQUES ET LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE PORTUAIRE

QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LES ENJEUX PLURIDISCIPLINAIRES DE LA RECHERCHE SUR LES PORTS EN FRANCE

Pr. Mathias Tranchant (UBS, TEMOS)

.....p72

PARTIE 4

MER ET LITTORAL : DES RESSOURCES ET RESPONSABILITÉS COMMUNES

LES TERRITOIRES MARITIMES ET LITTORAUX SOUS PRESSION

Dr. Ronan Le Delezir (UBS, GéoArchitecture)

.....p88

BIOTECHNOLOGIE MARINE : VALORISATION ET PRÉSERVATION DE LA RESSOURCE BIOLOGIQUE

Pr. Nathalie Bourgougnon (UBS, LBCM)

.....p96

VALORISATION DE LA RESSOURCE VÉGÉTALE ET ANIMALE DE LA ZONE LITTORALE DE L'INDONÉSIE

Dr. Ita Widowati (Diponego University, Indonésie)

Dr. Maya Puspita (Indonesian Seaweed Association)

Pr. Nathalie Bourgougnon (UBS, LBCM)

Dr. Gilles Bedoux (UBS, LBCM)

.....p100

LA MÉTHANISATION ET LES OCÉANS

Pr. Jean-Louis Lanoisellé (UBS, IRDL)

Dr. Virginie Boy (UBS, IRDL)

Dr. Jeanne Le Lœuff (UBS, IRDL)

Dr. Thomas Lendormi (UBS, IRDL)

Pr. Pascal Morançais (UBS, LBCM)

.....p109

LES MICROPLASTIQUES DANS LE MILIEU MARIN

Dr. Véronique Le Tilly (UBS, IRDL)

Dr. Mikael Kerziedski (UBS, IRDL)

.....p120

PARTIE 5

LE TOURISME DU LITTORAL ET DES ÎLES : DES OPPORTUNITÉS ÉCONOMIQUES ET SOCIALES QUESTIONNÉES PAR LES DÉFIS DE L'HYPER CROISSANCE TOURISTIQUE

PANORAMA DES DÉFIS DU TOURISME FACE AUX SPÉCIFICITÉS DES ZONES INSULAIRES ET LITTORALES

Pr. Christine Petr (UBS, LEGO)

Dr. Claire Mahéo (Univ. Catholique de l'Ouest, PREFICS)

.....p138

LE CONTEXTE DE CRITICITÉ ET LES PRIORITÉS DE RECHERCHE SUR LA NOTION DE BIEN COMMUN DU LITTORAL FACE AU DÉVELOPPEMENT TOURISTIQUE

Manu Tranquard (UQAC, Canada)

Pr. Christine Petr (UBS, LEGO)

Dr. Christophe Guibert (Univ. Angers)

.....p145

QUAND LE BIEN COMMUN DEVIENT OBJET DE CONTESTATION : LE CAS DES VAGUES DE SURF

Dr. Christophe Guibert (Univ. Angers)

.....p151

UN DÉVELOPPEMENT HÉTÉROGÈNE DU TOURISME DANS LES TERRITOIRES INSULAIRES : POINTS COMMUNS ET NÉCESSITÉ D'UNE APPROCHE SPÉCIFIQUE

Pr. Christine Petr (UBS, LEGO)

Dr. Claire Mahéo (Univ. Catholique de l'Ouest, PREFICS)

Dr. Sofia López Rodríguez (Univ. de les Illes Balears)

Dr. Saïdah Attoumani (IST d'Antsiranana, Madagascar)

A. Cariou, C. Chenard, B. Motreff, J. Fiocco (UBS, Licence Marketing-Vente, Institut de Management, DSEG)

.....p153

CADRAGES ET PROPOSITIONS THÉORIQUES : ENVISAGER LA CAPACITÉ DE CHARGE TOURISTIQUE EN ZONES LITTORALES ET INSULAIRES ; ADAPTER ET PARAMÉTRER LES OUTILS D'ÉVALUATION

Manu Tranquard (UQAC, Canada)

Pr. Christine Petr (UBS, LEGO)

.....p163

PROPOSITION D'UN AGENDA DE RECHERCHE EN TOURISME AUTOUR DE LA NOTION DE BIEN COMMUN DANS LES ESPACES INSULAIRES ET CÔTIERS

Manu Tranquard (UQAC, Canada)

Pr. Christine Petr (UBS, LEGO)

Dr. Christophe Guibert (Univ. Angers)

Dr. Claire Mahéo (Univ. Catholique de l'Ouest, PREFICS)

.....p177

PARTIE 6

AGIR POUR DEMAIN : L'UBS FORCE DE PROPOSITION

DES MATÉRIAUX ISSUS DE LA MER POUR DES APPLICATIONS EN MER

Dr. Pierre Le Mechko (IRMA, France)

Pr. Stéphane Bruzaud (UBS, IRDL)

.....p183

DES MATÉRIAUX COMPOSITES À HAUTES PERFORMANCES À PARTIR DE PLANTES

Pr. Christophe Baley (UBS, IRDL)

.....p189

BIORESTAURATION, BIOREMÉDIATION, BIOMATÉRIAU... TOUT EST BIO !

Dr. Pierre Sauleau (UBS, LBCM)

.....p201

BIOCOMPOSITES HYGROMORPHES : NOUVELLE FONCTIONNALITÉ POUR LES FIBRES VÉGÉTALES

Dr. Antoine Le Duigou (UBS, IRDL)

Dr. Mickael Castro (UBS, IRDL)

.....p210

OBSERVATION DE LA MER PAR APPRENTISSAGE PROFOND :

QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATIONS POUR PROTÉGER NOTRE BIEN COMMUN

Pr. Sébastien Lefèvre (UBS, IRISA)

.....p215

CONCLUSION

CONVERGENCES ET PERSPECTIVES AUTOUR DE LA THÉMATIQUE « MER ET LITTORAL : UN BIEN COMMUN ? »

Pr. Christine Chauvin, Vice-présidente Relations Internationales de l'Université Bretagne Sud

.....p225



: AVANT PROPOS

ARCHIPEL, L'INSTITUT CITOYEN D'ÉTUDES MARITIMES ET LITTORALES DE L'UNIVERSITÉ BRETAGNE SUD

Archipel, quel drôle de nom pour un projet universitaire. Le terme évoque surtout un « ensemble d'îles disposés en groupe »¹ ou encore un « ensemble d'îles relativement proches les unes des autres [dont] la proximité se double le plus souvent d'une origine géologique commune, en général volcanique »².

Pourtant, c'est le nom que s'est choisi l'Université Bretagne Sud (UBS) pour son *Institut citoyen d'études maritimes et littorales*. Annoncé dans le projet stratégique d'établissement approuvé en octobre 2017 et officiellement créé en décembre 2018, Archipel vise plusieurs objectifs.

Tout d'abord, *Archipel* a pour but de réaffirmer la dimension littorale et maritime de l'UBS. Du fait que Lorient et Vannes, qui accueillent les deux sites principaux de notre Université, sont des communes littorales, il peut sembler évident que l'offre de formation de l'UBS compte par exemple une licence professionnelle *Nautisme et métiers de la plaisance* ou une licence professionnelle *Métiers de l'industrie et de la construction navale*, qu'une unité de recherche se nomme *Laboratoire de biotechnologie et chimie marine*, qu'un bâtiment emblématique de l'Université soit surnommé *Le Paquebot*, ou encore que le service des sports propose des activités de voile et de plongée. Cependant, il y a une différence notable entre reconnaître la présence d'activités éparses, ici et là, et penser une véritable identité littorale et maritime unifiante de l'UBS. Si d'aucuns voient uniquement une multiplicité d'îles dans un archipel, ce qui le constitue en tant que tel c'est qu'il fasse ensemble et qu'il ait le plus souvent « une origine [...] commune ». *Archipel*, ce n'est donc pas un agrégat disparate d'activités concernant la mer et le littoral. C'est, surtout, un ensemble cohérent d'actions et de lieux qui, en lien avec notre écosystème local, caractérise l'UBS et lui donne une identité maritime et littorale forte. Il fallait au moins le dire pour qu'on le sache et qu'on ne le refoule pas.

Il ne faudrait pas croire que cette identité est subie par l'UBS. Évidemment, elle est partiellement conditionnée par notre environnement, nos actes et nos interlocuteurs, mais elle l'est aussi parce que nous le voulons bien. Nous la revendiquons. L'Université Bretagne Sud n'a pas décidé, du jour au lendemain, d'afficher son identité maritime et littorale. Elle a d'abord voulu faire le bilan de toute son activité dans ce secteur. Plusieurs collègues, accompagné d'un consultant, ont travaillé pendant plusieurs mois afin de faire une cartographie des forces et faiblesses de l'UBS. Ils ont d'abord souhaité jauger la pertinence de la démarche de reconnaissance du fort poids de la mer et du littoral à l'UBS, notamment en nous comparant à d'autres établissements et en pesant nos activités par rapport à l'ensemble des thématiques maritimes et littorales. Ils ont ensuite déterminé ce qui fait notre originalité dans l'océan d'initiatives. Et ils ont surtout identifié une envie collective de faire en sorte que l'UBS prenne toute sa place dans les débats actuels, et les éclaire.

C'est tout le sens d'*Archipel*, *Institut citoyen d'études maritimes et littorales*. On aura noté que ce n'est ni une faculté, ni une structure de recherche, ni un service. C'est à la fois tout cela sans l'être. C'est une dynamique (une « synergie » diraient certains), un mode d'organisation, un projet global qui transcendent la structuration administrative de l'établissement. C'est aussi une ouverture vers le monde qui nous entoure et dont nous sommes partie intégrante. Il n'est pas anodin qu'*Archipel* se dise et se veuille « citoyen ». Alors que l'on parle à tout-va d'engagement, de citoyenneté, de responsabilité sociale et environnementale bien plus qu'on n'agit, l'Université Bretagne Sud, en se dotant d'un institut « citoyen », a voulu s'inscrire dans l'engagement et la responsabilité. L'Université n'a de sens que pour la société dans laquelle elle agit et évolue.

1 CNRTL, article « Archipel », <https://www.cnrtl.fr/definition/archipel>, version du 01/09/2020.

2 Wikipédia, article « Archipel », <https://fr.wikipedia.org/wiki/Archipel>, version du 01/09/2020.

Archipel s'est donné une devise qui témoigne de cet engagement citoyen : « Éduquer – Innover – Partager ». Éduquer, ce n'est pas seulement enseigner. C'est aussi contribuer à l'épanouissement des personnes que l'on forme. Innover, ce n'est pas uniquement chercher. C'est aussi trouver et, surtout, mettre en application les résultats de la recherche. Enfin, partager, ce n'est évidemment pas rester dans l'entresoi. C'est s'ouvrir, c'est donner **et** recevoir.

Les articles publiés dans ce recueil témoignent de ce beau projet *Archipel* de l'Université Bretagne Sud, encore en construction, d'être un acteur engagé, responsable et citoyen dans le domaine de la mer et du littoral. C'est une étape de cette ouverture vers les autres citoyens, qu'ils soient décideurs, militants, chercheurs, étudiants, acteurs ou simples utilisateurs. C'est aussi une promesse d'entendre et d'écouter, de dire et d'agir. Et c'est également un lien fort qui se tisse entre nous pour les années à venir.

Pr. Jean Peeters

Président de l'Université Bretagne Sud de 2012 à 2020

LE SÉMINAIRE INTERNATIONAL « MER ET LITTORAL : UN BIEN COMMUN »

Les mers et les océans régulent des processus essentiels comme le climat et jouent un rôle incontournable dans l'avenir durable de l'humanité. Les écosystèmes côtiers sont dynamiques et fragiles. Leur vulnérabilité est accrue dans le contexte des changements climatiques, des transformations des interactions entre l'océan-atmosphère-terre, de l'émergence de nouveaux usages ludiques et sportifs, et plus généralement de la surexploitation des ressources (faune, flore, énergies naturelles). La migration et l'augmentation de la population le long des côtes, en lien avec les activités humaines, contribuent à accroître les risques et menaces côtières liées au réchauffement climatique. Face aux défis croissants auxquels sont confrontés la population de ces espaces et les équilibres des écosystèmes côtiers, il est nécessaire de développer des stratégies cohérentes à long terme pour une meilleure gestion intégrée des zones côtières et de se (ré)-approprier et (re)-penser l'océan et le littoral comme un bien commun.

De la théorie développée par Hardin sur la « tragédie des biens communs » jusqu'aux travaux d'Ostrom, prix Nobel en 2009, les biens communs ont fait l'objet de nombreuses études dans des disciplines variées (économie et sciences de gestion, écologie, sociologie, géographie, etc.), mais il est désormais admis qu'il faut les étudier dans le cadre d'approches interdisciplinaires. Ces stratégies d'analyse sont, en effet, les seules capables d'appréhender les liens existants entre les composants de ce type de système particulièrement complexe : modes de gestion des ressources, choix d'aménagement et d'urbanisme, comportement des acteurs, responsables et habitants, et caractéristiques du système de ressources...

Première manifestation scientifique internationale de l'Institut citoyen d'études maritimes et littorales ARCHIPEL, le séminaire de juin 2019 a cherché à appréhender les espaces maritimes et littoraux comme des biens communs en construisant des approches systémiques interdisciplinaires réunissant scientifiques, usagers et politiques.

Loin d'être cloisonné et borné à des échanges purement académiques, le séminaire a accueilli des acteurs sociaux-économiques et associatifs tels que le Parc Naturel Régional du Golfe du Morbihan, l'association Cap 2000, qui œuvre - sur la ria d'Étel - à la concertation entre acteurs pour concilier pérennité des activités primaires et qualité des eaux littorales, ou encore l'Institut Français de la Mer, co-initiateur de *l'Appel pour l'Océan, bien commun de l'humanité*, que l'Université Bretagne Sud a signé en mars 2019.

Au cours de trois journées, les participants français et étrangers - représentant des établissements d'enseignement supérieur et de recherche francophones installés en zone littorale - ont proposé des approches à l'interface de leurs disciplines respectives pour aboutir à la proposition d'axes de travail permettant d'intégrer et de confronter la pluralité des défis rencontrés par les usagers de leurs territoires.

Ce séminaire a permis de renforcer la contribution des institutions participantes au développement économique, social et environnemental des zones maritimes et littorales et d'apporter des éléments de prospective à l'ensemble de ses participants. Les éléments présentés et les conclusions des débats permettront d'orienter leurs activités de recherche et de formation pour être en mesure d'appréhender la complexité de la notion de « bien commun » quand elle s'applique à l'espace littoral et de mieux répondre, in fine, aux défis environnementaux mais également économiques et sociaux auxquels sont confrontés leurs écosystèmes.

Pr. Christine Chauvin

Vice-présidente Relations Internationales de l'Université Bretagne Sud

DES REGARDS SUR LA MER

La création d'*Archipel* est un projet collectif, dans l'intérêt général.

La notion de bien commun abordée ici est la base de l'existence et du développement d'une société (Petrella 1997). Axé sur le partage et la préservation des ressources, ce concept renaît à travers le monde.

La mer et le littoral sont des ressources naturelles environnementales, c'est-à-dire un bien commun. En effet il est proposé de considérer comme ressource naturelle tout ce qui, sans être un produit de l'activité humaine, influe ou pourrait influencer sur l'économie des pays ou le bien-être de leurs habitants. Aujourd'hui, ces zones de vie et d'activités sont, partout dans le monde, impactées par la présence des hommes.

Nous avons souhaité que ce colloque, et donc cet ouvrage, concerne plusieurs disciplines et des chercheurs de différents pays. Il n'a pas la prétention d'être complet, le thème est très large. Ici, l'approche est multidisciplinaire, c'est-à-dire que les disciplines sont juxtaposées ; et chaque auteur aura cherché à rendre intelligible les concepts et le vocabulaire de sa propre discipline. Ce n'est qu'une première étape. Dans le cadre d'*Archipel*, nous souhaitons mettre en place, demain, une approche interdisciplinaire. L'objectif serait alors que les disciplines s'interpénètrent pour faire progresser chaque discipline, mais aussi faire apparaître de nouvelles questions (Besnier 2013).

La relation des sociétés à la mer ne cesse d'évoluer. D'un territoire hostile sur lequel se lançaient les explorateurs, la mer est devenue une aire d'échange et de travail, un espace ludique et un cadre d'innovation pour demain. Chacun possède des représentations, une culture maritime (ou non), un imaginaire, des expériences en fonction de son lieu de vie, de sa famille, de ses activités professionnelles, de ses loisirs et de ses temps de navigation.

Concernant la France, en 2019 un sondage a été réalisé à l'occasion de l'exposition La Mer XXL, à Nantes (Ifop 2019) sur un échantillon représentatif de la population française âgée de 18 ans et plus. Il en ressort que 80 % des Français s'intéressent à la mer alors qu'ils n'étaient que 53 % en 2009. Leurs principaux sujets d'attention sont la biodiversité (75 %), la pollution (72 %), ainsi que la culture et le patrimoine maritimes (61 %). Moins citées, les activités économiques et sociales, tout comme les sports et loisirs nautiques, intéressent tout de même 42 % des sondés.

Par ailleurs, 36 % des Français se verraient bien vivre près de la mer plutôt qu'à la ville (23 %), à la campagne (34 %) ou en montagne (7 %).

Plusieurs secteurs d'activité sont considérés comme sous-exploités : les biotechnologies (pour 78 % des sondés), les énergies renouvelables (75 %) et le transport maritime (44 %). Au contraire, la pression de la pêche est considérée comme trop importante par 44 % des Français, et le tourisme comme correctement exploité par 42 %.

Par ailleurs, 87 % des sondés estiment que les mers et océans sont en mauvaise, voire très mauvaise santé (37 %). Les rejets en provenance du littoral (matières plastiques, pollutions chimiques et agricoles...) sont la première inquiétude pour 72 % des personnes interrogées. Une préoccupation dont le niveau a fortement augmenté en 10 ans puisque seulement 43 % la citaient en 2008, loin devant la pêche intensive.

Les autorités publiques françaises sont critiquées : 94 % des sondés considèrent qu'elles ne font rien ou pas assez. Plus précisément, pour 38 % d'entre eux, elles ne prennent pas de mesures, ou bien des mesures inappropriées, en matière de protection de la mer. Et pour les autres (56 %), ces mesures sont insuffisantes. Seuls 6 % des sondés estiment que les autorités françaises protègent correctement les mers et océans.

On peut aussi relever que 10% des sondés considèrent, eux, que l'on exploite trop la mer ou les océans pour la production d'énergie (éoliennes, courants, houle, ...). Ils étaient 3% en 2006. Ce chiffre est étonnant compte tenu du très faible nombre d'installations existantes actuellement en France (dans l'ouest : une éolienne flottante, une hydrolienne immergée, une usine marémotrice...), alors que ce domaine est considéré comme stratégique pour demain. Ce résultat illustre la réelle connaissance des sujets par le grand public et les limites d'un sondage. Il est aussi révélateur des problématiques d'acceptation sociale du développement d'activités en zone littorale, et du « syndrome PUMA » (Projet Utile Mais Ailleurs).

Plus largement dans un contexte de développement durable (ou plus précisément soutenable), chaque projet doit être analysé avec les trois principaux critères habituels que sont l'environnement, le social et l'économie. Mais il faut aussi considérer les hommes, le territoire et la gouvernance (Ollivro 2016). Il y a donc six critères et non trois. Par ailleurs, l'analyse doit tenir compte des trois principales limites de la planète : l'environnement au sens large (la nature, en d'autres termes), les matières et l'énergie.

Dans cet ouvrage il est question de mers et d'océans, c'est-à-dire d'eau, qui est un des biens les plus précieux de l'humanité. L'eau, c'est la vie. La vie des hommes et des écosystèmes. Pour mémoire, le nonaccès à l'eau, en quantité et en qualité, est l'une des premières causes de mortalité dans le monde. Chaque jour, d'après l'Unesco, c'est 1400 enfants de moins de 5 ans qui meurent d'un nonaccès à l'eau potable et, en 2025, près de 2.5 milliards de personnes risquent de manquer d'eau. S'interroger sur l'accès à l'eau impose de regarder son cycle, c'est-à-dire l'évaporation et l'évapotranspiration (par les plantes), la condensation, les précipitations et les écoulements (aériens, souterrains et marins). Terre et mer sont ainsi connectées pour le cycle de l'eau.

Les océans produisent aussi une grande partie de l'oxygène que nous respirons. Ils régulent le climat, nous procurent de la nourriture et permettent à des millions de personnes de gagner leur vie. Ils sont aussi des lieux culturels et de loisirs. Des océans en pleine santé profitent donc à tous.

Trois principaux défis concernent les océans pour les années futures (Guy Jacques 2020) :

- Le changement climatique : l'océan joue un rôle majeur dans la régulation du climat à l'échelle planétaire. Il atténue l'effet de serre additionnel d'origine anthropique, en particulier en absorbant plus de 25 % de l'excès de gaz carbonique *via* les pompes physiques et biologiques de carbone.
- La surpêche : au XIX^e siècle, l'océan était vu comme une mer nourricière aux ressources halieutiques infinies. L'exploitation des ressources biologiques concerne presque exclusivement les niveaux trophiques supérieurs. Ces ressources ont été largement exploitées au cours des siècles passés, et aujourd'hui, 30 % des espèces sont surexploitées et 60 % pleinement exploitées. L'appétit croissant pour le poisson fait peser une pression toujours plus forte sur les ressources sauvages et pose la question de la durabilité de l'exploitation des ressources marines. La pêche a un impact fort sur les espèces qu'elle cible. Mais les effets indirects sur les autres composantes des écosystèmes apparaissent comme importants. Car c'est bien l'ensemble de l'écosystème marin qui est potentiellement touché par la pêche. L'objectif est d'atteindre une pêche durable et responsable, c'est-à-dire de réconcilier conservation et exploitation.
- L'exploitation des ressources minérales de l'océan profond : contrairement à ce que l'on pensait avant le XIX^e siècle, les fonds marins sont le siège d'une grande biodiversité. L'extraction des ressources minérales profondes (nodules polymétalliques, sulfures hydrothermaux et encroûtements), très perturbante pour l'environnement, est désormais envisagée. Est-il possible de concilier exploitation des ressources minérales de l'océan profond et conservation de la biodiversité ? Est-il acceptable de prendre le risque d'exploiter du pétrole ou du gaz en mer dans l'Arctique ?

Ces sujets scientifiques deviennent des questions éthiques et sociales, et pour tenter d'y répondre, les scientifiques s'impliquent non seulement dans la compréhension des processus mais aussi dans la recherche de solutions acceptables dans le cadre d'un développement soutenable.

Considérer l'océan comme un bien commun est logique pour de nombreuses personnes. Cela reste relatif et ne correspond pas à certains comportements, comme par exemple la revendication des pays pour accroître leur territoire maritime. À l'origine, la mer territoriale d'un pays, dans le périmètre de laquelle il exerce des pouvoirs souverains, s'étendait à 3 milles marins au-delà des terres (ou 6 km, soit la portée d'un tir de canon). Les mers territoriales furent ensuite étendues. Chaque pays côtier dispose d'un espace maritime large de 200 milles nautiques (environ 370 km) : c'est ce qu'on appelle la Zone Économique Exclusive (ZEE). Le pays y exerce sa souveraineté et peut exploiter les ressources à la fois du sous-sol et des eaux surjacentes. Selon l'Article 76 de la Convention des Nations unies sur le Droit de la mer de 1982, un état côtier peut demander à prolonger le plateau continental sous sa juridiction au-delà des limites de 200 milles nautiques jusqu'à 350 milles (650 km) maximum, dans le prolongement naturel des terres émergées. Cette extension concerne le sol et le sous-sol marins, les eaux restant quant à elles du domaine international (la ZEE inclut la colonne d'eau). Les dossiers de demande d'extension du plateau continental sont déposés auprès de la Commission des Limites du Plateau Continental (CLPC), commission spécifique des Nations Unies. Cette extension peut être revendiquée à condition que les fonds marins répondent à des critères de prolongement naturel et de continuité géologique et morphologique depuis les terres émergées.

De nombreux pays déposent des dossiers pour demander l'extension du plateau continental. Ces démarches génèrent des conflits et certaines sont discutables. Par exemple Okinotori-shima (atoll japonais composé de trois rochers et situé à 1 740 km de Tōkyō, au milieu de la mer des Philippines) est considéré comme une île par le Japon, alors que la Chine considère qu'il s'agit uniquement de rochers, et donc que le Japon ne peut pas établir autour d'eux une zone économique exclusive (ZEE) selon l'article 121 de la convention des Nations Unies sur le droit de la mer. Cette ZEE couvrirait environ 400 000 km², avec de nombreuses ressources halieutiques et gisements minéraux (par exemple des métaux rares : manganèse, cobalt, lithium, ...).

Une université se doit d'être attentive à ses étudiants, à leurs ressentis, à leurs attentes et leurs craintes face à l'avenir. Plus largement, elle se doit d'être connectée aux préoccupations, aux enjeux et défis de la société.

Or chaque jour apporte son lot de mauvaises nouvelles, par exemple :

- Le Gulf Stream ralentit d'année en année (Caesar 2021). Ce courant océanique qui traverse l'Atlantique et permet à l'Europe de bénéficier d'un climat doux en hiver serait actuellement à son niveau le plus bas depuis un millénaire. L'article de Caesar montre que la circulation océanique est restée stable jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Vers 1850, les courants océaniques ont commencé à diminuer, avant un deuxième déclin plus drastique à partir du milieu du XX^e siècle. Selon l'ensemble des données étudiées, le courant océanique aurait diminué de 15% en soixante-dix ans. Les causes et les conséquences de ces phénomènes ne sont pas entièrement connues à cette date.
- L'élévation du niveau de la mer est un phénomène inéluctable d'ici à 2100 (les estimations varient entre +44 cm et +74 cm pour les valeurs médianes en fonction des scénarios retenus), dont la vitesse et l'intensité dépendent du réchauffement climatique. Ce phénomène s'accélère ces dernières années et va affecter de manière croissante le littoral et les zones côtières où se concentrent de nombreuses populations et activités économiques à l'échelle mondiale (Lacroix 2019). Pour mémoire, environ 680 millions de personnes sur la planète habitent dans des régions dont l'altitude ne dépasse pas 10 m. La vulnérabilité de cette interface entre la mer et la terre aux

submersions périodiques lors de tempêtes ou d'inondations est donc très forte. Les zones de delta, les îles, les bandes côtières de faible altitude, sont particulièrement exposées aux risques de submersion marine et de dommages lors de tempêtes. Ce sujet demande des recherches interdisciplinaires pour comprendre, mesurer et projeter le phénomène, évaluer ses impacts, engager les transitions littorales et urbaines, préciser et mettre en œuvre les moyens de réduire ou compenser les effets des submersions, limiter les inégalités face aux risques, et gérer les situations de crise. Dans tous les cas, agir conjointement en anticipant la hausse du niveau marin et en limitant le changement climatique permettra de réduire les coûts de l'adaptation littorale et de limiter les crises.

Mais il existe aussi des pistes concrètes pour réagir. Par exemple pour sauver les océans en 30 ans (Duarte 2019). Différentes actions sont proposées dans cet article, comme par exemple protéger 50 % de l'océan alors que n'en protégeons que 10 % aujourd'hui. Les aires marines protégées (AMP) permettent de créer des zones où les espèces marines ne sont plus soumises à la pression humaine. Elles peuvent ainsi se reconstituer et essaimer vers des régions adjacentes. Une autre mesure absolument essentielle est de contenir l'ampleur du changement climatique, sans quoi toutes les autres mesures sont vouées à l'échec. Les auteurs considèrent qu'il s'agit d'un investissement rentable : quand on met un dollar dans la préservation des océans, on récolte environ 10 dollars. Cela s'explique par l'augmentation de tous les services rendus par l'océan : écotourisme, possibilités de pêche accrues. Avec 50 % d'AMP, il serait possible de créer, toujours d'après les auteurs, plus d'un million de nouveaux emplois. Sans compter que les herbiers, les récifs coralliens et les mangroves protègent aussi le littoral. On parle d'une économie de 52 milliards de dollars pour les assurances confrontées au risque de tempêtes et de submersion côtière.

Nombreux sont nos étudiants aujourd'hui à la recherche d'éthique et de sens dans ce contexte de crises sociale, environnementale et économique. Ils sont aussi nombreux à être inquiets pour leur vie future. On remarque qu'un nouveau vocabulaire est aujourd'hui utilisé pour décrire cet état de stress prétraumatique avec des mots tels que : angoisse climatique, burnout écologique, dépression verte, éco-anxiété (sentiment d'angoisse intense face à la dégradation de l'environnement), *beachnésia* (la plage de votre enfance qui n'existe plus), *blissonance* (sérénité de la contemplation parasitée par l'idée que l'on contribue à sa destruction) et *solastalgie* (colère, tristesse, angoisse, sentiment d'impuissance et de perte de sens). Ce dernier concept, la détresse solastalgique, est décrit par Glenn Allbrech (Allbrech 2019) qui le considère parfaitement normal. Cette détresse indique que vous avez un lien puissant avec votre environnement et que vous souhaitez le conserver.

Les universités sont le plus souvent de grandes institutions avec une empreinte carbone et environnementale importante. Elles forment leurs étudiants pour qu'ils s'intègrent dans des sociétés, comme citoyens avec des activités professionnelles. Nous devons aussi les former à affronter les fortes turbulences à venir, ce qui impose que les établissements d'enseignement supérieur soient à l'avant-garde sur ces questions. Toutes les disciplines doivent tenir compte des défis et de l'incertitude face à l'évolution climatique, à la perte de biodiversité et à la pénurie de ressources naturelles. L'université est un lieu idéal de démonstration et d'expérimentation ; elle doit adopter des pratiques durables dans de nombreux aspects de son fonctionnement tels que la restauration, les transports, la conception et l'entretien des bâtiments, la gestion des déchets, de l'eau et de l'énergie.

Pour agir, nous pouvons nous inspirer des métiers de la mer. En effet, ils exigent le goût du risque, de l'innovation, de l'audace, l'apologie du pragmatisme et de la compétence, l'esprit d'entreprise, l'ouverture au monde (Attali 2017). Ceux qui voyagent en mer acceptent de prendre le risque de se perdre, de ruser avec vents et courants au point de s'en servir pour naviguer contre eux. Ils n'ont pas le droit à l'erreur : en mer, l'amateurisme est immédiatement mortel. Les marins n'acceptent

de bon cœur la hiérarchie que si elle est légitime, fondée sur les compétences et tenant compte des exigences du travail en équipe.

Bonne lecture

Pr. Christophe Baley
Responsable scientifique de l'institut Archipel

RÉFÉRENCES

- (Ifop 2019). Les Français et la mer. Sondage Ifop pour Ouest France et Le Marin. Mai 2019. 33 pages
- (Ollivro 2016) J. Ollivro. *De la mer au mérite - Faut-il aménager les océans ?* (2016), 180 pages. Éditions Apogée. ISBN : 978-2-84398-483-9.
- (Petrella 1997) R. Petrella. *Le bien commun. Éloge de la solidarité*. Éditions Page deux (1997) 117 pages. ISBN : 2-940189-09-9.
- (Caesar 2021) Caesar, L., McCarthy, G.D., Thornalley, D.J.R. *et al.* Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. *Nat. Geosci.* 14, 118–120 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00699-z>
- (Allbrech 2019) G. Albrecht. *Les émotions de la terre. Des nouveaux mots pour un nouveau monde*. 2019. Éditions Les liens qui libèrent. ISBN : 979-10-209-0807-0
- (Besnier 2013) J.M. Besnier et J. Perriault. Interdisciplinarité : entre disciplines et indisciplines. *Hermès La Revue*. CNRS Éditions. (2013) 282 pages. ISBN : 978-2-271-07966-4
- (Duarte 2019) Duarte, C.M., Agusti, S., Barbier, E. *et al.* Rebuilding marine life. *Nature* 580, 39–51 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7>
- (Attali 2017) Jacques Attali. *Histoires de la mer*. Fayard (2017) 354 pages. ISBN 978-2-213-70477-7}



PENSER EN ARCHIPEL, UNE EXIGENCE POUR DEMAIN

AGIS DANS TON LIEU, PENSE AVEC LE MONDE

Commençons par l'archipel, puisque tel est le nom de ce grand projet porté par l'UBS.

L'étymologie, tout d'abord.

Une étymologie qui nous montre, au cours des âges, un étrange renversement du sens du mot.

« Archi-pelagos », c'est en grec l'ancienne mer ou la mer par excellence.

Le Dictionnaire historique de la langue française de Robert, nous parle d'« Aigaion pelagos », la mer Égée. Un archipel, c'est donc d'abord une mer parsemée d'îles, la mer Égée, la mer par excellence...

Puis le sens du mot a évolué jusqu'à son retournement et aujourd'hui un archipel est un groupe d'îles. L'origine insistait sur la continuité, sur le lien, la mer comme trait d'union.

Le contemporain insiste sur la discontinuité, les îles, par essence séparées les unes des autres.

Édouard Glissant convoque les deux sens du mot et organise leur synthèse en déployant une œuvre - en archipel - pour nous parler de notre monde contemporain, un monde qu'il espère en archipel.

La forme, tout d'abord. Essais, romans, poésies, fragments, « papiers collés » à la Perros, toutes les formes d'écriture sont invitées, le disparate est affiché, la pluralité revendiquée, mais pourtant tout est relié. Des fils rouges, des lignes forces, une pensée. Chaque livre est isolat et élément d'un tout.

Mais au-delà de la forme de l'œuvre, le monde que nous présente Glissant est lui-même un monde en archipel.

Cette idée conjoint deux notions a priori contradictoires : tout territoire est à la fois isolé et relié.

Le Tout-monde d'une mondialité où « la mesure même de cela qu'on appelle une civilisation cède à l'emmèlement de ces cultures des humanités, avoisinantes et impliquées ».

C'est ainsi qu'on peut être de Bretagne et du monde. Mieux : être Breton c'est être du monde. Être du monde, c'est être de quelque part.

Nous revenient en écho les propos d'Eugène Guillevic : « plus on est enraciné, plus on est universel ».

Un paradoxe apparent à l'âge du Tout-monde...

D'où cette idée-force : « Je peux changer en échangeant avec l'autre, sans me perdre pourtant ni enfin me dénaturer ».

D'où la phrase si souvent empruntée et citée : « agis dans ton lieu, pense avec le monde ».

Cette pensée en archipel, c'est la philosophie de la relation qui s'oppose aux murs, aux replis, aux petits narcissismes des autarcies locales, aux entre-soi, comme aux tragiques fantasmes des souches et des fermetures.

Car on le sait depuis Auschwitz : au bout du chemin qui nous parle de souche, l'idée de pureté, l'antichambre du pire !

Cette pensée en archipel, c'est une leçon pour l'avenir et c'est aussi un combat.

Une pensée en archipel c'est à la fois une pensée de l'île et de la mer.

De l'isolat et de la relation.

De la civilisation et du Tout-monde.

Chaque élément est irréductible dans sa singularité et / à la fois / emmêlé, inextricablement lié.

Ce n'est pas l'île ou la mer. Mon lieu ou le monde.
C'est l'île ET la mer.
L'ici et l'ailleurs.

Ce sont les identités composites, plurielles. L'Autre en nous. L'intégration et non l'assimilation.
L'interculturel, toujours au cœur du culturel.

L'archipel, dans une université, c'est à la fois le savoir creusé et creusé encore, nourri d'érudition, imprégné de spécialisations, tant l'évolution des sciences, dures ou molles, nécessite l'hyper spécialité, et le sens, le recul, le regard en biais nourri par la relation, la confrontation parfois, l'Autre, l'autre spécialiste d'une autre science, d'une autre discipline, ou le poète, l'artiste, le rêveur.

« Toute pensée archipélique est pensée du tremblement, de la non-présomption, mais aussi de l'ouverture et du partage ».

Tremblement,
Non-présomption,
Ouverture,
Partage.

Le pari archipélique est à la portée de tous ceux qui acceptent de jouer le jeu du partage et de l'échange. Avons-nous le choix ?

La pensée archipélique, c'est la pensée de l'essai, contrairement à la pensée continentale, la pensée figée des mondes en blocs, le repli des entre-soi sur de fausses certitudes. On sait combien les algorithmes des réseaux sociaux renforcent ces entre-soi...

La pensée archipélique ose l'ambigu, le fragile, le doute. Elle consent à la pratique du détour.
Elle ose le vertige.

Comment être soi-même sans se fermer à l'autre et comment s'ouvrir à l'autre sans se perdre soi-même.
Cela s'appelle le respect. Et c'est une discipline.

Archipel, donc.

Un bien beau nom pour un programme de recherches.

Un nom qui prolonge et qui précise, dans ses intentions, l'ambition étymologique d'une université, universus, « tout entier », une promesse d'universalité.

Le XIX^e siècle a inventé des îles et enfanté des monstres.

C'est le siècle de la saisie rationnelle du monde, de la segmentation de la connaissance, de la spécialisation, de la division fordiste du travail. C'est le temps des États-nations et du roman national. Le temps des Empires aussi, et des civilisations qui se prétendaient supérieures.... Le nationalisme en est né. Il a entraîné les peuples dans la barbarie.

Le XXI^e siècle doit dépasser les îles, tout en les respectant, et rappeler les nécessités du Tout-monde. La terre est une, nous n'en avons pas d'autre. Elle est aujourd'hui menacée.

Il faut réinventer l'humanisme.

Et cela commence à notre porte.

Dépasser les îles, tout en les respectant, c'est organiser l'interdisciplinarité dans les fonctionnements de la recherche et de l'enseignement.

Et quel meilleur sujet que la mer pour plaider les logiques d'archipel ?

LA MER, MÉTAPHORE DE NOTRE CONDITION HUMAINE

La condition humaine, c'est la vie et sa finitude. La vie. La mort.

La mer aussi !

La mer est espace nourricier, vaste zone d'échanges et de relations entre les peuples, lieu de loisirs, développement et promesse d'avenir, la mer est signe de vie.

La mer est abysses, lieu de dangers et de peurs, vaste étendue si mal maîtrisée. La mer peut être tombeau. Combien de marins périés en mer depuis l'aube de l'humanité ?

Plus d'un million d'épaves dans les océans. Potentiellement le plus grand musée du monde.

Je suis d'un peuple, le peuple breton, fils de grandes migrations. La Manche traversée sur des coques de noix. Combien de morts, combien de milliers de morts gisent là sur le limon des abysses ? Qui pour les nommer ?

Je viens d'un port, Douarnenez, où 870 marins ont périés en mer durant le seul XX^e siècle. Bien plus que les morts de toutes les guerres de ce siècle sanguinaire.

Écoutons une fois encore Édouard Glissant et Patrick Chamoiseau, dans *L'Intraversable beauté du monde*¹:

« Ce qui remonte du gouffre.

C'est une rumeur de plusieurs siècles. Et c'est le chant des plaines de l'Océan.

Les coquillages sonores se frottent aux crânes, aux os et aux boulets verdis, au fond de l'Atlantique. Il y a dans ces abysses des cimetières de bateaux négriers, beaucoup de leurs marins. Les rapacités, les frontières violées, les drapeaux, relevés et tombés, du monde occidental. Et qui constellent l'épais tapis des fils d'Afrique, dont on faisait commerce, ceux-là sont hors des nomenclatures, nul n'en connaît le nombre.

Et sans doute, au monde, avant et après ces traites, y eut-il combien d'autres gouffres ouverts, sous toutes les latitudes, et concernant combien de peuples.../...

Un coquillage, une conque touchent là un crâne, ici le limon bouge, libère une bulle qui monte du fond de l'Océan, non pas pour hurler, se plaindre ou haïr, mais juste, chargée de hautes ténèbres, pour s'offrir tranquille à la lumière ».

Des gouffres nouveaux s'ouvrent sous nos yeux, en Méditerranée.

Combien de migrants gisant dans ces limons ? The Gardian, El Manifesto, Der Tagesspiegel ont publié le 22 juin 2018 les noms de 34 361 d'entre eux...

34 361 ! Nous en sommes là !

La Méditerranée, c'est la mer par excellence. Mare nostrum.

Étymologiquement, medius-terra, la Méditerranée est au milieu des terres, entourée par les terres. Cette mer, c'est le lien, le pont, la relation entre ces terres disparates et les hommes qui y vivent. Et c'est le berceau de notre civilisation...

L'Empereur romain utilisait le titre de pontife. Il était le Pontifex maximus, le grand pontife, celui qui est chargé de l'entretien du pont sacré qui enjambe le Tibre, sur lequel sont célébrés des sacrifices solennels. Celui qui a charge du pont, a la charge de relier, religio. Il relie les hommes et les Dieux, il relie les rives et les mondes.

Le titre abandonné à la chute de l'Empire sera repris à partir du VII^e siècle par les Papes, les nouveaux souverains pontifes.

Le pont c'est notre histoire et c'est la Méditerranée qui l'illustre.

Le sociologue allemand Georg Simmel a montré l'étroit rapport existant entre le pont et la porte. Le pont

¹ Glissant – Chamoiseau, *L'Intraversable beauté du monde*, adresse à Barack Obama, Galaade – auteur de vue, Institut du tout-monde, 2009.

me reliant à l'Autre est cause et effet de la porte, permettant l'indispensable plaisir de l'entre-soi. Car l'un ne va pas sans l'autre. Leur dialectique permet d'éviter la dilution et l'enfermement, déléter l'un et l'autre. Le pont et la porte, c'est l'archipel, au sens de Glissant et Chamoiseau, c'est le monde avec...

Si le pont est coupé, évidemment, chacun reste chez soi, au risque du naufrage. Et c'est ce qui s'est passé, sous nos yeux effarés...

Cette mer, la Méditerranée, notre berceau, est devenue le cimetière de notre dignité.

Très souvent aujourd'hui, alors que le naufrage devient rare et que nous détournons les regards de cette Méditerranée tragique, c'est la vie et ses potentialités qui l'emportent. La mer, espace de notre avenir. La mer, source de tant d'emplois de demain. La mer aventure technologique, qui nous offre des molécules que nous transformons en produits thérapeutiques, alimentaires, énergétiques ou industriels (jusqu'au écrans optiques). La mer, espace de l'éolien, de l'hydrolien, espace de l'énergie thermique. C'est là que réside l'aventure du siècle, alors que plus de 70 % des fonds marins nous restent inconnus. Le dire en Bretagne, grand pays maritime européen, n'est pas anecdotique... Puissent ces évolutions du monde ne pas piétiner de leurs suffisances la fragilité de nos mers qui souffrent déjà tant des activités humaines. À cette condition, la mer est l'avenir de la terre, décidément bleue comme une orange.

La vie, donc.

Mais n'oublions pas la mort.

Tragique et espérance mêlés.

La mer, théâtre de si belles aventures et source de nos avenir, la mer, théâtre de nos abandons, la mer est la métaphore de nos vies.

C'est pourquoi les grandes légendes qui fondent nos cultures, de l'Odyssée à Tristan en passant par la Ville d'Ys, ont la mer pour personnage essentiel.

La mer, ou la condition humaine.

LA MER, MÉTAPHORE DE NOTRE SOCIÉTÉ DU « PRÉSENT PERMANENT »

La terre porte les stigmates de ses grandeurs et de ses blessures. La terre est palimpseste. Palais, ruines, traces, rides et sillons, nous les voyons. Nous pouvons les regarder. Ils font partie de nos jours et deviennent des références territoriales et des « hauts-lieux » parfois. Ils sont appropriés. Et quand l'âge des patrimonialisations locales est venu, à la fin du 20^e siècle, ces traces, même secondaires, offertes à nos yeux, ont pu être protégées pour être transmises. Car, si l'on veut bien les documenter, elles nous disent, un peu, d'où l'on vient. Elles portent, croit-on, le secret de nos origines.

La mer, elle, que depuis deux ou trois siècles nous apprenons à regarder, la mer n'a pas de mémoire. Elle naît chaque jour. Elle naît à chaque instant. Elle n'a pas d'âge. Elle ne porte aucune marque du temps sur sa peau.

Avons-nous assez insisté sur le rôle du visible dans la construction de la notion patrimoniale ? Ce que l'on voit, avec ses yeux. Ce que l'on voit et que l'on s'approprie, petit à petit, au fil du temps. Les géographes nous apprennent qu'à partir de nos espaces de vie nous composons des espaces vécus, intériorisés, rêvés ou fantasmés. Ainsi la trace, dès lors qu'elle est appropriée peut devenir patrimoine, dans une démarche où le regard importe tant.

Car chacun d'entre nous voit, de ses yeux, et la valeur d'ancienneté, tant développée depuis quelques décennies, se construit sur des regards plus que sur des savoirs...

De la mer nous ne voyons que la surface. Jamais ses profondeurs, invisibles au commun des mortels. Or, si la surface de la mer naît ou renaît à chaque instant, les fonds marins, eux, portent

et cachent les traces du passé. C'est le fond qui nous parle des temps d'avant et des drames souvent. La profondeur des eaux recèle la profondeur du temps, alors que la surface est présent permanent. La surface de la mer est ainsi une métaphore de notre civilisation que François Hartog qualifie de présentisme et Michel Maffesoli de présentéisme. L'immédiateté y règne. L'histoire y est invisible. Chaque image chasse la précédente. La mer que nous voyons, et que tant de contemporains aiment regarder, n'a pas de mémoire. Du moins pas de mémoire visible.

Nos sociétés de l'immédiateté, régies par les grands médias d'information permanente, régies par les exigences névrotiques du consumérisme, facilitées par les évolutions technologiques, abolissent la profondeur des temps comme elles tentent d'effacer le livre au bénéfice du tweet, comme elles poussent la longue durée de la réflexion dans les bas-côtés du chemin. Tyrannie de l'urgence. Instant permanent.

Les évolutions du monde ont d'abord aboli le temps naturel et la force des saisons. Elles abolissent maintenant le temps lui-même au profit de cette immédiateté.

Le combat pour le temps, le temps long, la lenteur, est un combat essentiel du monde qui vient...

La mer en sa surface que l'on aime regarder, est la métaphore de ce monde qui vient. L'immédiateté visible. L'histoire rejetée dans les profondeurs. L'histoire engloutie. Antichambre de l'oubli. La mer en sa surface est l'écran plat de nos chaînes d'informations permanentes.

D'où, évidemment, l'importance des recherches historiques, des fouilles, des médiations et donc des musées, des lieux d'expositions et des lieux de culture qui nous parlent des destinées maritimes. Qui nous parlent de l'histoire. Et qui luttent contre la vacuité du seul instant, qui toujours précède l'oubli.

Métaphore de la condition humaine, métaphore d'un monde qui vient, la mer, en ses dualités essentielles – la vie / la mort – l'instant / le temps long – est une leçon à méditer, avec, au cœur et à l'esprit, l'éternel optimisme de la volonté.

Un optimisme qui choisit et choisira la vie. La mer, c'est notre avenir. C'est la recherche et les aventures scientifiques contemporaines, les évolutions technologiques, les emplois de demain. C'est le lien avec les autres. C'est le rêve humain au-delà de l'horizon.

Un optimisme qui toujours se nourrit de ces temps longs qui s'appellent archéologie et histoire. Les expériences d'hier sont leçons à méditer.

Un optimisme tissé d'éthique.

Si la mer est métaphore de la condition humaine, nos destins sont liés.

Une mer en souffrance, de méconnaissance en pollutions, et c'est nous qui toussons.

Une mer documentée, apprise et respectée, et c'est l'homme qui poursuivra son chemin.

En ces sens, Archipel est un bien joli nom pour un Institut de recherches maritimes qui s'affirme citoyen...

Dr. Jean-Michel Le Boulanger

1^{er} Vice-Président du Conseil Régional de Bretagne, chargé de la culture
et de la démocratie régionale, de 2015 à 2021

Maître de conférences en géographie, Université Bretagne Sud
Laboratoire Temps, Mondes et Sociétés TEMOS CNRS (FRE 2015)

jean-michel.le-boulanger@univ-ubs.fr

RÉFÉRENCES

- Glissant – Chamoiseau, *L'Intraitable beauté du monde, adresse à Barack Obama*, Galaade – auteur de vue, Institut du tout-monde, 2009



● PARTIE 1

REGARDS DE JURISTES



LE DROIT COMME OUTIL DE GESTION CITOYENNE DES BIENS COMMUNS MARITIMES ET TERRESTRES

Olivier Moréteau, Professeur de Droit

Louisiana State University,
Paul M. Hebert Law Center
W326C Law Center - 1 East Campus Drive
Baton Rouge, LA 70803-1000, USA
moreteau@lsu.edu

Mots-clés : biens communs ; code civil ; droit civil ; droits de la nature ; droit naturel ; écologie du droit ; générations futures ; responsabilité civile individuelle ; responsabilité du mandataire ; public trust.

RÉSUMÉ

Ce chapitre invite à adopter une approche écologique du droit. Celle-ci prend en compte les droits de la nature et des générations futures. Elle abandonne la vision mécaniste du droit en vue d'un recentrage sur les citoyens et leurs communautés. Les citoyens sont invités à se réapproprier la loi commune, faisant revivre le projet du Code civil. La propriété privée des ressources maritimes et terrestres doit être limitée dans une perspective de préservation des biens communs et d'identification de nouveaux biens communs. Les outils juridiques existants peuvent être mobilisés en vue d'une utilisation écologique. Ainsi, il est possible de mettre en œuvre la responsabilité individuelle des membres du conseil d'administration d'une société lorsqu'il est notoire que leur décision est de nature à causer un dommage sérieux voire irréversible à l'environnement ou à la santé publique. L'existence d'une faute lourde, jugée équivalente à la faute intentionnelle dans la plupart des systèmes juridiques, permet d'ignorer les clauses protégeant les mandataires sociaux de la charge financière de leur responsabilité pour la reporter sur la seule société. Bien sûr, cela n'empêche pas d'agir en même temps contre les sociétés en cause en vue d'une réparation plus large, mais la responsabilité individuelle a un effet bien plus dissuasif. La complexité des situations n'est souvent qu'une addition de problèmes simples qu'une analyse rigoureuse et ciblée permet de résoudre.

ABSTRACT

This chapter is an invitation to an ecological approach of the law. The rights of nature and of future generations are to be taken into account. The traditional mechanical vision of the law is to be replaced with a citizen and community centered approach. Law is indeed a common good, and civil codes meant to organize it as citizen centered. Private ownership of marine and terrestrial resources is to be limited so as to protect existing commons and generate new ones. Existing legal tools can be used in an ecological manner. For instance, board members of corporations can be made individually liable whenever it is public knowledge that business decisions are to

harm the environment or public health in a serious and sometimes irreversible manner. Legal systems agree that gross negligence is equivalent to intentional fault, defeating clauses meant to shield the individual from liability and shifting the onus to the corporation. Corporations may of course be sued because they have deep pockets, but individual liability is a much stronger deterrent. Complexity is no excuse as it can be broken down into simple problems by effective and targeted analysis.

Les juristes ont tendance à écouter la mer l'oreille collée à leur coquille disciplinaire. Ils sont ici invités à en sortir pour développer une vue d'ensemble, génératrice d'un vrai dialogue susceptible de féconder l'action. Cette démarche citoyenne et interdisciplinaire est authentiquement humaniste et scientifique. Elle va dans le sens de l'unité de la connaissance ou consilience (Wilson, 1999), faisant revivre un esprit de renaissance en ces temps de menace climatique.

Les remarques qui suivent sont présentées dans une perspective d'autant plus volontariste et positive que les problèmes qui les génèrent incitent au pessimisme. L'idée est de rechercher ce qu'il faut changer, d'abord dans notre vision du droit, puis dans la manière dont les citoyens peuvent et doivent se réapproprier le droit, et enfin dans une utilisation créative des outils qu'il met à notre disposition. Si la réflexion englobe la mer et le littoral, elle se veut plus large, car applicable à tous les biens communs maritimes et terrestres.

La démarche proposée est de construire la contribution du juriste autour de trois axes. Le premier est une invitation à renouveler notre vision du droit, qui est traditionnellement centrée sur la personne « sujet de droit » pour adopter une approche qui, pour sauver l'humain et lui donner des chances de survie, se recentre sur la nature et les générations futures. Le temps est venu de passer de l'anthropocentrisme à une vision écologique du droit. Le deuxième axe est un appel aux citoyens, pour leur rappeler que le droit leur appartient. Il leur faut faire l'effort de se réapproprier la chose juridique qui sombre aujourd'hui dans l'hypertechnicité au point d'être confisquée par les experts. Si l'on veut bien prendre la peine de faire revivre les fondamentaux de la tradition juridique héritée des Romains et renouvelée par l'esprit des Lumières, le droit peut redevenir un outil de dialogue susceptible de conduire vers un consensus. C'est sans doute le moyen le plus sûr de réduire l'usage de la contrainte, pour en faire une simple menace à l'encontre de ceux qui persisteraient à refuser la règle authentiquement commune; parce que consentie. Plus les clivages politiques deviennent violents, plus l'appel au dialogue et la conciliation doit être fort, avant de devenir inaudible. Le troisième axe prend alors tout son sens, encore qu'il puisse être poursuivi même en cas d'échec relatif des deux autres. Alors que nous vivons une inflation législative galopante, le droit tel qu'il est fourni la plupart des outils dont nous avons besoin. Il appartient au juriste-écologiste citoyen de prendre des initiatives pour les mobiliser de façon créative et efficace. L'utilisation écologique des outils juridiques classiques repose sur l'analyse de réalités complexes et la mise en place d'actions simples. La navigation juridique se fait rarement en eaux calmes : il faut cartographier les récifs, les courants et les contrecourants.

Si ce texte prend parfois des allures de manifeste — il se veut en effet mobilisateur — il repose sur plus de quatre décennies d'étude et de réflexion comparatives sur le droit, englobant notamment sa dimension historique (Moréteau, Masferrer, Modéer, 2019), mais aussi linguistique (Moréteau, 2019), car en droit comme ailleurs les mots ont leur importance.

1. POUR UN RECENTRAGE DU DROIT SUR L'ÉCOLOGIE

La tradition juridique occidentale s'est développée de manière anthropocentrique, mettant l'humain au cœur de sa construction. Au deuxième siècle de notre ère, le jurisconsulte Gaius, à qui l'on doit l'architecture du Code civil des Français, déclarait péremptoirement dans l'introduction à ses Institutes, que « tout le droit dont nous faisons usage se rapporte aux personnes, ou aux

choses, ou aux actions » (Pellat C. A., 1844, 7). La personne humaine était au centre, jusqu'à ce qu'apparaisse la distinction des personnes physiques (les êtres humains tant qu'ils sont vivants) et des personnes morales (les sociétés ou autres groupements) (Saleilles, 1922). Conçue au départ comme une fiction, la personnalité juridique a pris rang de réalité, au point que le droit contemporain en vient à étendre aux sociétés commerciales le bénéfice de droits fondamentaux que la Déclaration des droits de l'homme et du citoyen et le *Bill of Rights* états-unien réservaient à l'humain. C'est ainsi que la Cour suprême des États-Unis en est venue à étendre le bénéfice de la liberté d'expression aux personnes morales (*Citizens United v. Federal Election Commission* 558 U.S. 310 (2010)), permettant aux sociétés commerciales de financer sans limites les élections politiques, conduisant à une corruption du système démocratique dont les résultats sont de plus en plus visibles. Si l'anthropocentrisme des droits fondamentaux nous permet de nous débarrasser progressivement de l'esclavage et des discriminations, il est aussi porteur de dérives comme celles qui conduisent à confondre l'humain et ses outils que sont les robots et les fictions juridiques. Sans renoncer à la protection de l'humain, il importe que le droit protège aussi la nature et les générations futures.

1.1 LA PRISE EN COMPTE DES DROITS DE LA NATURE ET DES GÉNÉRATIONS FUTURES

L'anthropologie nous rappelle que l'homme s'est construit sur son appartenance à la nature avant de se l'approprier (Godelier, 2007) et de développer un concept de droit de propriété susceptible de nous donner des droits exclusifs sur elle, sauf si les lois viennent apporter des limitations (Art. 544 Code civil, inchangé depuis 1804 : « La propriété est le droit de jouir et disposer des choses de la manière la plus absolue, pourvu qu'on n'en fasse pas un usage prohibé par les lois ou par les règlements »). Cette sacralisation de la propriété individuelle, qui se voulait un rempart contre le retour de la féodalité après la Révolution, puise sa source dans la Bible, Yahvé commandant à Adam et Ève de se multiplier et d'assujettir la terre, pour soumettre « les poissons de la mer, les oiseaux du ciel, et toute bête qui remue sur la terre ! » Dieu dit : « Voici, je vous donne toute herbe qui porte sa semence sur toute la surface de la Terre et tout arbre dont le fruit porte sa semence : ce sera votre nourriture » (Genèse, I, 28-29), laissant l'herbe aux oiseaux du ciel et à tout ce qui remue sur la terre (id., I, 30). La tradition judéo-chrétienne met fin à la déification des forces de la nature pour en mettre les ressources sous la domination humaine.

Sous l'influence des peuples premiers, certaines sociétés occidentales, conscientes de la surexploitation des ressources naturelles et d'abus aux conséquences difficilement réparables, reconnaissent aujourd'hui des droits à la « mère Nature ». C'est ainsi que la Constitution équatorienne de 2008 confère la personnalité juridique à la Mère Nature ou *Pacha Mama*, qui est proclamée sujet de droit, avec celui de réclamer réparation (Monjean-Decaudin, 2010). Les articles 71 à 74 de la Constitution de l'Équateur expliquent comment ces droits sont protégés (Moréteau, 2016, pp. 246-247), la Bolivie et le Venezuela ayant des dispositions constitutionnelles comparables (May & Daly, 2014).

Le droit des États-Unis utilise la technique du *public trust* pour réparer le dommage environnemental, dans les cas limités prévus par la loi. La loi fédérale sur la pollution pétrolière (Oil Pollution Act 1990) passée à la suite de la marée noire causée par le naufrage du pétrolier Exxon Valdez, reconnaît que le dommage causé aux ressources naturelles, y compris la perte d'usage par les générations futures, est réparable en cas de pollution maritime et côtière. Un *trustee* ou fiduciaire est désigné pour collecter les indemnités en vertu du principe pollueur-payeur, et les gérer à court et moyen terme dans l'intérêt exclusif du public. La *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA) sert normalement de *trustee*, et des règles précises d'évaluation des dommages ont été mises en place (Moréteau, 2016, pp. 245-246). Ce système permet de gérer la réparation du préjudice écologique côtier à long terme. Il se révèle moins empirique que la réparation du dommage environnemental immédiat mise en place par les juges français lors du désastre de l'Erika, les juges ayant condamné les pollueurs au paiement d'une somme forfaitaire par oiseau mazouté, au bénéfice de la Ligue de protection des oiseaux (Neyret, 2008).

La France a depuis lors légiféré sur la réparation du préjudice écologique (loi no 2016-1087 du 8 août 2016). L'article 1246 du Code civil dispose que « Toute personne responsable d'un préjudice écologique est tenue de le réparer », et l'article 1247 précise qu'« est réparable, dans les conditions prévues au présent titre, le préjudice écologique consistant en une atteinte non négligeable aux éléments ou aux fonctions des écosystèmes ou aux bénéfices collectifs tirés par l'homme de l'environnement ». L'action en réparation est ouverte à un grand nombre de parties, (l'article 1248 désignant « l'État, l'Office français de la biodiversité, les collectivités territoriales et leurs groupements dont le territoire est concerné, ainsi que les établissements publics et les associations agréées ou créées depuis au moins cinq ans à la date d'introduction de l'instance qui ont pour objet la protection de la nature et la défense de l'environnement ». Cela encourage la multiplicité des recours et n'est pas forcément un gage d'efficacité. Pourquoi ne pas faire un pas de plus en s'inspirant des modèles états-uniens (gestion fiduciaire par un organisme public spécialisé) et sud-américains (reconnaissance de la nature comme sujet de droit) ?

À la prise en compte des droits de la nature doit s'ajouter celle des générations futures. L'idée est loin d'être nouvelle. Elle remonte au droit romain, dont le Code civil français a hérité la gestion en « bon père de famille ». Cette notion à la fois surannée et futuriste invite à gérer les ressources de manière raisonnable, non seulement en fonction de ses intérêts présents, mais de ceux de sa descendance. L'article 1137 disait : « L'obligation de veiller à la conservation de la chose, (...) soumet celui qui en est chargé à y apporter tous les soins d'un bon père de famille. » Ce dernier fut remplacé par la « personne raisonnable » au détour d'un amendement proposé par des députés écologistes lors de l'adoption d'une loi sur l'égalité entre les femmes et les hommes (loi no 2014-873 du 4 août 2014). Que l'on veuille abandonner une référence sexiste est en soi honorable, même si tout juriste est capable de relativiser et adapter cette référence au *bonus pater familias* de l'antiquité romaine. Le malheur est que la gestion par une « personne raisonnable », intrusion du *reasonable man* devenu *reasonable person* dans les pays de *common law*, ne garantit pas qu'on se projette sur la génération à venir. Pourquoi ne pas utiliser le vocable « mère de famille » ou « parent raisonnable » ?

N'oublions pas les leçons du passé quand elles ont une portée futuriste. Dans une lettre à James Madison, Thomas Jefferson écrivait que « la terre appartient en usufruit aux vivants » (Washington, 1861). Réfléchissons à la puissance de cette idée. Pourquoi pas une révision de l'article 544 du Code civil pour lui faire dire : « La propriété est le droit de jouir et disposer des choses *en parent raisonnable*, pourvu qu'on n'en fasse pas un usage prohibé par les lois ou par les règlements *ou manifestement contraire aux intérêts des générations futures* » ?

Plaçons-nous un moment sur le littoral et laissons sa beauté nous envahir. Que nous regardions vers la mer ou vers la terre, ne sommes-nous pas happés par cet entre-deux qui nous relie à des mondes différents ? Même la froideur du juriste ne résiste pas à la puissance de cet environnement que le cartographe dessine au moyen d'une ligne et l'artiste d'une transition de couleurs. Nous voici sur le rivage de l'écologie du droit.

L.2 L'ÉMERGENCE DE L'ÉCOLOGIE DU DROIT

Comme la science, le droit évolue, passant d'une conception mécaniste du monde à une vision holistique et écologique. C'est l'idée centrale du livre de Fritjof Capra et Ugo Mattei, *The Ecology of Law* (Capra & Mattei, 2015), fruit de la réflexion interdisciplinaire d'un physicien théoricien des systèmes et d'un juriste comparatiste. En une seule page, les auteurs dressent un tableau qui résume les changements de modèles en science et en droit (Capra & Mattei, 2015, p. 13). Le voici intégralement reproduit en langue française, en espérant que ce livre majeur sera bientôt traduit.

CHANGEMENTS DE PARADIGMES EN SCIENCE ET EN DROIT

SCIENCE	DROIT
Le paradigme mécaniste (le monde comme machine)	
La réalité physique est un ensemble d'éléments séparés.	La réalité sociale est un ensemble d'individus indépendants.
La connaissance scientifique sert à dominer et contrôler la nature.	Le droit sert à protéger l'extraction des ressources par un droit de propriété individuel.
La vérité scientifique (les « lois de la nature ») est accessible par le raisonnement.	Le droit naturel est basé sur la raison humaine.
Le discours scientifique est objectif, il est détaché de la personne qui observe.	Le droit est un cadre objectif, indépendant de la personne qui l'interprète.
Le paradigme systémique ou écologique (le monde comme réseau)	
La réalité physique est un réseau de relations interdépendantes.	La réalité sociale se compose de réseaux sociaux et de communautés.
La connaissance scientifique (« sensibilisation à l'environnement ») doit servir à apprendre de la nature et coopérer avec elle.	Le nouvel ordre juridique écologique doit être utilisé par des citoyens sensibilisés à l'environnement pour protéger les biens communs et en générer de nouveaux.
La connaissance scientifique ne peut être qu'approximative ; elle émerge d'un processus visant à établir un consensus dans la communauté scientifique.	Le droit émerge de l'activité de citoyens engagés dans des communautés autoorganisées.
Les descriptions scientifiques dépendent de la personne qui observe et du processus d'acquisition de la connaissance.	Le droit est ce qui est tenu pour tel par les communautés civiques et juridiques ; il dépend des interprétations humaines de la réalité sociale.

Suit une définition de l'écologie du droit, liée à celle de l'écologie elle-même : « Dans son sens strictement scientifique, l'écologie est la science des relations entre les membres d'une communauté écologique et leur environnement. Dans cette perspective, l'écologie du droit fait référence à un ordre juridique qui se conforme aux principes de base de l'écologie et les respecte » (Capra & Mattei, 2015, p. 14).

La bonne nouvelle est que la mutation décrite par Capra et Mattei est déjà en cours, même si, s'agissant du droit, les manuels classiques et l'éducation juridique reflètent encore la conception mécaniste. En France, les travaux de François Génys annoncent dès la fin du XIX^e siècle un tournant épistémologique associant l'étude du droit à celle de l'économie et de la sociologie, observant le droit comme un fait social : l'accent est mis sur l'étude de la jurisprudence qui établit un pont entre la loi et une réalité sociale fluctuante (Génys, 1899 ; 1914-1924). Le droit comparé (Lambert, 1905), la sociologie du droit (Carbonnier, 1969, 1972) et l'histoire comparative du droit (Moréteau, Masferrer, Modéer, 2019) se sont développés dans cette direction, montrant un changement possible de paradigme. On passe de la pyramide des normes, mécanique et statique, à la logique des réseaux, dont la dynamique est complexe (Vanderlinden, 2002) pour déboucher sur le pluralisme juridique dans ses versions d'abord classiques puis radicales (Vanderlinden, 2013).

Le positivisme n'est pas mort — il a la vie dure dans les facultés françaises — mais le droit est de plus en plus compris comme un réseau de normes qui circulent comme le courant alternatif entre les producteurs de normes et leurs destinataires, les uns comme les autres ayant un impact sur la réalité tant sociale que juridique. L'environnement naturel devient de plus en plus présent dans ce maillage complexe.

Alors que plus que jamais dans la réalité sociale la fracture s'accroît entre le droit et le politique d'une part, et l'expérience sociale et le ressenti de la population d'autre part, les sciences humaines et sociales nous disent combien ils doivent être intrinsèquement liés. L'environnement naturel n'est pas le seul à être menacé, l'environnement social est lui aussi au bord de la rupture, comme le montrent des phénomènes récents comme le Brexit ou la remise en cause de la démocratie libérale par un populisme tonitruant et éruptif (Mounk, 2018). L'écologie du droit est aussi une écologie sociale, comme le paragraphe suivant va le montrer.

2. POUR UNE RÉAPPROPRIATION DU DROIT PAR LES CITOYENS

« Les lois sont faites pour les hommes, et non les hommes pour les lois ». Cette phrase de Jean-Marie-Étienne Portalis, principal rédacteur du Code Napoléon, nous rappelle que le droit est un bien commun, notion promise à un grand avenir dans une vision écologique du droit (Portalis, 1801).

2.1 LA LOI COMMUNE

Le positivisme juridique qui marque encore fortement la réalité juridique française est une arme à double tranchant. Il a une composante citoyenne, héritée de la Révolution de 1789. Le passage du droit naturel, ordonné par la raison humaine, mais trop souvent contrôlé par la religion (Domat, 1689), vers un droit positif déterminé par la loi, expression de la volonté du peuple mise en forme par ses représentants, est un grand progrès d'appropriation citoyenne. L'adoption du Code civil en 1804 en est l'aboutissement. Le génie du Code civil est qu'il s'est inspiré et nourri du droit naturel, l'a affranchi du contrôle de la religion et en a fait l'expression de la volonté des citoyens. Portalis, son principal rédacteur, n'a pas voulu de rupture avec le droit naturel (Portalis, 1801). Ainsi, il avait prévu qu'en cas de silence de la loi, le juge statue en équité, ce qui veut dire le retour à la loi naturelle. Cet article, refusé et remplacé par une disposition de nature répressive (l'actuel article 4), a survécu dans le Code civil de Louisiane jusqu'à 1987, gardant la référence à l'équité, mais supplantant celle au droit naturel. Le positivisme a aussi conduit au culte de la loi et au développement d'un légicentrisme qui affaiblit la jurisprudence du moins dans son expression. En France tout au moins (il en va autrement en Allemagne ou en Italie), elle nous est livrée sans argumentation pour créer l'illusion que tout découle naturellement de la loi (Moréteau, 2014, pp. 246-249), sans parler de la coutume qui a été reléguée aux oubliettes de l'histoire.

La coutume, pourtant reconnue par la tradition civiliste et donc par le Code civil de Louisiane comme source du droit (article 1 : « Les sources du droit sont la loi et la coutume ») (Moréteau, 2017) fut mal vue lors de l'adoption du Code civil, car elle renvoyait à l'ancien régime. Elle est l'enfant pauvre du droit français contemporain qui ne la laisse régner qu'en matière professionnelle et commerciale, notamment en droit du commerce international. Et pourtant qu'est-ce que la coutume sinon l'expression la plus spontanée de la volonté populaire ? La théorie des sources du droit dans la tradition romano-germanique ou civiliste accepte deux sources directes du droit, la loi et la coutume. La loi est l'expression solennelle de la volonté des citoyens telle qu'exprimée par leurs représentants. « La coutume résulte de l'usage répété pendant une longue période et généralement accepté comme ayant acquis force de loi » (Code civil de Louisiane, article 3). En France, le légicentrisme a occulté la coutume, ne lui laissant que peu d'espace. Cette dernière est trop souvent réduite à ce que l'on appelle le droit coutumier, terme qui décrit la coutume telle que rédigée dans des coutumiers de l'Ancien Régime, sur ordre du roi, ainsi figée dans son dévelop-

pement sauf à évoluer dans la science des juristes et la jurisprudence des juges, détachée de son origine spontanée et populaire (Vanderlinden, 2019, pp. 145-147).

Jacques Vanderlinden, après avoir été « l'homme du code » (Vanderlinden, 1967), puis celui du pluralisme radical (Vanderlinden, 2013), est devenu l'homme de la coutume, qu'il redéfinit à partir de l'expérience africaine (Vanderlinden, 2016 et 2019) comme étant « le faire » ou le « *do* » (Vanderlinden, 2016, pp. 131-132 ; 2019, p. 163). Le pluralisme individualise le phénomène juridique en mettant l'accent sur l'expérience de chaque individu, regard indispensable à sa compréhension. Il ne faut pas pour autant perdre de vue l'existence d'un ordre juridique (Romano, 1975) dont le citoyen a vocation à être au centre (Moréteau, 2011).

Le Code civil est le droit du *cives*, du citoyen. Napoléon Bonaparte a voulu qu'il fût rédigé dans un langage clair et accessible au citoyen moyennement éduqué. Si les Belges ont inventé la ligne claire en bande dessinée, les Français ont donné au monde la langue claire pour la rédaction des codes de lois. Il en va très différemment de la common law anglo-américaine, où il faut lire de longues décisions de justice ou des lois extrêmement détaillées pour répondre à des problèmes qui sont réglés en trois lignes dans nos codes. Cela ne veut pas dire que tout est si simple en droit français, mais au moins peut-on accéder à un premier niveau de connaissance et de compréhension sans formation juridique préalable et régler sans l'aide du juriste les problèmes élémentaires, alors qu'aux États-Unis on ne peut répondre à ceux-ci sans consultation juridique et une dépense de plusieurs milliers de dollars.

Bien sûr il y a en France un niveau « expert » dans la compréhension du Code civil, qui fait appel au savoir du juriste professionnel, formé à la taxonomie du Code et informé de la doctrine et de la jurisprudence. Toutefois, le législateur n'oublie pas les niveaux « débutant » (celui du citoyen ordinaire) et « intermédiaire » (celui de l'étudiant en droit) quand il entreprend la révision du code, évitant le recours au jargon et verbiage technique et donnant des énoncés brefs et clairs, le plus souvent fidèles au style d'origine.

La centralité citoyenne se perd lorsqu'on en vient à la législation spécialisée, celle qui se multiplie en dehors du code, souvent pour répondre aux exigences européennes ou à des besoins particuliers. Ces textes de plus en plus nombreux sont parfois illisibles pour le non-spécialiste, et sont moins facilement acceptés par le citoyen quand ils ne répondent pas à ses attentes.

N'oublions jamais que tous ces textes forment des réseaux, et que ce qui n'est pas réglé par une loi spéciale relève de la loi générale que l'on trouve dans le Code civil. Veillons à ce que les lois spéciales nous protègent et prennent en compte notre environnement et les générations futures. Veillons à ce que les lois nous soient communes et protègent les biens communs.

2.2 LES BIENS COMMUNS

Le concept de bien commun nous vient du droit romain. Par choses communes (*res communis*), on désigne les biens qui ne sont pas susceptibles d'appropriation, et ne sont donc ni des choses privées ni des choses publiques. Ces définitions, supposées connues de tous, ne sont pas reprises dans le Code civil français, mais apparaissent dans celui de Louisiane : « Les choses sont communes, publiques ou privées » (article 448). « Les choses communes sont celles dont la propriété n'appartient à personne, tels l'air et la haute mer dont chacun peut se servir librement, conformément à l'usage pour lequel la nature les a destinées » (article 449). Traditionnellement compris comme étant une exception à l'appropriation privée, les biens communs sont aujourd'hui redéfinis comme la solution de principe et la propriété privée l'exception (Capra & Mattei, 2015, p. 149 citent Rodotà, 2013). Ce point de vue est assez juste, si l'on compare la masse des terres appropriées avec celle de la mer et des océans ainsi que le volume de l'atmosphère auquel renvoie le Code civil de Louisiane. Selon ces théories, on ne pourrait s'approprier les choses de manière privée que dans la mesure où cela répond à un besoin (Capra & Mattei, 2015, p. 150). Sans embrasser un point de vue aussi radical ni faire revivre les idéologies collectivistes, il paraît normal que les communautés humaines s'approprient certains biens de manière commune, comme les pâtures communales ou les bois communaux des temps anciens. Au temps où nos ancêtres vi-

vaient de la chasse et de la cueillette, les ressources de la nature étaient communes et cela reste le cas pour les peuples nomades qui en sont de plus en plus écartés. L'appropriation, qu'elle soit publique ou privée, est un acte de pouvoir et d'exclusion.

Le mouvement de l'histoire tend à une forte réduction des ressources communes au profit de l'espace privé ou public. Les États se sont appropriés les fleuves, lacs et rivières, voire parfois les ressources minérales du sous-sol. Les particuliers s'approprient les sources, bien que celles-ci produisent un bien intrinsèquement commun que l'on a le devoir de laisser s'écouler sur les fonds voisins (article 640 et suivants du Code civil français). Les eaux pluviales sont en effet un bien commun.

Une vision écologique du droit devrait mettre en résonnance les notions de biens communs et de communauté, tout comme elles le sont encore largement dans les sociétés africaines, là où elles ont pu résister au colonialisme. Cet appel est lancé dans l'ouvrage de Capra et Mattei qui donnent plusieurs exemples, en matière culturelle et environnementale (Capra & Mattei, 2015, chap. 9). L'idée est que le passage de l'*homo economicus* à l'*homo ecologicus* passe non pas par un retour en arrière, mais par la découverte ou identification communautaire de nouveaux biens communs (Capra & Mattei, 2015, pp. 152-153), selon un processus qu'Elinor Ostrom, prix Nobel d'économie en 2009, désigne par le verbe *communing* (Ostrom, 1990). Capra et Mattei parlent de *commoning*, soulignant que cette notion n'a pas plus de définition unique que celle de bien commun : tout repose sur les idées de soin, devoir, réciprocité et participation (Capra & Mattei, 2015, p. 153). Cela suppose que ceux qui partagent un projet commun institutionnalisent leur volonté collective afin d'avancer vers leur but de manière ordonnée et relativement stable, de façon écologiquement vertueuse, en évitant le gaspillage dans la consommation et l'exploitation (*id.*, p. 154).

L'exemple peut être donné de lacs ou lagunes régénérés secteur par secteur, étape par étape, après identification du parasite ou de la source de pollution, le droit pouvant intervenir pour accompagner le processus, en utilisant la technique du *trust* évoquée plus haut, ou la qualification de bien public (*id.*). L'appropriation collective de biens communs peut être une réponse à la privatisation d'éléments du domaine public. C'est ainsi qu'à l'issue d'un référendum, les Italiens ont résisté à la privatisation de la distribution de l'eau potable, conduisant à la création de *Aqua Ben Comune* à Naples : le réseau est propriété communautaire, géré par la population et les travailleurs dans l'intérêt de la communauté et des générations futures (*id.*, p. 164). La ville de Paris a suivi le modèle napolitain (Eau de Paris), mettant en avant non pas la recherche de profit que se disputaient les compagnies Veolia et Suez, mais un service communautaire veillant à préserver la ressource (*id.*, 2015, p. 165).

Avec un minimum de savoir écologique et juridique, il est possible de promouvoir des utilisations nouvelles d'outils conventionnels, forme de recyclage dont sont adeptes ces décorateurs contemporains qui font revivre les vieilles choses en détournant leur utilisation.

3. POUR UNE UTILISATION ÉCOLOGIQUE DES OUTILS DU JURISTE

Le droit de la responsabilité civile est une des branches les plus classiques du droit. C'est aussi une des plus créatives, car la responsabilité civile est mobilisée par les citoyens et les juges dès qu'apparaît un problème nouveau, parfois pour susciter une intervention législative. Certes, elle ne peut tout faire, mais si l'on sait en utiliser les ressorts, elle est un levier puissant au service de l'écologie, avec effet dissuasif, quand on fait répondre non seulement les grands groupes qui polluent et les institutions politiques qui les autorisent à le faire, mais aussi les individus qui siègent dans leurs conseils lorsqu'ils prennent des délibérations particulièrement dommageables en toute connaissance de cause.

3.1 L'EFFET DISSUASIF DE LA RESPONSABILITÉ CIVILE INDIVIDUELLE

Un exemple pris dans l'actualité récente illustrera le propos, reprenant celui ébauché dans une étude antérieure (Moréteau, 2016, pp. 248-254). Il est relatif à ces gigantesques navires de croisière, luxueuses villes flottantes transportant des milliers de personnes, causant de fortes nuisances côtières, lorsque les déchets sont jetés à la mer. Poursuivie devant la justice pénale fédérale américaine, la société Carnival Cruise a récemment accepté de payer une amende de vingt millions de dollars pour la pollution causée au large des îles Bahamas, par le déversement de déchets pétroliers et de matière plastique (Nace, 2019). Cette amende représente 0,1 % du bénéfice de la société en 2018. Elle fait suite à une condamnation à une amende de quarante millions de dollars deux ans auparavant, ce qui prouve l'absence d'effet dissuasif, même si tous les membres du conseil d'administration de la société furent convoqués à l'audience (Id.).

Imaginons qu'un juge condamne les dirigeants de cette société à une réparation financière substantielle, même si elle est modeste par rapport à l'ampleur du préjudice, avec le dispositif suivant : versement par chaque administrateur d'une indemnité de 100 000 à 150 000 \$ (prix d'une voiture de luxe ou de deux ou trois ans de scolarité dans une université privée américaine) ou remise de dette si le responsable travaille deux ou trois semaines à nettoyer les plages souillées et le littoral endommagé. Le jugement interdira le paiement de l'indemnité par la société ou la substitution de travailleurs payés par elle pour faire le nettoyage. Outre le spectacle des dirigeants sociaux ôtant veste et cravate pour chausser gants et bottes en caoutchouc, puis pataugeant dans le goudron et les immondices, sans doute relayé par les médias, on imagine l'effet sur les délibérations à venir, chez Carnival et dans d'autres compagnies. L'effet dissuasif dépassera largement celui de l'amende et des indemnités payées par la société : on imagine l'impact psychologique sur les administrateurs qui voteront moins comme des moutons dans les conseils d'administration.

L'exemple choisi est simple sur le terrain de la responsabilité : la société Carnival a admis qu'elle était en faute, et le lien de causalité entre la faute et le dommage est indiscutable. Tous les systèmes juridiques occidentaux reconnaissent la possibilité d'engager la responsabilité de la société Carnival, car elle est une personne morale, une entité juridique indépendante, qui peut être actionnée en justice et condamnée, civilement et même pénalement dans beaucoup de droits contemporains. Les membres du conseil d'administration sont des mandataires sociaux. Ce sont eux qui ont approuvé le modèle d'exploitation des croisières et pris les décisions conduisant à la pollution. Ils sont donc les véritables auteurs de la faute de négligence et ils savent que leur délibération, une fois mise en œuvre, va causer des dommages. On peut parler de faute lourde et non de simple négligence, notamment en raison des condamnations antérieures qui leur faisaient savoir que leurs agissements étaient illégaux. En droit civil comme en common law, la faute lourde (*gross negligence*) est traitée comme équivalente à la faute intentionnelle. Ils n'agissent pas avec l'intention de nuire, mais comme ils savent que leur choix sera dommageable, c'est comme si leur agissement était intentionnel : c'est une affaire de bon sens.

La mise en cause de la responsabilité de la société est évidemment souhaitable, car elle dispose des fonds nécessaires pour réparer le dommage (les Américains font allusion à la profondeur des poches ou *deep pockets*). Pourtant, elle n'est pas incompatible avec la responsabilité individuelle de ses mandataires. Il est fréquent en droit que l'on condamne plusieurs parties coresponsables à réparer un dommage, et les juges rendent la responsabilité solidaire, ce qui fait que chacun est responsable pour le tout, mais dispose d'un recours contre les autres pour récupérer leur part. Notons au passage que la solidarité de la créance est de nature à ruiner les mandataires sociaux si la société est en cessation de paiements.

On applique des règles comparables quand un employeur est appelé à réparer le dommage causé par un salarié dans l'exercice de ses fonctions. En pareil cas, le droit français, pourtant très protecteur des salariés, n'exclut pas le recours contre celui-ci quand il est auteur d'une faute intentionnelle ou d'une faute lourde. Le droit de la responsabilité (*law of torts* en common law) permet donc

de cumuler la responsabilité collective de la société avec celle individuelle de ses dirigeants et de ses salariés. N'oublions pas que les dirigeants sont souvent salariés.

Reste un obstacle qui réside dans le droit des sociétés. Par contrat, les sociétés protègent leurs dirigeants et les membres de leur conseil d'administration des conséquences de leur responsabilité civile en s'engageant à payer à leur place les dommages-intérêts auxquels ils pourraient être condamnés. C'est une pratique louable : toute activité économique repose sur une prise de risque, et il est normal que la société protège ses représentants des conséquences de leurs actes de négligence. En assumant les conséquences de la négligence, la société protège ses mandataires du bouclier de sa personnalité juridique. Cette protection, tout à fait normale pour les fautes de gestion courante, ne protège cependant pas les dirigeants de leur responsabilité pénale en cas de crime ou délit ni de leur responsabilité civile individuelle s'il y a faute intentionnelle. Là est le point faible du bouclier, car nous l'avons vu, la faute lourde est équivalente à la faute intentionnelle. Il est donc possible d'agir en réparation contre les dirigeants et représentants des sociétés en cas de faute lourde. Le point est d'importance. La plupart des décisions d'implantation d'usines polluantes en zone sensible sont prises après des études d'impact. Très souvent, le membre du conseil d'administration sait, au moment du vote, que la décision d'implantation risque de causer des dégâts sanitaires et environnementaux sévères, voire irréversibles. Le fait de se réfugier derrière une autorisation administrative n'est pas une excuse valable : elle est éthiquement inacceptable et fut rejetée lors des procès de Nuremberg. La gravité de cette référence est là pour rappeler que nous ne parlons ni de faute légère, ni de dommage ordinaire, mais de fautes lourdes faites en toute connaissance de cause, au mépris des droits fondamentaux des travailleurs ou des résidents, au risque de dommages irréversibles à l'environnement. Les exemples abondent. Pensons à l'implantation récemment autorisée par l'administration louisianaise d'une grosse usine chimique dans la basse vallée du Mississippi, dans une communauté surindustrialisée et déjà polluée au-delà des normes acceptables, où le taux de cancer est anormalement élevé, la région étant appelée *cancer belt* (Mitchell, 2010). Pensons à la déforestation massive au Canada pour exploiter les gaz de schiste, à l'anéantissement de la forêt primaire au Brésil ou en Indonésie, à la marée noire permanente dans la baie de Lagos au Nigéria, aux fausses économies faites par les groupes pétroliers et leurs sous-traitants dans l'exploitation des plateformes pétrolières du Golfe du Mexique, causant en 2010 la pollution pétrolière la plus ample de l'histoire.

Partout où il y a incontestablement une faute lourde et où le lien de causalité entre la faute et le dommage est évident, le citoyen doit dialoguer avec le juriste écologiste pour envisager les actions personnelles contre les dirigeants. Si tous ne peuvent être identifiés ou si certains sont hors d'atteinte, il suffit de choisir ceux qui sont les plus proches. Ils dénonceront peut-être les autres. Bien sûr cela n'exclut pas l'action contre les groupes industriels, mais l'effet médiatique et dissuasif est garanti.

S'agissant du lien de causalité, les juges n'exigent pas forcément la preuve d'une certitude scientifique. Ainsi, la Cour de cassation française accepte comme suffisante la preuve par présomptions ou indices graves, précis et concordants (Cass. civ. 3e, 18 mai 2011, no 10-17645, Bull III, no 80). En outre, lorsqu'il y a des causes multiples, certains systèmes juridiques, dont les droits français et des États-Unis, acceptent la mise en œuvre d'une responsabilité proportionnelle (Cass. civ. 1re, 24 septembre 2009, no 08-16305, Bull. I, no 187 ; Moréteau, 2013 ; Green, 2013), reconnue dans les Principes du droit européen de la responsabilité civile (European Group of Tort Law, 2011, article 3:102 à 3:105) et l'avant-projet français de réforme de la responsabilité civile (Projet de réforme de la responsabilité civile, mars 2017, article 1240) bien que limitée au dommage corporel. Le juriste écologiste peut en outre recommander des actions contre l'administration qui autorise des investissements manifestement déraisonnables et nocifs. On se heurtera certes aux immunités dont bénéficient États et administrations publiques, mais là encore pourquoi ne pas envisager des actions individuelles contre les membres des conseils, qu'ils soient nommés ou élus, ou encore contre les experts indépendants recommandant le projet ? Le tout est de créer un effet d'exemplarité et d'investir dans les procès faciles à gagner, du moins dans un premier temps. Tous ces points demandent des études plus approfondies et une approche stratégique.

3.2 QUELQUES CONSEILS STRATÉGIQUES

Les réflexions qui précèdent ne sont pas un manifeste révolutionnaire, mais plutôt une invitation à repenser notre rapport au droit et au monde sur la base de recherches juridiques à la fois historiques et comparatives. Le défi n'est pas de rejeter contraintes et traditions, car nous ne pouvons pas échapper à notre condition humaine, aux structures innées et contraignantes du langage ni à l'histoire qui nous prédétermine : en prendre conscience nous met en confiance et nous permet d'agir avec liberté et créativité, car il n'y a pas de liberté sans contrainte (Chomsky, 2010). La pensée radicale est celle qui se nourrit à partir des racines et de notre identité rhizome, puisant à plusieurs sources et conduisant à la créolisation (Glissant, 1997). Comme l'écrit Édouard Glissant dans *Traité du Tout-monde*, « La pensée archipélifique convient à l'allure de nos mondes. Elle emprunte l'ambigu, la fragile, le dérivé. Elle consent à la pratique du détournement, qui n'est pas fuite ni renoncement » (Id., p. 31). L'éducation doit être repensée, « Nous devons apprendre notre finitude » (Serres, 1992, p. 148).

Écoutons Michel Serres et son projet de contrat naturel : « Retour donc à la nature ! Cela signifie : au contrat exclusivement social ajouter la passation d'un contrat naturel de symbiose et de réciprocité où notre rapport aux choses laisserait maîtrise et possession pour l'écoute admirative, la réciprocité, la contemplation et le respect, où la connaissance ne supposerait plus la propriété ni l'action la maîtrise, ni celle-ci leurs résultats ou conditions stercoraires. Contrat d'armistice dans la guerre objective, contrat de symbiose : le symbiote admet le droit de l'hôte, alors que le parasite — notre statut actuel — condamne à mort celui qu'il pille et qu'il habite sans prendre conscience qu'à terme il se condamne lui-même à disparaître » (Id., 67).

La stratégie présuppose la connaissance et la pensée. Elle chemine vers un but, qui n'est autre que la survie de notre espèce dans un monde rééquilibré. Devenue parasite, notre espèce se nourrit de la nature comme un cancer qui la dévore jusqu'à la destruction. Aucun individu ne peut seul, même par son action la plus louable, inverser ce processus. Il faut pour cela la pression d'un consensus, d'une action collective amorçant le passage d'un cercle vicieux vers un cercle vertueux. Un consensus se modélise, se construit et se renforce à partir d'actions modestes, mais bien choisies, qui font ensuite boule de neige.

René Girard nous a appris que le désir mimétique est le moteur de l'activité humaine : l'homme est incapable de désirer par lui seul, il faut que l'objet de son désir soit désigné par un tiers. Nos choix ne sont pas libres, nous sommes prisonniers du désir triangulaire, instrumentalisé par les publicitaires qui génèrent et entretiennent la frénésie de consommation de l'*homo economicus* (Girard, 1961). L'*homo ecologicus* doit par son activité même modeste, passant par la consommation modérée, le compostage et le recyclage, la coopération consensuelle respectueuse de la ressource, faire naître un désir qui devienne aussi puissant que celui qu'il veut supplanter. On ne convainc pas les hommes par le discours, mais par le modèle ou la contrainte. Sauf à voir un congénère regagner la santé en renonçant au tabac, le fumeur invétéré ne renonce à la cigarette que quand le cancer est déclaré et il est souvent trop tard. L'humanité a atteint ce point, et il est plus que temps de faire éclore les modèles de coopération citoyenne basée sur l'extension des biens communs.

Dans le même temps, par des actions juridiques bien choisies et de plus en plus nombreuses, mettons en évidence la responsabilité individuelle de ceux qui accélèrent, par mimétisme et appât du gain, la mise à mort des générations futures : les procès de Nuremberg et des cours pénales internationales nous ont appris que la responsabilité individuelle est la seule arme que nous ayons contre les génocides. En devenant de plus en plus systématique, elle devient dissuasive. Elle est une des contraintes, car il y en a d'autres, à l'encontre de ceux qui refusent le consensus salvateur, le nouveau contrat naturel.

À l'objection de la complexité liée à la multiplicité des ordres juridiques et à la superposition de normes internationales et nationales, la réponse est qu'un problème complexe est un conglomérat de problèmes simples. Aucun ne doit résister à une analyse méthodique et efficace. Il y a toujours un tribunal compétent, il y a toujours une loi applicable. Les gens ont forcément au moins une résidence, un compte en banque. Si l'on veut un effet boule de neige, il faut lancer la première

boule, sans attendre que le changement climatique fasse disparaître la neige. Oui, la neige, un bien commun encore pur, qui fond sur la mer et blanchit parfois le littoral et les terres, ralentissant le rythme frénétique de la suractivité humaine.

RÉFÉRENCES

- Bible, Traduction œcuménique de la bible, Cerf (1988, 2004).
- Capra F. & Mattei U., *The Ecology of Law, Towards a Legal System in Tune with Nature and Community*, Berrett-Koehler (2015).
- Carbonnier J., *Flexible droit, textes pour une sociologie sans rigueur*, L.G.D.J. (1969, 10^e éd. 2014).
- Carbonnier J., *Sociologie juridique*, P.U.F. (1972, 2^e éd. 2004).
- Chomsky N., *Raison et liberté. Sur la nature humaine, l'éducation et le rôle des intellectuels*, Agone (2010).
- Domat J., *Les lois civiles dans leur ordre naturel* (1689).
- European Group of Tort Law, *Principes du droit européen de la responsabilité civile*, O. Moréteau (dir.), M. Séjean (trad.), Société de législation comparée (2011).
- Gény F., *Méthode d'interprétation et sources en droit privé positif : essai critique*, L.G.D.J. (1899).
- Gény F., *Science et technique en droit privé positif : nouvelle contribution à la critique de la méthode juridique*, 4 vol., Sirey (1914 à 1924).
- Girard R., *Mensonge romantique et vérité romanesque*, Grasset (1961).
- Glissant E., *Traité du Tout-monde*, Gallimard (1997).
- Godelier M., *Au fondement des sociétés humaines, Ce que nous apprend l'anthropologie*, Albin Michel (2007).
- Green M.D., Causal Uncertainty and Proportional Liability in the US, in *Proportional Liability: Analytical and Comparative Perspectives*, I. Gilead, M.D. Green, B.A. Koch (dir.), De Gruyter (2013), pp. 343-369.
- Lambert E., Conception générale, définition, méthode et histoire du droit comparé. Le droit comparé et l'enseignement du droit, in *Congrès international de droit comparé 1900, Procès-verbaux des séances et documents*, vol. 1, L.G.D.J. (1905) p. 26.
- May J.R. & Daly E., *Environmental Constitutionalism*, Cambridge University Press (2014).
- Mitchell D.J., Key air permits granted for \$9.4B Formosa Plastics complex in St. James Parish; opponents promise fight, *The Advocate*, 20 janvier (2020).
- Monjean-Decaudin S., Constitution et équatorianité : La Pacha Mama proclamée sujet de droit, *Histoire(s) de l'Amérique latine* (2010), p. 14.
- Mounk Y., *Le peuple contre la démocratie* (2018).
- Moréteau O., *De revolutionibus*, The Place of the Civil Code in Louisiana and in the Legal Universe, in *Le droit civil et ses codes : parcours à travers les Amériques*, J. Ando Dorato, J.F. Ménard & L. Smith (dir.), Thémis (2011), pp. 1-34.
- Moréteau O., Causal Uncertainty and Proportional Liability in France, in *Proportional Liability: Analytical and Comparative Perspectives*, I. Gilead, M.D. Green, B.A. Koch (dir.), De Gruyter (2013), pp. 141-152.
- Moréteau O., *Le juriste français entre ethnocentrisme et mondialisation*, Dalloz (2014).
- Moréteau O., Individual Liability in a Vulnerable Environment: Revisiting the Ethical Foundations of Tort Law, in *Essays in Honour of Jaap Spier*, H. Koziol, U. Magnus (dir.), Jan Sramek Verlag (2016), pp. 239-257.
- Moréteau O., *Code civil de Louisiane, Édition bilingue*, Société de législation comparée (2017).
- Moréteau O., Masferrer A., Modéer K. (dir.), *Comparative Legal History*, Edward Elgar (2019).
- Moréteau O., The Words of Comparative Law, *Journal of International and Comparative Law* 6 (2019), pp. 183-208.
- Nace T., Carnival Cruise to Pay \$20 Million after Admitting to Dumping Plastic Waste in the Bahamas, *Forbes*, 11 juin (2019).
- Neyret L., Naufrage de l'Erika : vers un droit commun de la réparation des atteintes à l'environnement, *Dalloz* 2008, 2681.

- Ostrom E., *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press (1990).
- Pellat C.A., *Institutes de Gaius traduites et commentées*, t. 1, Thorel (1844).
- Portalis J.M.E., *Motifs et discours prononcés lors de la publication du Code civil. Discours prononcé le 21 janvier 1801*, Confluences, Bordeaux (2004).
- Rodotà S., *Il terribile diritto: Studi sulla proprietà privata e sui beni comuni*, Il Mulino (2013).
- Romano S., *L'ordre juridique*, 2^e éd., François et P. Gothot (trad.), Dalloz (1975).
- Saleilles R., *De la personnalité juridique, Vingt-cinq leçons d'introduction à un cours de droit civil comparé sur les personnes juridiques*, Rousseau (1922).
- Serres M., *Le contrat naturel*, Flammarion (1992).
- Vanderlinden J., *Le concept de code en Europe occidentale du XIII^e au XIX^e siècle. Essai de définition*, Université libre de Bruxelles (1967).
- Vanderlinden J., Réseaux, pyramides et pluralisme ou regards sur la rencontre de deux aspirants-paradigmes de la science juridique, *Revue interdisciplinaire d'études juridiques* 49 (2002), p. 11.
- Vanderlinden J., *Les pluralismes juridiques*, Bruylant (2013).
- Vanderlinden J., Ultimes égarements à propos de la coutume, in *Le droit comparé et... Comparative Law and...*, A. Albarian et O. Moréteau (dir.), Presses universitaires d'Aix-Marseille (2016), pp. 117-135.
- Vanderlinden J., Here, There and Everywhere ... or Nowhere? Some Comparative and Historical Afterthoughts about Custom as a Source of Law, in *Comparative Legal History*, O. Moréteau, A. Masferrer, K. Modéer (dir.), Edward Elgar (2019), pp. 140-166.
- Washington H.A., *The Writings of Thomas Jefferson*, Derby (1861).
- Wilson E. O., *Consilience: The Unity of Knowledge*, Vintage Books (1999).

CONSEILS DE LECTURES

- Capra F. & Mattei U., *The Ecology of Law, Towards a Legal System in Tune with Nature and Community*, Berrett-Koehler (2015).
- Moréteau O., Individual Liability in a Vulnerable Environment: Revisiting the Ethical Foundations of Tort Law, in *Essays in Honour of Jaap Spier*, H. Koziol, U. Magnus (dir.), Jan Sramek Verlag (2016), pp. 239-257.

MER ET LITTORAL : UN BIEN COMMUN ?

COMMENT RENDRE POSSIBLE CE QUI EST NÉCESSAIRE, SOIT PAR LE CONSENSUS, SOIT PAR LA CONTRAINTE ?

RÉFLEXIONS À PARTIR DU DROIT DE L'UNION EUROPÉENNE

Anne-Sophie Lamblin-Gourdin, maître de conférences HDR en droit public

Université Bretagne Sud
Laboratoire Lab-LEX (EA 7480)
anne-sophie.lamblin-gourdin@univ-ubs.fr

Mots-clés : union européenne ; compétence ; gouvernance multi-niveaux ; politiques publiques ; normes ; *soft-law*

RÉSUMÉ

L'Union européenne est un acteur majeur de l'action publique et a fait du développement durable un de ses objectifs et un principe structurant. Mais sa contribution à la gestion des espaces maritimes et littoraux en tant que bien commun souffre encore d'un manque de cohérence malgré une action normative à la fois contraignante et incitative.

ABSTRACT

European union is a major actor of public action and sustainable development is one of its objectives and principles. But its contribution to seas and coastlines as a common still suffers of a lack of coherence despite a normative action both compulsory and incentive.

Parce que l'Union européenne est un acteur majeur de l'action publique et de la production normative, tant au niveau intra-européen qu'au niveau international, la réflexion engagée par l'Institut Archipel en juin 2019 sur la mer et le littoral en tant que bien commun ne peut s'affranchir d'une réflexion à la lumière de cet ordre juridique singulier. En effet, la notion de commun ou de bien commun « renvoie à la dimension collective de ressources contrôlées par une communauté qui régule ses usages de façon à en assurer une gestion pérenne » (Chaigneau A., 2018). Or, rassemblant des États et des peuples, l'Union européenne tend effectivement à constituer une communauté, unie autour de valeurs et d'objectifs communs parmi lesquels « le développement durable de l'Europe », « un niveau élevé de protection et d'amélioration de la qualité de l'environnement » ainsi que le « développement durable de la planète » (Article 3 §3 et §5 TUE). Surtout, depuis ses origines, le projet d'unité européenne repose sur l'émergence d'interdépendances croissantes forgeant une solidarité entre les États membres et entre les peuples d'Europe.

La géographie de l'espace européen met immédiatement en évidence la relation étroite qui unit l'Union européenne à la mer et au littoral ; en effet, celle-ci est ouverte sur plusieurs mers, Atlantique du Nord-Est, Baltique, Manche, Méditerranée, Mer Noire, et 21 de ses 27 États membres ont une façade maritime.

Dans le contexte d'une réflexion juridique sur les espaces maritimes et littoraux en tant que biens communs, il s'agira donc d'interroger la contribution de l'Union européenne : quelle est ou quelle pourrait être son apport à l'établissement de modes alternatifs de gestion de la ressource, de ses accès, de son usage en vue de sa préservation ? Au-delà, en quoi la prise en compte du droit de l'Union européenne contribue-t-elle à la réflexion scientifique sur les espaces maritimes et littoraux en tant que biens communs ? À cet effet, seront esquissés les conditions (1) ainsi que les modalités de sa contribution normative (2).

1. RÉFLEXION SUR LES CONDITIONS DE LA CONTRIBUTION DE L'UNION EUROPÉENNE À L'APPRÉHENSION DE LA MER ET DU LITTORAL EN TANT QUE BIENS COMMUNS

En propos liminaire, il convient de rappeler que, quel que soit le domaine d'action considéré, toute contribution de l'Union européenne est déterminée par la nature de cette entité singulière qui, malgré la finalité fédérale qui l'anime et la logique d'intégration qui structure son fonctionnement, n'est pas et n'a pas vocation à devenir un État. Cette caractéristique emporte plusieurs conséquences générales affectant la gestion des espaces maritimes et littoraux.

1.1 DES ESPACES MARITIMES ET LITTORAUX SOUS SOUVERAINETÉ DES ÉTATS MEMBRES

Pour les juristes, la notion de territoire est étroitement liée à celle d'État, le droit international faisant du territoire, dans ses dimensions terrestre, maritime et spatiale, ainsi que de sa maîtrise les conditions d'existence de l'État. Or, entité juridique singulière, l'Union européenne ne dispose pas des attributs de l'État, parmi lesquels le territoire. Ainsi, et bien que le droit qu'elle produit emploie des expressions se rapportant au territoire, telles celles de marché intérieur ou d'espace de liberté, de sécurité et de justice, l'Union européenne exerce ses attributions sur les territoires des États membres. Elle est dépourvue de souveraineté territoriale, de sorte que les espaces maritimes et littoraux la bordant sont sous la souveraineté de ses États membres ; en témoigne la formule employée par la directive-cadre du 17 juin 2008 établissant une stratégie pour le milieu marin qui couvre les « eaux marines placées sous la souveraineté et la juridiction des États membres de l'UE » (Directive n° 2008/56 du Parlement européen et du Conseil, 17 juin 2008, JOUE, L 164, 25 juin 2008). Ensuite, comme le sont les organisations internationales qui ne disposent pas de compétence inhérente à leur seule existence, l'Union européenne est régie par le principe des compétences attribuées en vertu duquel elle ne peut agir qu'en fonction des compétences qui lui sont confiées par les États membres (Art. 3§6, 4§1 et 5§1 TFUE); certes, ses compétences

sont étendues et couvrent des domaines diversifiés mais elles encadrent voire limitent l'éventuelle contribution de l'Union à la gestion des espaces maritimes et littoraux. Enfin, eu égard au système des compétences de l'Union, la question du droit de propriété relève prioritairement des droits nationaux (Art. 345 TFUE).

Les caractéristiques précitées de l'Union européenne ne sont pas sans incidence sur la problématique des espaces maritimes et littoraux comme biens communs. En effet, toute action de l'Union européenne doit être fondée juridiquement sur les traités en étant justifiée par sa dimension européenne. À cet égard, il est évident que la gestion des espaces maritimes et littoraux ne peut pas être menée à la seule échelle nationale et présente une dimension européenne voire internationale. Tout en étant nécessaires aux activités humaines et économiques, les espaces maritimes et littoraux sont particulièrement vulnérables et sensibles au dérèglement climatique. En ce sens, ils s'inscrivent dans les enjeux auxquels l'Union et ses États membres sont confrontés. L'ampleur et la diversité des objectifs assignés à l'Union européenne constituent également autant de motifs d'action commune : promotion de la paix, des valeurs et du bien-être des peuples, croissance économique, développement durable, cohésion économique, sociale et territoriale (Art. 3 TUE) ; tous présentent une dimension transnationale par nature nécessitant de dépasser le cadre national de la souveraineté territoriale.

1.2 L'ÉCLATEMENT DES COMPÉTENCES DE L'UNION EUROPÉENNE EN MATIÈRE MARITIME ET LITTORALE

Corrélativement aux objectifs, les traités offrent les bases juridiques nécessaires à une action de l'Union ; mais le système des compétences de l'Union (Art. 2 à 6 TFUE), organisé dans une logique fonctionnelle et catégorielle, est source de complexité, ce qui conduit à une approche fragmentée de la gestion des espaces maritimes et littoraux.

Au plan chronologique, l'Union européenne n'a d'abord appréhendé la mer que sur le fondement de bases juridiques fragiles car peu explicites (P. Daillier, 2017). En outre, sa contribution n'étant que fonctionnelle, c'est-à-dire dictée par l'émergence de nouveaux besoins et non conceptualisée *a priori*, les interventions communautaires en la matière n'ont pas forcément obéi à la recherche d'une cohérence juridique globale, mais proviennent surtout d'un développement pragmatique répondant à l'émergence de besoins nouveaux. Cette observation, qui concerne l'ensemble des politiques et domaines d'action de l'Union, est particulièrement nette s'agissant de tout ce qui a trait à l'environnement et à l'action maritime. Ensuite, la pluralité de bases juridiques susceptibles d'être mobilisées au service de la mer et du littoral emporte des incidences sur les procédures décisionnelles ; en effet, les modalités de vote au Conseil et le rôle du Parlement européen comme les conditions d'exercice de la compétence et plus généralement les modes de gouvernance, sont variables selon le fondement juridique retenu. Ainsi, si la conservation des ressources biologiques de la mer est l'objet d'une compétence exclusive de l'Union européenne, la pêche, la cohésion économique, sociale et territoriale ainsi que la protection de l'environnement relèvent de la catégorie des compétences partagées avec les États membres, l'intervention de l'Union étant alors soumise au principe de subsidiarité exigeant la démonstration de la nécessité de son action (Art. 5§3 TUE). En outre, l'action normative de l'Union européenne présente des intensités variables, certains domaines d'action, parmi lesquels le tourisme ou l'industrie, ne pouvant être l'objet que d'une compétence d'appui, de coordination ou de complément, la responsabilité normative étant réservée aux États membres.

Il ressort de l'éclatement des compétences de l'Union en matière maritime et littorale une faible cohérence juridique globale que l'Union européenne s'efforce de tempérer. Mais cet effort reste marqué par l'approche fonctionnaliste qui caractérise un processus d'intégration dominé par la logique économique. Or l'intégration économique, socle sur la base duquel a été forgée l'Union, demeure un objectif prioritaire, d'autant plus marqué que, dans le contexte de défiance actuel vis-à-vis de l'Union, l'objectif de croissance économique est le principal sinon le seul dénominateur commun des États membres. L'intitulé donné à la communication de la Commission de septembre 2012 est

particulièrement révélateur de cette approche économique de la mer et du littoral ; intitulée « La croissance bleue : des possibilités de croissance marine et maritime durables », la communication débute par l'exposé des activités économiques qui dépendent de la mer et qualifie la mer et le littoral de « moteurs de l'économie », « l'objectif étant de mobiliser le potentiel inexploité des océans, des mers et des côtes de l'Europe en faveur de l'emploi et de la croissance » (« La croissance bleue : des possibilités de croissance durable dans les secteurs marin et maritime », Commission européenne, 2012) ; et même si le caractère épuisable des ressources est souligné, il s'agit bien « d'explorer et de développer le potentiel de croissance dans ces domaines ».

L'absence dans les traités sur l'Union européenne de fondement juridique spécifique aux espaces maritimes et littoraux permettant de les envisager dans toutes leurs dimensions conduit à une appréhension indirecte de la problématique de leur gestion et rend difficile l'élaboration d'une véritable planification maritime à l'échelle de l'Union. De surcroît, la nature juridique de l'Union et l'imbrication de ses compétences avec celles des États membres expliquent les limites de l'action européenne en la matière, autant que le difficile consensus politique entre des États membres aux intérêts divers. Et même dans l'hypothèse d'une action normative de sa part, la place des ordres juridiques nationaux reste considérable et rend difficile la mesure de son impact réel ; en effet, hormis la conservation des ressources biologiques de la mer, objet d'une compétence exclusive de l'Union européenne y compris dans l'ordre juridique international, et l'activité de pêche, objet d'une politique commune, la plupart des activités maritimes sont, au plus, l'objet d'une « action commune » ou sont considérées comme « d'intérêt commun ».

En dépit de ces réserves, il y a bien une action de l'Union européenne visant la mer et le littoral. Bien qu'éclatées et d'intensité variable, ses compétences ont permis à l'Union de forger progressivement une politique maritime intégrée caractérisée par une approche dual : les espaces maritimes et littoraux sont appréhendés en tant que cadre ou support d'activités économiques et humaines mais aussi en tant qu'espaces naturels à préserver.

2. RÉFLEXION SUR LES MODALITÉS DE LA CONTRIBUTION NORMATIVE DE L'UNION EUROPÉENNE À LA GESTION DE LA MER ET DU LITTORAL EN TANT QUE BIENS COMMUNS

Si la nécessité d'appréhender la mer et le littoral en tant que bien commun est admise, la question se pose des modalités de leur gestion : par le consensus ou par la contrainte ?

La réflexion menée à partir du droit de l'Union européenne indique que ces deux voies ne sont pas exclusives l'une de l'autre mais, au contraire, complémentaires et que l'Union européenne les poursuit simultanément du fait de leur complémentarité.

2.1 LE CARACTÈRE CONTRAIGNANT DE L'INTÉGRATION PAR LE DROIT

L'adoption d'actes de commandement matérialisant une régulation publique autoritaire est le mode traditionnel de gouvernance publique au sein des États. Et le droit de l'Union européenne, *a contrario* du droit international traditionnel qui préserve les compétences régaliennes des États dont le pouvoir législatif, est inspiré de ce modèle étatique ; celui-ci a été transposé à l'Union ainsi dotée d'une véritable puissance normative qui correspond à l'exercice en commun de la souveraineté et conduit à une intégration au moyen d'un droit dérogatoire du droit international traditionnel. En effet, l'unité européenne forgée par l'intégration des économies des États membres procède du transfert du pouvoir normatif des États membres au profit de l'Union et de ses institutions dans des domaines limités mais de plus en plus nombreux. Ainsi, dans les domaines de compétences exclusives et partagées, l'Union européenne peut adopter des actes juridiques obligatoires dans tous leurs éléments, dont les règlements et décisions, dotés d'un effet direct dans les ordres juridiques nationaux (CJCE, 5 février 1963, Aff. 26/62, *Van Gend en Loos*) et primant sur les normes nationales contraires (CJCE, 15 juillet 1964, Aff. 6/64, *Costa contre E.N.E.L.*). Le caractère contraignant des règles communes est assuré par le contrôle de leur application par la Commission et par les

juridictions nationales, leur non-respect pouvant être l'objet de sanctions financières infligées par la Cour de justice aux les États membres (Art. 260§3 TFUE) dont la responsabilité peut, en outre, être engagée lorsque la violation des obligations issues du droit de l'Union cause un préjudice (CJCE, 19 novembre 1991, Aff. C-6/90, *Francovich et Bonifaci*). Adoptés avec la participation des représentants des gouvernements des États membres et des représentants des peuples européens, ces actes juridiques prescrivent au moins des résultats à atteindre, en précisant éventuellement les moyens d'y parvenir. Et la Cour de justice de l'Union européenne contribue largement à leur caractère contraignant en les interprétant de manière finaliste à la lumière des objectifs des traités.

C'est ce mode de gouvernance qui a caractérisé les trente premières années de fonctionnement des Communautés puis de l'Union européenne et qui a permis la réalisation du marché intérieur et des libertés de circulation économique. La démarche fonctionnaliste et la logique d'engrenage qui la caractérise ont aussi conduit à la consécration de nouvelles compétences, dont celle en matière d'environnement enrichie du principe de développement durable (Art. 11 TFUE). Le caractère transversal de celui-ci lui permet de couvrir toutes les politiques et domaines d'action de l'Union et celle-ci peut l'imposer. Progressivement, « l'action environnementale européenne est ainsi passée d'une approche corrective visant certains problèmes spécifiques à une approche plus transversale, préventive et intégrée » (Torre-Schaub M, 2012) concernant, entre autres, les espaces maritimes et littoraux. Désormais, la politique commune de la pêche est organisée dans la perspective de la conservation et l'exploitation durable des ressources halieutiques (Règlement n° 1380/2013 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2013 du 11 déc. 2013, *JOUE*, L 354, 28 déc. 2013); chaque pêcherie ou groupe de pêcherie est l'objet d'objectifs et stratégies de gestion établis par des plans annuels ou pluriannuels visant une meilleure conciliation entre les capacités de pêche et l'état des stocks accessibles, au besoin par la réduction des capacités de capture et la sélectivité (Daillier P., 2019). Suite aux naufrages des navires Erika (1999) puis Prestige (2001), la navigation a également été l'objet de mesures communautaires contraignantes destinées à en améliorer la sécurité et à lutter contre les pollutions marines avec, par exemple, l'établissement d'un système communautaire d'information pour le contrôle et la réduction de la pollution causée par le déversement en mer d'hydrocarbures et d'autres substances dangereuses (Décision n° 86/85 du Conseil, 6 mars 1986, *JOCE*, L77, 22 mars 1986, abrogée et remplacée par Décision n° 2850/2000 du Parlement européen et du Conseil, 20 déc. 2000, *JOCE*, L 332, 28 décembre 2000) ; les activités maritimes étant également l'objet d'une réglementation internationale, les principales conventions internationales en matière de prévention et de lutte contre les pollutions marines ont été intégrées à l'ordre juridique de l'Union et ont permis d'améliorer le suivi du trafic maritime et de renforcer les contrôles de navires (Cudennec A., 2018).

Mais si l'action contraignante caractérise la production normative de l'Union européenne, force est de constater qu'elle est complétée voire concurrencée par une normativité plus souple, de nature incitative.

2.2 L'ACTION INCITATIVE DANS LE CONTEXTE DE LA GOUVERNANCE MULTI-NIVEAUX

Parce qu'elle n'est pas un État et n'a pas vocation à le devenir, l'Union européenne est animée par un processus d'intégration associant les divers niveaux d'action publique, y inclus les échelons régionaux et locaux. En effet, le système des compétences de l'Union, par nature limitées, oblige à leur articulation avec les compétences de droit commun des États membres conduisant à une imbrication des actions européennes, nationales, régionales et locales. S'y ajoute que, reposant sur une logique d'administration indirecte, le droit de l'Union européenne est, sauf cas particulier, mis en œuvre par les autorités des États membres, aux niveaux national, régional ou local (Art. 291 TFUE). Dans ce contexte de gouvernance multi-niveaux, l'action incitative au moyen d'instruments relevant de la *soft-law* peut favoriser une meilleure acceptabilité et appropriation des règles communes par les divers acteurs nationaux. L'expression renvoie à l'ensemble « des règles dont

la valeur normative serait limitée soit parce que les instruments qui les contiennent ne seraient pas juridiquement obligatoires, soit parce que les dispositions en cause, bien que figurant dans un instrument contraignant, ne créeraient pas d'obligation de droit positif, ou ne créeraient que des obligations peu contraignantes » (Salmon J., 2001). Droit mou ou droit souple, la *soft-law* correspond donc à un mode d'action plus doux reposant sur le postulat que la contrainte n'est pas le seul moyen de parvenir au résultat escompté.

Dès ses origines, l'Union européenne a admis et formalisé ce mode de production juridique en autorisant les institutions à adopter des recommandations et avis, définis comme ne liant pas (Art. 288 TFUE). Pourtant, l'essentiel du droit souple de l'Union provient de la pratique institutionnelle de recourir à des catégories d'actes juridiques atypiques car non prévus, afin de s'affranchir du cadre fixé par les traités ; de nombreuses orientations générales, lignes stratégiques et lignes directrices ont ainsi été adoptées et, dans la catégorie des compétences dites d'appui, d'encouragement ou de complément, constituent même le seul moyen d'action de l'Union européenne. Les fonctions assignées à ces actes peuvent être préparatoires, il s'agit alors pour l'Union de programmer une future action plus contraignante ; elles peuvent aussi constituer une véritable substitution à l'action normative traditionnelle. Par ces dispositions, l'Union européenne identifie des objectifs consensuels, que les États membres poursuivent volontairement en application de leurs propres caractéristiques. Par cette action incitative, l'Union européenne se veut davantage facteur de convergence consentie et volontairement poursuivie que source de règles autoritaires. L'action de l'Union européenne dans le domaine maritime et littoral correspond particulièrement bien à ce phénomène de normativité souple. La politique maritime intégrée, impulsée par la Commission en octobre 2007 (« Une politique maritime intégrée pour l'Union européenne », Commission européenne, 2007) afin de dépasser l'approche sectorielle qui prévalait jusqu'alors, a inauguré une nouvelle forme de gouvernance. Celle-ci envisage les espaces maritimes dans leur globalité et cherché à assurer plus de cohérence entre diverses activités grâce à une approche transversale. Surtout, elle invite les États membres à appliquer eux-mêmes l'approche intégrée dans la détermination de leurs politiques maritimes nationales et instaure trois instruments de planification horizontaux respectivement relatifs à la sûreté de l'utilisation des mers et à la sécurité des frontières maritimes européennes, à l'aménagement du territoire et la gestion des zones côtières, et à l'établissement d'une base de données et d'un stock d'informations marines. Sa mise en œuvre s'est traduite par l'adoption de plusieurs dispositions, dont la directive-cadre sur la stratégie marine intégrée du 17 juin 2008 (Directive 2008/56/ce du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin », JOUE L164, 26 juin 2008). Celle-ci témoigne du choix de procéder par l'action incitative. En effet, en tant que telle, la politique maritime intégrée n'est pas contraignante ; elle est un cadre favorisant la convergence des actions communautaires et nationales. Elle peut donner lieu à des actes juridiques contraignants de la part de l'Union dans les domaines de compétence qui sont les siens, mais elle se manifeste aussi par des mécanismes incitatifs, notamment de nature financière. Le Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche (FEAMP) encourage ainsi l'adoption de pratiques durables par les pêcheurs, la diversification des activités économiques des zones côtières ainsi que la création d'emplois et l'amélioration de la qualité de vie en zone littorale par des facilités d'accès au financement ; fonctionnant par un système de cofinancement, il incite les acteurs nationaux du développement économique, social et territorial à prendre en considération les objectifs européens pour pouvoir bénéficier de soutiens financiers. Ainsi, la perspective de bénéficier d'une prise en charge partielle par le budget de l'Union des investissements en faveur des activités maritimes et de la pêche incite les États membres à se conformer aux objectifs européens. Au-delà, l'action incitative par le soutien financier « s'appuie sur une harmonisation et une coordination des démarches entreprises à tous les niveaux décisionnels. Elle provoque aussi une interdépendance des acteurs » (Tosello-Moes A, 2014) favorisant l'appréhension de la mer et du littoral en tant que bien commun.

Quelles perspectives ?

Ces quelques considérations ayant eu pour seul objet de contribuer à introduire un cadre de recherches pluridisciplinaires sur la mer et le littoral, il s'agit à ce stade non pas de conclure mais, au contraire, d'esquisser des perspectives de réflexion à la lumière du droit de l'Union européenne. À mi-chemin de l'organisation internationale et de l'État, associant de nombreux États et leurs peuples dans l'exercice collectif de droits souverains, l'Union européenne constitue un cadre particulièrement approprié aux communs et à la gestion partagée qu'ils supposent. Mais, au plan institutionnel, l'appréhension de la mer et du littoral en tant que bien commun met à l'épreuve l'actuel système des compétences de l'Union européenne et interroge son adéquation aux défis contemporains. Au plan substantiel, la mer et le littoral comme biens communs défient le mode traditionnel de gouvernance par la norme contraignante et invitent à s'intéresser davantage à d'autres formes de normativité favorisant l'appropriation par les acteurs publics et *in fine* par les citoyens. Surtout, l'objectif de développement durable tel qu'il est conçu incluant le triptyque économie, social, environnement, ne porte-t-il pas en germe ses limites voire son insuffisance ?

Par une résolution adoptée le 15 janvier 2020, le Parlement européen a invité les chefs d'État et de gouvernement à engager une conférence sur l'avenir de l'Europe dans le but d'identifier les évolutions juridiques nécessaires à la résolution par l'Union européenne des défis communs. Les citoyens devraient y être largement associés. S'emparant du mécanisme de démocratie directe qu'est l'initiative citoyenne européenne, ils ont déjà exprimé leur préoccupation s'agissant de l'eau (« Right2Water - L'eau et l'assainissement sont un droit humain ! L'eau est un bien public, pas une marchandise ! », 2012), ce qui a conduit la Commission européenne à prendre certains engagements. Si l'intégration européenne a été initiée par les gouvernements États membres au moyen des traités et forgée par les institutions de l'Union grâce à une intense activité normative et jurisprudentielle, une demande de plus grande implication des citoyens européens se fait sentir. S'agissant de la mer et du littoral, et s'il en était besoin, ce contexte justifie particulièrement les travaux engagés par Archipel, l'institut citoyen d'études maritimes et littorales.

RÉFÉRENCES

- Bertrand B., Les enjeux de la soft-law dans l'Union européenne, *Revue de l'Union européenne*, n° 575, 2014, pp. 73 – 84.
- Chaigneau A., Commun(s), *Dictionnaire juridique des transitions écologiques*, Collart Dutilleul F., Pironon V., Van Lang A. (dir.), Bréger Th. (coord.), Institut Universitaire Varenne, Coll. Transition & Justice, septembre 2018, (882 p.), p. 215 – 2019.
- Cudennec A., Milieu marin (aspects internationaux et européens), *Dictionnaire juridique des transitions écologiques*, Collart Dutilleul F., Pironon V., Van Lang A. (dir.), Bréger Th. (coord.), Institut Universitaire Varenne, Coll. Transition & Justice, septembre 2018, (882 p.), pp. 516 – 519.
- Daillier P., Mer, *Répertoire de droit européen*, Dalloz, juin 2015, actualisation octobre 2017, point n°7.
- Daillier P., Pêche, *Répertoire de droit européen*, Dalloz, août 2015, actualisation juillet 2019, point n°22.
- Salmon J. (dir.), *Dictionnaire de droit international public*, Bruylant, coll. Universités francophones, Bruxelles, 2001, (1200 p.), p.1039.
- Torre-Schaub M., L'apport du principe de développement durable au droit communautaire : gouvernance et citoyenneté écologique, *Revue de l'Union européenne*, 2012, n° 555, p.84 – 92.
- Tosello-Moes A., L'influence de l'Union européenne sur la territorialisation des politiques publiques en France, *Revue de l'Union européenne*, n° 576, 2014, p. 178 -187.

DOCUMENTS OFFICIELS

- Traité sur l'Union européenne et traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, *JOUE* C 202 du 7 juin 2016.
- *Une politique maritime intégrée pour l'Union européenne*. Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions, COM (2007) 575 final, Bruxelles, 10 octobre 2007.
- *La croissance bleue : des possibilités de croissance durable dans les secteurs marin et maritime*. Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions, COM (2012) 494 final, Bruxelles, 13 septembre 2012, p. 2 et 3.
- Règlement (UE) n°508/2014 du Parlement européen et du Conseil du 15 mai 2014 relatif au Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche et abrogeant les règlements du Conseil (CE) no2328/2003, (CE) n°861/2006, (CE) n°1198/2006 et (CE) n°791/2007 et le règlement (UE) n°1255/2011 du Parlement européen et du Conseil, *JOUE* L 149/1 du 20 mai 2014.
- Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin »), *JOUE* L 164/19 du 25 juin 2008.
- ICE (*Right2Water* - *L'eau et l'assainissement sont un droit humain ! L'eau est un bien public, pas une marchandise !*), **enregistrée le 10 mai 2012**, https://europa.eu/citizens-initiative/leau-et-l'assainissement-sont-un-droit-humain-leau-est-un-bien-public-pas-une-marchandise_fr
- *L'essentiel de la session plénière 13 – 16 janvier 2020*. Service de presse du Parlement européen, Direction générale de la communication, Strasbourg, p. 5.

CONSEILS DE LECTURES

- *L'Union européenne et la mer 60 ans après les traités de Rome*, A. Cudennec et C. Gueguen-Hallouët, Bruylant, 2019.

LA LOI LITTORAL EN HUIT QUESTIONS, POUR COMBATTRE QUELQUES IDÉES REÇUES

Laurence Molinero, maître de conférences en droit public

Université Bretagne Sud
Laboratoire Lab-LEX (EA 7480)
laurence.molinero@univ-ubs.fr

Mots-clés : loi Littoral ; protection ; mise en valeur ; aménagement ; commune littorale

RÉSUMÉ

En 1986, le droit français s'est doté d'une loi consacrée à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral, dite loi Littoral. Depuis lors, ce texte est au centre de débats passionnés entre ses pourfendeurs, prônant a minima son assouplissement, et les tenants de son maintien, dénonçant les attaques récurrentes portées contre cette loi. Afin d'éclairer les lecteurs non-juristes, cette contribution propose d'en exposer les grandes lignes et, surtout, de tenter de tordre le cou à quelques idées fausses à son propos.

ABSTRACT

In 1986 was adopted a law, known as « Loi Littoral », devoted to the development, protection and enhancement of the coastline. Since then, this text has been at the centre of passionate debates between its critics, who have at least pronounced its relaxation and those who support its maintenance, denouncing the recurrent attacks against this law. In order to enlighten non-legal readers, this contribution proposes to outline its main lines and, above all to try to wring some misconceptions out of this law.

La loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 *relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral*, dite loi Littoral, ne laisse pas indifférent. Encensée ou décriée depuis des décennies, elle fait l'objet d'assertions assénées sans être toujours avérées. Les réponses aux 8 questions suivantes sont destinées à éclairer sur l'exactitude de quelques affirmations communes.

1. LA LOI LITTORAL EST SOURCE DE NOMBREUSES CONTROVERSES. L'A-T-ELLE TOUJOURS ÉTÉ ?

- Oui ?
- Non !

La loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 *relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral*, très attendue car portant une approche globale et non plus seulement domaniale (la domanialité se révélant insuffisante à assurer la protection du littoral), a été adoptée à l'unanimité en dépit de certaines réticences du Sénat en raison de l'imprécision de certaines de ses dispositions

(Rapport du sénateur P. Gélard, 2004). Cette unanimité – dans un hémicycle clairsemé – peut être présentée comme témoignant « du consensus existant autour de l'urgence qu'il y avait à prendre des dispositions pour sensibiliser les acteurs locaux et l'opinion à la préservation d'un capital de plus en plus menacé, cela sans renoncer pour autant aux impératifs du développement économique » (Question orale n° 0795S du sénateur A. Trillard). Cette concorde initiale est surprenante, même dans le contexte de l'époque, car la loi Littoral pouvait être reçue comme une manière, pour l'État, de reprendre « la main là où les élus locaux entendaient user de leur liberté nouvelle » après les lois de décentralisation de 1982-1983 (Miossec A., 2015).

La loi Littoral comporte 42 articles ayant trait à des aspects variés tels que la qualité des eaux, la gestion du domaine public maritime et fluvial, la réglementation des plages, le classement des communes touristiques ou la répartition des compétences entre l'État et les collectivités, dispositions aujourd'hui intégrées dans le Code de l'environnement, le Code de la santé publique, le Code général de la propriété des personnes publiques et le Code général des collectivités territoriales. Toutefois, elle est surtout connue, en raison des âpres débats qu'elle suscite, par ses dispositions introduites au Code de l'urbanisme et relatives à l'urbanisation des communes littorales, se traduisant par des multiples assouplissements destinés à accroître les possibilités de construction (V. Rapport Herviaux O. et Bizet J., p. 45).

Cependant, la loi Littoral est plébiscitée par le public conscient de la fragilité de ces espaces et de la nécessité de les protéger en n'assouplissant pas ce texte (v. sondage IFOP- Sud Ouest Dimanche, juin 2014 : https://www.ifop.com/wp-content/uploads/2018/03/2696-1-study_file.pdf). Enfin, certains élus locaux sont pleinement favorables à une application complète de la loi Littoral sur le territoire communal, comme l'a notamment démontré le contentieux relatif à Annecy (CE Ass. 3 octobre 2008), commune littorale au sein de la loi de 1986 (V. *infra* la question 4).

2. LA LOI LITTORAL CONSTITUE-T-ELLE UNE EXPRESSION DU CONCEPT DE DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

- Oui ?
- Non ?
- Oui et non !

Le concept de développement durable émergera avec la publication, en 1987, du rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement présidée par la Norvégienne Gro Harlem Brundtland pour le compte des Nations Unies - commission chargée de proposer des solutions aux problèmes d'environnement globaux en tenant compte des impératifs de développement. Ce concept est apparu d'autant plus fédérateur que son contenu y est défini de manière imprécise : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Il n'en apparaît pas moins un oxymore (Clément G. et Jones L., *Une écologie humaniste* ; Drousseau M. in J.-M. Breton (dir.), *Tourisme durable et patrimoines : une dialectique développementale ?*). Le sommet de la Terre à Rio, en 1992, officialisera le concept et ses trois piliers (économie/écologie/social) ainsi présentés : un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable.

La loi Littoral a été promulguée antérieurement au rapport Brundtland, le 3 janvier 1986. Il apparaît donc anachronique de considérer qu'elle a été inspirée par la notion de développement durable. Son caractère précurseur peut néanmoins être relevé, puisqu' « avant l'heure, cette loi se plaçait dans une optique de développement durable, en cherchant à préserver les richesses naturelles d'un territoire, sources de son attractivité et de son développement économique, social et culturel, afin de le pérenniser » (rapport d'information n° 421 du sénateur P. Gélard, 2004). La loi pour l'économie bleue de 2016 (Loi n° 2016-816 du 20 juin 2016) a précisé que la réalisation de la politique d'aménagement, de protection et de mise en valeur du littoral doit se faire dans le respect de l'objectif de développement durable (Code de l'environnement, article L. 321-1 II).

La loi Littoral vise, comme son intitulé l'indique, à concilier l'aménagement et la mise en valeur du littoral avec sa protection, ce que d'aucuns estiment également relever d'un oxymore : les termes de l'intitulé de la loi reflètent la volonté du législateur de ménager un compromis entre des intérêts contradictoires de développement économique et de protection environnementale. « *La loi Littoral correspond à une politique spécifique d'aménagement durable du territoire national qui vise à organiser le développement du littoral, en limitant l'urbanisation dans les espaces proches du rivage, en réservant ces espaces aux activités maritimes et traditionnelles et en orientant l'urbanisation vers l'arrière-pays, tout en assurant la protection des milieux et paysages remarquables et caractéristiques du littoral* » (Audit thématique sur l'application de la loi Littoral par les services de l'État, 2012).

Enfin, la loi Littoral comporte un volet social en ce qu'elle a notamment proclamé le droit pour les piétons d'accéder librement au rivage de la mer, affirmé d'abord par la jurisprudence au milieu du 19^e siècle (CE, 19 mai 1858), en faisant prévaloir le principe de conciliation des usages : « L'usage libre et gratuit par le public constitue la destination fondamentale des plages au même titre que leur affectation aux activités de pêche et de cultures marines » (Code de l'environnement, art. L. 321-9 alinéa 2). Elle a contribué à la démocratisation de l'accès au rivage en imposant aux propriétaires une servitude de passage des piétons sur le littoral. Si la servitude de passage longitudinale, permettant de plein droit le cheminement piéton parallèle au rivage sur une bande de 3 mètres de largeur en métropole, est de création antérieure (loi du 31 décembre 1976 – Code de l'urbanisme, art. L. 121-31 à L. 121-33), la loi Littoral a instauré la servitude de passage transversale, que Michel Prieur a qualifié de « servitude de désenclavement des plages », destinée à favoriser l'accès au rivage dans les secteurs urbanisés ou en voie d'aménagement, perpendiculairement à la mer. « Cette servitude a pour but de relier la voirie publique au rivage de la mer ou aux sentiers d'accès immédiat à celui-ci, en l'absence de voie publique située à moins de cinq cents mètres et permettant l'accès au rivage » (Code de l'urbanisme, art. L. 121-34). Contrairement à la précédente, la servitude transversale n'est pas de droit, elle doit être instituée par une décision de l'autorité administrative compétente de l'État (Code de l'urbanisme, art. R. 121-23).

La loi Littoral, antérieure à l'émergence du concept de développement durable, n'est donc pas dépourvue de tout rapport avec celui-ci.

3. LA LOI LITTORAL CONSTITUE-T-ELLE UN REMPART CONTRE L'URBANISATION ?

- Oui, en sanctuarisant la zone côtière
- Non, elle n'a eu aucune efficacité
- Oui, elle a permis d'éviter des excès sans amoindrir l'attractivité du littoral

« La Loi Littoral » a permis de mettre un terme sévère aux dérives » et a bien constitué un frein à l'urbanisation diffuse et incontrôlée » selon le rapport Gressier de 1999, mais les communes littorales n'ont pas pour autant été sanctuarisées, loin s'en faut. Le rythme de déprise des terres agricoles y est trois fois supérieur à celui du reste du territoire (rapport d'information des sénateurs Hervieux et Bizet, 2014) et, entre 2000 et 2006, 0,3% de la surface totale de ces communes a été artificialisé, soit deux fois plus que la moyenne métropolitaine (Instruction du 7 décembre 2015 relative aux dispositions particulières au littoral du code de l'urbanisme, dite Circulaire Pinel). Plus récemment, le CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) constatait que l'artificialisation est majoritairement destinée à l'habitat (68 %), et se localise principalement dans les métropoles et sur le littoral : « les communes littorales ont un surcroît de consommation d'espaces, qui s'explique en partie par leur attractivité, ainsi que par les aménagements utilisés pour le tourisme » (rapport 2020).

Outre le manque d'application effective de la loi Littoral – la circulaire interministérielle N. Ollin et D. Perben du 20 juillet 2006 demandait aux préfets de veiller à une meilleure application de la loi Littoral –, de nombreux aménagements ont été progressivement introduits, assouplissant le texte.

4. LA LOI LITTORAL S'APPLIQUE-T-ELLE, COMME SON NOM L'INDIQUE, SUR LE SEUL LITTORAL ?

- Oui ?
- Non !

La loi du 3 janvier 1986 ne limite pas son application au seul littoral si l'on définit celui-ci comme la zone d'interface entre terre et mer, synonyme de zone côtière (Martonne (de) E., 1909). Du point de vue juridique, le littoral a longtemps correspondu au rivage, qui est un « concept juridique bien plus ancien, avec un contenu précis issu du droit et (...) renvoyant à l'idée de souveraineté » (Bécet J.-M. et Rézenthel R., 2004).

La loi du 3 janvier 1986 (dispositions reprises au Code de l'environnement, art. L. 321-1 I) a défini le littoral comme une « entité géographique » sans connotation juridique et son champ d'application spatial est établi par référence à la notion de commune littorale, elle-même scindée en plusieurs catégories (plus de 1200 communes littorales au total).

Ainsi, la première des catégories est celle des communes littorales dites « de plein droit » : ce sont les communes de métropole et des départements d'outre-mer « riveraines des mers et océans, des étangs salés, des plans d'eau intérieurs d'une superficie supérieure à 1 000 hectares » (Code de l'environnement, art. L. 321-2 1°). Au titre des plans d'eau intérieurs atteignant cette surface, sont visés notamment les lacs de Grand-Lieu (Loire-Atlantique), de Lacanau, Cazeaux et Carcans-Hourtin (Gironde), l'étang de Biscarosse-Parentis (Landes), les lacs de Sainte-Croix (Var et Alpes de Hautes-Provence), de Vouglans (Jura), du Bourget (Savoie), d'Annecy et Léman (Haute-Savoie), de Serre-Ponçon (Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence), de Naussac (Lozère), de Granval (Cantal), de Vassivière (Corrèze, Creuse, Haute-Vienne), de Pareloup (Aveyron) ... 150 villes sont ainsi visées par les dispositions de la loi Littoral figurant au Code de l'urbanisme (V. rapport Allag-Dhuisme A. et Iselin Ph., 2014). Nombre de ces plans d'eau se situent dans des départements dépourvus de façade maritime. Cependant, toutes les communes riveraines de chacun de ces lacs sont, « de plein droit », soumises à la loi Littoral, telles Annecy, Thonon-les-Bains, Aix-les-Bains, ... villes qui sont également soumises à la loi dite « Montagne », du 9 janvier 1985, relative au développement et à la protection de la montagne. L'application conjointe des deux lois (qui concerne aussi des communes des Alpes-Maritimes, des Pyrénées-Orientales ainsi que des communes de montagnes Corses) donnent lieu à des combinaisons qui ont fluctué dans le temps (Code de l'urbanisme, art. L. 121-2 et L. 121-13).

5. EN PLUS D'UN TIERS DE SIÈCLE, LE CHAMP D'APPLICATION TERRITORIAL DE LA LOI LITTORAL EST-IL ENFIN TOTALEMENT CIRCONSCRIT ?

- Oui ?
- Non ?
- Pas tout-à-fait...

Cette question appelle deux éléments de réponse : d'une part, le champ d'application territorial de la loi Littoral a enfin pu être mieux défini au bout de 18 ans après la promulgation de la loi, grâce à l'entrée en vigueur d'un décret d'application mais, d'autre part, des contentieux sont toujours susceptibles de révéler de nouvelles communes littorales.

La loi du 3 janvier 1986 a, dès l'origine, envisagé une autre catégorie de communes littorales que celles dites « de plein droit », c'est-à-dire « riveraines des mers et océans, des étangs salés, des plans d'eau intérieurs d'une superficie de mille hectares » (V. *supra* question 4) : ce sont les communes « riveraines des estuaires et des deltas lorsqu'elles sont situées en aval de la limite de

salure des eaux et participent aux équilibres économiques et écologiques littoraux ». Le législateur avait prévu que la liste de ces communes serait fixée par décret en Conseil d'État, après consultation des conseils municipaux intéressés. Cependant, l'attente de ce décret s'est prolongée bien au-delà d'un délai raisonnable, d'autant plus regrettable que le Conseil d'État avait précisé que, faute de décret d'application, cette disposition de la loi n'était pas applicable. Si bien que France Nature Environnement (FNE), fédération française des associations de protection de la nature et de l'environnement, après avoir adressé en vain au Premier ministre d'alors une demande tendant à l'adoption de ce décret, a saisi le Conseil d'État d'un recours contre le refus opposé, lequel, par un arrêt du 28 juillet 2000, a fait droit à sa demande et a ordonné que le décret soit édicté dans un délai de 6 mois. Cependant, ce décret n'interviendra que le 29 mars 2004, énumérant 87 communes « estuariennes » dorénavant concernées par les dispositions d'aménagement issues de la loi Littoral, telles Outreau, Tancarville, Donges, Rochefort-sur-Mer, Blaye et Bayonne (Code de l'environnement, art. R. 321-1), liste estimée incomplète par la FNE car un projet de décret avait précédemment envisagé d'inscrire 121 communes dans cette catégorie. Par conséquent, depuis 2004, le champ d'application de la loi Littoral a été complété.

Cependant, demeure une part d'incertitude : le nombre de communes littorales peut fluctuer dans la mesure où cette qualification est fondée sur le constat, par des actes juridiques, de situations de fait. Ainsi, un plan d'eau entrant ou sortant de la catégorie de ceux de plus de mille hectares entraîne une nouvelle qualification des communes riveraines. De même, de nouvelles communes littorales « de plein droit » peuvent apparaître car se révélant riveraines des mers et océans. Ce fut notamment le cas de la commune de Plouvien, située dans l'aber Benoît, dans le Finistère. Cette commune physiquement riveraine d'un estuaire ne figure pas dans la liste des 87 communes estuariennes. Elle a été juridiquement qualifiée de commune littorale car riveraine de la mer par le juge administratif (le Conseil d'État s'est prononcé en ce sens le 14 novembre 2012), à la faveur d'un contentieux relatif au permis de construire autorisant l'implantation d'éoliennes sur son territoire. Sur le fondement d'un décret du 21 mars 1930 fixant la limite transversale de la mer (limite des eaux marines remontant dans un estuaire) dans cet aber, il est apparu qu'une partie du territoire de la commune de Plouvien se situait en aval de cette limite. En conséquence, Plouvien est « devenue » une commune riveraine des mers et océans pour l'intégralité de son territoire. Depuis lors, la commune a échappé à cette qualification en cédant la partie « compromettante » de son territoire - une vingtaine d'hectares - à Tréglonou, la commune située en aval de l'aber !

Ce n'est pas le cas de la commune finistérienne de Pont-Aven, toujours située en partie en aval de la limite transversale de la mer sur la rivière Aven selon un décret de 1899. Mais cette qualification est contingente car les parties sont en droit de discuter de cette délimitation eu égard au caractère reconnaissant de celle-ci, c'est-à-dire qu'elle est basée sur l'observation de phénomènes naturels susceptibles d'évolution et donc de requalification de la commune. « La délimitation de la mer à l'embouchure des cours d'eaux repose sur l'observation combinée de plusieurs indices, tels que la configuration des côtes et notamment l'écartement des rives, la proportion respective d'eaux fluviales et d'eaux de mer, l'origine des atterrissements, le caractère fluvial ou maritime de la faune et de la végétation ; (...) la part relative de chacun de ces indices, dont se dégage l'influence prépondérante ou non de la mer, doit être appréciée en fonction des circonstances propres à chaque espèce » (CE 12 novembre 2014, Cne de Pont-Aven ; CE 26 mars 2008, Association pour la défense et la protection du site de la rivière de Crac'h).

6. LE PRINCIPE DE PROTECTION GRADUÉE DE L'ESPACE EN FONCTION DE LA PROXIMITÉ DU RIVAGE S'APPLIQUE-T-IL DANS LA TOTALITÉ DES COMMUNES LITTORALES ?

- Oui ?
- Non ?
- Deux fois non ?
- Trois fois non !

La loi Littoral établit un premier grand principe d'aménagement : la protection graduée de l'espace en fonction de sa proximité du rivage. Plus cette proximité est importante et plus l'exigence de protection de l'environnement est stricte.

- Tout d'abord, l'état naturel du rivage doit être préservé (art. 27 de la loi, désormais article L. 2124-2 du Code général de la propriété des personnes publiques : « il ne peut être porté atteinte à l'état naturel du rivage de la mer » ... sauf exceptions).

- Puis, sur la bande littorale de 100 mètres, les constructions et installations diverses sont en principe interdites, sauf dans les espaces urbanisés (Code de l'urbanisme, art. L. 121-16), ou si elles sont nécessaires à des services publics ou des activités économiques exigeant la proximité immédiate de l'eau (Code de l'urbanisme, art. L. 121-17), ou sauf dérogation, telle celle visant les stations d'épuration d'eaux usées non liées à une opération d'urbanisation nouvelle, résultant d'un assouplissement de la loi Littoral destiné initialement à sauver le projet du Cap Sicié (art. L. 121-5).

- Au-delà de la bande des 100 mètres mais « dans les espaces proches du rivage ou des rives des plans d'eau intérieurs », l'extension de l'urbanisation, en continuité d'agglomération ou de villages existants, doit être limitée (Code de l'urbanisme, art. L. 121-13).

- Enfin, plus loin du rivage, à l'intérieur du territoire de la commune littorale, l'extension d'urbanisation est menée en continuité des agglomérations et villages existants et, depuis la loi ÉLAN du 23 novembre 2018, dans d'autres « secteurs déjà urbanisés », des constructions ou installations peuvent être autorisées (...) à des fins exclusives d'amélioration de l'offre de logement ou d'hébergement et d'implantation de services publics » (Code de l'urbanisme, art. L. 121-8).

Si ce principe s'impose dans les communes littorales « de plein droit », il en va différemment des communes estuariennes. Parmi les 87 énumérées, seules les communes riveraines d'un estuaire classé, par décret, parmi les plus importants se voient appliquer ces règles d'aménagement gradué. Or, le décret précité du 29 mars 2004 n'a retenu, à ce titre, que ceux de trois fleuves : La Seine, la Loire et la Gironde. En conséquence, seules 46 des 87 communes estuariennes sont soumises à ces règles d'aménagement progressives, les 41 autres, riveraines d'un estuaire estimé moins important, n'étant pas subordonnées aux contraintes applicables dans la bande des 100 mètres et les espaces proches du rivage.

Par ailleurs, le principe de la protection graduée de l'espace littoral doit être combiné avec un autre principe d'aménagement affirmé par la loi Littoral : la protection des espaces « remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel et culturel du littoral, et les milieux nécessaires au maintien des équilibres biologiques » (Code de l'urbanisme, art. L. 121-23), énumérés de manière exhaustive par l'article R. 121-4 du Code de l'urbanisme (CE 30 juillet 2003 Syndicat de défense du cap d'Antibes), ce dernier étant issu du décret du 20 septembre 1989 – on peut d'ailleurs constater la promptitude du premier ministre à édicter ce décret d'application, comparé à celui de 2004 évoqué ci-dessus, alors même que la loi était jugée suffisamment précise sur ces espaces remarquables ou caractéristiques pour s'appliquer sans attendre (CE 30 décembre 1996 Sté de protection de la nature de Sète-Frontignan-Balaruc) : ce sont notamment les dunes, plages, parties naturelles des estuaires, abers, rias, marais, vasières, zones humides, milieux abritant des concentrations naturelles d'espèces animales ou végétales, les parties naturelles des sites inscrits ou classés, des parcs nationaux et des réserves naturelles, ... dès lors qu'ils sont remarquables ou caractéris-

tiques et sont nécessaires au maintien des équilibres biologiques ou présentent un intérêt écologique. Ces espaces remarquables ou caractéristiques, bénéficiant d'une protection forte quoique moindre qu'initialement, sont identifiables sur l'intégralité du territoire des communes littorales (CE 27 septembre 2006, Cne du Lavandou) hormis lorsqu'il s'agit d'espaces boisés pour lesquels une condition de proximité du rivage est requise (CE 30 décembre 2009, Cne du Lavandou).

Enfin, une nouvelle disposition (Code de l'environnement, art. L.321-2 dernier alinéa) issue de la loi du 16 mars 2015 est destinée à empêcher que l'application de la loi Littoral ne constitue un obstacle aux regroupements de communes. En effet, « en cas de création d'une commune nouvelle (...), les règles relatives aux communes littorales s'appliquent au seul territoire des anciennes communes la composant précédemment considérées comme communes littorales. Le conseil municipal peut cependant demander à ce que l'ensemble du territoire de la commune nouvelle soit soumis aux règles relatives aux communes littorales ». Il en résulte qu'une commune nouvelle peut n'être que partiellement littorale !

7. LA LOI LITTORAL EST-ELLE IMPRÉCISE ?

- Oui !
- Non

La loi Littoral est remarquable par les expressions particulièrement floues qu'elle contient – au premier rang desquels le terme de littoral !

Elle comprend aussi des formulations telles que « coupures d'urbanisation », « capacité d'accueil », « espaces proches du rivage », « espaces urbanisés », « activités exigeant la proximité immédiate de l'eau », « extension limitée de l'urbanisation », « agglomérations », « village » ; elle envisage l'urbanisation par création de « hameaux nouveaux intégrés à l'environnement », possibilité supprimée par la loi ÉLAN du 23 novembre 2018 qui autorise en revanche l'urbanisation « dans les secteurs déjà urbanisés » autres que les agglomérations et villages existants, en dehors de la bande des 100 mètres et des espaces proches du rivage,...

Ces expressions n'ont été précisées ni par la loi, ni par décret – hormis la définition par *a contrario*, comparaison et indices, de la dernière expression introduite par la loi ÉLAN : les secteurs déjà urbanisés – « autres que les agglomérations et les villages » – « se distinguent des espaces d'urbanisation diffuse par, entre autres, la densité de l'urbanisation, sa continuité, sa structuration par des voies de circulation et des réseaux d'accès aux services publics de distribution d'eau potable, d'électricité, d'assainissement et de collecte de déchets, ou la présence d'équipements ou de lieux collectifs » - Code de l'urbanisme, art. L 121-8).

A défaut de précisions textuelles, des réponses ministérielles, souvent floues en raison des disparités régionales (notamment sur les notions de villages et hameaux) ont été apportées aux questions parlementaires, sous réserve du contrôle juridictionnel. *In fine*, il est nécessairement revenu au juge administratif de fixer le contour de ces expressions, à tel point que le rapport d'information des sénateurs Mme Odette Herviaux et M. Jean Bizet (2014) évoque « un juge qui « se prétend législateur » car « législateur des lacunes de la loi », et reprend la formule, déjà présente dans le rapport d'information du député Jacques Le Guen (2004), du « juge en situation d'excès de pouvoir » en raison de l'instabilité de la jurisprudence, tenant inévitablement compte de la diversité des situations litigieuses. Des interprétations divergentes ont ainsi pu être données, entre les services administratifs saisis et les juridictions administratives amenées à trancher les contentieux.

Cette imprécision de la loi Littoral s'impose dans la mesure où il n'existe pas un littoral mais des littoraux : l'hétérogénéité des situations explique la référence à des notions floues. La territorialisation de l'application de la loi Littoral, appelée des vœux des sénateurs O. Herviaux et J. Bizet (rapport d'information, 2014), apparaît cependant peu compatible avec les critiques portant sur l'hétérogénéité d'application de la loi, fondée sur des variations quant à la sévérité des juges et

des services de l'État selon les départements, ces fluctuations étant susceptibles de trouver leur justification dans les particularités du territoire.

Si la loi devait effectivement fixer un cadre général et des grands principes d'aménagement, des décrets étaient expressément prévus pour apporter les précisions nécessaires. Or, certains se sont faits attendre, faisant obstacle à l'application de la loi Littoral dans de nombreuses communes (voir *supra*, question 5).

8. L'APPLICATION DE LA LOI LITTORAL CONSTITUE-T-ELLE AUJOURD'HUI UN OBSTACLE AU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET AU MAINTIEN DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES TRADITIONNELLES ?

- Oui ?
- Non

La Loi du 3 janvier 1986 a connu de nombreux aménagements et assouplissements.

S'agissant, en premier lieu, d'énergies renouvelables, de nouvelles dispositions sont apparues à l'issue du contentieux relatif à l'implantation d'éoliennes sur le territoire de la commune de Plouvien (cf. *supra*, question n° 5), qui avait démontré l'incompatibilité entre deux obligations : celle d'étendre l'urbanisation en continuité des agglomérations et villages existants dans les communes littorales et celle d'implanter les éoliennes dont le mât dépasse 50 mètres à une distance minimale de 500 mètres des constructions à usage d'habitation, des immeubles habités et des zones destinées à l'habitation (Code de l'environnement, art. L. 515-44, dernier alinéa, issu de la loi du 12 juillet 2010, Engagement national pour l'environnement, dite Grenelle 2). La loi de 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte autorise l'implantation d'éoliennes dans les communes littorales, en dispensant ces extensions d'urbanisation de la condition de continuité en cas d'incompatibilité avec le voisinage des zones habitées, en dehors des espaces proches du rivage et au delà d'une bande d'un kilomètre à compter de la limite haute du rivage ou des plus hautes eaux pour les plans d'eau intérieurs de plus d'un hectare – largeur de cette bande que le plan local d'urbanisme peut aménager, hors espaces proches du rivage (Code de l'urbanisme, art. L. 121-12).

Concernant les éoliennes off-shore et les hydroliennes, l'atterrissage des canalisations et leurs jonctions peut être autorisés dans la bande des 100 mètres (C. urbanisme, art. L. 121-17 depuis la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite Grenelle II), y compris dans les espaces remarquables et caractéristiques des communes riveraines des mers et océans, des estuaires et des deltas, selon des techniques souterraines et de moindre impact environnemental (depuis la loi du 15 avril 2013 : C. urbanisme art. L. 121-25 et, depuis l'entrée en vigueur de la loi ÉLAN précitée, cette disposition vise également l'établissement de réseaux de communications électroniques).

S'agissant, en second lieu, des activités économiques traditionnelles :

Si « le législateur a entendu interdire en principe toute opération de construction isolée, fût-ce à usage agricole, dans les communes du littoral » (CE 15 octobre 1999, Cne de Logonna Daoulas, req. 198578), des assouplissements successifs sont apparus. En effet, la loi d'orientation agricole du 9 juillet 1999, modifiant la disposition issue de la loi Littoral (Code de l'urbanisme, art. L. 121-10), a d'abord autorisé, en dehors des espaces proches du rivage, les constructions ou installations liées aux activités agricoles ou forestières incompatibles avec le voisinage des zones habitées. La loi ÉLAN a elle-même assoupli cette disposition, en supprimant la condition de l'incompatibilité avec le voisinage et en étendant son application aux cultures marines y compris à l'intérieur des espaces proches du rivage (nouvelle rédaction de l'article L. 11-10 précité). Ces constructions et installations dédiées aux activités traditionnelles sont donc autorisées en discontinuité avec l'urbanisation existante.

En outre, depuis la loi du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux, le principe de l'extension d'urbanisation en continuité ne fait pas obstacle à la réalisation des mises aux normes des exploitations agricoles, à condition que les effluents d'origine animale ne soient pas accrus (Code de l'urbanisme art. L. 121-11).

Enfin, depuis son origine, la loi Littoral admet l'implantation, dans la bande des 100 mètres, de constructions ou installations nécessaires à des activités économiques exigeant la proximité immédiate de l'eau, et le Conseil d'État a adopté une lecture assez extensive s'agissant d'un atelier de mareyage (CE 23 juillet 1993, Cne de Plouguerneu) et d'une ferme aquacole (CE 11 février 2004, SA France Travaux).

Enfin, même dans les espaces remarquables ou caractéristiques des communes littorales, peuvent être implantés (hors hébergement) « Les aménagements légers, conçus de manière à permettre un retour du site à l'état naturel, nécessaires à l'exercice des activités agricoles, pastorales et forestières dont à la fois la surface de plancher et l'emprise au sol (...) n'excèdent pas cinquante mètres carrés (au lieu de vingt mètres carrés, selon le premier décret d'application du 20 septembre 1989) » et, dans les zones de pêche, de cultures marines ou lacustres, de conchyliculture, de saliculture et d'élevage d'ovins de prés salés, les constructions et aménagements exigeant la proximité immédiate de l'eau, liés aux activités traditionnellement implantées dans ces zones, à la condition que leur localisation soit rendue indispensable par des nécessités techniques (art. R. 121-5 C urbanisme).

RÉFÉRENCES

Ouvrages :

- Bécet J.-M., Rézenthel R., *Dictionnaire juridique des ports maritimes et de l'environnement littoral*, P.U.R. (2004).
- Breton (dir.), *Tourisme durable et patrimoines : une dialectique développementale ? Série Iles et pays d'Outre-Mer, vol. 8*, Paris, Karthala-CREJETA, 2011, p. 7 (cité par J.-M. Breton, La protection du littoral au regard des spécificités du droit du littoral et de sa mise en œuvre outre-mer. L'exemple de l'urbanisme touristique littoral dans les Antilles françaises, *Revue juridique de l'environnement*, 2012/5 (n° spécial).
- Clément G., Jones L., *Une écologie humaniste*, Aubanel (2006).
- Martonne (de) E., *Traité de géographie physique*, Armand Colin (1909).
- Miossec A., *Océans et littoraux face à la mondialisation*, in *Memorias 2013 volume XLIII*, Academia de marinha, Lisboa, pp. 279-307 (p. 300) (2015).
- Prieur M., *Droit de l'environnement*, Précis Dalloz, 8e éd. (2019).

Lois et décrets :

- Loi n° 76-1285 du 31 décembre 1976 portant réforme de l'urbanisme.
- Loi n° 85-30 du 9 janvier 1985 relative au développement et à la protection de la montagne, dite *loi Montagne*.
- Loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral, dite *loi Littoral*.
- Loi n° 99-574 du 9 juillet 1999 d'orientation agricole.
- Loi n° 2005-157 du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux.
- Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite *Grenelle II*.
- Loi n° 2013-312 du 15 avril 2013 visant à préparer la transition vers un système énergétique sobre et portant diverses dispositions sur la tarification de l'eau et sur les éoliennes.
- Loi n° 2015-292 du 16 mars 2015 relative à l'amélioration du régime de la commune nouvelle pour des communes fortes et vivantes.
- Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.
- Loi n° 2016-816 du 20 juin 2016 pour l'économie bleue.
- Loi n° 2018-1021 du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (ÉLAN).
- Décret n°89-694 du 20 septembre 1989 portant application de dispositions du code de l'urbanisme particulières

au littoral et modifiant la liste des catégories d'aménagements, d'ouvrages ou de travaux devant être précédés d'une enquête publique.

Décret n° 2004-311 du 29 mars 2004 fixant la liste des communes riveraines des estuaires et des deltas considérées comme littorales en application de l'article L. 321-2 du code de l'environnement et la liste des estuaires les plus importants au sens du IV de l'article L. 146-4 du code de l'urbanisme.

Rapports :

Ministère de l'équipement, des transports et du logement – M. C. Gressier –, rapport au Parlement sur l'application de la loi n° 86-2 du 3 janvier 1986 et sur les mesures spécifiques prises en faveur du littoral, février 1999.

Rapport d'information n° 421 de M. P. Gélard, fait au nom de la commission des affaires économiques et de la commission des lois du Sénat, *L'application de la «loi littoral» : pour une mutualisation de l'aménagement du territoire*, juillet 2004.

Rapport d'information n° 1740 de M. J. Le Guen, fait au nom de la commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire de l'Assemblée nationale, *sur l'application de la loi Littoral*, juillet 2004.

Conseil général de l'environnement et du développement durable, Audit thématique sur l'application de la loi Littoral par les services de l'État, n° 007707-01, septembre 2012.

Conseil général de l'environnement et du développement durable, Allag-Dhuisme A. et Iselin Ph., rapport n° 009364-01, Dispositions issues de la loi «Littoral» applicables aux communes riveraines des plans d'eau intérieurs de plus de mille hectares, avril 2014.

Rapport d'information n° 297 de Mme O. Herviaux O. et M. J. Bizet fait au nom de la commission du développement durable du Sénat, Plaidoyer pour une décentralisation de la loi Littoral : un retour aux origines, janvier 2014.

CEREMA Hauts de France, rapport sur l'artificialisation et ses déterminants d'après les Fichiers fonciers - Période 2009-2018 – Chiffres au 1er janvier 2018 (2020).

Réponses ministérielles :

Rép. Ministère de la culture et de la communication, JO Sénat Q 26 octobre 2005, p. 6162.

Rép. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et la mer n° 07848, JO Sénat Q 27 août 2009, p. 2046

Rép. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et la mer n° 11358, JO Sénat Q 27 mai 2010, p. 1337.

Circulaires ministérielles :

Instruction ministérielle S. Pinel du 7 décembre 2015 relative aux dispositions particulières au littoral du code de l'urbanisme, NOR : ETLL1511660J.

Circulaire interministérielle N. Ollin et D. Perben du 20 juillet 2006, B.O. Ministère Équipement 2006-16 p 1087.

Décisions jurisprudentielles :

CE, 19 mai 1858, Vernes.

CE 23 juillet 1993, Cne de Plouguerneau, req. 127513.

CE 30 décembre 1996 Sté de protection de la nature de Sète-Frontignan-Balaruc, req. 102023.

CE 15 octobre 1999, Cne de Logonna-Daoulas, req. 198578.

CE 28 juillet 2000, France Nature environnement, req. 204024.

CE 30 juillet 2003 Syndicat de défense du cap d'Antibes, req. 203766.

CE 11 février 2004, SA France Travaux, req. 212856.

CE 27 septembre 2006, Cne du Lavandou, req. 275922.

CE 26 mars 2008, Association pour la défense et la protection du site de la rivière de Crac'h, req. 279917.

CE Ass. 3 octobre 2008, Cne d'Annecy, req. 297931.

CE 30 décembre 2009, Cne du Lavandou, req. 307893.

CE 14 novembre 2012, Sté Néo Plouvien, req. 347778.

CE 12 novembre 2014, Cne de Pont-Aven, req. 369147.

CONSEILS DE LECTURE

Outre les références ci-dessus, voir notamment :

- Bordereaux L. et Braud X., *Droit du littoral*, Gualino (2009).
- Coulomié H., Le Marchand C., *Droit du littoral et de la montagne*, Litec (2009).



⋮ PARTIE 2

LES MILIEUX LITTORAUX : LA BIO-SURVEILLANCE D'ESPACES COMMUNS

ENJEUX DE SURVEILLANCE ET DE PRÉSERVATION D'UN ESPACE PARTAGÉ, CONVOITÉ, REVENDIQUÉ MAIS... COMMUN

H. Ben Mansour¹, S. Chakiri², D. Menier³, C. Raheriniaina⁴, O. Sire⁵

¹. Université de Monastir, laboratoire APAE, Mahdia Cedex 3, Tunisie.
hdbenmansour@gmail.com

². Université de Kenitra, Laboratoire Géosciences des Ressources Naturelles
BP 133 Kénitra, Maroc. sdchakiri@gmail.com

³. Université Bretagne Sud, Laboratoire Géosciences Océans (UMR CNRS 6538)
BP 573 56017 Vannes Cedex, France. dmenier5@gmail.com

⁴. IH.SM, BP141,601 Toliara, Madagascar. raheriniaina.christian@gmail.com

⁵. Université Bretagne Sud, Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS 6027)
BP573 56017 Vannes Cedex, France. olivier.sire@univ-ubs.fr

Mots-clés : littoral ; dynamiques des écosystèmes ; approches multi-échelles ; systémique ; gestion durable.

RÉSUMÉ

S'il est un espace où toutes nos contradictions de développement se rencontrent, c'est certainement à cette interface terre-mer que constitue le milieu littoral. Chercher une carte qui rassemble les données de la Terre et de la Mer reste une gageure. Ces deux milieux s'y rencontrent, mais il est très difficile d'en rassembler les usagers, souvent en conflit, pour aller vers la source des processus à l'œuvre, à des échelles spatiales et temporelles étendues, dans les modifications globales (trait de côte, forçage anthropique, ...) qui jalonnent des évolutions globales que chacun peut constater. Du citoyen à l' élu en passant par l'industriel, l'agriculteur et le scientifique, chacun a le devoir de s'interroger sur la Question Littoral.

ABSTRACT

If there is a space where all our contradictions about development meet is certainly at the sea-land interface that constitutes the littoral environment. Looking for a map that gathers data from Earth and Sea still remains a challenge. These two environments meet there but it is tricky to gather the users, often in conflict, to look for the sources of the processes at work, at distinct spatial and temporal scales, in the global modifications (coastline, anthropogenic forcing, ...) which mark out the global evolutions that everyone can observe. From the citizen to the politician, through the industrial, the farmer and the scientist, each has the responsibility to take an interest in the Coastal Question.

1. INTRODUCTION

Les espaces littoraux et villes côtières du monde entier sont confrontés à l'énorme tâche de devenir résilients face aux défis physiques, sociaux et économiques, en plus des défis dus au changement climatique. L'évaluation de l'impact des aléas côtiers présents et futurs nécessite une compréhension fine des interactions complexes entre les systèmes géologiques, hydrologiques, biologiques et socio-économiques. Cet objectif requiert une approche intégrée qui inclut la recherche sur la dynamique terrestre et marine pour identifier les facteurs naturels et anthropiques, leurs influences mutuelles et les conséquences qui en découlent. Nous nous devons d'étudier et de *comprendre* comment les environnements côtiers réagissent aux facteurs naturels et anthropiques. Ces réactions environnementales dépendent des caractéristiques des agents de forçage ainsi que des propriétés des systèmes côtiers. Ce n'est pas une tâche facile, et à l'échelle mondiale, régionale ou locale, ils restent mal connus et surtout sous enquête. Pour remédier à cette situation, la technologie géospatiale associée à l'analyse des données volumineuses est de plus en plus utilisée pour la cartographie et la surveillance des ressources côtières et l'évaluation et l'atténuation des effets des risques côtiers. Cependant, les données satellitaires doivent être couplées à des mesures *in situ* comme l'imagerie ou la biosurveillance. Le challenge réside dans notre capacité à intégrer, dans un même cadre de référence, ces marqueurs pertinents à des échelles temporelles, spatiales et causales distinctes. Les auteurs seraient heureux que cet article puisse, très modestement, contribuer à élargir le cône de lumière de la *Question Littoral*.



Kénitra (MA)

Golfe du Morbihan (F)

Baie de Monastir (TU)

Baie des Assassins (MG)

Baie de Samarang (ID)

2. ACTIVITÉS ANTHROPIQUES ET CORDON DUNAIRE SUR LE LITTORAL DE KÉNITRA

A l'instar de plusieurs régions littorales du monde, le littoral marocain, aussi bien atlantique que méditerranéen, connaît de sérieux problèmes liés principalement aux phénomènes d'ensablement. De tels phénomènes résultent de la sévérité des conditions climatiques et de la mauvaise utilisation des ressources naturelles, notamment la surexploitation des sables. Ce type de dégradation constitue l'un des phénomènes ayant le plus d'impact sur l'environnement littoral régional. La région bénéficie de la présence d'un important cordon dunaire littoral aligné parallèlement à la côte sur plus d'une centaine de kilomètres. Le processus dunaire régional obéit à plusieurs paramètres naturels où l'action du vent et l'érosion marine constituent les principaux facteurs qui conditionnent l'évolution des dunes sableuses. En raison de leur richesse en ressources naturelles, les franges littorales du Maroc sont parmi les zones les plus peuplées du pays. Cette forte pression démographique induit une exploitation disproportionnée des ressources naturelles et *de facto* un net déséquilibre de l'écosystème littoral.



Figure 1. Extraction illégale et pillage de sable en zone côtière (Maroc)

Les facteurs naturels et anthropiques sont à l'origine de l'exacerbation des phénomènes d'ensablement le long du littoral marocain. Le littoral atlantique du Gharb (région de Kénitra) constitue une juste illustration de l'interaction entre facteurs naturels, surexploitation et vulnérabilité. Au cours des dernières décennies, ce milieu est devenu très convoité et sollicité en raison de l'accroissement de la population, accroissement accompagné de mutations et d'un développement socio-économique qui ont contribué à la fragilisation de plusieurs zones. Pourtant, la région recèle de potentialités économiques et culturelles importantes et diversifiées, pouvant être mobilisées pour un développement conséquent, harmonieux et durable. Le contexte climatique humide à subhumide favorise en effet l'installation de plusieurs sites d'intérêt biologique et écologique (SIBE), de réserves naturelles avec un potentiel hydrique important (eau de surface et nappes phréatiques), un couvert végétal dense et une agriculture diversifiée.

Par ailleurs, la région littorale du Gharb se positionne parmi les trois premières zones industrielles du Maroc. Elle s'est, de ce fait, dotée d'importantes infrastructures de transport (routières, portuaires et ferroviaires) et d'une vaste plateforme industrielle où se sont installées diverses multinationales. Il en résulte une intense urbanisation et par conséquent une forte demande en matériaux de construction, dont les granulats de sables. Cette forte urbanisation que connaît la région s'accompagne donc de la surexploitation non seulement des sables du cordon dunaire, mais également de terrains très convoités de la frange littorale (Allouza *et al.* 2014).

Les observations de terrain ont démontré l'état de fragilité et de vulnérabilité du site ; elles révèlent l'installation d'un déséquilibre généralisé et irréversible induit par des phénomènes d'ensablement souvent étendus. Ce déséquilibre se trouve aggravé par la mauvaise gestion de l'exploitation des sables, exploitation qui se fait généralement de façon anarchique, souvent dans des carrières clandestines, sans le moindre respect des composantes du milieu naturel et au mépris total des lois qui régissent le cadre environnemental. L'extraction des sables se fait parfois à une telle profondeur qu'elle affleure la nappe d'eau souterraine. Malgré les prédispositions prises, cette exploitation, souvent mal contrôlée, entraîne des modifications temporaires ou permanentes du milieu qui conduisent à une évolution localement irréversible.

Une telle situation nécessite l'instauration de nouvelles politiques de développement mieux adaptées et plus crédibles. Il est donc indispensable d'élaborer des stratégies d'adaptation, d'atténuation et de réhabilitation pour protéger les différentes composantes de ce littoral qui constitue un bien commun. En effet, le développement durable de la frange littorale passe indéniablement par l'installation de stratégies de protection du milieu naturel, stratégies qui doivent tenir compte de l'accroissement des contraintes anthropiques, des effets du changement climatique et du développement urbanistique et socioéconomique.

3. CONFLITS D'USAGE DANS LE GOLFE DU MORBIHAN

Le Golfe du Morbihan fait partie du club très fermé des « Plus Belles Baies du Monde ». De plus, il est le siège, depuis 2014, d'un Parc Naturel Régional qui doit répondre à un cahier des charges très stricte en matière de normes environnementales. Cet espace littoral est partagé entre les multiples usages, tous intensifs, que sont le tourisme, avec 2M de touristes/an, une importante activité économique notamment pour l'élevage (bovin et ovin) et l'agriculture, avec 35 000 ha cultivés, mais aussi pour l'ostréiculture, qui s'étend sur 2 000 ha.



Figure 2. Le Golfe du Morbihan sous contraintes

Le Golfe possède une forte hydrodynamique avec des courants forts de 5 à 6 nœuds. L'ensemble de ces activités nécessite le maintien d'une très bonne qualité de l'eau du fait que les impératifs économiques et écologiques se rejoignent (Figure 2). Les conflits d'usage sont donc nombreux. On peut citer : la difficulté pour de jeunes ostréiculteurs à avoir accès au bord de mer du fait de l'inflation de l'immobilier littoral, les conflits générés entre agriculteurs et ostréiculteurs du fait de contaminations fécales par lixiviation ou rejet dans les rivières, qui peuvent rendre impropre à la consommation les huîtres du Golfe, ou encore les conflits entre pêcheurs professionnels et le mo-

tonautisme, qui engendre un certain nombre de nuisances sonores et chimiques (pollution par les hydrocarbures). Si la qualité des eaux du Golfe est jugée globalement satisfaisante par les autorités de contrôle, il n'empêche que des épisodes plus ou moins discrets de pollution se produisent de temps à autre. Ainsi en va-t-il pour un bassin artificiel de baignade dont la norme bactérienne (coliformes totaux) est fréquemment dépassée en période estivale. Les associations de pêcheurs signalent un accroissement de malformations chez les poissons pêchés dans le Golfe, ou encore des rejets de matière organique depuis les îles habitées du Golfe. Compte tenu de ces risques avérés, notre laboratoire a développé des outils de biosurveillance des eaux de surface du golfe et de certaines rivières y débouchant. La biosurveillance permet d'évaluer directement le risque biologique sur les espèces marines plutôt que de déterminer des concentrations en micropolluants dont la toxicité est toujours difficile à évaluer du fait de possibles, et très mal connus, *effets cocktails*. Nous avons donc développé un certain nombre de modèles moléculaires et cellulaires (Le Grand et al. 2017) pour effectuer un suivi de la qualité des eaux. À titre d'exemple, une campagne de détection de 15 mois a été effectuée, qui mesurait régulièrement des biomarqueurs enzymatiques du stress métabolique sur des huîtres du golfe ainsi que la présence de perturbateurs endocriniens (PE) dans les eaux marines, grâce à un test spécifiquement mis au point au laboratoire. Ce test a permis de tracer une origine possible de PE dans un étang qui reçoit les effluents de l'hôpital de la ville. En effet, l'activité œstrogénique mesurée dans l'étang était significative et diminuait progressivement vers l'aval sous l'effet de la dilution. En sortie de golfe, plus aucune activité n'était détectable. De même, nous avons montré que 50 % de la charge en PE entrant dans la station d'épuration de la ville était rejeté dans les eaux de surface ; il est vraisemblable que les 50% restants soient piégés dans les boues qui seront plus tard épanchées sur les parcelles agricoles... Il importe de préciser que les PE sont très difficilement dégradés par la biomasse (boues activées) des stations de traitement des eaux usées. La figure 3 présente les mesures d'activité œstrogéniques de mai 2011 à juillet 2012, effectuées sur un site ostréicole placé à proximité de la sortie du golfe. Un seul pic d'activité a été détecté en juin 2011, vraisemblablement lié à un effet de lixiviation après de fortes pluies.

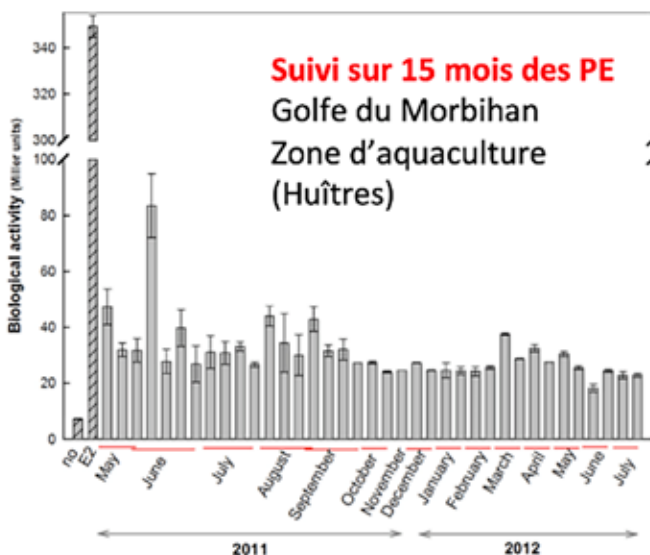


Figure 3. Campagne de suivi du risque endocrinien

Concernant les possibles contaminations fécales par les élevages ou les systèmes d'assainissement vers les parcs à huîtres, deux campagnes de mesure (en 2018 et 2019) ont été conduites pour tracer l'origine de ces contaminations dans la rivière de Pénerf, attenante au Golfe du Morbihan. Là encore, une méthodologie particulière, reposant sur des signatures métaboliques collectées par spectroscopie infrarouge, a permis d'identifier certaines sources de contamination par le rapprochement des signatures de la bactérie *Echerichia coli* retrouvée dans les tissus de l'huître, et de celles collectées parmi un ensemble de sites potentiels de pollution.

L'ensemble de ces données montre l'importance d'un suivi serré de la qualité des eaux en matière de risque pour la santé humaine et la santé de la faune, notamment en ce qui concerne les perturbateurs endocriniens, dont les effets sur cette faune marine sont aujourd'hui bien renseignés, comme les malformations ou encore la féminisation des mâles. Il est à noter qu'une surveillance dynamique de la qualité des eaux nécessite une bonne connaissance de l'hydrodynamisme du bassin (courants de marées et côtiers), de la localisation des émissaires, des sources potentielles de rejets de micropolluants, mais aussi de disposer d'outils et de modèles pouvant rendre compte de ces risques.

4. STRATÉGIES DE BIOSURVEILLANCE EN BAIE DE MONASTIR

Le milieu marin a servi et sert encore de réceptacle aux eaux usées provenant des agglomérations urbaines et des industries côtières. En Tunisie, malgré les efforts fournis, certaines zones côtières restent menacées par l'action anthropique et l'introduction de substances exogènes ayant un effet négatif sur l'équilibre écologique du milieu naturel, car menaçant sa diversité. La baie de Monastir, située en face d'une zone qui connaît une urbanisation accrue avec le développement économique du secteur industriel (industrie textile et aquaculture essentiellement), en est un exemple frappant de par ses épisodes de catastrophes environnementales répétées (Figure 4).

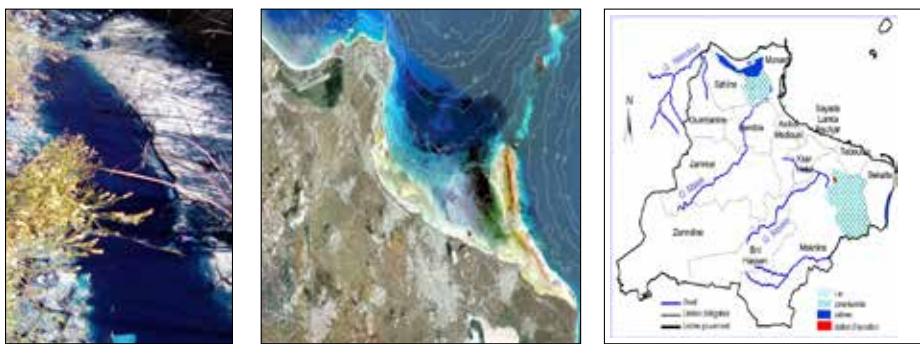


Figure 4. Sources de la pollution de la baie de Monastir (Tunisie)

La baie de Monastir est soumise à une évolution permanente induite par des facteurs naturels d'une part, et par l'influence des activités anthropiques d'autre part. La dégradation de la frange littorale (lagune de Monastir, Khnis, Ksibet Mediouni, Lamta et Sayada) serait principalement en lien avec les fortes accumulations de matière organique dans un milieu à faible hydrodynamisme, et la conséquence de phénomènes naturels et anthropiques. Notre laboratoire (APAE) a établi un diagnostic de l'état de santé du milieu côtier de la baie de Monastir par une approche multi-marqueurs (chimique, biochimique et biologie moléculaire). La baie de Monastir reçoit deux types d'eaux terrestres : des eaux pluviales en période de crue, et des eaux usées traitées provenant de deux stations d'épuration (Tableau 1).

Les eaux pluviales se déversent dans la baie essentiellement par l'Oued Khnis, d'un bassin versant de 340 km², et par de petits cours d'eau dont les bassins versants ont de petites superficies (de 1,9 à 8,4 km²), pour une surface totale de l'ordre de 66 km²;
 Les eaux usées traitées se déversent par le biais des émissaires en mer des deux stations El Frina (Monastir) et Lamta-Sayada-Bouhjar.

	Débit	DBO5	DCO	MES	Ntot	Ptot
	m3/an	Kg/an	Kg/an	Kg/an	Kg/an	Kg/an
STEP Lamta-Sayada	995 615	69 224	255 238	80 230	59 584	6 240
STEP El Frina	3 722 352	86 735	391 317	122 940	213 113	21 715
Total EU Traitée	4 717 967	155 959	646 555	203 170	272 697	27 954
Eau pluviale	4 840 000	109 522	552 012	530 000	10 382	4 199
Total déversé en mer	9 557 967	265 481	1 198 567	733 170	283 079	32 153
% EU traitée	49 %	59 %	54 %	28 %	96 %	87 %

- Il apparait ainsi d'après ces valeurs que les eaux usées traitées ne représentent que :
- Environ 50 % de la charge hydraulique et de la charge polluante en DBO. DCO ;
 - Environ 30 % de la charge polluante en matières solides ;
 - Environ 90 % de la charge polluante en sels nutritifs (N et P).

Tableau 1. Nature et débit de la charge polluante affectant la baie de Monastir

Des analyses chromatographiques ont révélé la contamination de la baie de Monastir par différents types de micropolluants, de types résidus pharmaceutiques, métaux lourds, pesticides, plastifiants, mais surtout des colorants textiles (Zouiten et al., 2016 ; Tahrani et al., 2016 ; Fathallah et al., 2019) (Tableau 2).

	Résidus pharmaceutiques	Colorants	Métaux lourds	Pesticides	Plastifiants	NO ³ ,Pt
Oued Hamdoun	-	XXX	XX	X	-	XX
Côte de Monastir	XXX	-	-	-	XX	X
Oued Khnis	-	XX	XXX	-	-	X
Côte de Ksibet Mediouni	X	XXX	XX		XX	XXXX
Oued Souk (Lamta)	XX	X	-	-	-	XXXX
Teboulba	XX	X	X	X	XX	X

Tableau 2. Nature des contaminants chimiques détectés dans la zone littorale de Monastir

Au cours de nos études, nous avons mis en place des outils de contrôle permettant de mesurer l'impact des polluants sur l'écosystème et la santé humaine. Ceci est rendu possible grâce à des biomarqueurs de génotoxicité, qui permettent l'estimation de l'effet des polluants à caractère génotoxique en se basant sur la mesure des dommages causés à l'ADN. La biosurveillance repose sur la mesure de biomarqueurs (effets sur l'ADN ou sur certaines enzymes) chez *Mytilus galloprovincialis* (moule méditerranéenne) & *Ruditapes decussatus* (palourde commune), à l'aide du test des comètes ou Single Cell Gel Electrophoresis. Les résultats ont prouvé que le test des comètes est un bon marqueur de la contamination de l'eau : *i)* par des antibiotiques chez *M. galloprovincialis* et *ii)* par les métaux lourds chez *R. decussatus* (Zouiten et al., 2016 ; Mustapha et al. 2016 ; Fathallah et al., 2019)

5. GESTION DURABLE DES MANGROVES À MADAGASCAR

Grande île dans l'Océan Indien Occidental située à 400 km du Mozambique, comptant 5 600 kms de linéaire côtier ainsi qu'une zone économique exclusive (ZEE) estimée à 1 140 000 km², Madagascar s'est engagée à « *conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins de développement durable* ». De nombreux acteurs de la recherche malgache, notamment à l'IH.SM de Toliara, au sud, et au CNRO de Nosy Be, au nord, contribuent à cet objectif au travers de quatre grands axes, définis en 2018 par le MESupReS¹ dans le plan directeur de la recherche en sciences marines. Il s'agit de la santé des écosystèmes liée au changement climatique, de la gestion durable des espèces marines et de leurs habitats, de la sécurité alimentaire et nutritionnelle et enfin de l'amélioration des connaissances scientifiques.



Figure 5. Répartition des mangroves



Figure 6. Mangrove en voie de dégradation



Figure 7. Replantation de mangroves dans le littoral sud-ouest de Madagascar

¹ MESupReS : Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Le plateau continental de Madagascar, d'environ 117 000 km², présente un intérêt écologique et économique important en raison de la présence de divers écosystèmes tels que les mangroves, récifs, tannes, lacs et lagunes, herbiers et plages. En plus des 1 130 km de récifs frangeants, des 557 km de bancs récifaux, des 502 km de récifs barrières et des 171 km de récifs immergés, les mangroves figurent parmi les écosystèmes les plus importants. A Madagascar, elles occupent une superficie d'environ 330 000 ha dont 98% sont localisés sur la côte ouest. Ainsi, Madagascar détient la 4^{ème} plus grande superficie de mangroves d'Afrique après le Nigeria, la Guinée Bissau et le Mozambique.

La plupart des mangroves de Madagascar s'insère dans les bassins sédimentaires formant ainsi dans la partie nord et ouest côtière de l'île des forêts denses de plusieurs hectares. Or, une dégradation progressive des mangroves est observée dans de nombreux sites et on assiste à une régression généralisée.

Ainsi, la FAO a estimé le taux de diminution à 0,2% tous les 10 ans. Une perte de 7% de la superficie totale de mangroves entre 1975 et 2005 a été également avancée par Giri et Mulhausen en 2008. Cette dégradation des mangroves est essentiellement liée à la pression anthropique et au réchauffement climatique. Au vu de l'importance du rôle joué par les mangroves dans la régulation des écosystèmes marins, les ministères, les institutions de recherches, les gestionnaires des sites de mangroves, les partenaires techniques et financiers, les chercheurs, les techniciens, la société civile, la population et les communautés locales ont arrêté que *les mangroves sont maintenant considérées comme étant un patrimoine à préserver pour les générations futures*.

En conséquence, la protection et la replantation de mangroves sont considérées comme une urgence opérationnelle. Le transfert de gestion aux communautés locales, la cogestion des écosystèmes marins avec la population locale et la création de nouvelles aires protégées, constituent tout autant de mesures concrètes prises pour faire face aux pressions et menaces identifiées.

6. JEUX TELLURIQUES EN BAIE DE SEMARANG (JAVA-INDONÉSIE)

Avec près de 150 millions d'habitants, Java est l'île la plus peuplée du monde. En 2012, sa population a atteint environ 140 M d'habitants, pour une densité de l'ordre de 1 064 habitants/km². À court terme, les changements dans l'environnement mondial, y compris les modifications du climat, des océans ou d'autres ressources en eau, la topographie (affaissement des terres), la productivité des terres et les systèmes écologiques, affectent de façon importante les populations vivant dans des environnements marins côtiers « vulnérables ». Parmi les exemples d'environnements « vulnérables », les zones côtières d'Asie du Sud-Est sont particulièrement représentatives du fait de la combinaison de risques importants de catastrophes naturelles, de forte concentration de population, d'infrastructures inadéquates et de conditions socio-économiques défavorables.

À long terme, et grâce aux archives de la Terre, nous cherchons à comprendre les changements globaux qui résultent de ces effets complexes. Pour étudier comment le système naturel réagit au forçage anthropique, la communauté scientifique des géosciences dispose de nombreux atouts en raison notamment de sa grande expérience sur le temps long, permettant d'appréhender la vitesse des processus à l'œuvre. En effet, cette discipline se focalise sur l'étude des processus à différentes échelles de temps et d'espace, avec des *approches combinant observation, mesure, expérimentation et modélisation*. Les recherches scientifiques fournissent les moyens de comprendre la nature et l'ampleur de ces défis, notamment le changement d'utilisation des terres, la perte de la biodiversité et les menaces pour l'eau, ainsi que la sécurité alimentaire (Kuehn et al., 2010, Chaussard et al., 2013).

Ainsi nous trouvons dans l'Asie du Sud-Est un territoire particulièrement exposé dans le temps. Nos travaux de recherche actuels sur l'île de Java, dans la région de Semarang, contribuent à répondre à différents questionnements en se basant sur la modélisation de la morphodynamique côtière. Parmi ces questions, on trouve :

- 1) L'affaissement des terres dans la zone côtière de Semarang est-il principalement dû à des processus naturels ou anthropiques ? Ou les deux ? Comment pouvons-nous déterminer les facteurs dominants ? Est-il dû aux pompages des eaux souterraines (temps court), aux mouvements tectoniques (temps long), aux activités, ou à une combinaison de ces facteurs ?
- 2) Dans quelle mesure la productivité marine des eaux côtières près de la ville de Semarang est-elle affectée par l'évolution des conditions climatologiques des paramètres océaniques et atmosphériques en mer de Java ?
- 3) Comment le changement climatique affecte-t-il les ressources halieutiques et la productivité économique des communautés côtières ?
- 4) Comment pouvons-nous contrôler et évaluer la santé et la productivité des écosystèmes marins côtiers ? Les récifs artificiels et les efforts de reboisement des mangroves dans la région côtière de Semarang sont-ils des réponses adéquates à la protection et la réhabilitation des écosystèmes côtiers ?
- 5) Comment la technologie géospatiale et l'analyse de données massives peuvent-elles aider à révéler les interactions cruciales entre les aspects écologiques, économiques et politiques, pour évaluer et gérer les risques environnementaux ?



Figure 8. Plaine côtière de la région de Semarang © Dr. Helmi, Université Diponegoro, Semarang



Figure 9. Imageries spatiales illustrant l'inondation à proximité et au NE de Semarang (JAVA) © USGS

Notre angle d'attaque associe l'expérience de terrain et une technologie de pointe pour étudier les questions de recherche animant chacun d'entre nous, avec l'objectif de pérenniser la donnée. Une fois de plus, ces questions nécessitent une quantité de données que le chercheur seul ne peut collecter et interpréter rapidement. Il s'agit donc de mettre en œuvre une veille scientifique et technique sur l'environnement, qui puisse conduire à une réflexion globale sur l'archivage numé-

rique des données collectées. Cet outil servira également à la formation des étudiants, comprenant l'éducation à l'environnement et le développement de nouvelles connaissances pour protéger celui-ci. L'enjeu est également de réfléchir aux compétences nouvelles et aux métiers émergents en géosciences, qui permettront aux générations futures de combler le fossé béant que nous leur auront légué.

7. CONCLUSION

La complexité de la *Question Littoral* exige des scientifiques qu'ils l'appréhendent de manière systémique, et selon des perspectives multiples qui intègrent les politiques et pratiques humaines, pour mieux gérer et s'adapter aux grands changements. Une approche interdisciplinaire de la compréhension du changement global est donc impérative. Si les scientifiques se sont inscrits depuis longtemps dans ce type de démarche, il est aussi essentiel d'y associer et engager les étudiants afin de promouvoir les approches multidisciplinaires intégrant les sciences naturelles et sociales², ainsi que les méthodes statistiques avancées, pour favoriser une meilleure compréhension des causes et conséquences du changement global sur la planète Terre.

A travers les archives de la Terre, le géologue dispose d'une base pour réfléchir sur des échelles de temps et d'espace variables. Il est alors en capacité, dans son champ d'expertise, de discriminer les causes d'événements exceptionnels (crues, érosion du trait de côte, ...) à travers un regard croisé entre les facteurs dynamiques sur le temps court ou sur le temps long (mouvements verticaux subtiles versus subsidence). Sur le temps court, les dispositifs sentinelles du biologiste relèveront de la biosurveillance du milieu littoral avec des dispositifs possiblement automatisés et impliquant le citoyen comme fournisseur d'information en temps réel.

Notre compréhension des principaux facteurs contribuant aux changements environnementaux passés, actuels et futurs, est encore trop incomplète en raison de la complexité du problème, de la rareté ou de la disparité des données et du manque d'infrastructures de recherche adaptées pour mener des recherches inter- et transdisciplinaires.

Ces défis font émerger des thématiques de recherche sur les impacts du développement urbain et économique rapide dans les zones côtières exposées aux aléas. De plus, ils nécessitent la formation et l'engagement de la nouvelle génération de scientifiques, seule capable d'inventer des solutions soutenables. Pour définir un projet, un objectif commun et partagé, il devient impératif de croiser nos regards d'acteurs au sein d'un réseau informel plutôt que structurel, dont le fonctionnement transversal sera seul garant de la prise en compte des enjeux multiples de la *Question Littoral*.

² Par exemple, la diffusion et la transmission de résultats scientifiques probants sont susceptibles de nourrir la pertinence de réglementations concernant la protection de l'environnement.

RÉFÉRENCES

- Allouza, M., Chakiri, S., Bounouira, H., Embarch, K., Amsil, H., Bounakhla, M., Said, F.— Étude des caractéristiques géochimiques des sédiments superficiels de la côte littorale de la région de Kénitra et de l'estuaire de l'oued Sebou (Maroc). *ScienceLib – éditions Mersenes*, 6, (2014), pp.1-18.
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., and Hong, S.H. Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of the Environment* 128, (2013). 150-161.
- Ellis, P., and Roberts, M. *Leveraging Urbanization in South Asia: Managing Spatial Transformation for Prosperity and Livability*. Washington DC: The World Bank Group, (2016) <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22549>
- Fathallah S, Beltifa A, Fekih O and Mansour HB. Biomonitoring of Heavy Metals Genotoxicity in Tunisian Costal Using the Comet Assay in the European Clam *Ruditapes Decussatus*. *J. of Environmental Toxicology and Analytical Research*. 1 (2019) pp. 1-7.
- Giri C. et Mulhausen J. Mangrove Forest Distributions and Dynamics in Madagascar (1975–2005) *Sensors* 8 (2008), pp. 2104-2117.
- Kuehn, F., Albiol, D., Cooksley, G., Duro, J., Granda, J., Haas, S., Hoffmann-Rothe, A., and Murdohardono, D. Detection of land subsidence in Semarang, Indonesia, using stable points network (SPN) technique. *Environmental Earth Sciences*, 60 (2010), pp.909-921.
- Le Grand A., Maxime V., Kedzierski M., Duval H., Douzenel P., Sire O. et Le Tilly V. Assessment and monitoring of water quality of the gulf of Morbihan, a littoral ecosystem under high anthropic pressure. *Mar. Poll. Bull*, 124 (2017), pp. 74-81
- Mustapha N, Zouiten A, Dridi D, Tahrani L, Zouiten D, Mosrati R, Cherif A, Chekir-Ghedira L, Mansour HB. Comet assay with gill cells of *Mytilus galloprovincialis* end point tools for biomonitoring of water antibiotic contamination: Biological treatment is a reliable process for detoxification. *Toxicol Ind Health*. 32 (2016), pp. 686-93.
- Tahrani L, Van Loco J, Ben Mansour H, Reyns T. Occurrence of antibiotics in pharmaceutical industrial wastewater, wastewater treatment plant and sea waters in Tunisia. *J. Water Health*. 14 (2016), pp. 208-13.
- Zouiten A, Beltifa A, Van Loco J, Mansour HB, Reyns T. Ecotoxicological potential of antibiotic pollution-industrial wastewater: bioavailability, biomarkers, and occurrence in *Mytilus galloprovincialis*. *Environ Sci Pollut Res Int*. 23 (2016), pp. 15343-50.

The background image shows a port scene. On the left, there are several large, cylindrical concrete silos. In the center and right, a red cargo ship is docked. The ship's name 'CEPHEUS OCEAN' and 'PANAMA' are visible on its side, along with the IMO number '9686273'. The sky is blue with some clouds. A teal semi-transparent banner is overlaid on the middle of the image, containing the title text.

⋮ PARTIE 3

LES POLITIQUES PUBLIQUES ET LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE PORTUAIRE

QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LES ENJEUX PLURIDISCIPLINAIRES DE LA RECHERCHE SUR LES PORTS EN FRANCE

Mathias Tranchant, Professeur des Universités

Histoire médiévale, Histoire maritime
Université Bretagne Sud
Laboratoire Temps, Mondes et Sociétés TEMOS CNRS (FRE 2015)
mathias.tranchant@univ-ubs.fr

Mots-clés : ports ; pluridisciplinarité ; politiques scientifiques

RÉSUMÉ

Les ports sont des objets polymorphes, aux activités nombreuses, qui concentrent des problématiques dont l'étude nécessite la réunion d'acteurs scientifiques issus de domaines académiques variés. Ce sont aussi des territoires dont la création et la trajectoire s'inscrivent souvent dans le temps et qui, aujourd'hui, constituent des espaces emblématiques des relations Homme-Milieu. L'objet de cette communication est de mettre en regard la recherche pluridisciplinaire sur les ports en France et les attentes politiques, économiques, sociales et scientifiques contemporaines

ABSTRACT

The ports are polymorphic objects, with numerous activities, which concentrate problems which the study requires the meeting of scientific actors coming from various academic fields. They are also territories whose creation and trajectory often take place over time and which, today, constitute emblematic spaces of Human-Environment relationship. The purpose of this communication is to compare multidisciplinary research on ports in France with contemporary political, economic, social and scientific expectations.

AVANT-PROPOS

Concevoir la mer comme un bien partagé par l'ensemble de l'humanité impose de regarder de plus près la variété des territoires maritimes construits par les sociétés au cours du temps, chacun d'eux n'étant pas affecté de la même manière aux usages anthropiques. De ce point de vue, les ports constituent des lieux singuliers, où se concentrent et s'articulent la plupart des activités économiques, sociales et politiques en milieu marin. À ce titre, ils méritent une attention scientifique particulière, soutenue à des degrés divers par les pouvoirs publics

1. INTRODUCTION

Augurée durant l'Antiquité et le Moyen Âge occidental, puis développée au cours de l'Époque Moderne jusqu'au début du XX^e siècle, l'internationalisation des échanges s'est muée en mondialisation pour atteindre aujourd'hui un stade ultime. Cette dernière renvoie à un système-monde, à une conception unitaire du territoire mondial et de l'espèce humaine qui l'occupe, dépassant de loin la seule économie pour rassembler aussi les activités de nature politique, sociale et culturelle. De sorte qu'elle est devenue – bousculée, il est vrai, par la très récente épreuve du COVID-19 – une référence à partir de laquelle la représentation de l'Humanité change d'échelle et se pense au moyen d'une unique matrice, une sorte de société mondiale.

Pour être opérante, la mondialisation, dont le fonctionnement dépend pour beaucoup de la compression toujours plus poussée de l'espace-temps, nécessite le déploiement et l'entretien d'un vaste réseau de communications autorisant, aussi rapidement que possible et dans des quantités considérables, la circulation d'individus, d'informations, de marchandises et de valeurs financières. En la matière, elle est largement dépendante des voies d'eau qui, parce qu'elles permettent le déplacement de biens à très longue distance, dans de gros volumes, à des coûts financiers et à l'impact carbone avantageux, se trouvent privilégiées par les acteurs privés et publics.

L'augmentation et la concentration des échanges par voie maritime est un processus qui s'accélère depuis le lendemain de la seconde guerre mondiale et, surtout, les années 1970. Les chiffres qui le caractérisent sont éloquentes : 2,6 milliards de tonnes de marchandises relevaient du transport maritime en 1970 ; il est passé à 8,7 milliards de tonnes en 2011 pour atteindre 9,1 milliards de tonnes actuellement, soit quelque 90 % des biens qui transitent physiquement dans le monde. Quand le taux de croissance de l'économie mondiale se situait autour de 3 % en 2009, la progression des flux commerciaux s'élevait à 5 % et celle du transport maritime s'établissait à 7 %. Ce processus a été qualifié par les économistes de maritimisation. Repris par les géographes, on lui a adjoint un volet géopolitique et géostratégique. Les historiens vont plus loin encore, parce qu'ils considèrent la maritimisation comme un phénomène qui s'inscrit dans le temps long (au moins depuis l'Antiquité méditerranéenne), qui est composé de phases et qui produit des transformations économiques, politiques et culturelles chez les sociétés qui engagent des activités au travers les mers et les océans.

Si la maritimisation a connu des progrès inégalés depuis un demi-siècle, cela est dû en grande partie à des raisons technologiques : l'invention du conteneur en 1958 a donné lieu au développement concomitant de navires toujours plus grands pour les transporter et, au final, à l'aménagement de nouvelles infrastructures portuaires, imposantes, des hubs qui permettent la jonction entre les modes de communication maritime et terrestre et qui servent de centres de redistribution pour la circulation des biens. Le port est donc devenu un passage obligé, un lieu essentiel au bon fonctionnement et à la dynamique du commerce contemporain. Dans ces circonstances, il constitue un territoire clef de la mondialisation. Mais il n'a pas perdu pour autant ses autres fonctionnalités, parfois plus traditionnelles : accueillir les activités de pêche, de construction navale, de transport de passagers, de plaisance, de marine militaire, etc. Il est donc aujourd'hui, plus encore qu'hier, un lieu complexe et stratégique, qui concentre des intérêts non seulement économiques, mais aussi politiques, juridiques, sociaux, technologiques, culturels et environnementaux.

C'est ce qui en fait un objet de première importance dont l'étude scientifique est devenue une nécessité, à condition qu'elle soit entreprise en prenant la mesure de toutes les problématiques portuaires, c'est-à-dire à l'échelle pluridisciplinaire. La présente communication se fixe pour but de poser, au niveau de la France, les principaux enjeux qui entourent cette recherche à venir.

2. LE PORT, UN TERRITOIRE COMPLEXE AUX MULTIPLES ACCEPTIONS

La pluridisciplinarité à laquelle nous venons de faire référence trouve sa première application au travers de la variété des définitions scientifiques qu'il convient de réunir pour décrire le port

dans toutes ses acceptions. Sur le plan géographique, c'est un territoire, c'est-à-dire un espace anthropisé, dévolu à des activités humaines, dont la particularité est d'être établi à la fois sur un espace maritime et un espace terrestre. Cette approche doit être complétée par une analyse géophysique. Pour chaque site portuaire, la configuration topographique du littoral dans lequel il s'insère, sa bathymétrie, ainsi que le réseau hydrographique auquel il est éventuellement lié, constituent des arguments de caractérisation et de distinction. On classe de cette manière les ports de ria et d'aber, les ports d'estuaire, les ports de rade, les ports de chenal, les ports d'échouage, les ports en eaux profonde, etc.

Sur le plan fonctionnel, la notion de port fait référence à deux emplois essentiels qui s'inscrivent dans une longue histoire. C'est d'abord un lieu de passage. Le terme « port » lui-même trouve son origine dans les mots grec (*poros*) et latin (*porta*) qui renvoient aux notions de porte, de lieu que l'on traverse. En ce sens, il est associé à une fonction de transit, cette dernière n'étant d'ailleurs pas réservée au littoral. Aujourd'hui encore, 24 cols pyrénéens français et espagnols sont aussi désignés à partir des vocables « port » et « puerto ». Il est donc à la fois une entrée et une issue par laquelle est rendue possible la circulation des hommes, des marchandises et des matériels. Il est la zone de prédilection pour assurer l'interface terre/mer et pour permettre la commutation entre différents modes de transport – maritime, fluvial et terrestre. Il constitue un centre névralgique, un point de connectivité entre ses abords immédiats ou son arrière-pays et des espaces plus ou moins éloignés situés « outre eaux ». On parle aujourd'hui de plateforme de correspondance (« hub » en anglais) pour désigner ce même usage. Et puis, par ailleurs, depuis la seconde moitié du Moyen Âge, l'espace portuaire est aussi qualifié de « havre », c'est-à-dire, selon les langues nordiques qui l'ont fait naître, qu'il procure un abri : pour les navires bien entendu, mais aussi pour l'ensemble des matériels, des hommes et des activités qu'il accueille, sur l'eau comme sur les berges.

Plus concrètement, sur le plan économique, cette double définition fonctionnelle du port se traduit, hier comme aujourd'hui, par le développement en son sein d'une multitude d'activités. La plus traditionnelle est probablement la pêche. C'est elle qui, en France tout du moins, a présidé à la création et au premier essor de la plupart des ports depuis le XI^e siècle. Mais il est vrai qu'il s'agit d'un secteur économique beaucoup moins prégnant désormais. De tout temps, le commerce maritime constitue le second pilier des activités portuaires. Il s'organise à différentes échelles, régionale, nationale et internationale. Il est affecté à la circulation des marchandises pondéreuses ou volumineuses : céréales, sel, matières premières, bois, combustibles, etc. Aujourd'hui, les plus grands ports de commerce français sont pour une part importante le siège des approvisionnements énergétiques du pays en hydrocarbures, Marseille en tête. Cette activité représente environ 60 % du trafic total, quand le mouvement des conteneurs de marchandises en absorbe lui environ 12 %, le port du Havre étant le premier dans ce domaine. Le transport de passagers est également une activité portuaire classique. Depuis la circulation organisée au sein de la *Mare Nostrum* (Méditerranée) antique, en passant par les liaisons transmanche, le pèlerinage de Saint-Jacques-de-Compostelle et les croisades du Moyen Âge, les découvertes et colonisations de l'Époque Moderne, jusqu'à maintenant, où environ 32 millions de passagers transitent chaque année par les ports français pour des croisières touristiques ou pour relier l'Angleterre et la Corse via les ferries. En définitive, seules la plaisance et la course sportive constituent des secteurs véritablement nouveaux. Actuellement, elles représentent de surcroît une part conséquente des aménagements littoraux dédiés aux nécessités portuaires.

Toujours sur le plan économique, au-delà du stationnement des navires, les ports accueillent sur leurs berges toute une série d'activités, souvent industrielles, qui participent de leur singularité. Traditionnellement, le port est le siège de la construction et de la réparation navale où s'organisent des chantiers spécialisés ; il en existe une grosse soixantaine en France aujourd'hui. On y procède aussi à la transformation des produits de la pêche, par salaison et fumage à l'origine, dans des conserveries depuis le XIX^e siècle et désormais au moyen des procédés variés de l'industrie

alimentaire. D'autres ports servent de terminaux aux dépôts pétroliers et la pétrochimie permet d'y réaliser les opérations de raffinage. On y installe aussi des centrales thermiques, des usines de construction d'éoliennes et on y fait converger les réseaux de distribution électrique. L'industrie automobile y a parfois établi certains secteurs de sa production. Et puis, dès lors qu'ils sont affectés au transport, les espaces portuaires sont dotés d'activités logistiques comprenant, sur des aires de plusieurs centaines d'hectares parfois, des engins et des infrastructures de chargement et de déchargement ainsi que des entrepôts, le tout assurant la connexion entre les navires, la route, le rail et les voies fluviales. Au final, chacun de ces services économiques contribue à la définition du port. Lorsque ce dernier est réservé à l'un d'eux, il porte d'ailleurs son nom : on parle de port de pêche, de commerce ou de plaisance, de port méthanier ou pétrolier, de port à conteneurs, de ports ferries, etc. Et, lorsqu'il est le siège de plusieurs de ces secteurs économiques, il est alors un port polyvalent.

Sur le plan militaire, le port constitue également un territoire singulier, de par la nature sensible et stratégique de ses missions. Depuis l'antiquité, lorsqu'il est affecté à la guerre, le territoire portuaire est un espace clos et défendu. En France, il en a existé dès le Moyen Âge (Aigues-Mortes, La Rochelle, Harfleur, Rouen), puis l'État les a multipliés au cours des siècles suivants. Dans ce domaine, ils sont désignés aujourd'hui comme des bases marines ou sous-marines et dépendent de la marine nationale. Il en existe 4 en métropole, 6 en outre-mer et 3 à l'étranger.

Sur le plan administratif et juridique, les sites portuaires sont rangés dans des catégories particulières, en fonction de leur statut et de l'autorité à laquelle ils sont attachés. Les ports dits d'État regroupent les 11 plus grands ports maritimes (GPM), ceux qui génèrent plus de 80 % du trafic de marchandises par voie de mer : 7 sont situés en métropole et 4 en outre-mer. Il faut leur ajouter le port d'intérêt national de St-Pierre et Miquelon. Tous sont dédiés au commerce. Les GPM sont des établissements publics, chacun géré par un directoire placé sous le contrôle d'un conseil de surveillance, ce dernier étant composé notamment de représentants de l'État, des collectivités territoriales et des chambres de commerce et d'industrie. Avant les lois de décentralisation de 1983, tous les ports maritimes étaient placés sous la tutelle de l'État. Par la suite, sous l'action des lois successives, une grande partie d'entre eux a été confiée aux collectivités territoriales (régions, départements, communes) ou de leurs groupements. Aujourd'hui, on dénombre plus de 500 ports décentralisés, la plupart relevant de la plaisance, les autres opérant pour la pêche ou le commerce. Enfin, sur le plan écologique, les ports peuvent être conçus comme des environnements spécifiques, formant des socio-écosystèmes qu'il est nécessaire d'identifier et de décrire. Pour le biologiste et l'écologue, ce sont des interfaces hommes-milieus dynamiques, des agents d'artificialisation qui exercent une pression anthropique pérenne, facteur de transformation de l'environnement littoral : par leurs aménagements, par la pollution que génèrent leurs activités, par l'introduction d'espèces exogènes et, parfois, pathogènes qui en découle.

Toutes ces définitions constituent autant d'approches scientifiques qu'il convient maintenant de rassembler, pour comprendre la complexité et les interactions des différents facteurs qui forment les ports et participent de leurs évolutions. À cet égard, les autorités responsables de leur gestion comme les acteurs qui en font usage ont, depuis une quinzaine d'années, exprimé à plusieurs reprises leurs attentes et leurs prescriptions.

3. LES ATTENTES DE L'UNION EUROPÉENNE

Au niveau européen, la construction des politiques portuaires s'inscrit dans l'enjeu central de la croissance bleue ou économie bleue. C'est le 3 septembre 2008 qu'ont été communiqués les premiers éléments de la « stratégie européenne pour la recherche marine et maritime », intitulée « Un Espace européen de la recherche cohérent à l'appui d'une utilisation durable des mers et des océans¹ ». Dès cette époque, on fait le constat que 90 % des échanges avec l'extérieur de

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:52008DC0534> (page consultée le 27 avril 2020).

L'Union et 40 % des échanges intracommunautaires sont réalisés par mer. Les quelque 1 200 ports européens font transiter 3,5 milliards de tonnes de marchandises et 350 millions de passagers annuellement. Le secteur de la pêche et de l'aquaculture mobilise à lui seul près de 100 000 navires, représente un demi-million d'emplois et environ 20 milliards d'euros par an, soit 0,3 % du PIB de l'UE. La construction navale – les chantiers et les équipementiers – emploie 0,8 million de salariés hautement qualifiés pour un chiffre d'affaires de 90 milliards d'euros. Dans ce domaine, l'Europe occupe le premier rang mondial avec 10 % de la production mondiale, grâce à la maîtrise de technologies de pointe appliquées aux transbordeurs et aux bâtiments de croisière. Et puis, on identifie déjà l'importance des nouvelles ressources produites par ce qu'on nomme la « biotechnologie bleue », secteur considéré en devenir pour lequel sont prévus une croissance de 10 % par an et un marché mondial représentant 2,4 milliards d'euros.

En 2012, la Commission européenne a défini ce que l'Union européenne entend par croissance bleue² : c'est une « croissance durable dans les secteurs marin et maritime », au potentiel considérable en matière d'innovation, qui considère les mers et les océans comme des moteurs de l'économie européenne et qui doit être fondée sur stratégie à long terme. La mise en œuvre de cette stratégie relève de la politique maritime intégrée (PMI) qui constitue l'approche globale de toutes les politiques de l'Union européenne relatives à la mer. Esquissée en 2005, puis précisée en 2007, la PMI est placée sous la direction de la DG des Affaires maritimes et pêche. Elle a reçu en 2010 son premier règlement établissant un programme de soutien financier continu pour la période 2011-2013³. Elle est fondée sur l'idée qu'en coordonnant ses politiques, l'Union peut davantage tirer profit des mers et des océans tout en diminuant l'impact sur l'environnement. Selon une synthèse publiée en 2014, il s'agit de « préserver l'avenir de nos océans et générer de la croissance⁴ ». Cette conception a été récemment rappelée dans le rapport annuel de 2018 sur l'économie bleue⁵. Ce concept se rapproche de celui d'économie verte. Il met en avant l'idée que la santé et la conservation des écosystèmes océaniques sont fondamentaux pour un développement durable et productif, ce qui implique la recherche d'un équilibre entre activité économique et maintien des capacités à long terme des ressources marines.

Parmi les principaux objectifs de la PMI, beaucoup concernent directement les ports⁶. On veut stimuler l'innovation technologique au sein des chantiers navals et encourager la constitution d'un réseau européen de pôles d'activités maritimes multisectoriels. Sur le plan de l'environnement, il s'agit d'accompagner l'application de la législation spécialement édictée à l'égard des ports maritimes : les adapter au changement climatique dans les zones côtières, réduire la pollution et les émissions de gaz à effet de serre dégagées par les navires, etc. En matière de navigation, on souhaite améliorer l'efficacité du transport maritime en Europe et assurer sa compétitivité par la création d'un espace maritime européen partagé et la détermination d'une stratégie du transport maritime.

Pour remplir ces objectifs, les États membres ont voulu inciter le développement de la connaissance et de l'innovation en faveur de la recherche marine et maritime au moyen d'une stratégie globale. Le septième programme-cadre pour la recherche⁷ (2007-2013), d'abord, la directive-cadre

2 La croissance bleue : des possibilités de croissance durable dans les secteurs marin et maritime, Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité Économique et Social européen et au Comité des Régions, COM(2012) 494 final : https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/sites/maritimeaffairs/files/docs/publications/blue-growth_fr.pdf (page consultée le 27 avril 2020).

3 Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil établissant un programme de soutien pour le développement d'une politique maritime intégrée, COM(2010) 494 final : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2010/0494/COM_COM\(2010\)0494_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2010/0494/COM_COM(2010)0494_FR.pdf) (page consultée le 27 avril 2020).

4 Préserver l'avenir de nos mers et de nos océans et générer de la croissance, Comprendre les politiques de l'Union européenne, Affaires maritimes et pêche, mis à jour en 2016 : <https://eurocircle.fr/wp-content/uploads/2019/06/Livret-Affaires-Maritimes-et-P%C3%AAche.pdf> (page consultée le 27 avril 2020).

5 The 2018 annual economic report on the EU blue economy, DG Affaires maritimes et de la pêche et le Centre commun de recherche ; <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/79299d10-8a35-11e8-ac6a-01aa75ed71a1> (page consultée le 27 avril 2020).

6 https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/fr/FTU_3.3.8.pdf (page consultée le 27 avril 2020).

7 Décision n° 1982/2006/CE du Parlement européen et du Conseil, du 18 décembre 2006, relative au septième programme-cadre de la Communauté européenne pour des actions de recherche, de développement technologique et de démonstration (2007-2013) : https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:02345e40-a997-42c1-b6bf-b392f266c586.0009.02/DOC_1&format=PDF (page consultée le 27 avril 2020) ; https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:02345e40-a997-42c1-b6bf-b392f266c586.0009.02/DOC_2&format=PDF (page consultée le 27 avril 2020).

intitulée « Stratégie pour le milieu marin » votée en 2008⁸ complétée par la stratégie européenne pour la recherche marine et maritime⁹ (2008), ensuite, ont été les premières initiatives à avoir contribué à sa mise en œuvre. Sur le plan des intentions, le secteur maritime faisait partie des domaines d'étude encouragés (pêche, tourisme, écosystèmes, les affaires juridiques, trafic et transport). Ensuite, le programme « Horizon 2020 » pour la recherche et l'innovation (2014-2020) a pris le relais en décidant de soutenir la croissance bleue et la recherche marine et maritime, en particulier dans les domaines de l'environnement, de l'énergie, des ressources, des biotechnologies, du transport, de l'adaptation aux changements climatiques et de la sécurité¹⁰. Mais, soulignons-le toutefois, aucun de ces programmes-cadres ne fait explicitement référence aux ports ; et ces derniers n'apparaissent que rarement, et seulement de manière incidente, dans les programmations de travail 2018-2020 et leurs financements. Quant au règlement du Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche (FEAMP), dénué de réelles prérogatives scientifiques, il ne prévoit pas non plus d'appuyer des études sur ce sujet, alors qu'il pourrait être articulé avec d'autres politiques de l'Union¹¹.

En réalité, la politique de l'UE visant à soutenir la recherche à l'endroit des problématiques portuaires trouve son expression au travers d'une série d'actions ciblées qui ont été lancées en vertu du plan d'action relatif à la PMI. Les stratégies élaborées par les Affaires maritimes de la Commission européenne pour chaque grande région maritime de l'Europe (océan Arctique, mer Baltique, mer du Nord, Atlantique, Méditerranée, mers Adriatique et Ionienne, mer Noire, régions ultrapériphériques) constituent ainsi un bon point d'appui. Une stratégie maritime pour la région atlantique a été définie et s'est traduite en 2013 par un plan d'action associant les cinq États membres bordant l'Atlantique¹². Parmi les priorités de ce projet, porté en grande partie sur l'innovation et la recherche, beaucoup d'aspects touchent directement les ports. Il s'agit tout à la fois de renforcer leur sécurité et leur sûreté, d'améliorer leur accessibilité et leur connectivité, de contribuer au développement des ports en tant que plateformes de l'économie bleue, d'en faire des outils de la diversification des produits du tourisme maritime et côtier. Ce plan d'action a été complété en 2016 par la définition des mécanismes d'assistance¹³. Cependant, là encore, dans la réalité, les sources de financement prévues par ce plan (fonds structurels et d'investissement européens, fonds « Horizon 2020 », fonds européens pour les affaires maritimes et la pêche, fonds du groupe de la Banque européenne d'investissement, contributions diverses des États partenaires) n'ont pour le moment pas permis de dynamiser la recherche dans le domaine portuaire.

8 Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil, du 17 juin 2008, établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin ») : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0056&from=EN> (page consultée le 27 avril 2020).

9 Une stratégie européenne pour la recherche marine et maritime. Un Espace européen de la recherche cohérent à l'appui d'une utilisation durable des mers et des océans, Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen, au Comité Économique et Social Européen et au Comité des Régions (03/09/2008) : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2008/0534/COM_COM\(2008\)0534_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2008/0534/COM_COM(2008)0534_FR.pdf) (page consultée le 27 avril 2020).

10 Règlement n° 1291/2013 du Parlement européen et du Conseil, du 11 décembre 2013, portant établissement du programme-cadre pour la recherche et l'innovation « Horizon 2020 » (2014-2020) : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1291&from=HU> (page consultée le 27 avril 2020). Décision du Conseil du 3 décembre 2013 établissant le programme spécifique d'exécution du programme-cadre pour la recherche et l'innovation « Horizon 2020 » (2014-2020) et abrogeant les décisions 2006/971/CE, 2006/972/CE, 2006/973/CE, 2006/974/CE et 2006/975/CE : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0743&from=FR> (page consultée le 27 avril 2020).

11 Règlement n° 508/2014 du Parlement européen et du Conseil, du 15 mai 2014, relatif au Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche et abrogeant les règlements du Conseil (CE) n° 2328/2003, (CE) n° 861/2006, (CE) n° 1198/2006 et (CE) n° 791/2007 et le règlement (UE) n° 1255/2011 du Parlement européen et du Conseil : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0508&from=EN> (page consultée le 27 avril 2020).

12 Plan d'action pour une stratégie maritime dans la région atlantique. Pour une croissance intelligente, durable et inclusive. Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen, au Comité Économique et Social Européen et au Comité des Régions intitulée « » (13/05/2013) : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0279&from=EN> (page consultée le 27 avril 2020).

13 Mécanisme d'assistance au Plan d'Action Atlantiques. Rapport de la 3^{ème} Conférence de la Plateforme des Parties Prenantes Atlantiques, Dublin, 27 septembre 2016 : http://www.atlanticstrategy.eu/sites/all/themes/clean_theme/doc/key-documents/Event-Report-of-3rd-ASCP-Dublin-2016_fr.pdf (page consultée le 27 avril 2020).

4. LES ATTENTES DES ACTEURS POLITIQUES ET ÉCONOMIQUES EN FRANCE

En France aujourd'hui, le traitement des questions portuaires relève de deux ministères en particulier. Le Ministère de la Transition écologique compte, parmi les trente domaines de politiques publiques qui lui sont affectés, deux qui concernent spécialement les ports : ils ont été intitulés « Littoral et milieu marin » et « Transport fluvial, mer et ports ». L'un et l'autre sont conçus à partir d'un constat : deuxième espace maritime mondial, cinquième puissance portuaire européenne et doté d'acteurs de la mer dynamiques, le pays dispose d'un fort potentiel d'industrialisation et d'emplois dans la construction navale, les activités portuaires ou encore les énergies marines. En son sein, la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), a confié récemment au CNRS le soin d'établir un état des lieux de la recherche sur les ports qui devrait se concrétiser par la production d'un livre blanc en juin 2021. Ajoutons que le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), placé sous la double tutelle du Ministère de la Transition écologique et du Ministère de la Cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales, produit des actions de Recherche & Innovation notamment en direction des acteurs portuaires. Il est aussi l'organisateur des *Assises Port du futur*¹⁴. De son côté, le Ministère de la Mer développe, au travers ses sept politiques publiques, une somme d'actions qui concernent souvent, de manière directe ou indirecte, les problématiques portuaires, tant sur le plan environnemental, économique, patrimonial, social ou stratégique. Et puis, il dispose également d'un comité pour la recherche marine, maritime et littorale (COMER), qui peut être saisi par le conseil national de la mer et des littoraux (CNML), et dont le rôle consultatif consiste à jouer une interface entre la recherche scientifique et les acteurs du monde maritime.

Pour conduire sa politique en la matière et fixer son ambition maritime sur le temps long, l'État, à l'issue d'une phase de réflexion (Grenelle de la mer en 2009, Assises de la mer et du littoral en 2013), s'est doté au cours des dernières années de plusieurs outils de pilotage qui s'inscrivent dans des perspectives globales partagées avec la PMI de l'Union européenne : la transition écologique maritime et littorale, l'économie bleue durable, le bon état écologique du milieu marin, la préservation d'un littoral attractif et le rayonnement de la France.

En mai 2013, les pouvoirs publics ont ainsi convenu d'une stratégie nationale de relance portuaire¹⁵. Celle-ci repose sur deux piliers en particulier. Sur le plan logistique et de l'intermodalité, il s'agit de faire en sorte que les ports français puissent offrir des solutions intégrées, compétitives et pérennes, capables d'attirer et de fidéliser les opérateurs et les clients à l'échelle d'un arrière-pays de dimension européenne. Par ailleurs, sur le plan de l'aménagement des espaces, les terrains portuaires doivent être mieux occupés et valorisés, selon une approche intégrée d'aménageur et de gestionnaire : en stimulant l'implantation d'activités industrielles et économiques génératrices de trafics maritimes, tout en recherchant un meilleur équilibre entre enjeux environnementaux et enjeux économiques. De surcroît, en février 2017, l'État a déterminé une stratégie nationale pour la mer et le littoral au travers plusieurs orientations qui visent à développer des territoires littoraux et maritimes durables et résilients, ainsi qu'à promouvoir une vision française des enjeux au sein de l'Union européenne et dans les négociations internationales, au moyen de la connaissance, l'innovation et des initiatives de tous les acteurs¹⁶.

De nombreuses actions ont permis de donner corps et réalité à ces stratégies nationales en direction des ports. Depuis 2015, les comités interministériels pour la mer, les Assises de la Mer et les missions parlementaires d'axe et de façade, ont montré que les ports sont des territoires stratégiques essentiels à la compétitivité de la France. Ils ont notamment conclu qu'il était nécessaire de simplifier les procédures administratives pour fluidifier leur fonctionnement, de protéger

14 <https://www.cerema.fr/fr>

15 Stratégie nationale de relance portuaire, mai 2013 : http://www.port.fr/sites/default/files/fichiers/pj5-annexe_1-2013-05-strategie_nationale.pdf (page consultée le 27 avril 2020).

16 Stratégie nationale pour la mer et le littoral, décret 2017-222 du 23 février 2017 : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/17094_Strategie-nationale-pour-la-mer-et-le-littoral_fev2017.pdf (page consultée le 27 avril 2020).

les infrastructures existantes pour les rendre plus pérennes, d'encourager le report modal pour diminuer les usages de la route dans les transports et d'assurer une meilleure stabilité sociale des travailleurs portuaires. Ils ont souligné aussi un besoin de convergence et de coopération à la fois entre les différentes unités portuaires, mais aussi entre les ports et leurs territoires de desserte. Concrètement, cela se traduit par un soutien financier des grands ports maritimes (CPER, FEDER, collectivités territoriales), tant pour accompagner leur développement par des investissements que pour assurer l'entretien de leurs infrastructures. Ces crédits contribuent à garantir l'accessibilité maritime des ports par des opérations de dragage ou à renforcer leur multi-modalité. Ils permettent aussi d'accroître les capacités de traitement des marchandises, notamment dans le domaine des conteneurs qui est une composante essentielle du modèle économique des principaux ports français du secteur (Le Havre, Marseille et Dunkerque). Et puis, une demi-douzaine de réformes engagées depuis les années 1990 ont permis de moderniser le paysage portuaire français dans le but d'améliorer leur performance et leur compétitivité : la création en 2008 du statut de « grand port maritime » en est une des plus importantes illustrations.

Plus récemment, la volonté exprimée par le Président de la République, le 3 décembre 2019, de soutenir une véritable stratégie dans les domaines maritime et portuaire, s'est traduite par plusieurs initiatives importantes. Le Plan de Relance¹⁷ a réservé 200 M€ pour accélérer la transition écologique des grands ports maritimes, auxquels s'ajoutent d'autres investissements dans des secteurs d'activité qui concernent les ports (hydrogène, infrastructures maritimes et ferroviaires, industries de la mer, protection de l'environnement, formation, etc.). Le comité interministériel de la mer (CIMER) a quant à lui fixé, en 2019, des mesures visant à bâtir l'économie maritime et portuaire du XXI^e siècle¹⁸. Et, début 2021, il a arrêté la stratégie nationale portuaire, en précisant, au nombre de ses objectifs stratégiques, sa volonté de « définir les thématiques de recherche prioritaires et élaborer une feuille de route nationale de recherche et d'innovation portuaires¹⁹ ». Parmi les 16 actions qui accompagnent cette stratégie, soulignons la volonté de « fédérer une communauté nationale de la recherche portuaire chargée d'élaborer une vision nationale de la recherche et de l'innovation portuaire et proposer des actions de valorisation et de développement des coopérations ». Un bémol toutefois doit être d'emblée posé à cette vaste entreprise : son regard est pour l'essentiel tourné vers les principaux ports de commerce français ; les bassins portuaires pluriactifs ainsi que les ports de dimension plus régionale ou local étant tenus plus à l'écart de la réflexion et des investissements nationaux. Et puis, au nombre des ministères qui composeront le comité de suivi de cette stratégie nationale portuaire, il n'est pas prévu explicitement, pour le moment, la présence du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Au niveau local, les collectivités territoriales, qui depuis la gestion décentralisée des ports ont obtenu à leur égard des compétences nouvelles, accompagnent du mieux possible le fonctionnement et le développement des sites dont elles sont responsables. Ainsi, la région Bretagne est, depuis 2007, propriétaire de ports à Lorient, Brest et Saint-Malo. Elle assure à ce titre leur aménagement, leur entretien et leur gestion. Elle a engagé à leur égard une politique de modernisation en investissant dans les infrastructures pour développer la qualité des services offerts aux navires et pour susciter l'intérêt des entrepreneurs afin de faire émerger des projets d'occupation des parcelles et bâtiments disponibles. Elle a également fait figurer dans sa Stratégie régionale de Recherche et Innovation 2021-2027 un volet spécifique consacré aux ports. Cependant, on doit faire remarquer que la pluralité des gestionnaires (région, département, communauté d'agglomération) au sein d'un même bassin portuaire – comme à Lorient par exemple – complexifie grandement la mise en œuvre des politiques publiques. Au surplus, les collectivités ne s'aventurent sur le terrain scientifique que de manière ponctuelle et sporadique, au gré des besoins et des projets qui émergent. De sorte que, reconnaissons-le là encore, en dépit des intentions formulées dans les stratégies nationales, il apparaît qu'en réalité le financement public de la recherche dans le domaine portuaire demeure assez invisible et désordonné.

17 <https://www.ecologie.gouv.fr/france-reliance-mer-au-coeur-france>

18 https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2019/12/dossier_de_presse_cimer_2019.pdf

19 https://mer.gouv.fr/sites/default/files/2021-01/21002_strategy-nationale-portuaire_WEB.pdf

S'agissant des grands ports maritimes, en charge de vastes territoires littoraux, ils sont évidemment des acteurs essentiels dans la mise en œuvre des orientations requises par l'État. Leurs dirigeants ont pour obligation de répondre à la nécessité de préserver l'environnement des conséquences potentiellement négatives que les activités navales et industrielles qu'ils hébergent peuvent produire. Ils définissent et mettent en œuvre pour cela une vision à long terme de l'aménagement durable de leurs espaces portuaires. Le port de Dunkerque s'est ainsi engagé depuis plusieurs années dans une démarche exemplaire en matière de préservation de l'environnement par des démarches opérationnelles de protection de la faune, de la flore et de la qualité des eaux détaillées au sein d'un schéma directeur du patrimoine naturel ainsi que d'un plan d'aménagement et de développement durable initié dès 2009. Par ailleurs, le périmètre de certains ports avoisinant des domaines naturels préservés, leurs responsables sont invités à participer à la gestion durable de ces espaces. Ainsi, les ports du Havre et de Rouen sont adhérents de l'association La Maison de l'Estuaire qui gère la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine. De son côté, le port de La Rochelle participe à la gouvernance du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, créé en avril 2015. Au-delà des grands ports maritimes, ce sont en réalité les gestionnaires de toutes les installations portuaires qui sont désormais tenus de s'impliquer dans les problématiques environnementales du littoral. Leur travail est accompagné par l'Union des Ports de France (UPF) ainsi que par la Fédération Française des Ports de Plaisance. En outre, localement, des organisations nouvelles ont vu le jour, telles que le port center du Havre ou de Lorient, qui tentent de tisser des liens entre les sites portuaires qu'ils rassemblent et la société qui les entoure au moyen d'actions pédagogiques, évènementielles et culturelles.

Enfin, parmi les acteurs de l'économie portuaire, il faut aussi intégrer le rôle joué par les Pôles Mer qui, en tant que pôles de compétitivité, se focalisent sur les activités économiques littorales et maritimes. Créés en 2005 pour apporter des réponses nouvelles face à la concurrence mondiale de plus en plus pressante, leur vocation première est de proposer une nouvelle politique industrielle. Ces pôles visent à dynamiser la capacité d'innovation des entreprises, à développer la croissance et l'emploi sur des marchés porteurs. Le Pôle Mer Bretagne Atlantique est un bon exemple de leur champ d'action. Opérant à l'échelle des régions Pays de Loire et Bretagne, il s'est fixé six champs d'intervention parmi lesquels l'un est spécialement dédié aux ports, à la logistique et au transport maritime²⁰. En la matière, ses objectifs sont de réduire les impacts écologiques grâce aux nouvelles technologies et en valorisant les démarches environnementales novatrices. Il a aussi entrepris de faire émerger de nouveaux services et produits pour améliorer le transport des passagers et des marchandises, de soutenir les projets innovants pour aménager l'espace et développer les capacités portuaires, et d'incorporer le port dans les pratiques de gestion intégrée, en travaillant sur les services connexes. Il affiche aujourd'hui 16 projets qui associent des entreprises et des sites scientifiques français (Brest, Lorient, Vannes, Rennes, Bruz, Nantes, Saint-Nazaire, Caen, Orléans, Lille, Douai, Lyon, Draguignan, Bouguenais, Vaulx-en-Velin, Verneuil-en-Halatte) et étrangers (Barcelone).

En France aujourd'hui, le traitement des questions portuaires relève pour l'essentiel du Ministère de la Transition écologique et solidaire. Parmi les 28 domaines de politiques publiques qui lui sont affectés, deux concernent spécialement les ports : ils ont été intitulés « Littoral et milieu marin » et « Transport fluvial, mer et ports ». L'un et l'autre sont conçus à partir d'un constat : deuxième espace maritime mondial, cinquième puissance portuaire européenne et doté d'acteurs de la mer dynamiques, le pays dispose d'un fort potentiel d'industrialisation et d'emplois dans la construction navale, les activités portuaires ou encore les énergies marines. Pour conduire sa politique en la matière et fixer son ambition maritime sur le temps long, l'État, à l'issue d'une phase de réflexion (Grenelle de la mer en 2009, Assises de la mer et du littoral en 2013), s'est doté au cours des dernières années de plusieurs outils de pilotage qui s'inscrivent dans des perspectives globales

20 <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/ports-infrastructures-et-transport-maritimes> (page consultée le 27 avril 2020)

partagées avec la PMI de l'Union européenne : la transition écologique maritime et littorale, l'économie bleue durable, le bon état écologique du milieu marin, la préservation d'un littoral attractif et le rayonnement de la France.

En mai 2013, les pouvoirs publics ont ainsi convenu d'une stratégie nationale de relance portuaire²¹. Celle-ci repose sur deux piliers en particulier. Sur le plan logistique et de l'intermodalité, il s'agit de faire en sorte que les ports français puissent offrir des solutions intégrées, compétitives et pérennes, capables d'attirer et de fidéliser les opérateurs et les clients à l'échelle d'un arrière-pays de dimension européenne. Par ailleurs, sur le plan de l'aménagement des espaces, les terrains portuaires doivent être mieux occupés et valorisés, selon une approche intégrée d'aménageur et de gestionnaire : en stimulant l'implantation d'activités industrielles et économiques génératrices de trafics maritimes, tout en recherchant un meilleur équilibre entre enjeux environnementaux et enjeux économiques. De surcroît, en février 2017, l'État a déterminé une stratégie nationale pour la mer et le littoral à travers plusieurs orientations qui visent à développer des territoires littoraux et maritimes durables et résilients, ainsi qu'à promouvoir une vision française des enjeux au sein de l'Union européenne et dans les négociations internationales, au moyen de la connaissance, l'innovation et des initiatives de tous les acteurs²².

De nombreuses actions ont permis de donner corps et réalité à ces stratégies nationales en direction des ports. Depuis 2015, les comités interministériels pour la mer, les Assises de la Mer et les missions parlementaires d'axe et de façade, ont montré que les ports sont des territoires stratégiques essentiels à la compétitivité de la France. Ils ont notamment conclu qu'il était nécessaire de simplifier les procédures administratives pour fluidifier leur fonctionnement, de protéger les infrastructures existantes pour les rendre plus pérennes, d'encourager le report modal pour diminuer les usages de la route dans les transports et d'assurer une meilleure stabilité sociale des travailleurs portuaires. Ils ont souligné aussi un besoin de convergence et de coopération à la fois entre les différentes unités portuaires, mais aussi entre les ports et leurs territoires de desserte. Concrètement, cela se traduit par un soutien financier des grands ports maritimes (CPER, FEDER, collectivités territoriales), tant pour accompagner leur développement par des investissements que pour assurer l'entretien de leurs infrastructures. Ces crédits contribuent à garantir l'accessibilité maritime des ports par des opérations de dragage ou à renforcer leur multimodalité. Ils permettent aussi d'accroître les capacités de traitement des marchandises, notamment dans le domaine des conteneurs qui est une composante essentielle du modèle économique des principaux ports français du secteur (Le Havre, Marseille et Dunkerque). Et puis, une demi-douzaine de réformes engagées depuis les années 1990 ont permis de moderniser le paysage portuaire français dans le but d'améliorer leur performance et leur compétitivité : la création en 2008 du statut de « grand port maritime » en est une des plus importantes illustrations.

Au niveau local, les collectivités territoriales, qui depuis la gestion décentralisée des ports ont obtenu à leur égard des compétences nouvelles, accompagnent du mieux possible le fonctionnement et le développement des sites dont elles sont responsables. Ainsi, la région Bretagne est, depuis 2007, propriétaire de ports à Lorient, Brest et Saint-Malo. Elle assure à ce titre leur aménagement, leur entretien et leur gestion. Elle a engagé à leur égard une politique de modernisation en investissant dans les infrastructures pour développer la qualité des services offerts aux navires et pour susciter l'intérêt des entrepreneurs afin de faire émerger des projets d'occupation des parcelles et bâtiments disponibles. Cependant, on doit faire remarquer que la pluralité des gestionnaires (région, département, communauté d'agglomération) au sein d'un même bassin portuaire – comme à Lorient par exemple – complexifie grandement la mise en œuvre des politiques publiques. Au surplus, les collectivités ne s'aventurent sur le terrain scientifique que de manière ponctuelle et

21 Stratégie nationale de relance portuaire, mai 2013 : http://www.port.fr/sites/default/files/fichiers/pj5-annexe_1-2013-05-strategie_nationale.pdf (page consultée le 27 avril 2020).

22 Stratégie nationale pour la mer et le littoral, décret 2017-222 du 23 février 2017 : https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/17094_Strategie-nationale-pour-la-mer-et-le-littoral_fev2017.pdf (page consultée le 27 avril 2020)

sporadique, au gré des besoins et des projets qui émergent. De sorte que, reconnaissons-le là encore, en dépit des intentions formulées dans les stratégies nationales, il apparaît qu'en réalité le financement public de la recherche dans le domaine portuaire demeure assez invisible et désordonné.

S'agissant des grands ports maritimes, en charge de vastes territoires littoraux, ils sont évidemment des acteurs essentiels dans la mise en œuvre des orientations requises par l'État. Leurs dirigeants ont pour obligation de répondre à la nécessité de préserver l'environnement des conséquences potentiellement négatives que les activités navales et industrielles qu'ils hébergent peuvent produire. Ils définissent et mettent en œuvre pour cela une vision à long terme de l'aménagement durable de leurs espaces portuaires. Le port de Dunkerque s'est ainsi engagé depuis plusieurs années dans une démarche exemplaire en matière de préservation de l'environnement par des démarches opérationnelles de protection de la faune, de la flore et de la qualité des eaux, détaillées au sein d'un schéma directeur du patrimoine naturel ainsi que d'un plan d'aménagement et de développement durable initié dès 2009. Par ailleurs, le périmètre de certains ports avoisinant des domaines naturels préservés, leurs responsables sont invités à participer à la gestion durable de ces espaces. Ainsi, les ports du Havre et de Rouen sont adhérents de l'association La Maison de l'Estuaire qui gère la Réserve Naturelle Nationale de l'Estuaire de la Seine. De son côté, le port de La Rochelle participe à la gouvernance du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis, créé en avril 2015. Au-delà des grands ports maritimes, ce sont en réalité les gestionnaires de toutes les installations portuaires qui sont désormais tenus de s'impliquer dans les problématiques environnementales du littoral. Leur travail est accompagné par l'Union des Ports de France (UPF) ainsi que par la Fédération Française des Ports de Plaisance. En outre, localement, des organisations nouvelles ont vu le jour, telles que le port center du Havre ou de Lorient, qui tentent de tisser des liens entre les sites portuaires qu'ils rassemblent et la société qui les entoure au moyen d'actions pédagogiques, évènementielles et culturelles.

Enfin, parmi les acteurs de l'économie portuaire, il faut aussi intégrer le rôle joué par les Pôles Mer qui, en tant que pôles de compétitivité, se focalisent sur les activités économiques littorales et maritimes. Créés en 2005 pour apporter des réponses nouvelles face à la concurrence mondiale de plus en plus pressante, leur vocation première est de proposer une nouvelle politique industrielle. Ces pôles visent à dynamiser la capacité d'innovation des entreprises, à développer la croissance et l'emploi sur des marchés porteurs. Le Pôle Mer Bretagne Atlantique est un bon exemple de leur champ d'action. Opérant à l'échelle des régions Pays de Loire et Bretagne, il s'est fixé six champs d'intervention parmi lesquels l'un est spécialement dédié aux ports, à la logistique et au transport maritime²³. En la matière, ses objectifs sont de réduire les impacts écologiques grâce aux nouvelles technologies et en valorisant les démarches environnementales novatrices. Il a aussi entrepris de faire émerger de nouveaux services et produits pour améliorer le transport des passagers et des marchandises, de soutenir les projets innovants pour aménager l'espace et développer les capacités portuaires, et d'incorporer le port dans les pratiques de gestion intégrée, en travaillant sur les services connexes. Il affiche aujourd'hui 16 projets qui associent des entreprises et des sites scientifiques français (Brest, Lorient, Vannes, Rennes, Bruz, Nantes, Saint-Nazaire, Caen, Orléans, Lille, Lyon, Draguignan, Bouguenais, Vaulx-en-Velin, Verneuil-en-Halatte) et étrangers (Barcelone).

5. LA RECHERCHE FRANÇAISE À L'ÉGARD DE L'OBJET PORTUAIRE

C'est dans ce contexte politique et économique que la recherche sur les ports doit pouvoir répondre aux questions, aux problématiques, aux défis et aux ambitions des acteurs et de la société. Mais qu'en est-il en réalité ? Commençons par rappeler qu'au niveau des instances nationales et européennes chargées d'investir dans la recherche et l'innovation, les ports ne relèvent d'aucune

programmation spécifique, les projets financés qui les concernent n'étant retenus qu'au cas par cas. C'est là une contradiction évidente entre les instructions exprimées par les pouvoirs publics et la réalité des moyens matériels dégagés pour s'employer à les suivre.

Les organisations scientifiques nationales (CNRS et l'Alliance AllEnvi) se sont quant à elles positionnées assez clairement sur la question, à travers le bilan de la *Prospective Mer* conduite en 2013 par l'Institut Écologie et Environnement (INEE). Les ports y font l'objet d'une attention spécifique²⁴. Leur diversité, à l'échelle du territoire français, appelle en effet l'analyse, la comparaison et la compréhension globale des socio-écosystèmes qu'ils constituent, en convoquant et en croisant toute une palette d'approches scientifiques : environnementale, juridique, géographique, historique, économique et gestionnaire, numérique, etc. Au nombre des actions scientifiques qui méritent d'être conduites, selon ce travail prospectif, on retient qu'elles devraient porter sur la trajectoire écologique et géologique des ports dans le temps long, l'évolution des socio-écosystèmes portuaires en intégrant leurs autres composantes (politique, économique et socio-anthropologique), les conséquences que des aléas majeurs ont pu occasionner, les évolutions des cadres juridiques dévolus aux ports, les représentations sociales et culturelles qu'ils suscitent, leur rapport au territoire urbain, etc. L'Alliance s'est exprimée une nouvelle fois sur ce sujet, dans ses contributions au « Plan d'action 2017 » de l'Agence Nationale de la Recherche²⁵. Dans le domaine des Sciences de la mer, elle a en effet proposé une modification de la programmation en demandant la prise en compte des activités portuaires dans la compréhension des dynamiques urbaines en milieu littoral.

Ces recommandations adressées par des instances scientifiques qui font autorité méritent d'être confrontées à la réalité du terrain. Parce que, dans les faits, il faut noter que la recherche française ne les a pas encore suffisamment prises en compte. Une observation permettra de l'illustrer. C'est une évidence aujourd'hui, les aménagements portuaires concourent à l'artificialisation du littoral et l'impactent de manières diverses. Désormais, pour répondre aux exigences fixées par les pouvoirs publics, tous les grands chantiers susceptibles de remanier les zones côtières doivent être accompagnés d'études d'impact sur la biodiversité et prendre les mesures nécessaires pour limiter ou compenser au maximum les dommages identifiés. Or, force est de constater que, pour le moment, les aménageurs se tournent vers des sociétés d'audit et de conseil en ingénierie écologique pour les aider à réaliser ce travail prospectif comme pour établir des arguments décisionnels. Ils ne sollicitent qu'exceptionnellement les unités de recherche, alors même que, paradoxalement, ces dernières sont au cœur de la formation et de l'expertise en la matière.

Pour bien mesurer cette faible implication de la recherche publique française dans le domaine portuaire, il est aussi intéressant de dresser, même sommairement, un inventaire des forces scientifiques qui revendiquent s'en occuper. À partir des informations disponibles sur les sites web des universités et des organismes, une première analyse permet d'identifier quelles sont les unités qui consacrent tout ou partie de leurs activités à des problématiques maritimes, tous domaines confondus. Il ressort qu'environ 90 laboratoires ou fédérations de recherches, répartis dans une trentaine d'établissements, affichent des thématiques consacrées à la mer ou au littoral. Parmi ces thématiques, certaines apparaissent plus régulièrement : l'environnement, les zones côtières, les océans, les écosystèmes, le risque. Mais, moins d'une dizaine de laboratoires affichent explicitement dans leur projet scientifique la question portuaire. Ces données sont confirmées par la récente Cartographie des sciences et techniques de la mer dans la recherche publique française rendue dans un rapport de l'Ifremer. On y constate que la recherche dans le domaine applicatif des « ports, transports et infrastructures » ne représente que 6 % de la production scientifique globale en matière maritime²⁶. Qui plus est, les ressources humaines comme les matériels nécessaires au traitement du sujet apparaissent très dispersés sur le territoire. Il faut des organisations telles que le GIS d'Histoire et Sciences de la Mer pour tempérer un peu notre constat.

24 <http://www.cnrs.fr/fr/pdf/inee/prospectivemer2013/#/1/> (page consultée le 27 avril 2020).

25 <https://www.allenvi.fr/content/download/4691/35709/version/1/file/Contribution+AllEnvi+Programmation+ANR+2017.pdf> (page consultée le 27 avril 2020).

26 <https://wwwz.ifremer.fr/L-institut/Documents-de-reference>

En d'autres termes, il existe là un champ de recherche relativement ouvert, qu'il serait opportun et nécessaire d'occuper en lançant d'ambitieux chantiers pluridisciplinaires. À n'en pas douter, leurs réussites apporteraient des réponses utiles, contribueraient à la qualité et l'attractivité du tissu portuaire français, ainsi qu'à la notoriété des laboratoires impliqués. Toutefois, il reste encore à convaincre l'ensemble des décideurs et des intervenants qu'un tel élan ne peut se concrétiser qu'au moyen de directives claires et d'un accompagnement matériel substantiel.

6. CONCLUSION

Pour conclure ce trop rapide portrait des enjeux scientifiques soulevés par les ports en France, tentons enfin de donner quelques perspectives. À partir des analyses publiées dans la *Prospective Mer*, d'une part, et des attentes et recommandations exprimées par les acteurs politiques et économiques d'autre part, plusieurs opérations d'envergure mériteraient d'être mises en œuvre. Sur le plan méthodologique, leur originalité tiendrait à la convocation d'un grand nombre de spécialités scientifiques, le souhait d'associer l'expérience et l'expertise des professionnels eux-mêmes et la volonté de ne pas uniquement produire de la connaissance académique, mais de proposer des solutions concrètes et innovantes aux problèmes étudiés. Cela suppose aussi la production d'un corpus de définitions et de concepts partagés, l'invention de procédés capables d'organiser l'activité pluridisciplinaire, le déploiement de véritables laboratoires *in-situ* en milieu portuaire. Il faudrait par ailleurs développer les moyens de modélisation et de traitement par l'intelligence artificielle des données portuaires, ainsi que les capacités numériques de production, d'analyse, de partage et de publication des données et des résultats. Ces verrous scientifiques pris en compte, on doit pouvoir relever les défis auxquels font face les acteurs des ports. Un premier sujet concerne de toute évidence les modalités d'insertion douce des activités portuaires dans un environnement littoral respecté et protégé. Un autre doit aborder l'impact et la pérennité des infrastructures portuaires et des matériels navals, dans un contexte où le coût de la corrosion est estimé à environ 4-5% du PIB d'un pays industrialisé. En troisième lieu, les ports soulèvent pour leurs gestionnaires, leurs professionnels, leurs industriels, leurs utilisateurs et les décideurs de nombreuses questions en matière d'analyse des trafics, de capacités logistiques, de digitalisation, de réglementations, de gouvernance, de politiques publiques, d'aménagement du territoire et d'appropriation sociale et culturelle, qu'il convient de mieux cerner, restituer et maîtriser. Il s'agit ici d'aborder tout à la fois les mutations des activités et des aménagements comme les rapports complexes entretenus entre la ville et le port. Et puis, des crises récentes (Beyrouth, COVID-19) ont mis en évidence certaines fragilités et risques portuaires qu'il faut pouvoir traiter, tant sur le plan de la cybersécurité que sur les plans sanitaires et industriels. Enfin, un dernier défi consistera à penser comment le port peut bientôt devenir un lieu important de la production, du stockage et de la distribution d'énergies décarbonnées. Il reste désormais à créer le consortium scientifique capable de conduire un tel projet d'ensemble ; capable aussi de fédérer les compétences et les acteurs. Et il revient à la puissance publique de procurer par des plans de soutien significatifs les moyens de répondre concrètement à ses ambitions portuaires.

RÉFÉRENCES

- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:52008DC0534> (page consultée le 27 avril 2020).
- *La croissance bleue : des possibilités de croissance durable dans les secteurs marin et maritime*, Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité Économique et Social européen et au Comité des Régions, COM(2012) 494 final : https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/sites/maritimeaffairs/files/docs/publications/blue-growth_fr.pdf
- Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil établissant un programme de soutien pour le développement d'une politique maritime intégrée, COM(2010) 494 final : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2010/0494/COM_COM\(2010\)0494_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2010/0494/COM_COM(2010)0494_FR.pdf) (page consultée le 27 avril 2020).
- *Préserver l'avenir de nos mers et de nos océans et générer de la croissance, Comprendre les politiques de l'Union européenne*, Affaires maritimes et pêche, mis à jour en 2016 : <https://eurocircle.fr/wp-content/uploads/2019/06/Livret-Affaires-Maritimes-et-P%C3%AAche.pdf> (page consultée le 27 avril 2020).
- The 2018 annual economic report on the EU blue economy, DG Affaires maritimes et de la pêche et le Centre commun de recherche
- <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/79299d10-8a35-11e8-ac6a-01aa75ed71a1> (page consultée le 27 avril 2020).
- https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/fr/FTU_3.3.8.pdf (page consultée le 27 avril 2020).
- Décision n° 1982/2006/CE du Parlement européen et du Conseil, du 18 décembre 2006, relative au septième programme-cadre de la Communauté européenne pour des actions de recherche, de développement technologique et de démonstration (2007-2013) : https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:02345e40-a997-42c1-b6bf-b392f266c586.0009.02/DOC_1&format=PDF (page consultée le 27 avril 2020) ; https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:02345e40-a997-42c1-b6bf-b392f266c586.0009.02/DOC_2&format=PDF (page consultée le 27 avril 2020).
- Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil, du 17 juin 2008, établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin ») : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0056&from=EN> (page consultée le 27 avril 2020).
- *Une stratégie européenne pour la recherche marine et maritime. Un Espace européen de la recherche cohérent à l'appui d'une utilisation durable des mers et des océans*, Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen, au Comité Économique et Social Européen et au Comité des Régions (03/09/2008) : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2008/0534/COM_COM\(2008\)0534_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2008/0534/COM_COM(2008)0534_FR.pdf) (page consultée le 27 avril 2020).
- Règlement n° 1291/2013 du Parlement européen et du Conseil, du 11 décembre 2013, portant établissement du programme-cadre pour la recherche et l'innovation « Horizon 2020 » (2014-2020) : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1291&from=HU> (page consultée le 27 avril 2020).
- Décision du Conseil du 3 décembre 2013 établissant le programme spécifique d'exécution du programme-cadre pour la recherche et l'innovation « Horizon 2020 » (2014-2020) et abrogeant les décisions 2006/971/CE, 2006/972/CE, 2006/973/CE, 2006/974/CE et 2006/975/CE : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0743&from=FR> (page consultée le 27 avril 2020).
- Règlement n° 508/2014 du Parlement européen et du Conseil, du 15 mai 2014, relatif au Fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche et abrogeant les règlements du Conseil (CE) no 2328/2003, (CE) no 861/2006, (CE) no 1198/2006 et (CE) no 791/2007 et le règlement (UE) no 1255/2011 du Parlement européen et du Conseil : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0508&from=EN> (page consultée le 27 avril 2020).
- *Plan d'action pour une stratégie maritime dans la région atlantique. Pour une croissance intelligente, durable et inclusive*. Communication de la Commission au Conseil, au Parlement Européen, au Comité Économique et Social Européen et au Comité des Régions intitulée (13/05/2013) : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0279&from=EN> (page consultée le 27 avril 2020).

- Mécanisme d'assistance au Plan d'Action Atlantiques. Rapport de la 3ème Conférence de la Plateforme des Parties Prenantes Atlantiques, Dublin, 27 septembre 2016 : http://www.atlanticstrategy.eu/sites/all/themes/clean_theme/doc/key-documents/Event-Report-of-3rd-ASCP-Dublin-2016_fr.pdf (page consultée le 27 avril 2020).
- Stratégie nationale de relance portuaire, mai 2013 : http://www.port.fr/sites/default/files/fichiers/pj5-annexe_1-2013-05-strategie_nationale.pdf (page consultée le 27 avril 2020).
- Stratégie nationale pour la mer et le littoral, décret 2017-222 du 23 février 2017 : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/17094_Strategie-nationale-pour-la-mer-et-le-littoral_fev2017.pdf (page consultée le 27 avril 2020).
- <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/ports-infrastructures-et-transports-maritimes> (page consultée le 27 avril 2020).
- <http://www.cnrs.fr/fr/pdf/inee/prospectivemer2013/#/1/> (page consultée le 27 avril 2020).
- <https://www.allenvi.fr/content/download/4691/35709/version/1/file/Contribution+AllEnvi+Programmation+ANR+2017.pdf> (page consultée le 27 avril 2020).



◉ PARTIE 4

MER ET LITTORAL : DES RESSOURCES ET RESPONSABILITÉS COMMUNES

LES TERRITOIRES MARITIMES ET LITTORAUX SOUS PRESSION

Ronan Le Délézir

Université Bretagne Sud,
Laboratoire Géoarchitecture Territoires, Urbanisation, Biodiversité, Environnement (EA 7462)
ronan.le-delezir@univ-ubs.fr

Mots-clés : littoral ; urbanisation ; aménagements ; territoires ; foncier

RÉSUMÉ

Le littoral est l'objet de très forts enjeux. À terre comme en mer, les pressions anthropiques sont croissantes liées notamment à l'urbanisme, à l'aménagement du territoire, à l'exploitation des ressources minérales et vivantes. Très attractifs, les littoraux français concentrent de plus en plus d'enjeux environnementaux, sociaux et économiques dans un contexte évolutif marqué par de multiples influences auxquelles s'ajoutent aujourd'hui les effets du changement climatique et notamment l'élévation du niveau marin. L'aménagement du littoral doit ainsi impérativement être repensé pour préparer les territoires aux évolutions à venir.

ABSTRACT

The coastline is the subject of very strong stakes. Both on land and at sea, human pressure is increasing, in particular due to urban planning, spatial planning and the exploitation of mineral and living resources. Very attractive, French coastlines are increasingly focusing on environmental issues, social and economic conditions in a changing environment marked by multiple influences, to which are added today the effects of climate change and in particular the rise in sea level. Coastal development must therefore be rethought in order to prepare the territories for future developments.

1. INTRODUCTION

Dans une économie mondialisée, la mer, dernier espace commun de la planète, est devenue l'objet tout à la fois de fantasmes et de convoitises. Les territoires littoraux¹ les derniers fronts pionniers sont aujourd'hui l'objet de toutes les convoitises, de toutes les pressions. Ils sont le théâtre d'une forte attractivité et de concurrences (urbaines, économiques, sociales et environnementales) qui produisent une immense dérégulation de nos sociétés locales. La complexité des milieux maritimes et littoraux se traduit par une fragilité accrue des équilibres. Ainsi, les activités primaires (agriculture, pêche) comme industrielles qui ont façonné ces territoires durant des siècles sont aujourd'hui les plus menacées.

¹ À l'échelle communale, 885 communes métropolitaines sont classées littorales selon la définition de la loi relative à l'aménagement, la protection et la mise en valeur du littoral de janvier 1986. Elles regroupent 4% du territoire et plus de 6 millions de résidents permanents. S'y ajoutent les 1 178 communes de l'arrière-pays littoral, composé de l'ensemble des communes non littorales appartenant aux cantons littoraux.

2. LE LITTORAL, UN ESPACE FRAGILE AUX DÉSÉQUILIBRES CROISSANTS

L'espace littoral est l'une des parties du territoire français qui connaît les évolutions les plus rapides. Ainsi, la densité de population des communes littorales métropolitaines est de 287 hab./km². Elle est près de 2,5 fois plus forte que la moyenne hexagonale (Figure 1).

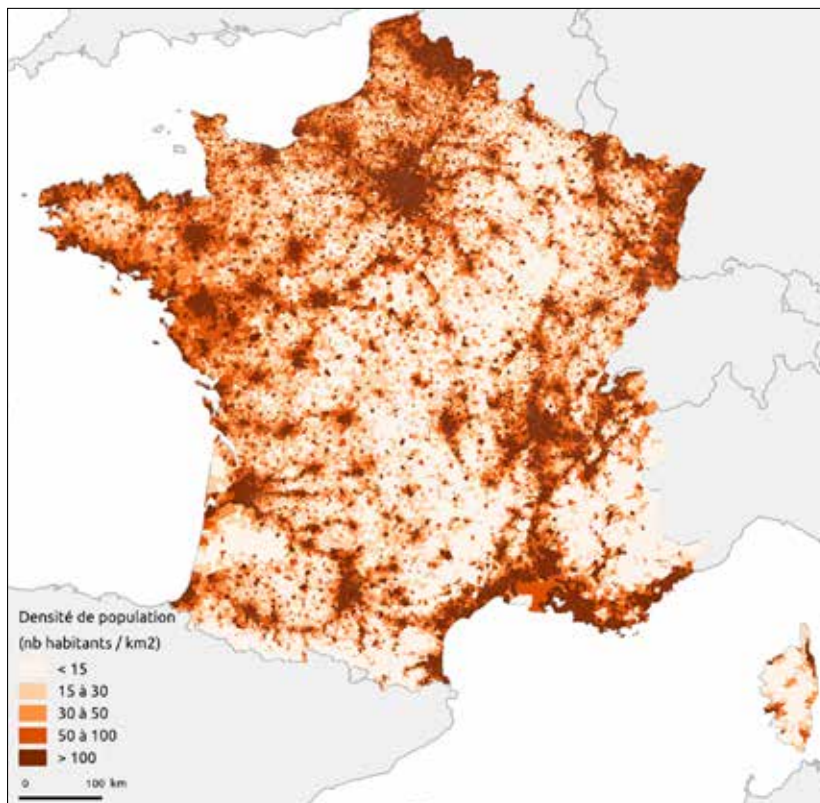


Figure 1. Densité de population en France en 2019

L'attractivité croissante, qu'elle soit résidentielle ou/et touristique, et la pression foncière qui en découle, créent une économie de transfert et de rente, souvent porteuse d'inégalités sociales et de menaces pour l'environnement. Le littoral est ainsi confronté à un enjeu de maîtrise de la croissance démographique et urbaine, autant qu'à un enjeu de valorisation économique, prenant en compte les atouts et les fragilités des activités littorales.

Ainsi, les régions françaises littorales n'échappent pas à une artificialisation exponentielle liée notamment à un étalement urbain, générateur de surcoûts importants pour les collectivités, tant en matière d'infrastructures (voirie, assainissement...), d'équipements (éducation, culture...) que de services publics (transports en commun...) et, plus largement, des "dés-économies" liées principalement aux transports, à la pollution atmosphérique ou encore à l'accroissement des consommations d'énergies (Figure 3).

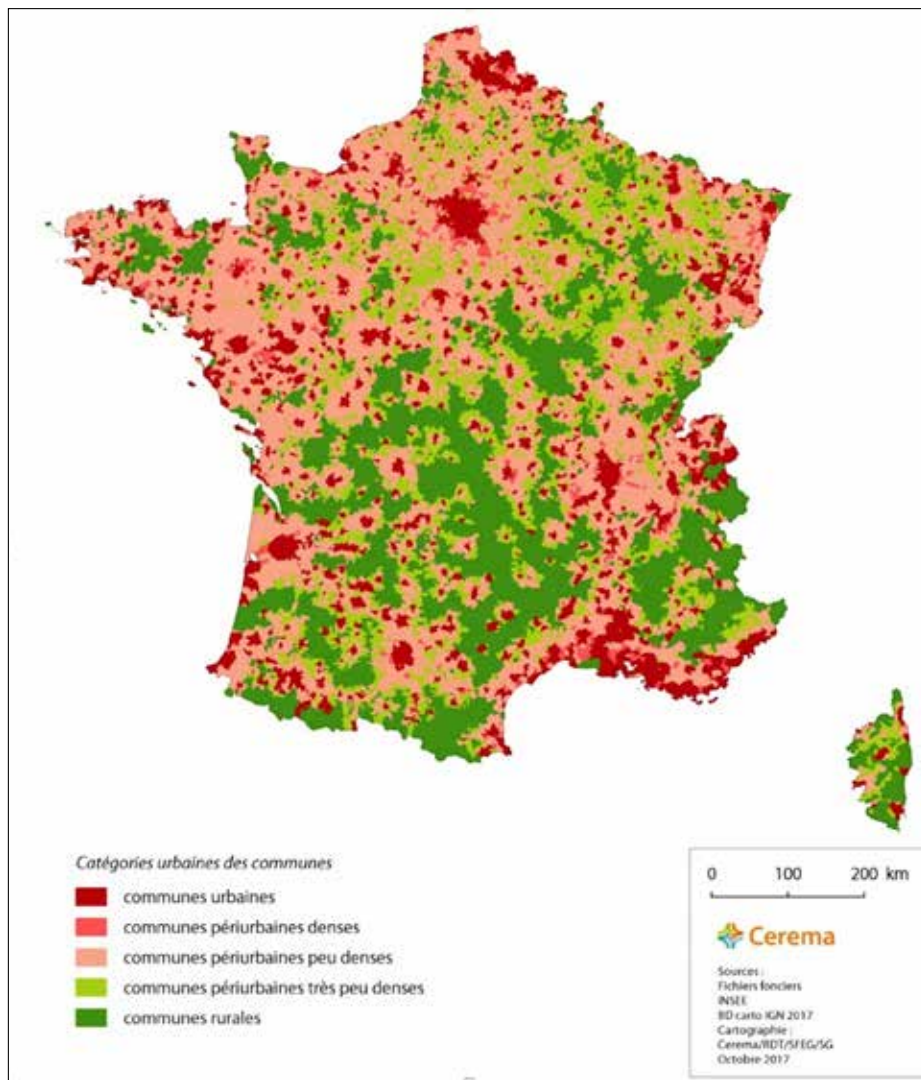


Figure 2. Catégorisation urbaine des communes françaises en 2017

En Bretagne, la forte anthropisation du territoire intervient dans un contexte d'occupation des sols très fragmentée. La Bretagne se présente en effet sous la forme d'une mosaïque de paysages. Cette anthropisation très marquée sur sa bande littorale a un fort impact sur la fragmentation des milieux naturels et sur la biodiversité régionale.

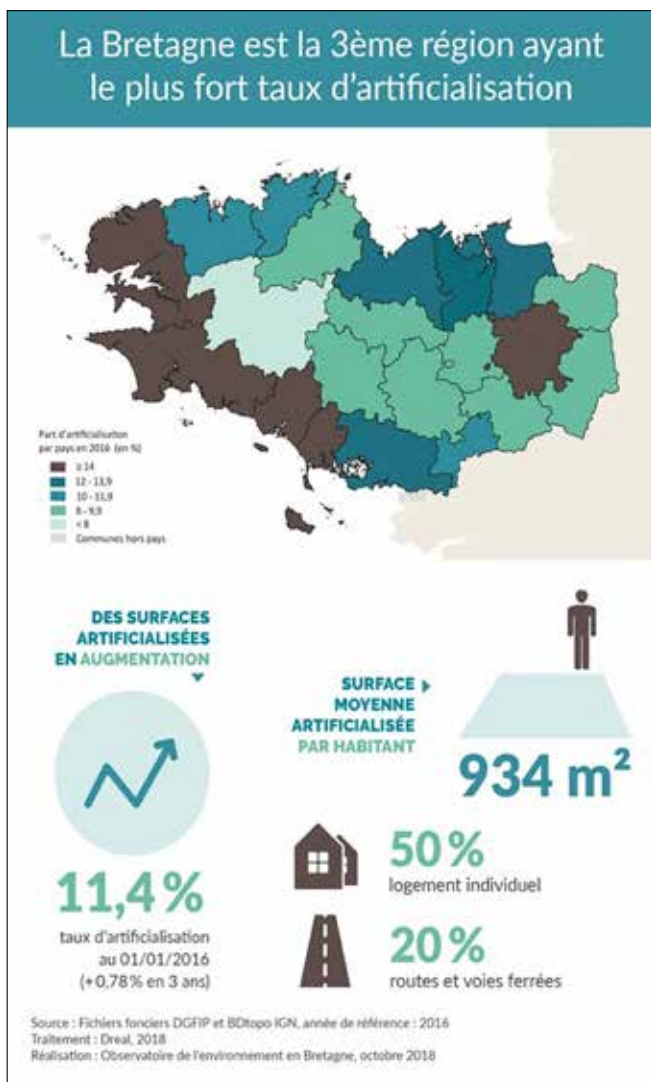


Figure 3. Artificialisation du sol en Bretagne

D'autre part, la hausse constante des prix (foncier et logements) dans les agglomérations et sur la façade littorale tend aussi à devenir un obstacle à la mixité sociale de l'habitat et à la diversité des fonctions urbaines, les opérations les moins rentables (habitat social, commerce de détail alimentaire...) ayant tendance à être exclues par les investisseurs privés. Les primo-accédants et les classes moyennes sont ainsi évincés du marché, ou ont de plus en plus de difficultés à accéder à la propriété. Nous sommes bien en présence d'une ségrégation sociale et intergénérationnelle. Les raisons de l'étalement urbain sont fortement déterminées par le contexte géographique et culturel de chaque territoire. Néanmoins, on peut dégager quelques points forts communs à toutes les études menées sur les territoires littoraux. D'une part, le rôle du transport est sans nul doute

le plus prégnant. L'éloignement des centres urbains et la forte augmentation de la motorisation révèlent des modes de vie dans lesquels il y a dissociation entre espaces de vie, de travail et de loisirs, et donc une forte mobilité géographique des individus. D'autre part, la volonté des ménages d'accéder à la propriété est toujours aussi forte. On se résout aisément à s'éloigner des villes pour trouver un foncier moins cher, la maison de ses rêves. Le *culte de la maison individuelle* est bien ancré dans notre société. La faiblesse de l'offre de quartiers denses et d'habitat collectif, le développement des résidences secondaires, la rareté de l'offre foncière, les prix des loyers souvent très élevés, mais surtout les taux d'intérêt bancaires très bas depuis quelques années (prêt sur 25 à 30 ans pour un taux global souvent proche de 6 %) ne font qu'encourager l'extension des surfaces urbanisées. Malgré la crise actuelle de l'immobilier et le coup d'arrêt porté à l'inflation galopante des prix, les territoires littoraux sont toujours inabordables pour la plupart de nos concitoyens.

La croissance urbaine de certaines agglomérations littorales, stimulée par leur attractivité économique, a, comme dans la majorité des agglomérations françaises, soutenu le phénomène d'étalement urbain.

Ce mode de développement n'est pas sans conséquences néfastes. Il a conduit à la disparition irrémédiable d'espaces naturels et agricoles précieux pour l'ensemble de la collectivité et pénalise des secteurs économiques, faute de main-d'œuvre habitant à proximité des zones d'emploi.

3. LE FONCIER, UNE RESSOURCE LIMITÉE

Le foncier est un bien commun stratégique pour nos territoires littoraux et une ressource qui conditionne un grand nombre d'activités liées à la mer. Le sol est en effet une ressource convoitée, limité physiquement, sensible, non transportable et non reproductible. Pour autant, en Bretagne, deuxième région agricole de France, on bétonne l'équivalent de neuf terrains de football chaque jour, sous la pression de l'étalement urbain. Face aux pressions foncières et immobilières que connaît le littoral, de nombreuses activités sont ainsi aujourd'hui menacées.

Agriculture littorale, pêche côtière, pêche à pied, conchyliculture, exploitation du sel... ont de plus en plus de mal à conserver la place qui était la leur jusqu'à présent. « Comment protéger et développer ces activités dans un contexte de tensions foncières ? » Entre les espaces occupés et les zones encore disponibles mais inexploitable car soumises aux risques de submersion marine, les espaces protégés, les servitudes..., l'espace littoral est de plus en plus restreint et fragilisé. Les concurrences d'usages, dont certains peuvent être exclusifs, voire non réversibles, se multiplient. Elles sont liées notamment à la raréfaction des sites propices aux activités de production et aux contraintes réglementaires liées à la loi Littoral.

Ces tensions sur le foncier littoral supposent de reconsidérer les politiques d'aménagement qui contribuent à artificialiser les espaces naturels, forestiers ou agricoles. La mutation d'une économie productive vers une économie résidentielle² est lourde de conséquences pour les territoires littoraux avec une tendance à la sanctuarisation du littoral. Il s'agit donc bien de passer de l'aménagement des territoires à leur... ménagement, une révolution dans la doctrine française qui fait des élus des bâtisseurs, des constructeurs, aux dépens des sols agricoles et des milieux naturels. Il nous faut retrouver très rapidement de nouveaux rapports à la Terre. En effet, fruit de la rencontre de l'aléa et de la vulnérabilité, de nombreuses pollutions ou catastrophes dites « naturelles » (Norovirus, métaux lourds, algues vertes ...) sont le plus souvent le fait d'actions anthropiques. La survie de nombreuses activités dépend de la qualité des milieux. On pense bien évidemment à la pêche et à l'ostréiculture.

² La sphère résidentielle (activités majoritairement tournées vers la satisfaction des ménages présents dans la zone) et les activités de service aux personnes, résidents et touristes, sont aujourd'hui le principal moteur de l'emploi dans les communes littorales.

L'enjeu de la qualité de l'eau de nos cours d'eau ou de nos mers bordières impose inévitablement une approche globale croisant le petit et le grand cycle de l'eau.

À l'aube de profondes mutations liées aux changements climatiques, nous ne pourrions pas faire autrement que réapprendre à recomposer avec la nature et élaborer un nouveau contrat avec notre terre et notre mer nourricières.

4. ANTICIPER LES MUTATIONS, AGIR POUR NE PAS SUBIR

Face aux évolutions actuelles, souvent destructrices des équilibres, l'enjeu est donc de redéfinir des « projets de vie » pour ces territoires littoraux adaptés aux contraintes de ces milieux pour mieux mettre en valeur leurs potentialités dans un cadre soutenable.

Si l'activité de villégiature occupe actuellement le devant de la scène, il ne faut en rien oublier qu'elle est par nature instable, consommant le milieu naturel, altérant la biodiversité, les paysages et les identités. Elle masque par ailleurs d'autres usages de la mer et du littoral qui seront tout autant déstabilisateurs du milieu et des sociétés. Car la mer et le littoral sont riches de potentialités nouvelles : ressources minérales et énergétiques, activités industrialo-portuaires liées à la mondialisation des échanges. Toutes renforceront les fonctions d'interface du littoral, toutes structureront de plus en plus son aménagement dans des compétitions sans cesse croissantes et complexes. Il nous faut donc dès à présent anticiper ces mutations pour ne pas les subir. Elles peuvent en effet, si on les gère bien, constituer à l'inverse une opportunité formidable de développement. Ces enjeux maritimes et littoraux offrent en effet la possibilité de concevoir un autre aménagement, garant d'une qualité de vie à condition de ne pas être infodé aux seules logiques de l'économie marchande et de la technicité qui l'accompagne. Mais cela suppose la définition d'un vrai projet de société axé sur cette gestion du littoral et de la mer en dépassant les comportements simplistes et manichéens³.

L'aménagement des littoraux est donc une difficile alchimie. La préservation de l'environnement et du patrimoine, la prise en compte des risques (submersion marine, inondations, érosion côtière...) liés aux changements climatiques, et l'évolution du trait de côte, sont également des variables incontournables pour appréhender la complexité de ces territoires en perpétuelles mutations.

Il s'agit donc d'éviter les dérives du tout résidentiel, du tout tourisme et du tout automobile. Face à ce constat, il faut promouvoir, sur le littoral et son *hinterland*, un développement économique créateur de richesses, original et diversifié, et imaginer, dans le même temps, des formes d'urbanisation permettant de garantir la préservation de l'identité des régions concernées. Le littoral doit trouver son équilibre entre ceux qui y vivent, en vivent, ceux qui y viennent ou souhaiteraient y venir. Pour atteindre ces objectifs et éviter des territoires monofonctionnels ou des lieux de consommation voués à l'étouffement, une nouvelle approche globale et partenariale de l'action publique associant l'État et les collectivités territoriales devient nécessaire. Les zones côtières constituent pour un nombre toujours plus important de français un espace de vie et le tout résidentiel ne marche pas. Ce qu'il faut, c'est un équilibre entre les économies productives et résidentielles.

D'autre part, la protection des milieux écologiques riches, la gestion et la mise en valeur des espaces littoraux (paysage, biodiversité, eau...), doivent contribuer à sauvegarder ces atouts, seuls gages d'une attractivité durable sur le long terme, mais aussi de son identité forgée au fil d'une histoire souvent très riche.

La loi Littoral de 1986 a contribué à véritablement ralentir ou contenir l'urbanisation côtière et donc, symboliquement, à faire "reculer la ville" même si son application reste « hasardeuse » et manque

3 Pour Y. Lebahy (géographe), tout le contraire de la logique marchande ultra libérale qui développe à l'égard des ressources et des hommes de simples logiques minières s'appliquant à court terme, fractionnant et spécialisant au gré de ses intérêts les espaces, le temps et les sociétés et impliquant du même coup concurrences, mobilité vibronnante, inutile et coûteuse à tout point de vue. C'est-à-dire aussi tout le contraire de la logique écologiste actuelle qui, en réaction, s'impose dans un intégrisme naturaliste (voire environnementaliste à l'anglo-saxonne) qui tend à exclure l'homme et les sociétés humaines des enjeux en cours et fait le jeu de la précédente.

de continuité du fait notamment de jurisprudences « pas toujours très concordantes ». Cette politique d'aménagement durable du territoire est en effet fondée sur de grands principes nécessitant une interprétation. La loi Littoral est ainsi parfois jugée imprécise – voire cause d'insécurité juridique. Précurseur en matière de développement durable, elle est aussi perçue par certains élus et par une partie de la population comme un frein au développement économique et comme excessive au regard de l'interdiction de densifier des hameaux par comblement des « dents creuses ». Pour un littoral pluriel, il est urgent de permettre l'accueil des familles les plus modestes, des travailleurs les plus vulnérables, des saisonniers et des jeunes, la garantie d'une mixité sociale et intergénérationnelle. Seules des politiques finement adaptées de l'habitat (Programme Local de l'Habitat, politique de maîtrise foncière...), des déplacements et de la mobilité peuvent permettre de répondre à ces besoins et d'infléchir la tendance à la transformation du littoral en un espace d'exclusion. Les cadres juridiques et réglementaires existent (Schéma de cohérence territoriale, Plan local d'urbanisme intercommunal, Plan local d'urbanisme ...). Nous touchons ici à la définition d'un projet d'aménagement local, intercommunal et régional (schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires instauré par la loi Notre), indispensable à la constitution d'un équilibre de vie sur la frange côtière. À cet égard, le concept de Gestion Intégrée de la Mer et du Littoral issue du Grenelle de la mer est intéressant. Il vise à réunir l'ensemble des acteurs concernés pour partager une vision commune des enjeux et une nouvelle forme de gouvernance des espaces littoraux, mais cette construction collective suppose indubitablement un courage politique de la part des populations et de leurs représentants pour rompre avec les modèles de développement actuel dominants.

5. CONCLUSION

Le littoral est un espace emblématique, fragile et instable. Après des siècles de désaffection, il connaît depuis une cinquantaine d'années une forte attractivité. En effet, le processus de la "litturbanisation" (le développement de la construction et/ou du peuplement des espaces littoraux et sublittoraux) s'accélère. Les impacts du changement climatique avec des modifications avérées (élévation globale de la température et acidification des océans, modification de la salinité, élévation du niveau de la mer...) affectent directement la biodiversité marine et littorale et éprouvent la résilience des écosystèmes marins et littoraux. Avec la multiplication des événements climatiques extrêmes, les répercussions seront très importantes sur de nombreux secteurs d'activités primaires (pêche, conchyliculture, aquaculture, agriculture...) ou de services (tourisme...), et sur les sociétés littorales, voire, de manière indirecte, sur l'économie et la population mondiale.

Interfaces stratégiques de l'économie mondialisée par les échanges internationaux, les territoires littoraux doivent donc faire face à de multiples pressions et d'enjeux d'ordre écologique, économique, social, culturel, et surtout politique.

Il est urgent aujourd'hui de repenser l'aménagement du littoral afin de ménager nos espaces côtiers et leurs ressources en anticipant l'urbanisation mais surtout en évaluant la capacité d'accueil et de charge de ces territoires d'exception.

RÉFÉRENCES

- Audit thématique sur l'application de la loi Littoral par les services de l'État, ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, GDEDD, (2012)
- Chalard L., Dumont G-F., Territoires français : Le renforcement de la « Para-urbanisation » et de la « Litturbanisation », *Population et avenir*, Association Population et Avenir, (2007), pp.14-16. [GLM1]
- Le Délézir R., Lebahy Y., *Pour une politique volontariste de l'aménagement en Bretagne*, éd. Apogée, (2007)
Reinhart C., Loi Littoral : une application « hasardeuse » ? - *LEMONITEUR.FR* - Publié le 12/02/13
- Viard J., *Penser la nature - Tiers espace entre ville et campagne*, La Tour-d'Aigues, Éd. de l'aube, (2012)

CONSEILS DE LECTURES

- Le Délézir R., Lebahy Y., *Pour une politique volontariste de l'aménagement en Bretagne*, éd. Apogée, (2007)
- Le Délézir R., Gourlay F., *Atlas du développement durable en Bretagne*, collections Autrement, (2012).
- Merckelbagh A., *Et si le littoral allait jusqu'à la mer ! La politique du littoral sous la Vème République*, Paris, Eds. Quae, (2009)

BIOTECHNOLOGIE MARINE : VALORISATION ET PRÉSERVATION DE LA RESSOURCE BIOLOGIQUE

Nathalie Bourgougnon, Professeure des Universités

Université Bretagne Sud
Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marines (EA 3884)
nathalie.bourgougnon@univ-ubs.fr

Mots-clés : biotechnologie marine ; croissance bleue ; valorisation ; biodiversité

RÉSUMÉ

La biotechnologie marine est un outil puissant qui contribue à la bioéconomie au sens large et qui répond à plusieurs Objectifs de développement durable des Nations unies, notamment les aspects des systèmes de production alimentaire durables et la réglementation de l'exploitation des bioressources marines. En Europe, la biotechnologie marine reste un élément clé pour faire avancer la croissance bleue. Alors que les produits issus de la biotechnologie marine, la recherche et l'innovation sont déjà largement utilisées, les possibilités restent vastes avec de nouvelles découvertes et une diversification des applications. Les produits et les applications couvrent l'environnement, la protection de la biodiversité, la production alimentaire, les cosmétiques, la santé à travers les produits pharmaceutiques et des applications médicales plus larges. Le succès de la croissance future s'appuie sur des connaissances scientifiques couvrant le milieu marin, la vie et des sciences marines plus larges.

ABSTRACT

Marine biotechnology is a powerful tool contributing to the broader bioeconomy and to multiple United Nations Sustainable Development Goals including aspects of sustainable food production systems and regulating the harvesting of marine bioresources. In Europe, marine biotechnology remains a key enabler advancing Blue Growth. While products from marine biotechnology, research and innovation are already widely used, the possibilities remain vast with new discoveries and diversifying applications. Products and applications are highly diverse, marine environment, biodiversity preservation, spanning food production, cosmetics, pharmaceutical and wider medical applications. The success of future growth relies on scientific knowledge spanning the marine, life and wider marine sciences.

1. INTRODUCTION

L'océan peut sembler abriter des espaces de vie bien pauvres comparés aux zones émergées. Pourtant, il présente une remarquable diversité génétique, physiologique et biochimique, vraisemblablement plus grande que sur les continents. 250 000 espèces animales marines ont été décrites : environ 20 000 espèces de végétaux et un nombre plus petit de microorganismes – champignons, bactéries, protistes (microalgues, protozoaires) et virus. Sur les 250 000 espèces animales marines, quelques milliers sont planctoniques, la plupart dépendant des substrats

de type rocheux ou coralliens (130 000) et des sédiments (60 000). Certains *phyla* comme les Dinoflagellés, les macroalgues rouges, les Invertébrés comme Tuniciers, Éponges, Brachiopodes, Chaétognathes... sont exclusivement marins. Régulièrement, de nouvelles espèces d'invertébrés et d'organismes planctoniques sont mis à jour (Kornprobst, 2005). Les macroalgues forment de véritables forêts sous-marines et abritent une importante diversité d'organismes qui y trouvent refuge. Ces forêts photosynthétiques font partie des écosystèmes les plus productifs de la planète. L'océan est aussi un puissant réservoir de carbone : les écosystèmes côtiers (herbiers, algues, mangroves...) photosynthétiques ont un impact majeur sur la concentration atmosphérique du CO₂ : une production de 78 Pg de carbone/an pour le phytoplancton, 10 Pg de carbone/an pour les écosystèmes côtiers. Pour comparaison, aujourd'hui les émissions de carbone provenant de l'utilisation des puits de carbone naturels (hydrocarbures, charbon, tourbe) sont estimées à 9 Pg(10¹⁵g) de carbone/an (Gattuso *et al.* 2006 ; Keith *et al.*, 2016, Krause-Jensen *et al.*, 2018). L'homme pêche, depuis des centaines de milliers d'année, poissons, coquillages, algues. La pêche continue de jouer un rôle essentiel en nourrissant plus d'un milliard d'êtres humains. De plus, la demande par habitant en poisson s'accroît à un rythme soutenu. L'appétit croissant pour le poisson fait peser une pression toujours plus forte sur les ressources sauvages et pose la question de la durabilité de l'exploitation des ressources marines. L'aquaculture en plein essor pose également les questions d'impacts environnementaux (destruction des milieux littoraux et pollutions), de transplantations d'espèces et, pour certains types d'activités, d'usage de protéines animales dans l'alimentation des espèces d'intérêt.

Ces phénomènes, qui se cumulent avec les autres pressions anthropiques, se produisent à des vitesses sans précédent et induisent, même avec de faibles variations des paramètres, de profondes modifications : biodiversité, répartition géographique, périodes de reproduction des espèces, seront fortement perturbées (*Les écosystèmes marins dans la régulation du climat*, 2015). L'océan et les littoraux subissent ainsi de grandes altérations et des changements durables. La frange littorale, très attractive, accueille une forte densité de population, une urbanisation importante et des infrastructures portuaires et industrielles. La population augmente régulièrement le long de diverses côtes et dans les pays en développement déjà densément peuplés. Selon les cartographes, le nombre de personnes vivant à moins de 60 milles des côtes augmentera d'environ 35 % par rapport à 1995. Ce type de migration exposera 2,75 milliards de personnes à des menaces côtières liées au réchauffement climatique, telles que l'élévation du niveau de la mer (environ 1 mètre de plus d'ici 2100), des températures (prévisions de +2 à +4°C d'ici 2100) et des ouragans plus violents, en plus d'autres catastrophes naturelles comme les tsunamis.

Les choix d'aménagement du littoral ont et auront des répercussions parfois irréversibles sur l'écologie. Alors comment accéder à la ressource ? Comment préserver notre ressource et biodiversité ? Quelles nouvelles voies de valorisation de la biomasse ?

Afin de répondre à ces questions, plusieurs approches développées au sein de différents laboratoires ont été présentées au cours du séminaire *Mer & littoral : un bien commun ?*.

2. L'EXPÉRIENCE DU LABORATOIRE DE BIOTECHNOLOGIE ET CHIMIE MARINES

Le Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marines mène ses actions autour de la valorisation et la préservation de la ressource. Quelques exemples ont été présentés rapidement lors du séminaire.

2.1 VALORISATION DE NOUVELLES SOUCHES MARINES DE BACTÉRIES PROBIOTIQUES POUR L'ALIMENTATION DES CREVETTES EN AQUACULTURE.

La bactérie marine *Pseudoalteromonas* 3J6 prévient *in vitro* la formation de biofilms par *Vibrio tapetis*, agent responsable de la maladie de l'anneau brun chez la palourde. L'adhésion de *V. tapetis* sur du verre et la formation de biofilm est, en effet, inhibée par les exoproduits de la bactérie marine *Pseudoalteromonas* 3J6, ce qui ouvre une possibilité de stratégie anti-biofilm. Les effets de la souche *Pseudoalteromonas* hCg-6 ont été évalués chez la crevette tropicale, *Litopenaeus vannamei* et chez l'orveau européen, *Haliotis tuberculata*. Les travaux ont montré l'innocuité de la souche hCg-6 vis-à-vis des animaux. Un effet de protection significatif des animaux soumis à une infection par *Vibrio* sp. a été montré, permettant de qualifier la souche *Pseudoalteromonas* hCg-6 de probiotique en aquaculture (Rodrigues et al., 2015 ; 2018 ; Offret et al., 2018).

2.2 VALORISATION DE MACROALGUES PROLIFÉRANTES POUR LES SECTEURS DE SANTÉ VÉGÉTALE, HUMAINE ET EN ENVIRONNEMENT.

Certaines espèces marines fixées (macroalgues, bryozoaires, nudibranches...) dépourvues de moyens physiques de défense efficaces sont exposées aux stress biotiques et abiotiques. Pour s'adapter à cet environnement, ces espèces sont pourvues d'un système de production de molécules de défense pour lutter efficacement contre des prédateurs et contrôler la colonisation par des microorganismes. La faible teneur des molécules et la complexité des mélanges en métabolites produits par ces organismes, nécessitent d'utiliser des méthodes et techniques performantes dans le domaine de la chimie extractive et analytique. Au LBCM, nous avons développé de nouveaux procédés écoresponsables respectueux de l'environnement et des exigences sociétales, afin d'isoler ces métabolites acteurs et de les caractériser (Hardouin et al., 2016 ; Burlot et al., 2016 ; Boulho et al., 2016 ; Peñuela et al., 2018).

2.3 PRÉSERVATION DE LA QUALITÉ DES EAUX MARINES - RESTAURER LA BIODIVERSITÉ DES EAUX DE BAINNADE EN ZONES PORTUAIRES :

La préservation de la qualité des eaux marines et la lutte contre les pollutions liées à l'activité humaine sont devenues des enjeux mondiaux. De nombreux contaminants biologiques et polluants chimiques se retrouvent dans l'eau de mer, par conséquent dans les produits aquacoles. Ce contexte fait qu'aujourd'hui, les professionnels de la mer sont à la recherche de solutions pour préserver, voire améliorer, la qualité de leurs eaux. Au sein de notre biodiversité, les éponges et les Holothuries marines sont des animaux capables de filtrer 10 000 fois leur volume en eau par jour et de retenir 80% des particules en suspension comme la matière organique, les minéraux, les bactéries et les virus. Par la même occasion, elles accumulent certains éléments traces métalliques comme le plomb, le cadmium ou le cuivre. Au LBCM, nous travaillons sur plusieurs modèles d'invertébrés : deux éponges marines *Hymeniacidon perlevis* (*Demospongiae*) et *Celtodoryx ciocalyptoides* et une Holothurie *Holothuria forskali* (*Holothuriodea*). En collaboration avec le Comité Régional de Conchyliculture de Bretagne Sud, nous cherchons à exploiter le potentiel de filtration des éponges marines du littoral breton. Les objectifs sont de contrôler le développement de bactéries pathogènes et de réduire la présence de polluants chimiques. Après avoir mis en évidence la faisabilité de la culture d'éponges marines sur l'estran, notre travail a montré, lors d'essais *in vitro*, une diminution de la contamination des huîtres par deux bactéries, *Escherichia coli* et *Vibrio aestuarianus*, et par le plomb, un élément trace métallique, en présence d'éponges (Gentric et al. 2015a, b).

2.4 DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX REVÊTEMENTS ANTIBIOFILM/ ANTIFOULING NON TOXIQUES POUR L'ENVIRONNEMENT : LA NÉCESSITÉ DE RECHERCHER DE NOUVELLES MOLÉCULES ACTIVES DÉPOURVUES DE TOXICITÉ (DIRECTIVE EUROPÉENNE).

Cette recherche s'oriente d'une part vers des molécules naturelles, ou des analogues de structures visant à remplacer les biocides organiques, et d'autre part vers des composés minéraux dont la libération est contrôlée. Les études portent sur leur impact sur la croissance, l'adhésion et la formation de biofilm, ainsi que sur leurs mécanismes d'activité. L'évaluation de composés minéraux à base de zéolithes est réalisée en collaboration avec un industriel producteur de ces matières (Loriot et al., 2016, 2018 ; Faÿ et al., 2018).

RÉFÉRENCES

- Burlot AS, Bedoux G. and Bourgougnon N. (2016). Response Surface Methodology for Enzyme-Assisted Extraction of Water-Soluble Antiviral Compounds from the Proliferative Macroalga *Solieria chordalis*. *Enzyme Engineering*. 5:2 DOI: 10.4172/2329-6674.1000148
- Boulho, R., Le Roux, J., Le Quémener, C., Burlot, A.S., Audo, G., Bourgougnon, N., Bedoux, G. (2016). Preparative separation of marine bioactive compounds by centrifugal partition chromatography. *Planta Med.*, 81(S 01): S1-S381
- Faÿ F, Horel G, Linossier I, Vallée-Réhel K. 2018. Effect of biocidal coatings on microfouling: In vitro and in situ results. *Progress in Organic Coatings* 114, 162-172.
- Gentric C., Réhel K., Dufour A., Sauleau P. (2016a). Bioaccumulation of metallic trace elements and organic pollutants in marine sponges from the South Brittany coast, France. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 51, 213-219.
- Gentric C & Sauleau P (2016b). Distribution, abundance and pollution tolerance of the marine invasive sponge *Celtodoryx ciocalyptoides* (Burton, 1935) in the Étrel River. *Cah Biol Mar.*; 57:57-64
- Hardouin K., Bedoux G., Burlot AS, Donnay-Moreno C., Bergé JP, Nyvall-Collén P., Bourgougnon N. (2016). Enzyme-assisted extraction (EAE) for the production of antiviral and antioxidant extracts from the green seaweed *Ulva armoricana* (Ulvales, Ulvophyceae). *Algal Research* 16 (2016) 233–239
- Loriot M, Linossier I, Vallée-Réhel K, Faÿ F. Hydrolytic degradation of P(CL-VL) copolymers: influence of molecular weight. *Journal of Applied Polymer Science* (2016) 133, 43007
- Loriot M, Linossier I, Vallée-Rehel K, Faÿ F, Influence of biodegradable polymer properties on antifouling paints activity. *Polymers* (2017) 9, 36
- Offret C., Rochard V., Laguerre H., Mounier J., Huchette S., Brillet B., Le Chevalier P., Fleury Y. 2018. Protective Efficacy of a *Pseudoalteromonas* Strain in European Abalone, *Haliotis tuberculata*, Infected with *Vibrio harveyi* ORM4. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*
- Peñuela A., Robledo D., Bourgougnon N., Bedoux G., Hernandez E., Freile-Pelegrín Y. (2018). Environmentally Valorization of *Solieria filiformis* Gigartinales, Rhodophyta) from IMTA using a Biorefinery Concept. *Marine drugs*, 16, 487-497
- Rodrigues S., Paillard C., Dufour A. Bazire A. 2015. Antibiofilm activity of the marine bacterium *Pseudoalteromonas* sp. 3J6 against *Vibrio tapetis*, the causative agent of Brown Ring Disease. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 7, 45-51.
- Rodrigues S., Paillard C., Van Dillen S., Tahrioui A., Berjeaud J.M., Dufour A., Bazire A. 2018. Relation between biofilm condition and virulence in *Vibrio tapetis*: a transcriptomic study. *Pathogens* 7, 92

CONSEILS DE LECTURE

- Boyen C., Jaouen P., et al. 2015. *Les Biotechnologies marines dans le Grand Ouest*. Europôle Mer Ed

VALORISATION DE LA RESSOURCE VÉGÉTALE ET ANIMALE DE LA ZONE LITTORALE DE L'INDONÉSIE

I. Widowati¹, M. Puspita², G. Bedoux³, N. Bourgoignon³

- ¹ Marine Science Department, Faculty of Fisheries and Marine Science, Diponegoro University, Semarang 50275, Indonesia
- ² Indonesian Seaweed Association (ARLI), Bellezza Office Tower, Jakarta 12210 Indonesia
- ³ Université Bretagne Sud, Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marines, Campus de Tohannic, 56000 Vannes

Mots-clés : valorisation ; microalgue ; macroalgue ; antifouling ; cosmétique

RÉSUMÉ

L'Indonésie est l'un des hotspots de la biodiversité dotés d'un triangle de récif. Le pays est composé de 34 provinces et de zones aquatiques environnantes couvrant 5,79 millions de km², dont 1,08%, soit 62 600 km², sont protégés en tant que parcs nationaux. Les caractéristiques de cette zone comprennent non seulement la richesse des espèces, l'endémisme et la diversité des habitats, mais aussi son état relativement vierge. Une compréhension de la biodiversité fondamentale grâce à la recherche de molécules bioactives est nécessaire, car elle permet de réduire les coûts et de minimiser l'impact sur l'environnement. Un autre moyen est d'utiliser la fermentation et la culture de microbes marins. Ce chapitre vous propose quelques projets de recherche développés par l'équipe de la Dr. Ita Widowati de l'Université de Diponegoro.

ABSTRACT

Indonesia is one of the biodiversity hot spots with a reef triangle. The country consists of 34 provinces and surrounding aquatic areas covering 5.79 million km², of which 1.08% or 62,600 km² are protected as national parks. The characteristics of this area include not only species richness, endemism and habitat diversity, but also its relatively pristine condition. An understanding of fundamental biodiversity through the search for bioactive molecules is necessary to reduce costs and minimize environmental impact. Another way is to use fermentation and culture of marine microbes. This chapter proposes some research projects developed by Dr. Ita Widowati's team from the University of Diponegoro.

En tant que pays archipélagique avec 54 720 km de côtes, l'Indonésie présente un grand potentiel en tant que producteur d'algues tropicales. Les cultures de certaines espèces d'algues à valeur économique dont les genres appartiennent à *Eucheuma*, *Kappapychus* et *Gracilaria* se sont répandues sur les côtes Indonésiennes. L'Indonésie est le deuxième producteur mondial de plantes aquatiques (9 746 100 t), après la Chine avec 17 533 590 t. La production mondiale totale de plantes aquatiques était de 31 810 863 t en 2017. La production de capture d'algues marines en Indonésie était de 46919 t en 2017 (FAO, 2017). Le stock d'*Eucheuma*, *Kappapychus* et *Gracilaria* varie selon l'espèce et la saison (Setyawidati *et al.*, 2017 et Setyawidati *et al.*, 2018). Elles sont destinées à la production d'hydrocolloïdes utilisés dans les industries alimentaire,

pharmaceutique, médicinale et biotechnologique, en raison de leurs propriétés physico-chimiques texturantes, épaississantes et gélifiantes (Rhein-Knudsen *et al.*, 2015). La production d'éthanol à partir de différentes espèces d'algues a été également signalé, comme mentionné par Sudhakar *et al.* (2016) à partir par exemple des algues vertes *Ulva lactuca* et *U. pertusa*, les algues rouges *Kappaphycus alvarezii*, *Gelidium amansii*, *G. elegans*, *Gracilaria salicornia* et les algues brunes *Laminaria japonica*, *L. hyperborea*, *Saccharina latissima*, *Sargassum fulvellum*, *Undaria pinnatifida*. Comparée à d'autres types de biomasse terrestre, la biomasse marine croît rapidement (quatre à six fois par an). Il est facile de la cultiver en utilisant une large zone arable de la mer sans avoir besoin d'équipement à prix élevé.

Certains genres de la famille des Sargassacées, comme *Sargassum* et *Turbinaria*, sont particulièrement abondants dans les régions tropicales et subtropicales, et présentent une importante richesse en espèces (476 et 22 espèces, respectivement). De plus, les Sargassacées représentent une famille taxonomiquement complexe (Stiger *et al.*, 2000, Stiger *et al.*, 2003) (Photographies 1 et 2). En effet, l'identification de nombreuses espèces de Sargassacées est problématique car les caractères morphologiques présentent souvent une variation phénotypique intraspécifique importante en fonction des différences d'habitat, saisonnières, voire démographiques (Engelen *et al.*, 2005, Mattio *et al.*, 2008).



Photographie 1 : Récolte de Sargassacées, Indonésie 2012 (Ita Widowati en compagnie du Dr. Valérie Stiger, UBO)



Photographie 2 : Récolte de *Sargassum* sur la côte de Jepara, Indonésie

Plusieurs macroalgues produisent des métabolites bioactifs en réponse à des pressions écologiques telles que la compétition pour l'espace, la dissuasion de la prédation, et la capacité à se reproduire avec succès (König *et al.*, 1994). Dans un environnement marin, où toutes les surfaces sont constamment exposées à la menace de colonisation de surface, les organismes sessiles restent relativement exempts d'encrassements biologiques. Ces organismes sédentaires contrôlent les épibiontes, en particulier les bactéries marines, par des mécanismes antifouling efficaces (Hellio *et al.*, 2001 et Bazes *et al.*, 2006). L'utilisation de produits naturels marins capables d'inhiber le développement des bactéries offre un riche potentiel pharmacologique. Parmi l'arsenal de molécules produites par les macroalgues brunes, les composés phénoliques peuvent s'accumuler à des niveaux élevés, jusqu'à près de 20% poids sec à *Fucales*. Les composés phénoliques constituent une classe de molécules organisées en deux groupes, les phloroglucinols (mono-, di-, tri-, tétra- et oligomères) et les phlorotannins. On trouve occasionnellement des composés phénoliques monomères halogénés dans les algues brunes, ainsi que dans quelques algues rouges. Les phlorotannins ont différents rôles putatifs.

Des rapports publiés montrent que la production de composés phénoliques sur les algues marines est généralement associée à une défense chimique et s'est avérée impliquée dans divers mécanismes de protection, tels que contre le pâturage, l'attaque des agents pathogènes, l'épiphytisme, l'antifouling et les dommages UV. De plus, ces composés présentent des propriétés antioxydantes et participent également aux mécanismes de photoprotection, notamment pour contrer les effets cytotoxiques des rayonnements UV. Saragosse *et al.* (2008) ont démontré des activités intéressantes (activités préventives et curatives contre les atheromes d'un extrait hydroalcoolique de *Fucus*). Plusieurs activités antibactériennes, antifongiques (Hellio *et al.*, 2001 ; Sandsalen *et al.*, 2003 ; Plouguerné *et al.*, 2008), anti-larve et anti-algale (Ragan et Glombitza, 1986., Hellio *et al.*, 2004), protection UV (Connan, 2004., Le Lann *et al.*, 2008), ont été mises en évidence pour les phlorotannins isolés à partir de macroalgues. D'un point de vue pharmacologique, les oligomères

de phlorotannins présentent également de nombreuses propriétés. À titre d'exemple, le phlorogucinol, qui est l'unité de base des phlorotannins, est utilisé dans le médicament Spasfon®, contre les troubles digestifs humains

Dans le cadre de nos travaux menés à l'Université de Diponegoro à Sémarang, nous nous intéressons à la biodiversité des espèces de Sargassacées sur les côtes indonésiennes et à leur utilisation dans la recherche de composés antimicrobiens et antioxydants, ainsi qu'à leur application comme additifs cosmétiques dans une crème hydratante.

L'optimisation de l'extraction a été réalisée afin de mettre en évidence les variations des teneurs en composés phénoliques et de caractériser les fractions isolées au niveau fonctionnel et structurel. Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés au potentiel des espèces de Sargassacées dans les champs de biocarburants par des processus de saccharification et de fermentation. Des algues brunes des espèces de Sargassacées (*Sargassum polycystum*, *S. duplicatum* et *S. echinocarpum*) ont été collectées à la main à Teluk Awur, Jepara, Java Central, Indonésie (Photographie 2).

1. MOLÉCULES À ACTIVITÉS ANTIFOULING

Après extraction alcoolique et Extraction Assistée par Enzymes (EAE), l'évaluation de l'activité antibactérienne des fractions a été réalisée selon Villareal-Gomez *et al.* (2010); l'activité d'élimination des radicaux a été déterminée selon Aranda *et al.* (2009) et Yangthong *et al.* (2009). Le dépistage phytochimique de l'extrait d'algue a été effectué selon la méthode de Harborne (1973). Le test antialissure a été effectué selon Cho *et al.* (2001) et Bazes *et al.* (2009). Les résultats de la potentialité antibactérienne et du piégeage radicalaire ont montré que les extraits issus de *S. echinocarpum* et *S. duplicatum* présentaient l'extrait le plus efficace contre *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* (Widowati *et al.*, 2014). Ils présentent également une activité antioxydante élevée.

Sur la base de l'analyse phytochimique des extraits bruts de *S. duplicatum*, la présence de stéroïdes, de saponine, de quinone, de flavonoïdes et d'alcaloïdes ont été mises en évidence. Le composant bioactif présent dans l'extrait brut de *S. echinocarpum* est composé d'un stéroïde, une quinone, un flavonoïde et un alcaloïde. Le composant bioactif de l'extrait brut de *S. polysistum* est composé d'un stéroïde, une quinone, un flavonoïde et un alcaloïde (Widowati *et al.*, 2014). L'extrait brut de *S. echinocarpum*, *S. polycystum* et *S. duplicatum* contenait respectivement 46%, 44% et 45% de glucides. Quant à leur teneur en cellulose et hémicelluloses, elles variaient respectivement de 25% à 30% et de 8% à 11%. Dans les extraits bruts de *S. echinocarpum*, *S. polycystum* et *S. duplicatum*, les protéines brutes représentent 7%, les matières grasses brutes 9%, les cendres 14%, les fibres 5% et la lignine 0,5% (Widowati *et al.*, 2019). L'EAE a été largement appliquée et considérée comme une méthode plus efficace pour dégrader les polysaccharides des algues marines, en particulier pour les algues brunes, comme le rapportent de nombreuses études (Athukorala *et al.*, 2006; Je *et al.*, 2009; Charoensiddhi *et al.*, 2016; Stern *et al.*, 1996; Koivikko, 2008). Nous nous sommes également intéressés à l'extraction des polysaccharides riches en fucose et des alginates par Extraction Solide-Liquide (SLE), puis par extraction alcaline selon Mabeau (Grauffel *et al.*, 1985). L'activité antioxydante des extraits obtenus par SLE et EAE a été comparée. Les résultats ont montré que les polysaccharides sulfatés riches en fucose obtenus par SLE, présentent une activité antioxydante plus élevée que les polysaccharides sulfatés riches en fucose obtenus par EAE. L'extrait brut obtenu après EAE contient plus de polysaccharides que de contenu bioactif. Puspita *et al.* (2015) ont comparé l'extraction en utilisant le SLE et les EAE sur *S. aquifolium*, *S. ilicifolium* et *S. polycystum*, ils ont montré que la bioactivité des extraits obtenus par EAE est meilleure que SLE. De plus, Puspita *et al.* (2017) ont montré l'activité antiradicalaire et antivirale. Les différents extraits alcooliques issus de *S. polycystum* et *S. duplicatum* présentent des activités antibactériennes. Ces travaux ont permis de mettre en évidence quatre symbiotes à la surface de *S. duplicatum*.

2. ADDITIFS MARINS EN COSMÉTIQUE

L'exploration des extraits comme additif cosmétique a été menée en testant l'extrait brut de Sargasses. La crème était préparée selon la méthode du Laboratoire de Biotechnologie et de Chimie Marine de l'UBS. Cinq crèmes cosmétiques ont été préparées : A (formule standard), B (sans agent antibactérien), C (avec agent antibactérien), D (avec extrait de Sargasse et agent antibactérien), E (avec extrait de Sargasses sans agent antibactérien). Les cinq crèmes cosmétiques ont ensuite été évaluées à travers le test de peroxyde et de viscosité. L'application cosmétique, telle qu'une crème hydratante, a été réalisée à l'aide de l'extrait brut de Sargasse. Les cinq crèmes cosmétiques sont ensuite conservées à température ambiante pendant un an. Elles ont toutes montré une bonne texture, odeur et couleur. Les résultats de l'activité antibactérienne des cosmétiques en crème hydratante après 1 an de stockage ont montré ce qui suit : après les 24 heures d'incubation, aucun développement bactérien n'a été observé, même après 48 heures. Le test antibactérien de la crème cosmétique a montré que la crème cosmétique E est la plus efficace.

La crème cosmétique A a montré l'activité antibactérienne la plus faible (Widowati *et al.*, 2019). Ces résultats confirment que l'extrait brut de Sargasse ajouté dans la formule de la crème hydratante pourrait inhiber le développement des bactéries, même après un an de stockage.

3. LA RECHERCHE DE NOUVEAUX BIOCARBURANTS

La recherche a été réalisée par le processus d'hydrolyse, le test de glucose et la fermentation de levure. Les résultats de la potentialité des biocarburants ont montré que le processus d'hydrolyse sur 0,4 M produisait une concentration de glucose supérieure à 0,2 M, 0,3 M et 0,5 M. À une concentration de 0,4 M, la concentration la plus élevée de glucose était relevée chez *S. crassifolium*. En présence d'une solution de 0,4 M H_2SO_4 avec une période d'hydrolyse de 120 minutes, la teneur en sucre de *S. crassifolium* a atteint la valeur la plus élevée (58 mg. L⁻¹). *S. crassifolium* a été considérée comme la meilleure espèce productrice de bioéthanol car elle contient le plus de glucose selon une étude récente.

4. PROBIOTIQUES ISSUS DE MICROALGUES

Au cours des dernières décennies, la recherche de nouvelles sources d'alternatives naturelles antioxydantes est en expansion. Les travaux menés dans notre laboratoire montrent le potentiel de trois microalgues *Dunaliella salina*, *Tetraselmis chuii* et *Isochrysis galbana* comme nouvelles sources d'antioxydant naturel (Widowati *et al.*, 2017). *D. salina* et *T. chuii* ont donc été étudiées pour être utilisées comme aliments pour les crevettes infectées par *Vibrio*. L'aquaculture de crevettes Vannamei à Kendal, dans le centre de Java, en Indonésie, repose sur un système intensif qui pourrait provoquer la dégradation de la qualité de l'eau dans l'étang (Photographie 3).

L'un des effets émergents d'une telle dégradation entraîne l'apparition de vibrioses, véritables menaces pour l'aquaculture de crevettes. Cette étude visait à identifier la présence de bactéries responsables de la vibriose dans un étang à crevettes à Kaliwungu, Kendal, Java central, et à utiliser *D. salina* et *T. chuii* comme agents de lutte biologique contre la vibriose. Les bactéries responsables de la vibriose ont été isolées des hépatopancréas et des queues de dix crevettes présentant des signes cliniques d'infection à la vibriose. Les trois bactéries isolées à l'origine de la vibriose chez les crevettes sont *Vibrio alginolyticus* et *V. harveyi*. L'utilisation de microalgues comme biocontrôle a été réalisée. Quarante-cinq crevettes infectées par *Vibrio* élevées pendant 21 jours et nourries avec *D. salina* et *T. chuii* ont montré une diminution de la quantité de bactéries. Le résultat a indiqué que les microalgues étaient capables de produire des composés antibactériens contre le *Vibrio* (Widowati *et al.*, 2019).



Photographie 3 : Élevage de crevettes à Kendal, Indonésie

5. VALORISATION DE BIVALVES

Outre ses richesses en macro et microalgues, l'Indonésie compte plus de 3000 espèces de bivalves, dont l'une est le pétoncle lunaire asiatique (*Amusium pleuronectes*). Sa coquille contient des minéraux, en particulier du calcium dont l'homme a besoin. L'utilisation de cette coquille dans la nourriture n'était pas encore commune. Nos travaux visent à connaître l'effet de l'ajout de coquille Saint-Jacques sur les qualités nutritionnelles de cookies. Le processus d'extraction du calcium a été réalisé par hydrolyse acide. Les différentes concentrations de coquilles de pétoncles lunaires d'Asie ajoutées à la pâte à biscuit étaient de 0%, 5% et 7,5%. Le résultat a montré que l'augmentation de la concentration de la coquille pétoncle lunaire d'Asie dans les biscuits avait un effet très significatif ($\alpha 0,01$) sur l'humidité, les cendres, les graisses, les protéines, le calcium, le phosphore et la dureté des biscuits (Agustini *et al.*, 2014).

En conclusion, les ressources végétales et animales récoltées en Indonésie présentent un fort potentiel de valorisation dans différents domaines, notamment en santé humaine et en environnement.

RÉFÉRENCES

- Agustini T. W., Suprijanto J. & Yuwono T., Effect of Formic Acid Concentration in Making Silage Derived from Scallop Waste (Amusium pleuronectes), *VIIIth Annual National Seminar on Fisheries and Marine Research Results, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta*, PN 13, (2011), pp. 1-13. (in Indonesian).
- Agustini T.W., Fahmi A.S., Widowati I. & Sarwono. A., Utilization of Asian Moon Scallop (Amusium pleuronectes) Shell Waste on Making of Calcium-Rich Cookies), *Journal of Fisheries Product Processing*, XIV, 1, (2011), pp. 8-13. (en Indonésien).
- Aranda R.S., Lopez L.A.P., Arroyo J.L., Garza B.A.A. & Torres N.W., Antimicrobial and Antioxidant Activities of Plants from Northeast of Mexico, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 20, 11, (2009), pp. 1-6.
- Athukorala, Y., Kim, K.N. & Jeon, Y.J., Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, Ecklonia cava, *Food Chemical Toxicology*, 44, (2006), pp. 1065–74.
- Bazes A., Silkina A., Douzenel P., Faÿ F., Kervarec N., Morin D., Berge J. P. & Bourgougnon N., Investigation of the antifouling constituents from the brown alga Sargassum muticum (Yendo) Fensholt, *Journal of Applied Phycology*, 21, (2009), pp. 395–403.
- Charoensiddhi, S., Lorbeer, A.J., Lahnstein, J., Bulone, V., Franco, C.M.M. & Zhang, W., Enzyme-assisted extraction of carbohydrates from the brown alga Ecklonia radiata: Effect of enzyme type, pH and buffer on sugar yield and molecular weight profiles, *Process Biochem*, 51, (2016), pp. 1503–10.
- Cho, J.Y., Choi J.S., Kang S.E., Kim J.K., Shin H.W., Hong, Y.K., Isolation of antifouling active pyroglutamic acid, triethyl citrate and di-n-ocylphthalate from the brown seaweed Ishige okamurae, *Journal of Applied Phycology*, 17, (2005), pp. 431-435.
- Connan S., Study of the specific biodiversity of macroalgae at Pointe de Bretagne and analysis of phenolic compounds of dominant Phaeophyceae, Université de Bretagne Occidentale, (2004), pp. 280. (en Français).
- Engelen A. H., Espirito-Santo C., Simoes T., Monteiro C., Serrao E. A., Pearson G. A. & Santos R. O. P., Periodicity of propagule expulsion and settlement in the competing native and invasive brown seaweeds, Cystoseira humilis and Sargassum muticum (Phaeophyta), *European Journal of Phycology* 43, 3, (2008), pp. 275-282.
- FAO. 2019. Fishery and Aquaculture Statistics 2017, FAO year book, Rome, 108 pp, ISBN 978-92-5-131669-6.
- Grauffel, V., Mabeau, S., Kloareg, B. & Josefowicz, J., Propriétés anticoagulantes des fucanes sulfatés des algues brunes. (1985), 17 pp.
- Harborne, J.B., *Phytochemical methods*, London, Chapman and Hall, Ltd. 1973, pp. 49-188.
- Hellio C., Thomas-Guyon H., Culioli G., Piovetti L., Bourgougnon N. & Le Gal Y., Marine antifoulants from Bifurcaria bifurcata (Phaeophyceae, Cystoseiraceae) and other brown macroalgae. *Biofouling*, 17, (2001), pp. 189-201.
- Hellio C., Simon-Colin C., Clare A. S. & Deslandes E. Isethionic acid and floridoside isolated from the red alga, Grateloupia turuturu, inhibit settlement of Balanus amphitrite cyprid larvae. *Biofouling*, 20, (2004), pp. 139-145.
- Je, J.-Y., Park, P.-J., Kim, E.-K., Park, J.-S., Yoon, H.-D., Kim, K.-R. & Ahn, C.-B., Antioxidant activity of enzymatic extracts from the brown seaweed Undaria pinnatifida by electron spin resonance spectroscopy. *LWT – Journal of Food Science and Technology*, 42, (2009), pp. 874–8.
- Koivikko, R., Brown algal phlorotannins: Improving and Applying Chemical Methods, University of Turku, Turku, (2008), 61 pp.
- Le Lann K., Jégou C. & Stiger-Pouvreau V., "Effect of different conditioning treatments on total phenolic content and antioxidant activities in two Sargassacean species: Comparison of the frondose Sargassum muticum (Yendo) Fensholt and the cylindrical Bifurcaria bifurcata R. Ross", *Phycological Research* 56, 4, (2008), pp. 238-245.
- Mattio L., Payri C.E. & Stiger-Pouvreau V., Taxonomic revision of Sargassum (Fucales, Phaeophyceae) from French Polynesia based on morphological and molecular analyses. *J Phycol*, 44, (2008), pp. 1541-1555.
- Plougerné E., Hellio C., Deslandes E., Véron B. & Stiger-Pouvreau V. Anti-microfouling activities of extracts of two invasive algae: Grateloupia turuturu and Sargassum muticum. *Bot. mar* 51, (2008), pp. 202-208.
- Puspita M., Deniel M., Widowati I., Radjasa O. K., Douzenel P., Marty C & Vandanjon L., Total phenolic content and biological activities of enzymatic extracts from Sargassum muticum (Yendo) Fensholt, *Journal of Applied Phycology*, 29, 5, (2015), pp. 2521-2537.

- Puspita M., Deniel M., Widowati I., Radjasa O. K., Douzenel P., Bedoux G & Bourgougnon N., Antioxidant and antibacterial activity of solid-liquid and enzyme-assisted extraction of phenolic compound from three species of tropical Sargassum, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 55, (2017), pp. 1-14.
- Ragan M. A. & Glombitza K. W., "Phlorotannins, brown algal polyphenols", *Progress in Phycology Research*, 4, (1986), pp.129-241.
- Rhein-Knudsen, N., Ale, M.T. & Meyer, A.S., Seaweed hydrocolloid production: An update on enzyme assisted extraction and modification technologies, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI), (2015).
- Sandsdalen, E., Haug T., Stensvag K. & Styrvoid O.B., The antibacterial effect of a polyhydroxylated fucophlorethol from the marine brown alga, *Fucus vesiculosus*, *World J. Microb. Biotechnol.*, 19, (2003), pp. 777-782.
- Setyawidati N.A., Purnamawati I., Helmi M., Widowati I., Rossi N., Liabot O. & Stiger-Pouvreau V., Percentage cover, biomass, distribution and potential habitat mapping of natural macroalgae, based on high-resolution satellite data and in situ monitoring, at Libukang Island, Malasoro Bay, Indonesia, *Journal of Applied Phycology*, (2017), <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-017-1208-1>.
- Setyawidati, N.A.R., Puspita M., Kaimuddin A.H., Widowati I., Deslandes E., Bourgougnon N. & Stiger-Pouvreau, V., Seasonal biomass and alginate stock assessment of three abundant genera of brown macroalgae using multispectral highresolution satellite remote sensing: A case study at Ekas Bay (Lombok, Indonesia), *Marine Pollution Bulletin*, 131, (2017), pp. 40-48.
- Stern, J.L., Hagerman, A.E., Steinberg, P.D. & Mason, P.K., Phlorotannin-protein interactions, *J Chem Ecol.* 22, (1996), pp.1877–99.
- Stiger V., Horiguchi T., Yoshida T., Coleman A.W. & Masuda M., Phylogenetic relationships within the genus Sargassum (Fucales, Phaeophyceae), inferred from it ITS nrDNA, with an emphasis on the taxonomic revision of the genus, *Phycol Res*, 51, (2003), pp. 1–10.
- Stiger-Pouvreau V., Horiguchi T., Yoshida T., Coleman A.W., Masuda M., Phylogenetic relationships of Sargassum (Sargassaceae, Phaeophyceae) with reference to a taxonomic revision of the section Phyllostictae based on ITS-2 nrDNA sequences, *Phycol. Res.*, 48, (2000), pp. 251-260.
- Sudhakar, M.P., Merlyn, R., Arunkumar, K. & Perumal, K., Characterization, pretreatment and saccharification of spent seaweed biomass for bioethanol production using baker's yeast, *Biomass Bioenergy*, 90, (2016), pp.148–54.
- Susilowati R., Sabdono A. & Widowati I., Isolation and Characterization of Bacteria Associated with Brown Algae Sargassum spp from Panjang Island and their Antibacterial Activities, *Procedia Environmental Sciences* 23, (2015), pp. 240- 246.
- Villarreal-Gomez, L.J., Soria-Mercado I.E., Guerra-Rivas G. & Ayala-Sanchez N.E., Antibacterial and anticancer activity of seaweeds and bacteria associated with their surface. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45, 2, (2010), pp. 267-275.
- Widowati I., Susanto AB., Puspita M., Stiger-Pouveau V & Bourgougnon N., Potentiality of using spreading Sargassum species from Jepara, Indonesia as an interesting source of antibacterial and antioxidant compounds: a preliminary study, *International Journal of Marine and Aquatic Resource Conservation and Co-Existence (IJMARCC)*, 1, 1, (2014), pp. 63-67.
- Widowati I., Daphne L., Puspita M & Bourgougnon N., Antibacterial and Antioxidant Properties of the Red Alga Gracilaria verrucosa from the North Coast, Java, Semarang, Indonesia, *International Journal of Latest Research Science and Technology (IJLRST)*, 3, 3, (2014), pp. 179-185.
- Widowati I., Zainuri M., Kusumaningrum H.P., Susilowati R., Hardivillier Y., Leignel V., Bourgougnon N & Mouget J-L., Antioxidant activity of three microalgae Dunaliella salina, Tetraselmis chuii and Isochrysis galbana clone Tahiti. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 55, (2017), pp. 1-7.
- Widowati, I., Zainuri M., Kusumaningrum, H.P., Maesaroh Y., Hardivillier Y., Leignel V., Bourgougnon N & Mouget J-L., Identification of agents causing vibriosis in Litopenaeus vannamei shrimp culture in Kendal, Central Java, Indonesia and application of microalgae Dunaliella salina and Tetraselmis chuii as bio-control agents against vibriosis. *AACL Bioflux*, 11, 1, (2018), pp. 101-107.
- Widowati I., Suprijanto J., Trianto A., Puspita M., Bedoux G & Bourgougnon N., Antibacterial activity and proximate analysis of Sargassum extracts as cosmetic additives in a moisturizer cream. *AACL Bioflux* 12, 5, (2019), pp. 1961-1969.

- Yangthong M., Hutadilok-Towatana N. & Phromkunthong W., Antioxidant Activities of Four Edible Seaweeds from The Southern Coast of Thailand, *Plant Foods Hum Nutr*, 64, 3, (2009), pp. 218-23.
- Zaragozá M. C., López D. P., Sáiz M., Poquet M., Pérez J., Puig-Parellada P., Màrmol F., Simonetti P., Gardana C., Lerat Y., Burtin P., Inisan C., Rousseau I., Besnard M. & Mitjavila M. T., Toxicity and antioxidant activity in vitro and in vivo of two *Fucus vesiculosus* extracts, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, (2008), pp. 7773-7780.

CONSEILS DE LECTURES

- Puspita M., Ratna Setyawidati N.A., Stiger-Pouvreau V., Vandanjon L., Widowatil., Karna Radjasa O., Bedoux G., Bourgougnon N. 2020. Chapter 5: Indonesian *Sargassum* species bioprospecting: Potential applications of bioactive compounds and challenge for sustainable development. *Seaweeds Around the World: State of Art and Perspectives. Advances Botanical research, Volume 95*. ISBN: 978-0-08-102710-3.

LA MÉTHANISATION ET LES OCÉANS

V. Boy¹, J. Le Loeuff¹, J.-L. Lanoisellé¹, T. Lendormi¹, P. Morançais²

¹ Université Bretagne Sud, Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS 6027), 56300 Pontivy, France. jean-louis.lanoiselle@univ-ubs.fr

² Université Bretagne Sud, Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marines (EA 3884), 56000 Vannes, France. nathalie.bourgougnon@univ.ubs.fr

Mots-clés : bioéconomie ; hydrates de méthane ; méthanisation ; séchage ; biodéchets marins

RÉSUMÉ

La bioéconomie des ressources marines est au cœur des préoccupations des territoires côtiers. La méthanisation propose une solution pour transformer des biodéchets en biogaz (riche en méthane) et en digestat (résidu solide valorisable comme amendement ou engrais). La méthanisation de la biomasse marine a lieu naturellement dans les océans et entraîne la formation d'hydrates de méthane. Ces molécules constituent une source d'énergie considérable et sont uniformément réparties sur la planète. Les unités de méthanisation se sont développées en Bretagne. Elles peuvent être mises en œuvre pour valoriser les sous-produits de la transformation des algues pour l'industrie cosmétique et agroalimentaire, ou pour éliminer les algues issues des marées vertes. Depuis 2014, une espèce invasive prolifère sur les côtes bretonnes : l'étoile de mer. Une étude a été menée afin d'établir la faisabilité d'une valorisation énergétique de cette biomasse marine.

ABSTRACT

The bioeconomy of marine resources is at the heart of coastal territories. The anaerobic digestion offers a solution to convert biowaste into energy (methane-rich biogas) and digestate (solid residue recoverable as amendment or fertilizer). The anaerobic digestion of the marine biomass takes place naturally in the oceans and leads to the formation of methane hydrates. These molecules are a significant source of energy and they are evenly spread across the planet. The anaerobic digestion of algae is growing rapidly in Brittany due to the green tides phenomenon and to promote by-products as a result of algae processing for the cosmetic and the food industry. Since 2014, an invasive specie proliferates on the Brittany coasts: starfish. A study was conducted in order to establish the feasibility of an energy recovery of this invasive biomass.

1. INTRODUCTION

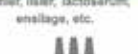
La bioéconomie est un concept qui a émergé au sein des laboratoires de recherche dans les années 1970. Sous l'impulsion de la demande sociétale, les utilisations de la biomasse se multiplient et se diversifient. Ainsi, depuis une dizaine d'années, le terme « bioéconomie » apparaît très souvent dans les publications académiques et s'est rapidement diffusé dans différentes sphères, institutionnelles, scientifiques et entrepreneuriales. La bioéconomie désigne l'ensemble des activités liées à la production, à l'utilisation et aux transformations des bioressources. Cette approche peut être déclinée à différents domaines (Figure 1) et, bien entendu, la biomasse marine, enjeu stratégique, est au cœur des préoccupations des territoires adossés aux espaces marins. Les schémas

The diagram illustrates the flow of bioresources and the cycle of ecosystem services and human needs. It features several interconnected components:

- BIORESSOURCES**: Represented by icons of a fish, seaweed, and a starfish. It is the central source of raw materials.
- BIOSPHERE & BIODIVERSITÉ MILIEUX ATMOSPHERIQUE & CLIMAT**: Represented by a globe icon. It provides the environment for bioresources.
- SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES**: Represented by icons of a thermometer, a leaf, and a water drop. These services are derived from the biosphere and biodiversity.
- NON ALIMENTAIRE**: Represented by icons of a chemical structure and a pink capsule. These are non-food products derived from bioresources.
- ALIMENTAIRE**: Represented by icons of a cow and a plate of food. These are food products derived from bioresources.
- BESOINS HUMAINS**: Represented by icons of a family. These are the human needs that are met by the products and services.

The flow is indicated by arrows:

- An arrow labeled *photosynthèse* points from the Biosphere/Biodiversity/Milieu/Atmosphere/Climate to Bioresources.
- An arrow labeled *bioressources non polluées* points from Bioresources to the Biosphere/Biodiversity/Milieu/Atmosphere/Climate.
- An arrow points from Bioresources to Non Alimentaire.
- An arrow points from Bioresources to Alimentaire.
- An arrow labeled *Biodéchets recyclables* points from Non Alimentaire and Alimentaire back to Bioresources.
- An arrow labeled *Restitution de biodéchets* points from Non Alimentaire and Alimentaire back to the Biosphere/Biodiversity/Milieu/Atmosphere/Climate.
- An arrow points from the Biosphere/Biodiversity/Milieu/Atmosphere/Climate to Services Écosystémiques.
- An arrow points from Services Écosystémiques to Besoins Humains.
- An arrow points from Besoins Humains back to the Biosphere/Biodiversity/Milieu/Atmosphere/Climate.

BIODÉCHETS	MÉTHANISATION	VALORISATION
 Fumier, lisier, lactosérum, ensilage, etc.	 DIGESTEUR Fermentation	 ÉLECTRICITÉ
 Déchets ou coproduits de l'industrie agroalimentaire		 CHALEUR
 Déchets verts, restes alimentaires, boues de STEP, algues, etc.		 BIOGAZ Gaz de ville Biocarburant
		 DIGESTAT Retour au sol

© Tous droits réservés - ISBN e-book 978-2-9573619-1-5

D'un point de vue scientifique et technologique, la méthanisation, également appelée digestion anaérobie, est un procédé biologique qui permet la dégradation de la matière organique par des micro-organismes en absence d'oxygène. Ce processus peut être compris à la fois comme une valorisation énergétique de biodéchets, si l'on se focalise sur la partie biogaz (composé de méthane et de dioxyde de carbone), ou sur un traitement des biodéchets si l'on s'intéresse plutôt au digestat (Figure 2). Ces deux approches se doivent d'être gérées conjointement dans l'esprit de l'économie circulaire pour transformer les biodéchets en bioressources.

Ce chapitre décrit tout d'abord le processus de méthanisation qui se déroule naturellement au sein des océans, montrant la capacité des écosystèmes à produire du méthane (et à les stocker) grâce aux microorganismes. Sera ensuite décrite la mise en œuvre du procédé à partir des algues, qui a fait l'objet de travaux scientifiques, et qui est aujourd'hui implantée dans quelques unités de méthanisation. Une troisième partie, plus prospective, traite d'une voie possible de valorisation d'une espèce parfois invasive : l'étoile de mer.

2. LES HYDRATES DE MÉTHANE SOLIDES

Les hydrates de méthane (ou clathrates) sont des composés d'origine organique présents dans les fonds marins sur le talus continental (dans une zone allant de 300 à 1200 mètres). Ces hydrates sont issus de la méthanisation de la biomasse marine. Leur origine est plus récente que les carburants fossiles plus classiques que sont le pétrole et le gaz naturel. Leur appellation vernaculaire est « glace qui brûle » et correspond à un bloc blanc très froid dans lequel on peut mettre le feu (Figure 3).

Un clathrate est un composé en forme de cage formé par des molécules hôtes, ici l'eau sous forme solide, et une molécule incluse (méthane mais aussi dioxyde de carbone). Cette forme d'organisation représente une « mousse de stockage » de très grande capacité. En effet, 164 m³ de méthane gazeux peuvent être contenus dans 1 m³ d'hydrate solide. La structure en forme de cage est obtenue par formation d'un réseau cristallin de molécules d'eau stabilisé grâce aux liaisons hydrogène entre les atomes d'hydrogène et les atomes d'oxygène. Le biogaz formé se stocke alors dans la structure poreuse du clathrate qui se forme dès 300 mètres dans de l'eau à 4°C (10,33 mètres de hauteur d'eau équivalent approximativement à une pression d'une atmosphère). La stabilité de l'hydrate de méthane se situe dans une zone entre 300 et 1200 mètres de profondeur. Au-dessus de cette zone, il n'y a pas assez de pression et, en dessous, la température est trop élevée du fait de l'activité de la croûte terrestre et d'une présence faible en quantité de produits de la méthanisation (Figure 4).



Figure 3. À gauche, photographie d'hydrate de méthane en flammes (© J. Pinkston & L. Stern, USGS). Ci-dessus, petite monticule de clathrates (avec léger dégazage) photographiée par 4000 m de fond dans le Golfe du Mexique (© R. MacDonald, Texas A&M University-Corpus Christi.)

Il existe différentes formes géométriques des clathrates de méthane. Les structures sont composées de cages polyédriques dont les sommets sont les atomes d'oxygène des molécules d'eau de la glace. Les cages élémentaires contiennent une seule molécule de méthane ou de CO_2 . Les cages élémentaires s'assemblent ensuite en structures plus importantes (Figure 5). Pour former le clathrate de méthane, différents facteurs doivent être réunis. Une présence d'eau, une température basse, une pression élevée et la présence d'une molécule à inclure, ici le méthane, sont nécessaires. En effet, le clathrate vide n'est pas stable en absence de sa molécule incluse. Ces conditions font que le facteur limitant est la présence en quantité suffisante de produits issus de la méthanisation.

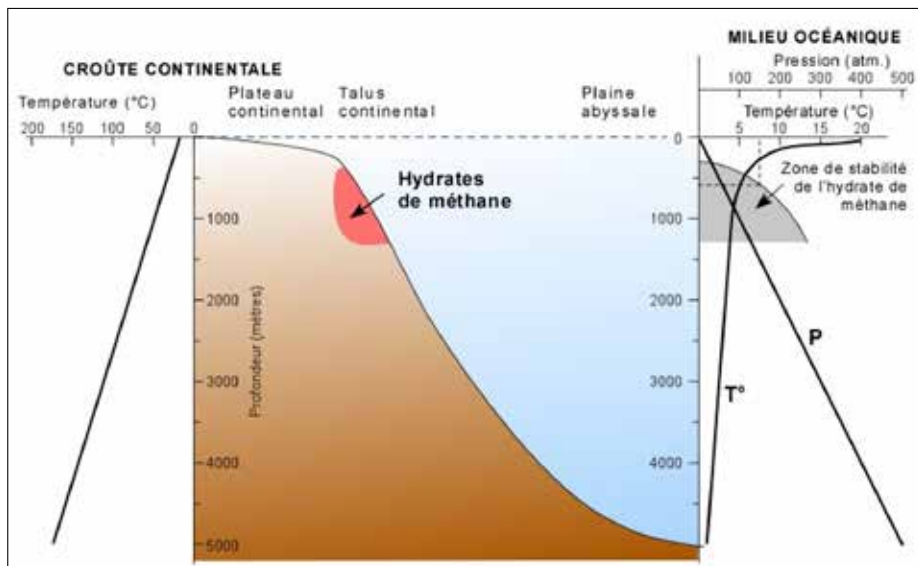


Figure 4. Zone de formation et de stabilité des hydrates de méthane (Bourque, 2010)

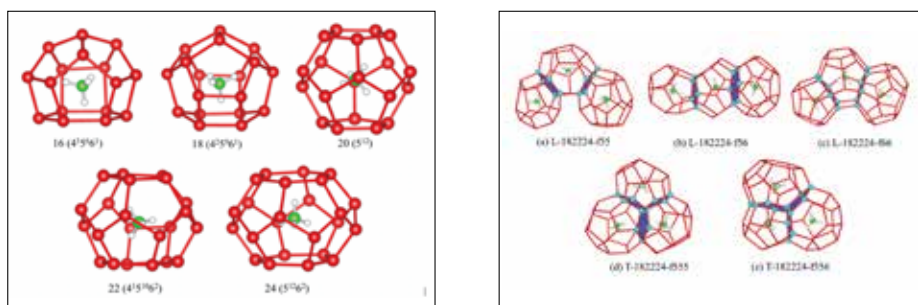


Figure 5. À gauche, configurations possibles des cages élémentaires $\text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})_n$ ($n = 16, 18, 20, 22, 24$) en solution aqueuse. Les molécules d'eaux sont stabilisées par liaison hydrogène. À droite, configurations de 5 types d'association de 3 cages élémentaires identiques ou non. Les atomes d'hydrogène ne sont pas représentés.

Ces structures constituent un puits de carbone considérable et sont une source possible d'énergie non conventionnelle. Les réserves d'hydrate de méthane sont très importantes et réparties sur tout le globe terrestre (Figure 6). L'exploitation de ces gisements n'est pas simple et est potentiellement dangereuse. En effet, une déstabilisation de quelques degrés ou une modification de la pression non contrôlée peut conduire à des événements catastrophiques. Cependant, des recherches récentes montrent que l'on peut substituer du CO₂ au méthane, ce qui constituerait une alternative durable à la non augmentation des rejets de CO₂ liés à la combustion de carburant fossile.

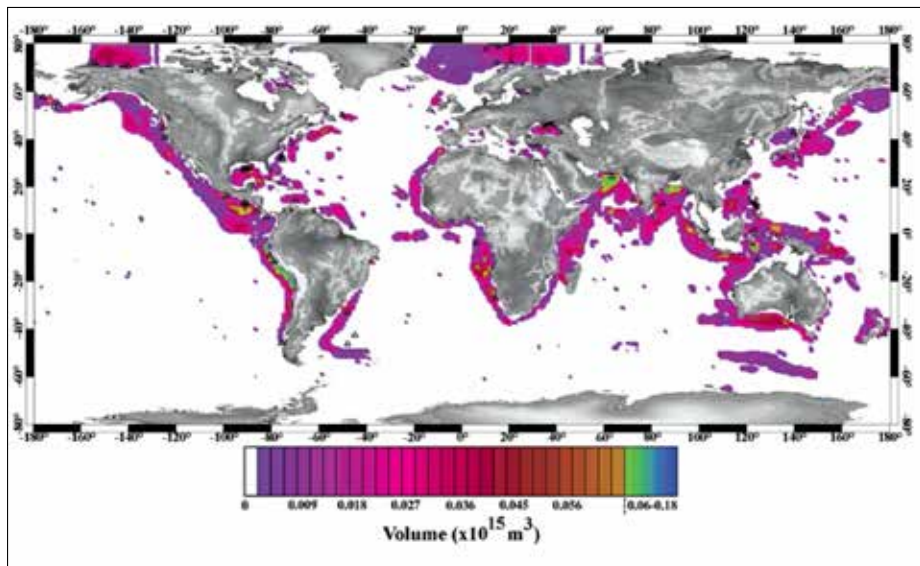


Figure 6. Répartition et volume des réserves d'hydrates de méthane (Klauda et Sandler, 2005).

Les perspectives de réserves de cette ressource sont de l'ordre de 10.000 milliards de tonnes de carbone. Par comparaison, les réserves conventionnelles (pétrole, gaz naturel, charbon) sont de l'ordre de 5.000 milliards de tonnes et les réserves de tourbe sont quant à elles évaluées à 500 milliards de tonnes. Ces réserves non conventionnelles représenteraient à elles seules 65% de l'ensemble des produits fossiles carbonés. Cette masse de méthane représente, en équivalent carbone, au moins 2 fois la quantité de CO₂ présente dans l'atmosphère aujourd'hui. Cependant le changement rapide du climat en réchauffant les océans pourrait voir des déstockages spontanés et incontrôlés aggravant encore le réchauffement climatique. Ce phénomène est déjà observable dans les réserves terrestres de même nature, c'est-à-dire dans les zones de pergélisol associées aux tourbières.

3. LA MÉTHANISATION DES ALGUES

Les algues, vertes notamment, ont déclenché par leur échouage des problèmes sur les côtes bretonnes. Apparue dans les années 60, le phénomène de marées vertes a fortement augmenté dans les années 70. Aujourd'hui encore, ce phénomène perdure et fait l'objet de recherches afin d'identifier des solutions à la prolifération des algues vertes (Prolittoral, 2008). Représentant jusqu'à 90 000 tonnes d'algues vertes échouées en 2009, ce phénomène pose problème d'un point de vue de l'image, pour le tourisme, mais également d'un point de vue sanitaire. En effet, lors de leur décomposition au soleil sur les plages, les algues vertes émettent de l'hydrogène sulfuré (H₂S) qui est un gaz dangereux pour l'homme et les animaux (Anses, 2011). Les collecti-

vités territoriales ramassent donc systématiquement ces algues afin d'éviter les risques liés à leur décomposition. Les trois appels à projet Ademe, réalisés de 2011 à 2013 dans le cadre de la lutte contre les algues vertes, ont permis de développer la valorisation de cette biomasse marine par la méthanisation et l'exportation du digestat solide. Le plan algues vertes Région Bretagne 2017-2021 met cependant de côté le volet méthanisation qui a fait l'objet de projets antérieurs, afin de notamment développer des actions préventives à la prolifération des algues vertes.

L'échouage des algues vertes sur les plages est aléatoire d'une année sur l'autre et ne peut se prédire. Comme la croissance des algues est saisonnière et liée aux conditions climatiques, leur développement varie d'une année sur l'autre. En effet, différentes conditions évolutives influent sur la croissance des algues vertes, telles que les conditions météorologiques et anthropiques des bassins versants. Si l'apport en sels nutritifs est suffisant et que l'ensoleillement est favorable, alors il y aura croissance d'algues vertes. Il est donc trop incertain de baser une filière économique sur leur seule valorisation. Néanmoins, la culture et la pêche d'autres algues marines en Bretagne sont particulièrement développées. Ces macroalgues sont généralement cultivées et ramassées en mer ou sur les rivages. Destinées à l'industrie cosmétique et agroalimentaire, elles doivent tout d'abord être lavées et transformées avant d'être commercialisées (J. Person, 2010). À la suite de leur transformation, les sous-produits restants peuvent être méthanisés. Cette valorisation reprend le principe de bioéconomie expliqué dans l'introduction. Quelques difficultés sont néanmoins à prendre en compte dans ce processus. En effet, la présence de sable et de sels est un frein à la méthanisation des algues et des sous-produits de leur extraction. Le sel peut inhiber le processus de méthanisation alors que le sable décante dans le méthaniseur, provoquant des problèmes au niveau des pompes de recirculation. Il est donc primordial de les laver avant de les méthaniser. Dans un cadre d'économie circulaire, il est important de souligner que la valorisation de la matière est prioritaire sur la valorisation énergétique.

La figure 7 décrit les différentes étapes réalisées pour la transposition de la méthanisation à l'échelle industrielle. Les manipulations en batch (procédé en discontinu) permettent de déterminer la valeur maximale de méthane potentiellement atteignable, la cinétique de la réaction et les phénomènes d'inhibition. L'étape suivante en semi-batch ou en continu permet de déterminer les paramètres opératoires tels que la charge organique appliquée, le temps de séjour hydraulique, le mélange à méthaniser et donc la proportion d'algue à incorporer dans l'alimentation du méthaniseur. Cette étape d'optimisation permet ensuite le passage à grande échelle du procédé, autrement dit à son industrialisation.



Figure 7. Scaling up de la méthanisation de macroalgues. Échelle des procédés mis en œuvre par l'IRD et ses partenaires (de gauche à droite : 15 fois 500 mL ; 2 L ; 40 L ; plusieurs milliers de m³)

Les unités de méthanisation classiques sont différenciées de celles en codigestion. En ce qui concerne la méthanisation des algues, vertes notamment, la codigestion est généralement utilisée. En effet, l'association d'un intrant comme le lisier de porc permet d'augmenter significativement le rendement de la méthanisation avec des proportions algues vertes / lisiers bien définies (Pillard, 2016). Les algues vertes ne sont pas les seules à être valorisables puisque les sous-produits de la transformation des algues peuvent également être méthanisés. La figure 8 recense les

installations de méthanisation en codigestion en Bretagne et précise les bassins versants impactés par les marées vertes. Les lieux de méthanisation en codigestion et les zones impactées par les algues vertes sont logiquement liés.

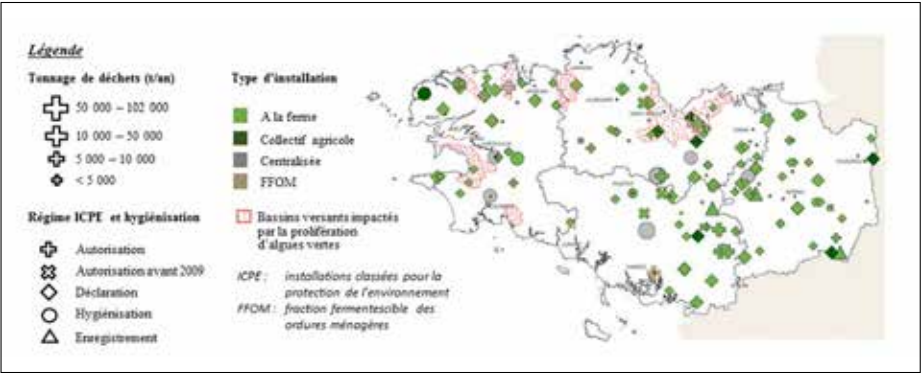


Figure 8. Carte des installations de méthanisation en codigestion en Bretagne et des zones impactées par la prolifération des algues vertes (adaptée d'Aile, 2019 et Ademe, 2010)

Comme de nombreux facteurs influencent la méthanisation des algues, les résultats peuvent changer pour une même espèce récoltée à différents moments de l'année. Les rendements en méthane peuvent varier du simple au double pour une même espèce d'algue, et d'un facteur quatre pour des espèces différentes (Tableau 1).

Espèce algale	Rendement en méthane [m ³ CH ₄ .t.MV ⁻¹]	Source
<i>Saccharina latissima</i> (algue brune)	135 – 300	G. Jard <i>et al</i> (2012)
<i>Palmaria Palmata</i> (algue rouge)	255 – 320	G. Jard <i>et al</i> (2012)
<i>Ulva sp.</i> (algue verte)	200 – 400	X. Briand et P. Morand (1997)
<i>Nannochloropsis salina</i> (microalgue)	130	A.J. Ward <i>et al</i> (2014)
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> (microalgue)	590	A.J. Ward <i>et al</i> (2014)

M.V. : matière volatile réalisée par calcination à 550°C représentant la matière organique totale contenue dans une biomasse

Tableau 1. Caractéristiques de la méthanisation de cinq espèces d'algues

Le biogaz est utilisé en tant que source énergétique et le digestat, matière organique non digérée, peut également être valorisé. La partie solide du digestat peut servir en tant qu'engrais pour l'agriculture et ainsi remplacer les engrais industriels. Sous forme solide, il est plus facilement exportable hors zone d'excédent structurel en azote, zone dont fait notamment partie la Bretagne. L'épandage du digestat se fera donc principalement hors Bretagne. Cette technique de valorisation repose sur les méthodes ancestrales de fertilisation des terres par les algues fraîches (Figure 9). Cela constitue une amélioration vis-à-vis de l'épandage sans traitement biologique des algues vertes qui engendre des difficultés liées à la salinité.



Figure 9. Épandage des algues : une méthode ancestrale utilisée de nouveau pour la dispersion du digestat de la méthanisation. À gauche : ramassage de goémon dans le Finistère dans les années 30, au centre : épandage de maërl dans les années 50, à droite : épandage mécanisé du digestat de méthanisation à notre époque.

4. LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES ÉTOILES DE MER

Pénestin est une commune française située sur la côte atlantique à l'embouchure de la Vilaine dans le département du Morbihan, en région Bretagne.

Les étoiles de mer (Astéries) dites communes (*Asterias rubens*) sont des animaux aquatiques appartenant à l'une des cinq classes d'échinodermes. Cette espèce est présente dans tout l'océan Atlantique, principalement dans le Nord et notamment en Europe. Les étoiles de mer présentent deux faces ; la face supérieure ou aborale de couleur variable (orange, brun pâle ou violette) et la face inférieure ou orale plus claire.

Depuis 2014, les professionnels de la pêche (Syndicat Conchylicole de Pénestin) tentent de maîtriser tant bien que mal l'invasion des étoiles de mer sur les zones d'élevage de coquillages (Figure 10). L'astérie rouge est un prédateur carnivore de moules, coquilles Saint-Jacques, huîtres et autres bivalves. En 2017, les éleveurs de moules de bouchot (mytiliculteurs) ont évalué des pertes de 60% dévorées par les étoiles de mer. La cause de cette invasion est le manque d'eau douce liée aux faibles précipitations et à la construction d'ouvrages sur les cours d'eau.



Figure 10. Photographies de presse illustrant l'invasion des étoiles de mer dans l'estuaire de la Vilaine (© Ouest France et © Le Télégramme)

L'Université Bretagne Sud a été contactée pour ses compétences en séchage et en méthanisation par M. Bruno Calle, co-gérant du GAEC des Moulins de Kerollet à Arzal, afin d'étudier une voie de valorisation de cette biomasse invasive. L'objet de l'étude a été d'établir la faisabilité d'une filière locale (moins de 15 km des côtes) allant de la récolte jusqu'à l'élimination de l'espèce nuisible (Figure 11). Pour cela, un schéma de procédé combinant les opérations de séchage, de broyage et de méthanisation a été identifié.



Figure 11. Récolte d'étoiles de mer sur l'estuaire de la Vilaine et possible valorisation au GAEC des Moulins de Kerollet à Arzal (Morbihan, Bretagne)

Le séchage est l'opération unitaire qui consiste à éliminer par évaporation tout ou partie d'un liquide qui imprègne un solide. Les chercheurs de l'Université Bretagne Sud développent des compétences sur un prototype de sécheur industriel qui combine un séchage par jets d'air impactants et intermittents (Boy *et al.*, 2019). L'intérêt est d'intensifier les échanges de matière entre le produit et son environnement et de limiter la consommation énergétique de l'opération. Une étude préliminaire a été réalisée à des températures modérées (40°C et 70°C) pour un chauffage et une ventilation continus. Les courbes de séchage correspondantes sont présentées sur la figure 12.

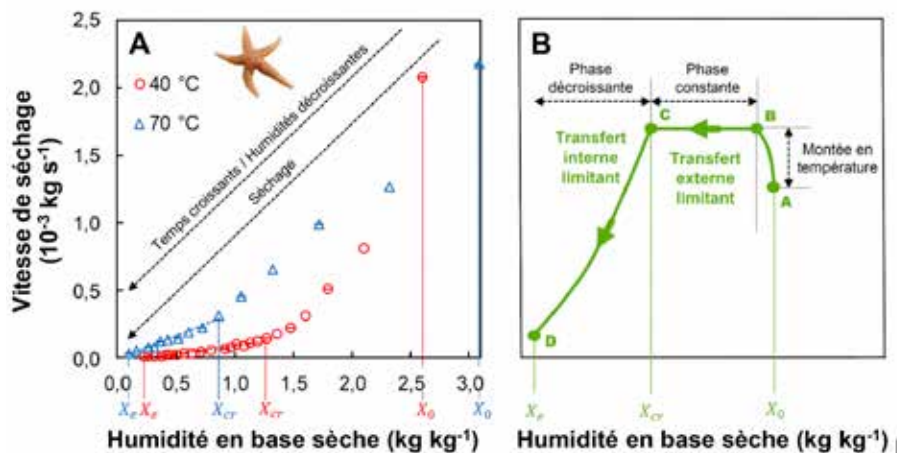


Figure 12. Vitesse de séchage en fonction de l'humidité en base sèche. Identification de plusieurs phases sur la durée de séchage. A) Courbes expérimentales obtenues à 40°C et 70°C.

B) Allure d'une courbe de séchage théorique (adapté de Charreau & Cavallé, 1995)

La vitesse de séchage correspond à la vitesse de disparition de l'eau dans le produit et l'humidité en base sèche est la masse d'eau contenue dans le produit exprimée par rapport à la matière sèche. La température a un effet positif sur la vitesse de séchage (Figure 12-A). L'allure décroissante des courbes expérimentales est identique pour les deux températures. L'allure d'une courbe théorique est donnée pour comparaison (Figure 12-B). En théorie, on admet l'existence de trois phases : la phase transitoire de montée en température du produit (AB), la phase à vitesse de séchage constante (BC) et la phase à vitesse de séchage décroissante (CD). Chaque phase permet d'identifier des humidités caractéristiques : représente l'humidité initiale du produit, est

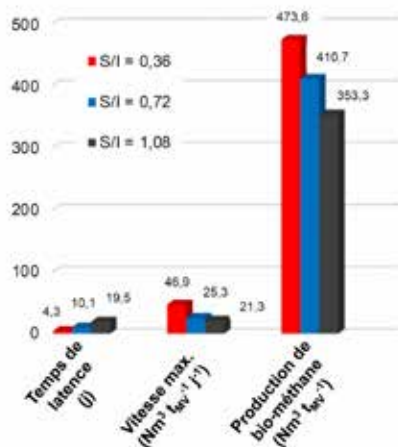
l'humidité critique à partir de laquelle le transfert de l'eau n'est plus contrôlé par la convection à l'extérieur du produit mais par la diffusion à l'intérieur de celui-ci, et est l'humidité à l'équilibre en fin de séchage. La comparaison entre l'allure théorique et expérimentale des courbes de séchage permet d'établir que, dans les conditions étudiées, la phase de séchage à vitesse constante n'est pas observable. Xiao *et al.* (2010) ont montré une tendance identique lors du séchage de raisins sans pépins par jets d'air impactants.

Afin de garantir un environnement optimal pour la méthanisation, la biomasse stabilisée a été broyée en petits fragments (2 à 5 mm). Les étoiles de mer sont très friables après séchage (Figure 13).



Figure 13. Photographies d'une étoile de mer face orale fraîche, séchée à 40°C et broyée.

Figure 14. Production de méthane à partir d'étoiles de mer séchées et broyées pour trois ratio Substrat / Inoculum (S/I) 0,36 ; 0,72 et 1,08



Les chercheurs de l'Université Bretagne Sud disposent de connaissances scientifiques et d'installations, à l'échelle du laboratoire, pour conduire des essais en réacteurs batch de méthanisation (Liu, 2019). Un mélange constitué de fragments d'étoiles de mer séchées (substrat) et d'un consortium bactérien (inoculum) issu de l'unité de méthanisation de la SEM LIGER (Locminé, Morbihan) a alimenté les réacteurs. La méthanisation a été réalisée à 37°C pour trois ratio Substrat / Inoculum (S/I) : 0,36 ; 0,72 et 1,08. La production de méthane a été suivie en fonction du temps et en batch (Figure 7) puis des paramètres caractéristiques ont été déterminés (Figure 14).

Le temps de latence correspond au délai avant de commencer la phase de production rapide de méthane. Dans les conditions étudiées, le temps de latence est élevé même pour le ratio le plus faible (4,3 jours pour S/I = 0,36). De plus, le temps de latence augmente avec le ratio S/I (Figure 14). La vitesse maximale de production de méthane et la quantité produite, diminuent lorsque le ratio S/I augmente. Ces résultats sont parfaitement cohérents entre eux. Une explication possible est la présence de molécules toxiques (telles que les saponides) susceptibles d'empoisonner le consortium microbien du réacteur. Des études complémentaires sur la mise en place de prétraitements devraient permettre d'améliorer la production de méthane. La codigestion des étoiles de mer avec d'autres substrats plus conventionnels est aussi envisageable. Une caractérisation des propriétés chimiques et physico-chimiques afin d'établir la composition biochimique détaillée des étoiles de mer pourrait permettre de mieux comprendre les mécanismes à l'origine de l'inhibition.

RÉFÉRENCES

- Ademe Bretagne, Appel à projets méthanisation dans les bassins versants bretons réalisé dans le cadre du Plan de Lutte contre les Algues Vertes, (2010), pp 1-21.
- Aile, Plan biogaz, Valorisation du biogaz en Bretagne – État des lieux au 1^{er} septembre 2019 », www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2019/09/Chiffres-et-cartes-BZH-01092019-BD.pdf, consulté le 11/10/2020.
- Anses, Saisine n° 2011-SA-0225, (2011).
- Bourque P.-A., Cours Planète Terre, Département de géologie et de génie géologique, Université de Laval, Canada, (2010).
- Boy V., Liu X., Chamaa M.-A., Lemée Y., Sabourin C., Lendormi T. et Lanoisellé, J.-L., Air impingement drying of digestate. Experimental and modelling study. *Chem. Eng. Res. Des.*, 146, (2019), pp 436-448.
- Briand X. & Morand P., Anaerobic digestion of Ulva sp. 1. Relationship between Ulva composition and methanisation, *J. Appl. Phycol.*, 9, (1997), pp 511-524.
- Charreau A. & Cavaillé R., Séchage. Théorie et calculs. *Techniques de l'Ingénieur*, J2480 V1, (1995), pp 1-23.
- Jard G., Jackowiak D., Carrère H., Delgenes J.P., Torrijos M., Steyer J.P. et Dumas C., Batch and semi-continuous anaerobic digestion of *Palmaria palmata*: Comparison with *Saccharina latissima* and inhibition studies, *Chem. Eng. J.*, 209, (2012), pp 513-519.
- Klauda, J. B., & Sandler, S. I., Global distribution of methane hydrate in ocean sediment, *Energy & Fuels*, (2005), 19, pp. 459-470.
- Li, K., Shi, R., Tang, L., Huang, Y., Cao, X., et Su, Y., Cage fusion from bi-cages to tri-cages during nucleation of methane hydrate: a DFT-D simulation, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21, (2019), pp. 9150-9158.
- Liu X., Hygiénisation par technologie électrique des déchets alimentaires en vue de leur méthanisation, Thèse de l'Université de Bretagne Sud, (2019), pp 1-235.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Une stratégie bioéconomie pour la France – Enjeux et vision (2016), pp. 1-35.
- Person J., Livre Turquoise - Algues, filières du futur, *Colloque Algues : filières du futur !* Romainville, 17-19 Novembre 2010, Adebitech (2011), pp 1-131
- Pillard S., Mise au point sur les algues vertes, Risques environnementaux et valorisations en 2016, Thèse de l'Université de Picardie Jules Verne, (2004), pp 1-74.
- Prolittoral, Bilan de la Charte d'engagement, Programme régional & interdépartemental de lutte contre les marées vertes en Bretagne, (2008), pp 1-20.
- Steyer J.-P., Utilisation des effluents organiques dans une démarche de bioraffinerie environnementale : procédés, produits et perspectives. *Colloque Apivale 2019 : Les produits résiduels organiques : ingrédients clés de la bioéconomie circulaire*, Rennes, France, 19-20 novembre 2019.
- Ward A.J., Lewis D.M. et Green F.B., Anaerobic digestion of algae biomass: A review, *Algal Res.*, 5, (2014), pp 204-214.
- Xiao H.-W., Pang C.-L., Wang L.-H., Bai J.-W., Yang W.-X. et Gao Z.-J., Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer, *Biosyst. Eng.*, 105, 2, (2010), pp 233-240.

LES MICROPLASTIQUES DANS LE MILIEU MARIN

M. Kedzierski¹, V. Le Tilly²

¹ Université Bretagne Sud, Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS 6027), 56100 Lorient, France. mikael.kedzierski@univ-ubs.fr

² Université Bretagne Sud, Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS 6027), 56000 Vannes, France. veronique.le-tilly@univ-ubs.fr

Mots-clés : microplastique ; polymère ; polluant émergent ; risque ; milieu marin

RÉSUMÉ

Les plastiques, dont l'essor a débuté vers le milieu du XX^{ème} siècle, sont des matériaux largement utilisés dans nos sociétés industrialisées. Cependant, au début des années 2000, des particules de plastique de l'ordre de la dizaine de microns, appelées « microplastiques », sont observées pour la première fois dans des échantillons d'eau de mer. Du fait de son omniprésence, le microplastique est un marqueur de l'Anthropocène. Par ailleurs, ces particules, via leurs interactions avec certaines molécules de leur environnement, peuvent être des vecteurs d'additifs toxiques ou de micropolluants. Face aux risques que représentent ces particules, il est important de pouvoir évaluer leur dangerosité pour l'homme et les écosystèmes.

ABSTRACT

Plastics, which development was initiated in the mid-20th century, are materials predominantly used by our industrialized societies. However, in the early 2000s, plastic particles of about ten microns, so-called "microplastics", were firstly observed in seawater samples. Given its ubiquity, the microplastic is an anthropogenic marker. Moreover, these particles, through their interaction with some environmental molecules, may carry over toxic additives or micropollutants. With the risks posed by these particles, it is important to be able to accurately assess their dangerousness for human health and ecosystems.

1. INTRODUCTION

Si la production industrielle de bakélite commence dès le début du XX^e siècle, ce n'est qu'à partir des années 1950 que les plastiques commencent à être produits en masse. Ces matériaux deviennent rapidement indispensables à l'économie des sociétés industrialisées et leur production s'est accrue à mesure qu'a augmenté leur demande. Ainsi, entre 1950 et 2015, la production mondiale de matières plastiques, hors fibres plastiques, est passée de 1,5 MT à 348 MT (Plastics Europe 2018).

Approximativement 50 % des plastiques sont prévus pour un usage unique (emballages agricoles ou industriels) et seulement entre 20 et 25 % pour une utilisation sur le long terme (tubes, gaines électriques) (Hopewell et al. 2009).

Ainsi, la quantité de déchets plastiques générée chaque année n'a-t-elle aussi cessé d'augmenter sur cette période. Ces déchets ne sont pas nécessairement « perdus » puisque leur valorisation est bien souvent possible. Trois principaux modes de valorisation sont généralement envisagés

pour les matières plastiques : la valorisation de la matière, la valorisation énergétique et l'utilisation comme charge (Balet & Dunod 2005)

La réutilisation de bouteilles plastiques est un bon exemple de valorisation de la matière (vêtements en laine « polaire »). Cependant, en dépit de ces possibilités de revalorisation, environ 50 % des plastiques produits ont peu de valeur. Au final, moins de 2% des déchets plastiques produits depuis les années 1950 ont été recyclés et moins de 6 % incinérés (Geyer et al. 2017).

Environ 92% de ces déchets plastiques, soit 4,9 GT, ont été enfouis ou abandonnés dans le milieu naturel (Geyer et al. 2017), avec entre 4,8 et 12,7 MT de plastiques qui finiraient chaque année dans les océans (Agamuthu et al. 2019). Ces déchets, persistants dans le temps, peuvent s'accumuler dans l'environnement et présenter des risques. Les premières mises en évidence de l'existence de particules de plastique d'une taille inférieure à quelques millimètres sont réalisées dès le début des années 1970. En 1971, des fibres synthétiques sont pour la première fois identifiées dans des prélèvements d'eau réalisés à proximité des côtes anglaises (Buchanan 1971). En 1972, des granules de préproduction industrielle, dont la taille est comprise entre 0,25 et 0,5 mm, sont identifiés en mer des Sargasses (Carpenter & Smith 1972). En 1974, les premières cartographies de l'état de pollution de surface par des plastiques de l'ordre de quelques millimètres sont publiées pour l'Atlantique nord-ouest (Colton et al. 1974) et le Pacifique (Wong et al. 1974). En 1997, la situation est telle que le navigateur Charles Moore traversant le gyre Pacifique Nord développe l'expression de « Great Pacific Garbage Patch » (« grande poubelle du Pacifique ») qui sera médiatisée en France sous le nom de « 7ème continent de plastique ». Ce n'est cependant qu'à partir de 2004 que le terme de « microplastique » est pour la première fois utilisé pour parler de ces particules de plastique dont la taille est inférieure à quelques millimètres (Thompson et al. 2004). En 2008, une limite supérieure de 5 mm est proposée pour différencier macroplastiques et microplastiques (Moore 2008). Leur présence a depuis été progressivement mise en lumière dans la plupart des milieux, au point d'en faire un des marqueurs géologiques potentiels de l'anthropocène. Le milieu marin est notamment un environnement particulièrement sensible aux pollutions par les plastiques. Beaucoup d'activités économiques liées au milieu marin dépendent fortement de sa bonne qualité. Ainsi, la présence de déchets plastiques peut avoir un effet néfaste sur des activités économiques telles que le tourisme, la pêche ou les élevages marins. Le tourisme est par exemple très sensible à la qualité esthétique des plages. La présence de déchets en période estivale entraîne généralement des plaintes auprès des autorités locales. Sur le long terme, un mauvais entretien des plages, pour une commune, revient à prendre le risque de laisser une mauvaise impression et de voir la fréquentation touristique diminuer. Pour éviter ce risque, des collectes de déchets sont souvent périodiquement organisées afin de limiter leur présence sur les plages. Bien comprendre les dynamiques et impacts des déchets plastiques est donc important. Ce chapitre se propose donc, dans un premier temps, de résumer l'état des connaissances sur la répartition des microplastiques dans le milieu marin. Ainsi, les principales sources de microplastiques seront présentées, puis leurs vecteurs dans le milieu naturel et enfin les zones où ils s'accumulent. Dans un second temps, l'impact des microplastiques sur l'environnement marin sera présenté. Ainsi, l'impact de l'ingestion par les organismes et les transferts de micropolluants entre plastiques et milieu marin seront présentés.

2. LES MICROPLASTIQUES EN MILIEU MARIN

Les pollutions des milieux marins sont en partie dues au dépôt de déchets souvent entreposés sur les continents ou, parfois directement déversés dans les océans (Ryan et al. 2009). Cependant, ces dépôts ne sont pas stables dans le temps et des déplacements d'un compartiment de l'environnement à un autre ont été observés, impliquant des mécanismes de transfert. Les plastiques peuvent alors être exportés loin de leur source. Par conséquent, étudier les pollutions par les plastiques du littoral implique de bien distinguer : les sources de la pollution, les zones et vecteurs de transfert et les zones d'accumulation. Pour certains aspects, la connaissance peut être

lacunaire. Dans ces conditions, il est parfois nécessaire d'ouvrir la discussion en s'appuyant sur les connaissances portées par des études sur des déchets plus importants en terme de taille, tels que des macroplastiques.

2.1 LES ORIGINES DES MICROPLASTIQUES PRÉSENTS EN MER

2.1.1 Les origines terrestres

Un quart environ de la population mondiale vit à moins de 100 km des côtes (Small & Nicholls 2003). C'est donc dans cet espace que se concentre une grande partie des utilisations de plastiques. Or, à l'échelle de la planète, cet espace manque souvent d'infrastructures de récupération des déchets plastiques. Ces faiblesses infrastructurelles favorisent la mauvaise gestion des déchets plastiques. Les sources terrestres sont nombreuses et même les nations dites « industrialisées » génèrent une quantité importante de déchets en plastique en dépit de leurs infrastructures. Au quotidien, de nombreux déchets liés à l'emballage sont générés et finissent dans le milieu marin. Ainsi, parmi les déchets plastiques observés sur les fonds marins de l'est de la Méditerranée, les sacs représentent entre 13 et 54 % des déchets et les bouteilles entre 7 et 17 % (Ioakeimidis et al. 2014). En fonction des conditions environnementales et des caractéristiques du plastique, des microplastiques secondaires peuvent être générés plus ou moins rapidement. Le rayonnement UV joue un rôle important dans la fragmentation des débris plastiques en favorisant notamment la photo-oxydation de la surface du plastique (Andrady 2011). La fragmentation est également modulée par la température. Ainsi, la température estivale sur les plages favorise la dégradation des déchets alors que les températures plus basses des mers, ou le développement d'organismes à la surface des plastiques, peuvent la ralentir. Il en va de même pour les plastiques déposés sur les fonds marins que les UV n'atteignent pas et où de basses températures et de faibles teneurs en oxygène ralentissent encore la dégradation (Ballerini et al. 2018). À ces facteurs externes, il est possible d'ajouter des facteurs internes, propres à la particule de plastique. Ainsi, la masse molaire, la cristallinité ou encore la présence d'additifs peuvent ralentir ou au contraire accélérer la fragmentation des plastiques.

Lorsqu'un plastique se dégrade, de nombreuses microfractures peuvent se former à sa surface (Qayyum & White 1993; Küpper et al. 2004; Yakimets et al. 2004) qui généreront à terme des microplastiques. Si les contraintes environnementales peuvent générer des microplastiques, les contraintes mécaniques exercées sur les matériaux lors de leur usage peuvent également en engendrer. Les lessives en sont un bon exemple. En 2016, une étude a estimé que plus de 700 000 fibres pouvaient être relâchées pour 6 kg de vêtements, et ce, à chaque lavage (Napper & Thompson 2016). Les fibres synthétiques générées lors des lessives sont souvent d'une taille inférieure à quelques centaines de micromètres. Les stations d'épuration n'ont donc pas toujours la capacité d'éliminer ces microplastiques (Browne et al. 2011; Leslie 2014). Les fibres synthétiques sont également observées dans l'atmosphère à la fois à l'intérieur et à l'extérieur des habitations (Dris et al. 2016; Dris et al. 2017). Dans certains cas, les microplastiques peuvent également être fabriqués intentionnellement. Ce sont par exemple les microplastiques de consommation et les microplastiques commerciaux.

Les microplastiques de consommation sont surtout représentés par les microbilles plastiques utilisées dans certains produits de beauté et d'hygiène (Figure 1). Une très large gamme de produits d'hygiène tels que les dentifrices, les shampoings ou encore les produits nettoyants pour la peau utilisent ce type de microplastiques (Leslie 2014). Dans le cas des crèmes exfoliantes, entre 4 600 et 94 500 microplastiques peuvent être libérés en une seule utilisation (Napper et al. 2015). Ces microplastiques sont également présents dans de nombreux produits de beauté ayant un effet paillette (ex. rouge à lèvres, vernis à ongles, fond de teint). La capacité d'adsorption/désorption permet à ces microparticules de libérer des parfums, des répulsifs pour insectes ou encore des filtres solaires (Leslie 2014). Elles peuvent aussi adsorber au sein du produit d'hygiène les produits de dégradation (Leslie 2014). Si elles sont, pour l'essentiel, composées de polyéthylène (Fendall &

Sewell 2009), une grande variété de plastiques différents sont utilisés dans les produits d'hygiène (ex. nylons, polyéthylène téréphthalate, polystyrène) (Leslie 2014).

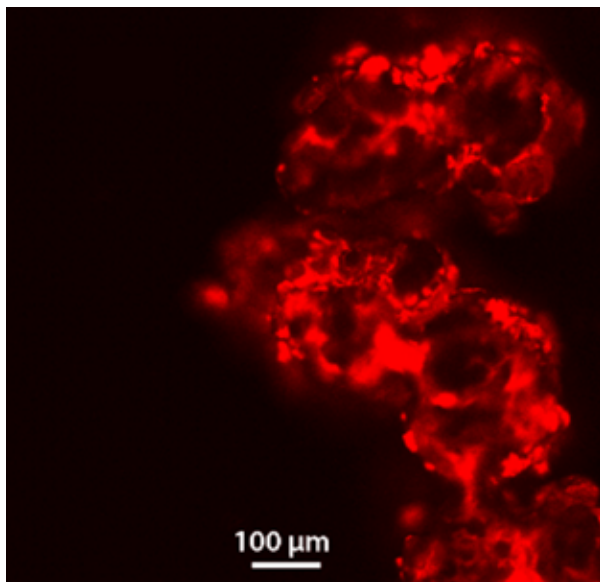


Figure 1. Microbilles plastiques (polyéthylène) utilisées comme particules exfoliantes dans des crèmes de soin pour la peau. Observation en microscopie confocale après coloration au Nile Red.

Les microplastiques commerciaux sont essentiellement des granulés plastiques industriels, aussi appelés pellets. Ceux-ci, d'une taille généralement comprise entre 2 et 5 mm, servent à la fabrication d'objets en plastique. Les contaminations du milieu naturel ont par exemple lieu lorsque ces granulés sont envoyés dans les systèmes de traitement des eaux ou lorsqu'ils sont déversés accidentellement lors de leur transport (Cole et al. 2011). Des pellets en quantités très importantes sont parfois observés à proximité des zones industrielles (Norén 2007; Antunes et al. 2013). De manière plus globale, ils sont retrouvés sur de nombreuses plages autour du monde (Fisner, Taniguchi, Moreira, et al. 2013; Ivar do Sul et al. 2013; Lee et al. 2013; Moreira, Balthazar-Silva, et al. 2016; Veerasingam et al. 2016).

2.1.2 Les origines marines

Une partie des plastiques a pour origine les activités anthropiques marines. Le matériel de pêche est l'une des catégories d'objets la plus couramment rencontrée en ce qui concerne les macroplastiques d'origine marine (Andrady 2011). Ce matériel est bien souvent perdu ou abandonné par les pêcheurs. Les activités aquacoles génèrent, de manière générale, des déchets plastiques (Cole et al. 2011). Ces déchets issus des activités conchylicoles peuvent être localement retrouvés en quantités importantes. Les poches ostréicoles, les tubes collecteurs et les coupelles plastiques, les filets tubulaires extrudés, sont des déchets associés aux activités ostréicoles et mytilicoles. Enfin, le trafic maritime est considéré comme un important contributeur de pollution marine. La convention internationale MARPOL (MARine POLLution), élaborée en 1978, reconnaît le fait que les flottes de navires sont des sources importantes de pollution de l'environnement marin (Derraik 2002). Cet accord limite le rejet en mer de déchets et interdit l'abandon de plastiques et autres matériaux synthétiques tels que des cordes, des filets de pêche et des sacs à ordures en plastique (Derraik 2002). Cependant, malgré l'accord international MARPOL, le manque de contrôle et

d'éducation (Cole et al. 2011) et les réticences vis-à-vis de changements de pratiques, qui ne sont pas sans coût économique, font encore aujourd'hui du trafic maritime une des principales sources de pollution d'origine marine (Derraik 2002).

2.2 TRANSFERTS ET ZONES D'ACCUMULATION

La faible distance entre les sources de pollution à terre et les côtes permet aux déchets en plastique, laissés libres, d'être emportés rapidement vers les littoraux, puis vers le milieu marin, sous l'action de différents vecteurs de transfert. Ainsi, une part importante des déchets plastiques observés sur le littoral provient de sources terrestres (Andrady 2011). Cependant, il est souvent difficile d'identifier les sources exactes et les modes de transfert de ces plastiques qui permettraient d'expliquer la présence de plastiques sur une plage. De manière générale, il est tout de même possible de mettre en évidence quelques voies de transfert : les systèmes d'assainissement, le ruissellement, les systèmes fluviaux, les courants marins, le vent. À ces voies et facteurs de transfert, il faut ajouter l'impact des êtres vivants sur la mobilité des plastiques dans l'environnement.

2.2.1 Le transfert des plastiques vers les environnements littoraux et marins

2.2.1.1. Transferts abiotiques

La collecte des eaux usées par les systèmes d'assainissement et leur rejet permet le transfert des microplastiques dans le milieu naturel à la fois au travers des lixiviats, mais aussi des effluents (Cole et al. 2011). Même si une part importante des particules plastiques est retenue par les stations d'épuration (Carr et al. 2016; Mason et al. 2016), les systèmes d'assainissement laissent s'échapper dans le milieu naturel une fraction des microplastiques généralement supérieure à 5% (Fendall & Sewell 2009; Leslie 2014). Les systèmes fluviaux collectent, via le ruissellement et les systèmes d'assainissement, une part importante des déchets plastiques générés à terre faisant de ces environnements d'importantes voies de transfert de ces pollutions (Gasperi et al. 2014; Sanchez et al. 2014). Arrivés sur le littoral, les plastiques sont dans un premier temps observés au niveau des estuaires (Browne et al. 2010; Zhao et al. 2014; Gallagher et al. 2016) avant d'être dispersés ou concentrés dans le milieu marin par les courants. Près des côtes, différents courants interviennent dans le déplacement des particules de plastique.

La dérive littorale est susceptible de jouer un rôle important dans le transport sélectif des particules de plastique en favorisant leur concentration près des côtes et en transportant plus au large les mésoplastiques (Isobe et al. 2014). Lorsque les courants diminuent suffisamment, les microplastiques tendent à sédimenter. Au contraire, sous l'effet de courants forts, les microplastiques à la surface des sédiments peuvent être remis en suspension dans la colonne d'eau (Critchell & Lambrechts 2016). De manière générale, l'hydrodynamisme du milieu (houle, courants) exerce un contrôle important sur les phénomènes de suspension/sédimentation. Les courants de dérive littorale favorisent également le dépôt de plastiques sur les plages (Moore et al. 2001; Ivar do Sul et al. 2009; Liebezeit & Dubaish 2012). Cependant, ce sont principalement les marées qui sont responsables des dépôts de laisses de mer sur les estrans où existe un marnage (Moreira, Prantoni, et al. 2016; Imhof et al. 2017).

A plus grande échelle, les microplastiques sont transportés par les courants océaniques et transocéaniques.

L'atmosphère est un compartiment qui a longtemps été négligé dans l'étude des microplastiques. Or, le vent est un vecteur important de plastiques légers tels que les morceaux d'emballage, les sacs ou encore les microplastiques. Ces derniers peuvent, par l'intermédiaire du transport éolien, contaminer des zones relativement éloignées des activités humaines (Free et al. 2014).

2.2.1.2 L'action des êtres vivants

L'action des organismes encroûtants ou colonisateurs peut modifier la flottabilité des plastiques et donc leur position dans la colonne d'eau (Derraik 2002) (Figure 2). La formation d'un biofilm bactérien suivie de la colonisation d'algues et d'invertébrés modifie la densité et donc la flottabilité d'un plastique (Andrady 2011; Cózar et al. 2014). Les microplastiques peuvent également être incorporés dans des agrégats de phytoplancton (Long et al. 2015) ou encore être piégés dans des fèces (Cole et al. 2016). Intégrés à la neige marine, les microplastiques peuvent sédimenter vers les fonds marins.

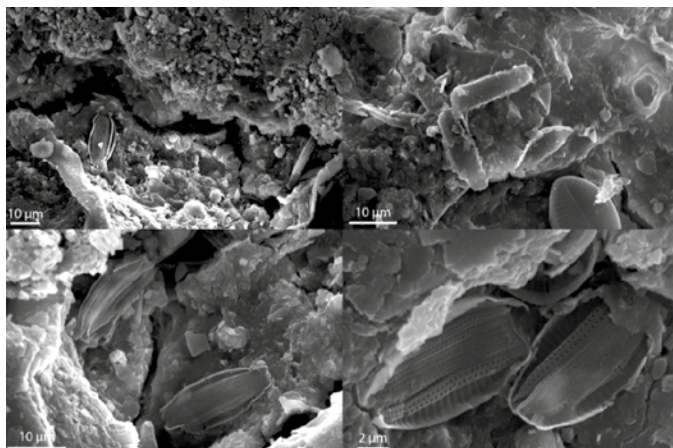


Figure 2. Colonisation par des diatomées et des bactéries des cavités d'une sphère de polystyrène expansé.

2.2.2 Accumulation de plastiques sur les plages et les sédiments

2.2.2.1 Accumulation sur les plages

Les premières observations de particules de plastique dans les sédiments remontent à la fin des années 70. Ce sont des granulés plastiques industriels qui sont les premiers répertoriés en Nouvelle-Zélande (Gregory 1977; Gregory 1978) puis au Canada et dans les Bermudes (Gregory 1983). Les concentrations répertoriées à cette période sont très importantes, de l'ordre de 1 000 à 100 000 particules par mètre linéaire de plage (Gregory 1978). De nombreuses publications ont depuis étudié la présence de ces particules sur les plages (Van Cauwenberghe et al. 2015). Les concentrations en particules sont très variables d'une étude à l'autre, variant de quelques dizaines de microplastiques (Ivar do Sul et al. 2009) à plusieurs centaines (Heo et al. 2013; Hidalgo-Ruz & Thiel 2013; Jayasiri et al. 2013), voire plusieurs centaines de milliers de particules par m² (Norén 2007; Costa et al. 2010; Kim et al. 2015). Ces hétérogénéités peuvent être dues à des différences de peuplement humain, et donc de sources, à proximité des plages. Pour autant, le lien direct, entre la présence de déchets plastiques et des zones de fortes densités humaines telles que les zones urbaines et/ou touristiques, n'est pas clairement démontré. Des hétérogénéités dans la distribution des microplastiques ont également été observées au sein même des plages (Browne et al. 2010; Heo et al. 2013). Différents mécanismes peuvent être responsables de ces hétérogénéités. Ainsi, des mécanismes de dispersion liés au vent ou au courant peuvent être responsables d'importantes hétérogénéités de répartition en fonction de la taille et de la densité des particules de plastique (Browne et al. 2010; Carson et al. 2011). Les marées peuvent quant à elles déposer ou au contraire reprendre des laisses de mer contaminées par des plastiques. Les microplastiques dont la densité est inférieure à celle de l'eau de mer peuvent ainsi avoir un mouvement pendulaire

au cours d'un cycle de marée. Les courants littoraux sont quant à eux susceptibles de ramener sur les côtes des microplastiques (Ryan et al. 2009). Enfin, la colonisation des plastiques par des organismes vivants est aussi très susceptible de modifier leur comportement en diminuant leur flottabilité (Van Cauwenberghe et al. 2013; Vandermeersch et al. 2015). Les zones abritées des vagues, c'est-à-dire dont l'énergie du milieu est faible comme les ports (Claessens et al. 2011), les lagunes (Vianello et al. 2013) ou les mangroves (Mohamed Nor & Obbard 2014), sont également favorables à la concentration des microplastiques.

2.2.2.2 À la surface des océans

Les plastiques moins denses que l'eau pouvant migrer très loin de leur point d'origine, des déchets plastiques ont été observés un peu partout à la surface des océans (Doyle et al. 2011; Cózar et al. 2014; Desforges et al. 2014; Lusher et al. 2014; Shim & Thomposon 2015; Kanhai et al. 2017). Les courants océaniques et la durée de vie importante des plastiques leur permettent de voyager pendant plusieurs années, ce qui leur permet d'atteindre des zones marines vierges d'activité humaine polluante (Ivar do Sul et al. 2009; Barnes et al. 2010). Il existe sept principales zones océaniques où se concentrent les plastiques : les cinq gyres tropicaux, la Méditerranée et la Mer de Chine. De très fortes concentrations de débris peuvent y être rencontrées (jusqu'à 334 Mparticules/km² au centre du gyre du Pacifique nord) (Moore et al. 2001). Les gyres océaniques agissent comme des pièges où s'accumulent de grandes densités de plastiques. Ce piégeage n'est cependant pas définitif. Des perturbations climatiques telles que les cyclones peuvent impacter temporairement les gyres et libérer une grande quantité de déchets hors du gyre.

Au total, les quantités de plastiques présentes dans les océans seraient comprises entre 7 et 250 kT selon différentes études (Cózar et al. 2014; Eriksen et al. 2014; van Sebille et al. 2015). Ainsi, 51 000 milliards de particules de plastiques seraient présentes dans les océans (van Sebille et al. 2015). La comparaison des prédictions de pollution par les plastiques dans le milieu naturel et des observations réalisées met en évidence un écart important. Cózar et ses collaborateurs ont réalisé un important travail à ce sujet (Cózar et al. 2014). Leur estimation des quantités de plastiques dans les océans, réalisée à partir des prélèvements en mer donne un résultat de l'ordre de 7 à 35 kT soit des quantités sept fois moindres que d'autres estimations (Van Sebille et al. 2015). Cette même étude met également en évidence une « disparition » de certaines gammes de taille des plastiques flottant à la surface des mers. Il est très probable qu'un ensemble de processus (ex. désagrégation rapide des microplastiques, sédimentation des microplastiques en lien avec le bio-fouling) soit à l'origine du phénomène des plastiques « manquants ». Par ailleurs, de nombreuses incertitudes, liées par exemple au faible nombre d'échantillonnages au regard de la surface des océans, font que les marges d'erreur sur les quantités de plastiques réellement présentes dans les océans sont importantes.

2.2.2.3 Dans la colonne d'eau

La présence de plastiques à tous les niveaux de la colonne d'eau démontre que les plastiques n'ont pas tous le même comportement. Cette distribution dans la colonne d'eau dépend notamment de la flottation du plastique. Lorsque celle-ci est positive, les plastiques sont observés à la surface de l'eau (Moore 2008; Collignon et al. 2012; Collignon et al. 2014; de Lucia et al. 2014). Lorsque la flottation est neutre, le plastique se déplace entre les fonds océaniques et la surface. Ces déplacements verticaux sont grandement influencés par des facteurs extérieurs comme l'hydrodynamisme, surtout si les plastiques se situent au niveau de la couche de surface. Le passage de tempêtes redistribue de manière temporaire (quelques heures à quelques jours) les microplastiques dans la colonne d'eau (Kukulka et al. 2012). Enfin, si leur flottaison est négative, alors les plastiques sont retrouvés sur les fonds marins (Derraik 2002).

2.2.2.4 Au fond des océans

De manière générale, des déchets anthropiques sont observés dans la plupart des fonds sous-marins, des plateformes continentales aux dorsales océaniques en passant par les pentes continentales, les canyons sous-marins ou encore les monts sous-marins (Pham et al. 2014). Parmi ces déchets, les matières plastiques dominent largement (Lee et al. 2013; Pham et al. 2014). Des microplastiques ont également été observés sur les fonds océaniques. Ainsi, même à 5000 m de profondeur, des concentrations en microplastiques pouvant atteindre jusqu'à 5000 particules/m² ont été observées (Van Cauwenberghe et al. 2013; Fischer et al. 2015).

2.2.2.5 La chaîne alimentaire contaminée à tous les niveaux

La présence de particules de plastique à l'intérieur d'organismes vivants est plutôt bien documentée. L'ingestion de microparticules de plastique est le principal mode de contamination. Du fait de leur petite taille, de leur très grand nombre et de leur ubiquité dans l'environnement, les microplastiques ont une probabilité non négligeable d'être ingérés de manière active ou passive par des organismes marins (Wright et al. 2013). La taille des microplastiques, similaire à celle des sédiments et des organismes planctoniques, les rend biodisponibles pour un grand nombre d'organismes. Des cas d'ingestion de plastiques sont observés pour plus de 250 espèces (Laist 1997). Ces plastiques, une fois ingérés, risquent de se bioaccumuler et, au long de la chaîne alimentaire, d'être bioamplifiés (Wright et al. 2013; Setälä et al. 2014). Cette capacité d'accumulation le long de la chaîne alimentaire est cependant restreinte par la capacité qu'ont beaucoup d'organismes à excréter ces particules (Watts et al. 2015).

3. LES POLLUTIONS PAR LES MICROPLASTIQUES : UNE MENACE POUR L'ENVIRONNEMENT ?

Les microplastiques ont envahi tous les environnements marins de la planète. Il résulte de cette exposition qu'un nombre important d'espèces est en contact direct avec ces déchets (Wright et al. 2013) and potentially also the nano-scale, are widespread in the environment. Microplastics have accumulated in oceans and sediments worldwide in recent years, with maximum concentrations reaching 100 000 particles m⁻³. Afin de mieux caractériser les risques qui peuvent en résulter, trois principaux axes de recherche se développent actuellement : (i) les interactions entre organismes vivants et microplastiques ; (ii) l'impact des plastifiants ; (iii) la contamination croisée avec d'autres polluants.

3.1 IMPACT DE L'INGESTION

L'ingestion de nanoplastiques ou de microplastiques par des organismes planctoniques est susceptible d'affecter un large ensemble de fonctions telles que la reproduction, la croissance (Besseling et al. 2014) ou encore le comportement alimentaire (Cole et al. 2015) function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*.», »type»: »article-journal», »volume»: »49», »uris»: [«<http://www.mendeley.com/documents/?uuid=9bcb7e11-6ca7-4b42-9e74-5003f6323657>»]], »mendeley »: {«formattedCitation»: »(Cole et al. 2015. L'ingestion de microplastiques a un coût énergétique pour les organismes (Watts et al. 2015)» ISBN: »1520-5851 (Electronic. Ce coût peut se traduire par une diminution de la croissance, de la reproduction et de la santé de l'organisme (Sussarellu et al. 2016). L'exposition de l'huître japonaise à des concentrations élevées de microplastiques a démontré leur impact négatif sur le comportement alimentaire et la reproduction des adultes ainsi que sur la croissance des juvéniles (Sussarellu et al. 2016). Après avoir été ingérées ou respirées, le temps nécessaire pour que les particules de plastique soient entièrement éliminées de l'organisme est fonction de la voie de contamination. Ainsi, chez le crabe (*Carcinus maenas*) les plastiques sont excrétés plus rapidement lorsqu'ils sont passés par le système digestif (14 jours)

que par le système respiratoire (21 jours) (Watts et al. 2015)» ISBN»: 1520-5851 (Electronic. Cependant, le faible risque de bioaccumulation de microplastiques rend le transfert le long des chaînes trophiques moins probable.

3.2 IMPACT DES ADDITIFS

Certains additifs présents dans les plastiques induisent des risques importants pour l'environnement et la santé. C'est par exemple le cas du DEHP, un plastifiant couramment utilisé dans le PVC. La désorption de perturbateurs endocriniens au cours du vieillissement a ainsi été mise en évidence pour ce type de plastique (Kedzierski et al. 2018). Le risque pour les organismes associés à l'ingestion de plastiques additivés avec ce type de molécules a été très peu étudié. Or, l'ingestion de microplastiques par des organismes vivants pourrait constituer une voie d'entrée pour ces additifs. Ce type de transfert pourrait cependant être très secondaire par rapport au transfert de micropolluants se produisant entre une proie ingérée et son prédateur.

3.3 CONTAMINATION DES MICROPLASTIQUES PAR D'AUTRES POLLUANTS

Les microplastiques possèdent un rapport surface sur volume élevé. Cette caractéristique facilite l'adsorption de polluants présents dans l'eau tels que les métaux (Holmes et al. 2012; Holmes et al. 2014; Boucher et al. 2016; Brennecke et al. 2016), les perturbateurs endocriniens (Fossi et al. 2012; Fossi et al. 2014) ou encore les polluants organiques persistants (Rios et al. 2007; Bakir et al. 2012; Lee et al. 2013).

3.3.1 Métaux lourds

Les métaux lourds, tels que ceux utilisés comme antifouling (Cu et Zn) présentent une affinité élevée pour les microplastiques et peuvent être rapidement adsorbés (Brennecke et al. 2016). L'adsorption de métaux lourds peut être très rapide puisqu'en seulement huit semaines, de l'aluminium, du fer, du manganèse, du cuivre, du plomb, du zinc et de l'argent ont été adsorbés par des granules plastiques industriels placés dans l'eau d'un port (Ashton et al. 2010). Au contraire, d'autres tests menés sur un an dans le milieu marin sur différents plastiques ont montré une augmentation très progressive en métaux lourds sur cette période (Rochman et al. 2014). Cette capacité d'échange avec le milieu naturel peut être modifiée par le vieillissement du microplastique et sa colonisation par des organismes vivants. Ainsi, le vieillissement, en augmentant la surface d'échange et le développement de nouveaux sites anioniques actifs, accroît significativement la capacité d'adsorption du plastique (Holmes et al. 2012; Holmes et al. 2014).

3.3.2 Molécules organiques

Les microplastiques peuvent également être contaminés par de nombreuses molécules organiques hydrophobes (Rios et al. 2007). Parmi ces molécules organiques, les polluants organiques persistants (POP) sont la classe la plus couramment rencontrée. Les plastiques peuvent en effet être, tout comme pour les métaux lourds, des pièges à POP (Rios et al. 2007). Des molécules comme le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) peuvent ainsi être observées dans certains microplastiques prélevés en mer (Rios et al. 2007; Frias et al. 2010). Le DDT est l'un des insecticides les plus utilisés dans le monde. Il est connu pour s'accumuler de manière importante dans les poissons, et se bioaccumuler le long de la chaîne alimentaire. La présence de polychlorobiphényles (PCB) dans des microplastiques est également bien documentée (Frias et al. 2010). Ces molécules appartiennent également à la famille des POPs et ont longtemps été utilisées pour leurs propriétés isolantes (Chèvre et al. 2011). Certaines de ces molécules sont des cancérogènes et/ou des perturbateurs endocriniens. Des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont

également été détectés au sein de plastiques (Frias et al. 2010; Fisner, Taniguchi, Majer, et al. 2013; Fisner, Taniguchi, Moreira, et al. 2013). Ces molécules, issues de la combustion incomplète de matière organique (Leoz-Garziandia et al. 2000; Chèvre et al. 2011), peuvent être toxiques, cancérogènes et mutagènes (Leoz-Garziandia et al. 2000). L'étude de gobies communs juvéniles (*Pomatoschistus microps*) soumis à la fois à des microplastiques (PE) et un HAP (pyrène) a montré l'existence d'effets toxiques combinés (Oliveira et al. 2013).

4. CONCLUSION

Les sources de microplastiques sont nombreuses. Si certains microplastiques sont conçus par l'être humain (microbilles exfoliantes, pellets), la plupart sont issus de la dégradation de macroplastiques (sacs) ou d'objets complexes (peintures, vêtements) sous l'effet des conditions d'utilisation ou d'exposition à l'environnement. À partir de leur source, les microplastiques peuvent être transférés vers le littoral via le ruissellement, le transport éolien ou encore les systèmes fluviaux. Arrivée à un estuaire, la particule, en fonction de ses propriétés physico-chimiques, soit sédimentera sur les fonds marins, soit flottera en surface. Des vecteurs comme le vent, les courants marins ou la houle peuvent provoquer des échouages de microplastiques sur les plages ou au contraire leur remise en circulation dans le milieu marin. Au bout d'un certain temps en mer, des changements physico-chimiques ou l'encroûtement du plastique par des organismes vivants peuvent provoquer la sédimentation de la particule. Une augmentation de l'hydrodynamique du milieu est susceptible de remettre en suspension le microplastique. Les interactions directes entre les plages et les fonds sous-marins sont mal connues en ce qui concerne les microplastiques. Il est probable que des processus classiques d'érosion et d'accrétion des plages ont également un impact sur le comportement des microplastiques. Enfin, les microplastiques à la surface de la mer peuvent être transportés par les courants océaniques très loin de leur source. Ces microplastiques sont en interaction avec les êtres vivants et les micropolluants présents dans le milieu naturel. Les risques pour les écosystèmes, notamment en lien avec les processus d'adsorption-désorption d'additifs ou de micropolluants, restent difficiles à cerner. En effet, la dynamique des diverses pollutions est complexe. Il est désormais particulièrement important de pouvoir évaluer de manière précise le degré de pollution des différents compartiments par les microplastiques, et leur dangerosité pour l'Homme et les écosystèmes. Ces éléments sont en effet indispensables pour pouvoir proposer les moyens les mieux adaptés pour remédier à ces pollutions.

RÉFÉRENCES

- Alamutu P, Mehran SB, Norkhairah A, Norkhairiyah A. 2019. Marine debris: A review of impacts and global initiatives. *Waste Manag Res* [Internet]. 37 :987–1002. Available from: <https://doi.org/10.1177/0734242X19845041>
- Andrady AL. 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 62:1596–1605. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X11003055>
- Antunes JC, Frias JGL, Micaelo AC, Sobral P. 2013. Resin pellets from beaches of the Portuguese coast and adsorbed persistent organic pollutants. *Estuar Coast Shelf Sci* [Internet]. 130:62–69. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272771413002941>
- Ashton K, Holmes L, Turner A. 2010. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 60:2050–2055. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X10003206>
- Bakir A, Rowland SJ, Thompson RC. 2012. Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 64 :2782–2789. Available from : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X12004602>
- Balet J-M, Dunod. 2005. Aide-mémoire : gestion des déchets. [place unknown].
- Barnes DKA, Walters A, Gonçalves L. 2010. Macroplastics at sea around Antarctica. *Mar Environ Res* [Internet]. 70 :250–252. Available from : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141113610000735>
- Besseling E, Wang B, Lüring M, Koelmans A. 2014. Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environ Sci Technol*. 48:12336–12343.
- Boucher C, Morin M, Bendell LI. 2016. The influence of cosmetic microbeads on the sorptive behavior of cadmium and lead within intertidal sediments: A laboratory study. *Reg Stud Mar Sci* [Internet]. 3:1–7. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485515300025>
- Brennecke D, Duarte B, Paiva F, Caçador I, Canning-Clode J. 2016. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuar Coast Shelf Sci* [Internet]. 178:189–195. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027277141530158X>
- Browne MA, Galloway TS, Thompson RC. 2010. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environ Sci Technol*. 44 :3404–3409.
- Buchanan JB. 1971. Pollution by synthetic fibres. *Mar Pollut Bull*. 2 :23.
- Carpenter EJ, Smith KL. 1972. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science* [Internet]. 175 :2–4. Available from : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5061243>
- Carr SA, Liu J, Tesoro AG. 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res* [Internet]. 91:174–182. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26795302>
- Carson HS, Colbert SL, Kaylor MJ, McDermid KJ. 2011. Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 62:1708–1713. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X11003079>
- Van Cauwenberghe L, Claessens M, Vandegehuchte MB, Mees J, Janssen CR. 2013. Assessment of marine debris on the Belgian Continental Shelf. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 73:161–169. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13002737>
- Van Cauwenberghe L, Devriese L, Galgani F, Robbens J, Janssen CR. 2015. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Mar Environ Res* [Internet]. 111 :5–17. Available from : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26095706>
- Chèvre N, Erkman S. 2011. *Alerte aux micropolluants : Pesticides, biocides, détergents, médicaments et autres substances chimiques dans l'environnement*. Presse polytechniques et universitaires romandes. [place unknown].
- Claessens M, Meester S De, Landuyt L Van, Clerck K De, Janssen CR. 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 62:2199–2204. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X11003651>
- Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 62:2588–2597. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X11005133>

- Cole M, Lindeque PK, Fileman ES, Halsband C, Galloway TS. 2015. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ Sci Technol*. 49:1130–1137.
- Cole MM, Lindeque PK, Fileman EE, Clark JJ, Lewis CC, Halsband CC, Galloway TS. 2016. Microplastics Alter the Properties and Sinking Rates of Zooplankton Faecal Pellets. *Environ Sci Technol*. 50 :3239–3246.
- Collignon A, Hecq J-H, Galgani F, Collard F, Goffart A. 2014. Annual variation in neustonic micro- and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean–Corsica). *Mar Pollut Bull* [Internet]. 79:293–298. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13007248>
- Collignon A, Hecq J-H, Galgani F, Voisin P, Collard F, Goffart A. 2012. Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 64:861–864. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X12000343>
- Colton JB, Knapp FD, Burns BR. 1974. Plastic particles in surface waters of the Northwestern Atlantic. *Science* (80-) [Internet]. 185 :491–497. Available from : <http://science.sciencemag.org/content/sci/185/4150/491.full.pdf>
- Costa MF, Ivar do Sul OS, Silva-Cavalcanti JS, Araujo MC, Spengler A, Tourinho OS. 2010. On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. *Environ Monit Assess*. 168:299–304.
- Cózar A, Echevarría F, González-Gordillo JI, Irigoien X, Úbeda B, Hernández-León S, Palma ÁT, Navarro S, García-de-Lomas J, Ruiz A, et al. 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 111:10239–10244. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4104848/>
- Critchell K, Lambrechts J. 2016. Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes? *Estuar Coast Shelf Sci* [Internet]. 171:111–122. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771416300361>
- Derraik JGB. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 44:842–852. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X02002205>
- Desforges J-PW, Galbraith M, Dangerfield N, Ross PS. 2014. Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 79:94–99. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13007741>
- Doyle MJ, Watson W, Bowlin NM, Sheavly SB. 2011. Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean. *Mar Environ Res* [Internet]. 71 :41–52. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21093039>
- Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borror JC, Galgani F, Ryan PG, Reisser J. 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One* [Internet]. 9:e111913. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Fendall LS, Sewell MA. 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 58:1225–1228. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X09001799>
- Fischer V, Elsner NO, Brenke N, Schwabe E, Brandt A. 2015. Plastic pollution of the Kuril–Kamchatka Trench area (NW Pacific). *Deep Sea Res Part II Top Stud Oceanogr* [Internet]. 111:399–405. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0967064514002173>
- Fisner M, Taniguchi S, Majer AP, Bicego MC, Turra A. 2013. Concentration and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plastic pellets: Implications for small-scale diagnostic and environmental monitoring. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 76:349–354. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13005961>
- Fisner M, Taniguchi S, Moreira F, Bicego MC, Turra A. 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plastic pellets: Variability in the concentration and composition at different sediment depths in a sandy beach. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 70:219–226. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13001483>
- Fossi MC, Coppola D, Baini M, Giannetti M, Guerranti C, Marsili L, Panti C, de Sabata E, Clò S. 2014. Large filter feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment: The case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar Environ Res* [Internet]. 100 :17–24. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141113614000373>

- Fossi MC, Panti C, Guerranti C, Coppola D, Giannetti M, Marsili L, Minutoli R. 2012. Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar Pollut Bull* [Internet]. 64:2374–2379. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X12004122>
- Free CM, Jensen OP, Mason SA, Eriksen M, Williamson NJ, Boldgiv B. 2014. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 85:156–163. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14003622>
- Frias JPGL, Sobral P, Ferreira AM. 2010. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 60:1988–1992. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X1000336X>
- Gallagher A, Rees A, Rowe R, Stevens J, Wright P. 2016. Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: An initial assessment. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 102 :243–249. Available from : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25908488>
- Gasperi J, Dris R, Bonin T, Rocher V, Tassin B. 2014. Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine River. *Environ Pollut* [Internet]. 195 :163–166. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749114003807>
- Geyer R, Jambeck JR, Law KL. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv* [Internet]. 3 :e1700782. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5517107/> Gregory MR. 1977. Plastic pellets on New Zealand beaches. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 8:82–84. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0025326X7790193X>
- Gregory MR. 1978. Accumulation and distribution of virgin plastic granules on New Zealand beaches. *New Zeal J Mar Freshw Res* [Internet]. 12:399–414. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/00288330.1978.9515768>
- Gregory MR. 1983. Virgin plastic granules on some beaches of Eastern Canada and Bermuda. *Mar Environ Res* [Internet]. 10 :73–92. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014113683900119>
- Heo NW, Hong SH, Han GM, Hong S, Lee J, Song YK, Jang M, Shim WJ. 2013. Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on Heungnam beach, South Korea. *Ocean Sci J* [Internet]. 48:225–233. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s12601-013-0019-9>
- Hidalgo-Ruz V, Thiel M. 2013. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Mar Environ Res* [Internet]. 87–88 :12–18. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014113613000445>
- Holmes LA, Turner A, Thompson RC. 2012. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environ Pollut* [Internet]. 160 :42–48. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749111005057>
- Holmes LA, Turner A, Thompson RC. 2014. Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. *Mar Chem* [Internet]. 167 :25–32. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304420314001017>
- Hopewell J, Dvorak R, Kosior E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* [Internet]. 364 :2115–2126. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873020/>
- Imhof HK, Sigl R, Brauer E, Feyl S, Giesemann P, Klink S, Leupolz K, Loder MG, Loschel LA, Missun J, et al. 2017. Spatial and temporal variation of macro-, meso- and microplastic abundance on a remote coral island of the Maldives, Indian Ocean. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 116:340–347. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28109654>
- Isobe A, Kubo K, Tamura Y, Kako S, Nakashima E, Fujii N. 2014. Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 89:324–330. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1400650X>
- Ivar do Sul JA, Costa MF, Barletta M, Cysneiros FJA. 2013. Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 75:305–309. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X1300427X>
- Ivar do Sul JA, Spengler Â, Costa MF. 2009. Here, there and everywhere. Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic). *Mar Pollut Bull*. 58:1236–1238.
- Jayasiri HB, Purushothaman CS, Vennila A. 2013. Quantitative analysis of plastic debris on recreational beaches in Mumbai, India. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 77:107–112. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13006450>

- Kanhai LDK, Officer R, Lyashevskaya O, Thompson RC, O'Connor I. 2017. Microplastic abundance, distribution and composition along a latitudinal gradient in the Atlantic Ocean. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 115 :307–314. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X16310116>
- Kedzierski M, D'Almeida M, Magueresse A, Le Grand A, Duval H, César G, Sire O, Bruzard S, Le Tilly V. 2018. Threat of plastic ageing in marine environment. Adsorption/desorption of micropollutants. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 127:684–694. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29475712>
- Kim I-S, Chae D-H, Kim S-K, Choi S, Woo S-B. 2015. Factors Influencing the Spatial Variation of Microplastics on High-Tidal Coastal Beaches in Korea. *Arch Environ Contam Toxicol* [Internet]. 69:299–309. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-015-0155-6>
- Kukulka T, Proskurowski G, Moré-Ferguson S, Meyer DW, Law KL. 2012. The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophys Res Lett* [Internet]. 39:n/a-n/a. Available from: <http://dx.doi.org/10.1029/2012GL051116>
- Laist DW. 1997. Impacts of Marine Debris: Entanglement of Marine Life in Marine Debris Including a Comprehensive List of Species with Entanglement and Ingestion Records. In: Coe JM, Rogers DB, editors. *Mar Debris Sources, Impacts, Solut* [Internet]. New York, NY: Springer New York; p. 99–139. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4613-8486-1_10
- Lee J, Hong S, Song YK, Hong SH, Jang YC, Jang M, Heo NW, Han GM, Lee MJ, Kang D, Shim WJ. 2013. Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 77 :349–354. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13004657>
- Leoz-Garziandia E, Bocquet N, Marliere M, Lacroix G. 2000. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans l'air ambiant (HAP). INERIS, editor. [place unknown]: Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.
- Leslie HA. 2014. *Review of Microplastics in Cosmetics* [Internet]. Available from: [http://ivm.vu.nl/en/Images/Plastic ingredients in Cosmetics 07-2014 FINAL_tcm53-409704.pdf](http://ivm.vu.nl/en/Images/Plastic%20ingredients%20in%20Cosmetics%2007-2014%20FINAL_tcm53-409704.pdf)
- Liebezeit G, Dubaish F. 2012. Microplastics in beaches of the East Frisian islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bull Environ Contam Toxicol* [Internet]. 89 :213–217. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22526995>
- Long M, Moriceau B, Gallinari M, Lambert C, Huvet A, Raffray J, Soudant P. 2015. Interactions between microplastics and phytoplankton aggregates: Impact on their respective fates. *Mar Chem* [Internet]. 175:39–46. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304420315000766>
- de Lucia GA, Caliani I, Marra S, Camedda A, Coppa S, Alcaro L, Campani T, Giannetti M, Coppola D, Cicero AM, et al. 2014. Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the western Sardinian coast (Central-Western Mediterranean Sea). *Mar Environ Res* [Internet]. 100 :10–16. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113614000725>
- Lusher AL, Burke A, O'Connor I, Officer R. 2014. Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: Validated and opportunistic sampling. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 88:325–333. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X14005530>
- Mason SA, Garneau D, Sutton R, Chu Y, Ehmann K, Barnes J, Fink P, Papazissimos D, Rogers DL. 2016. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environ Pollut* [Internet]. 218 :1045–1054. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116309629>
- Mohamed Nor NH, Obbard JP. 2014. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 79 :278–283. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X13007261>
- Moore CJ. 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environ Res* [Internet]. 108 :131–139. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001393510800159X>
- Moore CJ, Moore SL, Leecaster MK, Weisberg SB. 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 42:1297–1300. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X0100114X>
- Moreira FT, Balthazar-Silva D, Barbosa L, Turra A. 2016. Revealing accumulation zones of plastic pellets in sandy beaches. *Environ Pollut* [Internet]. 218 :313–321. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116305681>

- Moreira FT, Prantoni AL, Martini B, de Abreu MA, Stoiev SB, Turra A. 2016. Small-scale temporal and spatial variability in the abundance of plastic pellets on sandy beaches: Methodological considerations for estimating the input of microplastics. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 102:114–121. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26677755>
- Norén F. 2007. Mikroskopiska plastpartiklar i västerhavet, en pilotstudie över förekomst. [place unknown].
- Oliveira M, Ribeiro A, Hylland K, Guilhermino L. 2013. Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). *Ecol Indic* [Internet]. 34:641–647. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X13002501>
- Pham CK, Ramirez-Llodra E, Alt CHS, Amaro T, Bergmann M, Canals M, Company JB, Davies J, Duineveld G, Galgani F, et al. 2014. Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins [Internet]. Belgium, Europe. Available from: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.ftunivgent.oai.archive.ugent.be.5673978&lang=fr&site=eds-live>
- PlasticsEurope. 2018. Plastics - the Facts 2018. [place unknown].
- Rios LM, Moore C, Jones PR. 2007. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 54:1230–1237. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X07001324>
- Rochman CM, Hentschel BT, The SJ. 2014. Long-Term Sorption of Metals Is Similar among Plastic Types: Implications for Plastic Debris in Aquatic Environments. *PLoS One* [Internet]. 9:e85433. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3893203/>
- Ryan PG, Moore CJ, van Franeker JA, Moloney CL. 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* [Internet]. 364:1999–2012. Available from: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspb.2008.0207>
- Sanchez W, Bender C, Porcher J-M. 2014. Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence. *Environ Res* [Internet]. 128 :98–100. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935113001886>
- van Sebille E, Wilcox C, Lebreton L, Maximenko N, Hardesty BD, van Franeker JA, Eriksen M, Siegel DJ, Galgani F, Law KL. 2015. A global inventory of small floating plastic debris. *Environ Res Lett* [Internet]. 10:124006. Available from: <http://stacks.iop.org/1748-9326/10/i=12/a=124006>
- Setälä O, Fleming-Lehtinen V, Lehtiniemi M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollut* [Internet]. 185 :77–83. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749113005411>
- Shim WJ, Thompson RC. 2015. Microplastics in the Ocean. *Arch Environ Contam Toxicol* [Internet]. 69:265–268. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26329498>
- Sussarellu R, Suquet M, Thomas Y, Lambert C, Fabioux C, Pernet ME, Le Goic N, Quillien V, Mingant C, Epelboin Y, et al. 2016. Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 113:2430–2435. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26831072>
- Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, McGonigle D, Russell AE. 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* (80-) [Internet]. 304:838. Available from: <http://www.sciencemag.org/content/304/5672/838.short>
- Vandermeersch G, Van Cauwenberghe L, Janssen CR, Marques A, Granby K, Fait G, Kotterman MJ, Diogene J, Bekaert K, Robbins J, Devriese L. 2015. A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms. *Environ Res* [Internet]. 143:46–55. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26249746>
- Veerasingam S, Saha M, Suneel V, Vethamony P, Rodrigues AC, Bhattacharyya S, Naik BG. 2016. Characteristics, seasonal distribution and surface degradation features of microplastic pellets along the Goa coast, India. *Chemosphere* [Internet]. 159 :496–505. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516308141>
- Vianello A, Boldrin A, Guerriero P, Moschino V, Rella R, Sturaro A, Da Ros L. 2013. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuar Coast Shelf Sci* [Internet]. 130:54–61. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272771413001480>
- Watts AJ, Urbina MA, Corr S, Lewis C, Galloway TS. 2015. Ingestion of Plastic Microfibers by the Crab *Carcinus maenas* and Its Effect on Food Consumption and Energy Balance. *Environ Sci Technol* [Internet]. 49 :14597–14604. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26529464>

- Wong CS, Green DR, Cretney WJ. 1974. Quantitative tar and plastic waste distributions in the Pacific Ocean. *Nature* [Internet]. 247:30–32. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0015981874&doi=10.1038%2F247030a0&partnerID=40&md5=0d826525f2ca6b7dc7e9fb9f321172e8>
- Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environ Pollut* [Internet]. 178 :483–492. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/23545014>
- Zhao S, Zhu L, Wang T, Li D. 2014. Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 86:562–568. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X14004123>

⋮ PARTIE 5

**LE TOURISME
DU LITTORAL ET DES ÎLES :
DES OPPORTUNITÉS
ÉCONOMIQUES ET SOCIALES
QUESTIONNÉES PAR
LES DÉFIS DE L'HYPER
CROISSANCE TOURISTIQUE**



PANORAMA DES DÉFIS DU TOURISME FACE AUX SPÉCIFICITÉS DES ZONES INSULAIRES ET LITTORALES

C. Petr¹, C. Mahéo²

¹. Université Bretagne Sud, Laboratoire d'Economie et de Gestion de l'Ouest (EA 2652), Institut de Management de l'UBS, DSEG, Campus de Tohannic, 56 000 Vannes, France. christine.petr@univ-ubs.fr

². Université Bretagne Sud, Pôle de Recherche Francophonies, Interculturel, Communication, Sociolinguistique (EA 7469), UBS, 4 rue Jean Zay, BP 92116, 56321 Lorient, France. claire.mahéo@univ-ubs.fr

Mots-clés : sur-tourisme ; économie touristique ; impacts

RÉSUMÉ

Le tourisme représente un levier de création de richesse à l'échelle mondiale, mais il n'est pas une source uniquement positive ou simplement neutre : culture locale, structure sociale, écologie et environnement sont impactés. La gestion des impacts négatifs sur les territoires touristiques et les communautés locales concernées devient une priorité. Privilégier les recherches sur le tourisme dans les espaces côtiers et insulaires pour mieux prendre en compte les limites du développement touristique en général est le parti pris par les auteurs, compte tenu de la spécificité de ces éco-systèmes et de la pression touristique qu'ils peuvent subir.

ABSTRACT

Tourism is a lever for wealth creation on a global scale, but it is not only a positive or simply neutral source : local culture, social structure, ecology and environment are impacted. Managing negative impacts on tourism areas and local communities is becoming now a priority. The authors take the view that research on tourism in coastal and island areas should be given priority in order to take better account of the limits of tourism development in general, given the specific nature of these ecosystems and the tourist pressure they can endure.

Le tourisme représente un des plus grands leviers de création de richesse pour les acteurs privés, les états et les acteurs publics, et cela à l'échelle mondiale. Principale source de revenus de la production intérieure brute (PIB) de nombreux pays, la contribution globale du tourisme est de 10,4% du PIB mondial (WTTC, 2019). Le rôle du tourisme en tant que facteur de croissance économique et de développement dans le monde entier a été officiellement approuvé et n'est plus à démontrer (Sharpley, 2014 ; Clergeau et Peypoch, 2019).

Ce phénomène d'accroissement de l'importance du tourisme se décline aux échelles infranationales et internationales puisque ce n'est plus seulement le nombre de voyageurs internationaux qui augmente chaque année mais aussi le nombre de touristes nationaux dans la majorité des pays du monde (OMT, 2019).

Cette influence économique du tourisme est sans appel : elle est parfois le principal revenu de certains pays, en particulier les pays les moins développés qui dès lors dépendent principalement de

l'industrie du tourisme. Mais la situation s'avère être la même pour certaines destinations rurales qui y trouvent une ressource alternative pour renforcer l'économie face au déclin des industries traditionnelles agricoles (Lee, 2012).

Considérant le tourisme lui-même (transports, activités des touristes sur site) et les activités en lien avec l'hébergement et l'hôtellerie, les impacts socio-économiques du tourisme sont significativement positifs. Ils s'observent par la création d'emplois, la diversité des options économiques et l'amélioration de la qualité de vie (Alexandros et Marios, 2015 ; Apostolakis et Soteriades, 2015). Plus précisément, notons que le tourisme a des impacts positifs importants sur différents aspects économiques qui sont représentés par les recettes publiques, par l'obtention de source de revenus pour les communautés locales, l'apport de devises étrangères, la création d'emplois, et par le développement des infrastructures et la croissance économique (Sharpley, 2014 ; Andereck et Vogt, 2000 ; Chen et Raab, 2009 ; Pejović, Lukić, et Đurđev, 2011 ; Rasoolimanesh, Jaafar, Kock, et Ramayah, 2015 ; Tsundoda et Mendinger, 2009). En complément, le tourisme a également un impact positif sur les aspects socioculturels et environnementaux. En effet, dans la mesure où la présence du touriste participe à la prise de conscience de la valeur de la nature, des lieux qu'il vient visiter mais aussi des cultures locales avec lesquelles il est en contact, les responsables locaux s'attachent à l'amélioration de la conservation de la nature et à la valorisation croissante des sites culturels et patrimoniaux (Sinclair-Maragh, Gursoy, et Vieregge, 2015) afin de répondre à ces demandes touristiques. Ce phénomène est très prégnant dans les pays industrialisés et déjà très fortement touristiques comme la France (Coutelle-Brillet et al., 2018) mais pas seulement.

Par ces effets économiques directs et ces effets indirects d'amélioration des structures, infrastructures et d'animation des lieux, le tourisme offre des avantages pour le bien-être de la communauté et l'amélioration du niveau de vie des accueillants (Sharpley, 2014 ; Andereck et Vogt, 2000), d'autant plus que les touristes peuvent souhaiter soutenir le retour sur investissement pour les habitants et résidents (Suryawardani, Wiranatha et Petr, 2016). De plus, le tourisme est également considéré comme le plus important des mouvements de pacification du monde (Lett, 1989) et c'est l'une des raisons de son développement soutenu après la seconde guerre mondiale, pour permettre aux différents habitants de toutes contrées du monde de se côtoyer et d'apprendre à identifier ce qui fait le trait commun de l'humanité (Petr, 2019a).

Cependant, le tourisme, comme fait social total, n'est pas une source uniquement positive ou simplement neutre sur les situations socio-économiques et les cultures des pays accueillants. Ainsi, la présence des touristes et les aménagements et changements qui doivent s'opérer pour les accueillir influencent profondément le pays d'accueil. Ce sont à la fois la culture locale, la structure sociale, l'écologie et l'environnement de manière générale qui sont impactés (Smith et Krannich, 1998), et ces impacts peuvent s'avérer plus néfastes que les avantages précédemment cités.

Ces effets plus négatifs viennent du fait que le tourisme est source de perturbations pour l'ensemble des écosystèmes concernés. Recevoir des touristes conduit à voir de la diversité, mais donnent des occasions de remise en cause des situations sociales établies et de bouleversements culturels. Les flux de la globalisation touristique engendrent des phénomènes d'acculturation considérables pour les populations accueillantes, suivant les modèles classiques de l'anthropologie culturelle (Camilléri, Cohen-Emerique, 1989). De plus, si le tourisme amène certaines opportunités de développement économique, ces dernières sont souvent socialement inégalement réparties, ce qui ne cesse de rebattre les cartes des situations usuelles et connues des pays accueillants. Ce phénomène est encore accru quand le décalage de niveau de vie entre les habitants qui voyagent et les habitants des pays qui les accueillent est important, ce qui s'observe surtout pour les zones de pays en voie de développement. Pour accueillir les touristes, les populations locales sont ainsi contraintes au changement et souvent le tourisme peut contribuer à initier des jalousies, des sentiments d'inéquité, d'envahissements, et des incompréhensions et agacements (Monnaie, 2007 ; Tatoglu, 2012). Ainsi, parmi les impacts négatifs les plus régulièrement cités quand il est question de tourisme, on peut citer le bouleversement des cultures locales, l'augmentation du prix des biens, l'inflation du prix du foncier et des terrains résidentiels, l'accroissement de la criminalité, des incitations à la prostitution,

et les dommages environnementaux (Chen et Raab, 2009 ; Sharpley, 2014 ; Sinnor et Agadi, 2015), sans oublier le problème récurrent des fuites financières hors du pays ou de la région concernée (Suryawardani, Petr et Wiranatha, 2014 ; Suryawardani, 2015).

Pendant longtemps, le développement du tourisme a été envisagé dans une perspective de calcul et de recherche d'optimisation entre coûts socioéconomiques et culturels et bénéfices socioéconomiques et culturels (Sharpley, 2014 ; Chen et Raab, 2009 ; Rasoolimanesh, Jaafar, Kock et Ramayah, 2015 ; Tasur, Yen, et Teng, 2018 ; Jani, 2018). Ainsi, si le tourisme offre des atouts de développement et des avantages, il y a nécessairement des coûts induits tels que la surpopulation temporaire ou permanente, l'augmentation du coût de la vie, la gentrification des espaces historiques et l'éloignement des populations vers des zones périphériques, des impacts de destruction de l'environnement initial et naturel, des changements dans les valeurs au sein des structures familiales et des groupes culturels, des pratiques déviantes en lien avec le tourisme sexuel ou simplement de loisirs, une augmentation des pratiques de consommation d'alcool et de drogues, et des conflits sociaux internes aux communautés locales. Enfin, parfois définie comme de la « disneyfication » et largement critiquée, s'instaure une logique de commercialisation des pratiques culturelles ancestrales qui engendre l'oubli et le changement de la langue locale (Jani, 2017 ; Tasur, Yen, et Teng, 2018 ; Ward et Berno, 2011 ; Zamani-farahani et Musa, 2012) et du sens des pratiques culturelles locales. Devant ces constats, l'industrie du tourisme cherche souvent à minimiser le coût des impacts du tourisme de masse et à augmenter les bénéfices pour le succès des destinations touristiques durables (Nunkoo et Gursoy, 2012) dans une logique de « green washing ».

Face à un tourisme qui se généralise et ne concerne plus seulement les pays en voie de développement mais toutes les zones soumises à de fortes pressions touristiques, **la gestion des impacts négatifs sur les territoires touristiques et les communautés locales concernées devient une priorité.**

Deux raisons majeures imposent cette réflexion sur l'adhésion du tourisme par les communautés locales et leur intégration dans la réflexion sur les modalités de l'aménagement de leurs espaces de vie :

La première raison est qu'il ne faut pas détruire ce qui attire le touriste : le lieu et son esprit.

L'éternel défi du développement des destinations touristiques et des spécialistes du marketing de l'accueil touristique est de répondre à la question cruciale suivante : comment ne pas mettre en péril ce qui attire le touriste vers ces destinations (Apostolakis et Soteriades, 2015, Clarke, Chen et Petr, 2011) ?

On pense bien sûr d'abord au patrimoine matériel avec les haut-lieux historiques et emblématiques, les paysages et la qualité de l'environnement naturel. Mais, en plus de ce patrimoine naturel et des éléments physiques dont la dégradation est observable par des mesures objectives, il faut se focaliser aussi sur une dimension plus subjective de ce que le touriste peut détruire, involontairement, par sa seule présence. En effet, quand il est question de préserver ce qui attire le touriste, il faut aussi évoquer l'esprit du lieu et l'ambiance de la destination. Quand le touriste choisit une destination, il faut ainsi compter avec son patrimoine immatériel : l'art de vivre des habitants, leurs pratiques, leur état d'esprit, les mentalités, les us et coutumes, les croyances, etc. Tout ceci peut se résumer par l'idée de ce qui fait l'âme du pays que le touriste vient visiter, cette dimension culturelle au sens anthropologique, ô combien complémentaire de la dimension naturelle et environnementale.

La seconde raison est qu'il est important d'obtenir le soutien des résidents au développement du tourisme et à la présence des touristes.

Plusieurs auteurs l'ont constaté depuis longtemps, la problématique est de maintenir l'équilibre entre les bénéfices du tourisme et les coûts du tourisme (Lawson, William, Young, et Cossen, 1998 ; Sharpley, 2014). Toutefois, si d'un point de vue macroscopique il semble possible d'envisager un calcul de type coût-bénéfices, d'un point de vue individuel, quand on se penche sur le vécu quotidien des habitants de la zone touristique, les choses se compliquent. L'application de ratio

devient discutable, voire peut être considérée comme sans fondement ou du moins très abstraite. Ceux qui supportent la présence touristique sont-ils vraiment les gagnants directs des bénéfices du tourisme ? Est-on bénéficiaire en tant qu'habitant des investissements faits pour accueillir les touristes ? Notamment quand on constate que les services proposés en haute saison ne sont plus disponibles en basse saison touristique, quand le panier moyen du touriste est trop élevé par rapport au niveau de vie local, quand on ne peut accéder à ces services et à ces lieux faute de temps ou de saturation touristique, quand les retombées économiques ne reviennent pas sur le territoire concerné mais partent au profit des industriels globalisés du tourisme, etc. Comment dans ce cas être convaincu du bien-fondé d'accueillir ces touristes ?

Impliquer les habitants et les résidents locaux dans l'accueil des touristes devient par conséquent une priorité. En effet, un territoire touristique ne peut espérer devenir et rester une destination touristique pérenne que si la communauté d'accueil perçoit les bénéfices du tourisme et que les habitants et résidents conservent une attitude positive élevée vis-à-vis du phénomène touristique. Ceci est essentiel pour envisager un tourisme « durable » : tout doit être mis en œuvre pour minimiser les impacts négatifs du tourisme pour la destination et ses habitants, tout en maintenant ses impacts positifs (Chen et Raab, 2009 ; Rasoolimanesh, Jaafar, Kock, et Ramayah, 2015). Pour y parvenir, le défi des managers de destinations ne se focalise plus seulement sur l'accès et la qualité matérielle des infrastructures mais intègre désormais, et de plus en plus, le souhait d'accroître la qualité immatérielle de la destination, c'est-à-dire tout ce qui a trait avec la culture locale à préserver, et l'hospitalité et la bienveillance des résidents à entretenir et accroître. Il faut impliquer les habitants et les résidents dans le phénomène touristique car l'art d'accueillir et de savoir intégrer harmonieusement le tourisme au sein de la communauté locale est une clef incontournable du succès à long terme du tourisme dans une région (Clarke, Chen et Petr, 2011). À ce titre, il est essentiel d'accorder une grande importance aux communautés d'accueil et à leur manière de percevoir le tourisme (Alexandros et Marios, 2015).

En effet, pour créer l'expérience touristique d'exception qui donnera envie de recommander la destination, il faut à la fois des touristes et des hôtes favorables à l'idée d'entrer en contact les uns avec les autres (Andereck et Vogt, 2000). L'expérience des touristes implique une interaction bilatérale entre touristes et résidents si l'on souhaite parvenir à la tolérance et à l'acceptation des uns par les autres (Ward et Berno, 2011).

Au cours des dernières décennies, les chercheurs ont examiné diverses théories et modèles pour expliquer que les perceptions des communautés d'accueil sont influencées par l'impact du tourisme (Nunkoo et Gursoy, 2012 ; Sharpley, 2014). Comme l'a mentionné Sinclair-Margh et al. (2017), une fois que les habitants réalisent qu'ils vont personnellement bénéficier du tourisme, ils ont tendance à soutenir son développement.

Comment amener les habitants et résidents à prendre conscience des bonus associés à l'accueil des touristes et au développement du tourisme ? Comment mieux prendre en compte les limites et inconvénients de ce même développement touristique ?

Pour répondre à ces questions qui préoccupent de plus en plus les gestionnaires des espaces touristiques, et pour dès lors, côté chercheurs, proposer un agenda de réflexions sur le sujet et des pistes de réponses, nous faisons ici le choix de privilégier certains espaces spécifiques : les espaces littoraux et les îles.

Privilégier les recherches sur le tourisme dans les espaces côtiers et insulaires

L'adhésion des habitants et leur implication dans l'accueil des touristes est devenu une question d'autant plus cruciale que le phénomène touristique se généralise dans tous les endroits du monde. Cette mondialisation fragilise ainsi bon nombre d'espaces naturels mais aussi socioculturels (pour les populations qui en dépendent). La bande côtière est souvent une zone de transition entre deux milieux (maritime et terrestre), ce qui en fait des écosystèmes extrêmement riches mais également très fragiles, souvent peu résistants à une forte pression humaine quelle qu'elle soit (touristique, professionnelle, etc.).

Les espaces littoraux et les espaces insulaires sont ainsi des environnements extrêmement concernés par les questions du développement touristique (Petr, 2019b). Ce sont des espaces qui attirent depuis le développement du tourisme au 19^e siècle et de l'invention des lieux touristiques (Boyer, 1999). Ils sont le lieu de pratiques nautiques et de bains de mer qui attirent les vacanciers des périodes estivales, et qui se réinventent au fil des décennies (Duhamel, Violier, 2009). Dix pour cent (10%) des touristes privilégient les destinations insulaires (Frustier, 2007) : en effet les îles symbolisent souvent le lieu idéal et paradisiaque pour les vacances (Iacovazzi, 2007 ; Paque, 2006). En quittant le continent pour une île, la rupture du déplacement crée un dépaysement physique fort, plus qu'un simple voyage en voiture ou en train. On concrétise ainsi par cet éloignement physique, une rupture avec les pratiques quotidiennes ordinaires : l'arrivée (par bateau ou par avion) dans les îles est ainsi une entrée symbolique forte dans l'univers des vacances.

Si les îles sont donc un espace idéalisé et rêvé par le touriste, elles n'en restent pas moins des espaces de vie pour les habitants permanents, qui sont installés dans un lieu dont les limites géographiques présentent des limites objectives (au-delà, c'est la mer ou c'est le continent). Ces limites physiques ont contraint leurs populations à s'adapter à un environnement parfois extrême, à des conditions de vie difficiles à travers les siècles. Cet isolement et ses contraintes engendrent, quelles que soient les régions du globe, un fort communautarisme insulaire, avec des valeurs culturelles prégnantes et des comportements spécifiques. Cette identité culturelle forte, renforcée par un esprit communautaire d'entraide et d'interdépendance chez les îliens ne peut que rentrer en conflit avec l'esprit des vacanciers venus profiter des lieux. Aussi, pour peu que les touristes qui affluent viennent à mal se comporter et à être trop nombreux pour être intégrés dans l'espace insulaire, des agacements et le sentiment d'invasion sont plus facilement ressentis par les habitants qui considèrent « leur île » comme leur bien commun, bien plus que partout ailleurs sur le continent.

Cette singularité de l'espace insulaire en fait un lieu d'expérimentation extrêmement intéressant puisque les réactions anti-touristiques peuvent plus rapidement s'y exprimer, ce qui ne serait pas le cas dans un espace touristique plus ouvert. À cette première argumentation en faveur de l'étude de la perception du touriste par les habitants et résidents des îles, s'ajoute une seconde argumentation (paradoxale à la première) qui tient à la très grande dépendance économique que de nombreuses îles entretiennent vis-à-vis du tourisme dans le contexte actuel : les industries de la pêche sont à la fois en perte de vitesse et en phase d'obsolescence vis-à-vis des nouvelles générations qui aspirent à d'autres aventures professionnelles, et l'agropastoralisme vivrier a été abandonné au profit de la résidentialité secondaire et des infrastructures touristiques.

Face à l'ensemble des enjeux présentés dans ce chapitre introductif, nous proposons à suivre trois types de contributions.

Les deux premières contributions traitent des **contextes et enjeux de la réflexion sur le tourisme en espace littoral et insulaire**.

M. Tranquard, C. Petr et C. Guibert réfléchissent dans un premier temps à la notion de criticité, et sur les besoins de recherche sur la notion de bien commun du littoral face au développement touristique intense de ces zones. C. Guibert se penche ensuite sur cette question du bien commun en montrant qu'il peut devenir un objet de contestation, en prenant l'exemple du cas des vagues et de la pratique du surf.

La contribution suivante regroupe des études de cas traitant de l'impact du tourisme sur les territoires insulaires. Si ces derniers ont des caractéristiques communes évidentes, il s'agit ici de souligner **la diversité des configurations du développement du tourisme insulaire** et de montrer que ces variables sont déterminantes dans la gestion prospective du tourisme sur ces espaces spécifiques, ainsi que pour les recommandations du chercheur. Cette dialectique entre spécificités et problématiques insulaires communes et développements touristiques singuliers s'appuient autant sur des exemples européens (l'archipel des Baléares, la Corse, les îles grecques et croates) que sur des îles canadiennes de la Madeleine ou encore Madagascar.

Les deux dernières contributions proposent **un bilan des réflexions et des recherches en vue d'améliorer la gestion du tourisme dans les espaces littoraux et insulaires**. A ce titre, M. Tranquard et C. Petr abordent dans un premier temps le cadrage théorique de la capacité de charge touristique et questionnent comment adapter les outils d'évaluation au cas des îles et zones littorales. Enfin, le dernier chapitre permet à C. Mahéo et C. Petr de conclure par la proposition d'une liste de priorités et de questions de recherche qu'il semble essentiel de traiter pour répondre aux défis de la croissance touristique face aux fragilités et spécificités des espaces littoraux et insulaires. Considérant le fait que les littoraux et les îles sont des biens communs, nous proposons un agenda de recherche en tourisme autour de la notion de bien commun dans les espaces insulaires et côtiers.

Toutes ces contributions sont le fruit des échanges qui furent menés dans le cadre de la table ronde dédiée au tourisme qui a été menées lors du premier séminaire de l'Institut Archipel en juin 2019.

RÉFÉRENCES :

- Apostolakis, A., & Soteriades, M. (2015). Marketing challenges in travel, tourism and hospitality industries of the European and Mediterranean regions. *EuroMed Journal of Business*, 10, 1-3.
- Boyer M., (1999), *Histoire du tourisme de masse*, PUF, 126 p. ISBN 2-13-050012- 9.
- Camilléri C., Cohen-Emerique M., (1989), *Chocs de cultures, concepts et enjeux de l'interculturel*, Paris, l'Harmattan, 398 p., ISBN 2-7384-0438-3.
- Chen C., & Raab, C. (2009). Measuring Resident Reaction to Community Tourism Development: A Pilot Study of a New Conceptual Framework. *University of Massachusetts Amherst: International CHRIE Conference-re-reseeded Track 21*.
- Clarke A., Chen W. et Petr (2011), *L'accueil international : concepts et cas de management*, Édition : De Boeck, 446 pages.
- Clergeau C. et N. Peypoch (2019), *La Recherche en Management du Tourisme*, Ouvrage labélisé par la FNEGE, Viubert Éditions. ISBN: 978-2-311-40682-5.
- Coutelle-Brillet P., des Garets V., Maubisson L. et Rivière A. (2018), The Effects of the Mobile Technology on Overall Tourist Experience: The Case of Augmented Reality Used During a Visit of Chambord Castle, *2018 Academy of Marketing Science World Marketing Congress (AMS WMC)*, June 27-29 2018, University of Lusitania - Norte Porto, Porto, Portugal
- Duhamel P., Violier P., 2009, *Tourisme et littoral. Un enjeu du Monde*, Belin (Belin Sup Tourisme), 192 p., ISBN 978-2-7011-5365-0.
- Frustier P. (2007). Les identités insulaires face au tourisme - *Actes du colloque organisé par le Centre de recherche éducation-culture*, Université de Nantes, La Roche-sur-Yon, 1er-2 juin 2006, Ed. Siloë, La Roche-sur-Yon, 224pages. ISBN 978-2-354290-06-1
- Iacovazzi G. (2007), L'île et l'imaginaire en ethnologie : à la recherche du rêve perdu ?, in *Les identités insulaires face au tourisme*, Ed. Siloë, La Roche-sur-Yon.
- Jani, D. (2018). Residents' perception of tourism impacts in Kilimanjaro: An Integration of the social exchange theory. *Tourism*, 66(2), 148-160.
- Jani, D. (2017), Residents' perception of Tourism Impacts and involvement: A cluster analysis of Kilimanjaro residents, Tanzania, *Business Management Review (BMR)*. Jul-Dec2017, 20(2), 60-71.
- Lawson, R. W., William, J., Young, T., & Cossen, J. (1998). A comparison of residents' attitudes towards tourism in 10 New Zealand destination. *Tourism Management*, 19(3), 247-256.
- Lee, T. H. (2012). Influence analysis of community residents support for sustainable tourism development. *Tourism Management*, 1-10.
- Lett J. (1989), Epilogue to T. Nuñez, Touristic Studies in Anthropological Perspective: in V. H. Smith (dir.), *Hosts and Guests : The Anthropology of Tourism*. Philadelphie, University of Pennsylvania Press, 275-279.
- Monnaie J. (2007), L'insulaire contre le tourisme, tout contre, in *Les identités insulaires face au tourisme*, sous la direction de Pierre Frustier, Ed. Siloë, La Roche-sur-Yon.

- Nunkoo, R., & Gursoy, D. (2012). Residents' support for tourism an identity perspective. *Annals of tourism research*, 39(1), 243-268.
- OMT- UNWTO, W. T. (2019). *World Tourism Barameters*. Madrid, Spain.
- Paque C. (2006), Une représentation exemplaire : l'île de Calypso. *Colloque sur les Identités insulaires, IUT de La Roche sur Yon*. Université de Nantes, 21 mai 2006.
- Pejovic L, Armenski T., Dragičević V., Lukic T. & Djurdjev, B. (2011). Interaction between tourists and residents: influence on tourism development. *Polish Sociological Review*, 173(1), 107-118.
- Petr C. (2019a), Qui sont les touristes : définitions et périmètres. *La Recherche en Management du Tourisme*, Coordonné par C. Clergeau et N. Peypoch, Ouvrage labélisé par la FNEGE, Viubert Éditions. ISBN: 978-2-311-40682-5.
- Petr C. (2019b), Islands and coasts as empirical field for over tourism research and eco-sustainable tourism promotion, *54th TRC Meeting*, 4-7th April, Palma de Mayorca, Spain.
- Rasoolimanesh, S., Jaafar, M., Kock, N., & Ramayah, T. (2015). A revised framework of social exchange theory to investigate the factors influencing residents' perceptions. *Tourism Management perspectives*, 16, 335-345.
- Sharpley, R. (2014). Host perceptions of tourism: A review of the research. *Tourism Management*, 42, 37-49.
- Sinclair-Maragh, G., Gursoy, D., & Vieregge, M. (2015). Residents' perceptions towards tourism development: a factor-cluster approach. *Journal of Destination Marketing & Management*, 36-45.
- Sinnoor G.B. & R. Agadi (2015), Residents' perceptions of a tourist destination: An empirical study of Hyderabad Karnataka Region, *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure* Vol. 4(2), 2014 [AJHTL - Open Access- Online @ <http://www.ajhtl.com>]
- Smith M. D. & R. S. Krannich (1998), Tourism Dependence and Tourism Attitudes, *Annals of Tourism Research* Vol. 25, No. 4, 783-802
- Suryawardani I Gusti Ayu Oka (2015), Tourism Leakage of Accommodation in Bali: Le manque à gagner dans le secteur du logement touristique à Bali, Thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, Université de Paris 1 - Sorbonne-Panthéon, 12 juin 2015.
- Suryawardani I.G.A.O., Petr C. and A. S. Wiranatha (2014), A Marketing Strategy to Minimize Tourism Leakage of Accommodation in Bali, *International Conference on Marketing Studies, June, 18-20, 2014*, Taipei, Taiwan.
- Suryawardani, I.G.A.O., A. Suryawan Wiranatha, C. Petr (2016), Factors Affecting Willingness of Foreign Tourists to Spend Money in Benefiting Local People, in *Development of Tourism and the Hospitality Industry in Southeast Asia*, Purnendu Mandal and John Vong (Eds), Managing the Asian Century, 13-36.
- Tasur, S.-H., Yen, c.-H., & Teng, H.-Y. (2018). Tourist-resident conflict: A scale development and empirical study. *Journal of Destination Marketing & Management*, 152-163.
- Tatoglu E. (2012), Resident Perceptions of the Impact of Tourism in a Turkish Resort Town, 745-755.
- Tsundoda, T., & Mendinger, S. (2009). Economic and Social Impact of tourism on a small town: Peterborough New Hampshire. *J. Service & Management*, 2, 61-70.
- Ward, C., & Berno, T. (2011). Beyond Social Exchange Theory: Attitude Towards Tourists. *Annals of Tourism Research*, 38(4), 1556-1569.
- WTTC. (2019). Economic Impact 2019 world. United Kingdom: Council, *World Travel & Tourism Council*.
- Zamani-farahani, H., & Musa, G. (2012). The relationship between Islamic religiosity and residents' perceptions of socio-cultural impacts of tourism in Iran: case studies of Are'in and Masooleh. *Tourism Management*, 33, 802-814.

LE CONTEXTE DE CRITICITÉ ET LES PRIORITÉS DE RECHERCHE SUR LA NOTION DE BIEN COMMUN DU LITTORAL FACE AU DÉVELOPPEMENT TOURISTIQUE

M. Tranquard¹, C. Petr², C. Guibert³

¹. Université du Québec, Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Plein Air, 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi (Québec), G7H 2B1, Canada. Manu_Tranquard@uqac.ca

². Université Bretagne Sud, Laboratoire d'Économie et de Gestion de l'Ouest (EA 2652), Institut de Management de l'UBS, DSEG, Campus de Tohannic, 56 000 Vannes, France. christine.petr@univ-ubs.fr

³. Université d'Angers, Espaces et Sociétés (UMR CNRS 6590), UFR ESTHUA, Tourisme et Culture, 7 allée F. Mitterrand, BP40455, 49004 Angers cedex 01, France. christophe.guibert@univ-angers.fr

Mots-clés : tourisme balnéaire ; conflit d'usages ; acculturation ; bien commun

RÉSUMÉ

L'importance économique et sociale de l'activité touristique en zones littorales et insulaires en France, et ses spécificités, amènent à s'interroger sur les modalités de conciliation entre développement territorial et respect des spécificités locales. Plus spécifiquement, trois enjeux centraux semblent notamment conditionner la réussite d'une démarche d'appropriation d'un projet de territoire dans un contexte touristique : l'activation de la participation des parties prenantes, l'appropriation identitaire et le règlement des conflits d'usage.

ABSTRACT

The economic and social importance of tourist activity in coastal and island areas in France, and its specific features, raise questions about how to reconcile territorial development and respect for local specificities. More specifically, three central issues seem to condition the success of an appropriation process for a land project in a tourism context, in connection with the notion of the common good: the activation of stakeholder participation, identity appropriation and the resolution of use conflicts.

1. INTRODUCTION

Depuis le développement des premières pratiques balnéaires, à l'origine de ce qui deviendra, soutenu par l'inoubliable slogan « *sea, sun and sand* », le tourisme « de masse » (entendu comme tourisme du « grand nombre » à l'aune des capacités d'accueil au sein des territoires) des côtes et des plages, le bord de mer est un espace temporairement approprié par les voyageurs et visiteurs, souvent aux dépens de l'équilibre résidentiel du reste de l'année. Voulus, encouragés et attendus

par les responsables des destinations balnéaires et insulaires, mais aussi critiqués, moqués, voire parfois détestés, par les populations locales autochtones, les touristes font partie du corps social pendant le temps de leur séjour et plus longtemps encore pour ceux qui y possèdent une résidence secondaire. Les frontières entre populations touristiques et populations locales deviennent en conséquence, parfois, et selon les territoires, de plus en plus poreuses. À la fois terrain de jeu social, avec ses pratiques socialisantes, les processus d'interculturalisation, et la création d'us et coutumes spécifiques, dérivées ou réinventées à partir des usages des aristocrates internationaux venus « prendre les bains » sur les côtes françaises, cet espace insulaire et littoral est aussi le lieu de pratiques sportives et ludiques, qui montent en puissance ces dernières années avec une tendance à les pratiquer tout au long de l'année par les habitants proches, qualifiés d'excursionnistes. Face à la multiplicité des demandes d'usages sur la zone littorale et à leurs variations dans l'année, comment appréhender scientifiquement les principales problématiques sociales portant sur le bien commun des habitants, des visiteurs et des territoires en contexte touristique ?

Ce chapitre se penche sur le cas de ces espaces littoraux et côtiers particulièrement fragiles d'un point de vue environnemental et qui, pour les îles, présentent des spécificités notables (Frustier, 2007). Afin d'aborder cette question, plusieurs analyses préliminaires sont requises et détaillées ici. La première concerne la prise en compte des spécificités de l'activité touristique en zones littorales et insulaires. La seconde porte sur les contours de la notion de bien commun appliquée au monde du tourisme.

2. LES SPÉCIFICITÉS DE L'ACTIVITÉ TOURISTIQUE EN ZONES LITTORALES ET INSULAIRES

En France, le littoral et la mer représentent 40% de l'ensemble des nuitées touristiques sur le territoire (Colas, 2011). L'activité touristique est par ailleurs la principale ressource économique du littoral : le tourisme représente 49% des emplois générés par les différents secteurs de l'économie littorale et maritime. Selon l'INSEE, l'emploi touristique présentiel sur le littoral (à temps plein) s'élevait en France à 194 000 en 2015 : « Le littoral est l'espace qui bénéficie le plus du tourisme estival : sur le littoral corse, l'emploi local touristique est quatre fois plus important au mois d'août qu'en janvier. Sur les littoraux breton-atlantique et méditerranéen, il est deux à trois fois plus important en août qu'en janvier » (INSEE, 2015). Le secteur est fortement impacté par le poids des très petites entreprises (TPE) : 9 établissements sur 10 ont moins de 10 salariés. Les TPE dans le milieu touristique emploient majoritairement des salariés saisonniers et n'ont donc pas ou peu d'employés à l'année pour, notamment, s'occuper de former et coordonner les équipes. Si le secteur se caractérise par un fort potentiel d'insertion professionnelle, le niveau de formation requis dans la majorité des emplois est relativement faible : 80% des emplois à pourvoir sont de premier niveau de qualification professionnelle. Cette forme de salariat est largement associée à la précarité économique et à l'absence de perspective d'emploi durable et d'évolution professionnelle. Le taux d'évaporation très élevé et le renouvellement important des employés a pour effet des problèmes de fidélisation des salariés (Guibert, 2019).

L'activité touristique bénéficie en effet historiquement en France d'un fort pouvoir d'attraction des territoires littoraux et insulaires, à la fois considérés comme terrains de jeu et de pratiques sportives. Ainsi des études ont permis de relever que le séjour littoral est tout à la fois le plus long (8,5 jours en moyenne pour 7,6 en montagne, 5 à la campagne, 4,7 en ville), le plus régulièrement répété à l'identique, le plus « marchand », le plus saisonnier, le plus organisé et « intermédiaire » (forfaits des voyagistes, clubs, hôtels et villages de vacances, agences de location, visites, animations, etc.) (Cazes, 2000). Deux enquêtes de la SOFRES, réalisées à presque vingt ans d'intervalle (1982 et 2000, cité par Cazes, 2000), montrent également la persistance remarquable de l'attractivité littorale qui s'inscrit dans un contexte mondial de croissance constante du tourisme.

Or tandis que les zones littorales et insulaires sont recherchées et surexploitées au niveau mondial du fait du « pouvoir d'attraction symbolique des destinations insulaires » (Cazes, 1989) ou du « désir d'île » (Perron, 2002), le constat de leur grande vulnérabilité environnementale fait consensus.

En raison des spécificités écologiques des sites mis en tourisme et de leur fragilité intrinsèque (écotones et zones de transition, milieu dunaire, impact immédiat des pollutions marines, etc.), la diversité et l'ampleur des impacts environnementaux directement liés à l'activité touristique ne cessent d'être relevées : atteinte à l'intégrité physique du territoire et des paysages, exploitation des ressources, coûts énergétiques des transports, pollution au sens large, impacts sur la biodiversité (Behnassi, 2008 ; Grenier, 2000) ; phénomènes là encore directement proportionnels à la croissance mondiale du tourisme (Cazalais et al., 1999 ; Paul et al., 2007).

Ces impacts environnementaux désormais assez bien connus se doublent d'impacts sociaux moins définis (WTO, 1997). Ceux-ci sont cependant nombreux et résultent notamment du sur-tourisme – ou de l'overtourisme, terme récent convoqué par les détracteurs du tourisme du grand nombre – et de la concentration temporelle et spatiale des activités touristiques sur un site donné. On a pu ainsi constater et documenter des formes de chocs culturels et des phénomènes d'acculturation ou d'interculturalisation, de sentiments diffus et subjectifs de « perte d'identité », des effets sur la santé mentale des habitants du fait de la pression anthropique, des conséquences foncières et fiscales sur le prix des résidences et des terrains (Mesplier et al., 2002). Et plus globalement un désagrégement du tissu social par l'occupation temporaire des villes et villages, une artificialisation des relations et leur transformation en simples relations marchandes.

3. LE BIEN COMMUN EN CONTEXTE TOURISTIQUE

Comment envisager alors la construction et l'atteinte d'un bien commun dans un tel contexte de grande pression environnementale, économique et sociale ? Et tout d'abord, à quel bien commun fait-on référence ? S'agit-il au niveau individuel d'une harmonie relationnelle, d'un accès équitable aux attraits, aux ressources, aux services écosystémiques (écologiques, récréatifs, etc.), d'un partage des aménités ? S'agit-il au niveau collectif de l'intérêt général (qui reste largement à définir), de l'intérêt supérieur de la communauté et de la société, du souci des générations futures, d'un développement équilibré, d'un développement durable ? S'agit-il de l'ensemble de ces considérations qui doivent être traitées conjointement, ou de manière intégrée ? En quoi la hiérarchie des normes, spécifique aux rapports de force localisés dans les destinations touristiques littorales, renseigne-t-elle sur ces combinaisons variables de définitions ?

Aborder ces questions, voire en privilégier certaines au détriment d'autres, n'est pas anodin. Le traitement de ces problématiques s'inscrit en effet dans une approche historique et socioculturelle du fait touristique propre à la région et au pays. Notamment de l'importance relative qui peut être portée à la valeur de la nature, à la sérénité ou à l'euphémisation des tensions sociales, ou encore à la primauté de la santé et de l'indépendance économique. Se confrontent alors des logiques antagonistes en développement touristique, et notamment en tourisme de nature, portant sur l'équilibre à trouver entre exploitation, maîtrise et conservation ; sur la gestion d'objectifs divergents pour les visiteurs, comme le repos ou l'utilisation active du territoire ; sur la gestion d'objectifs divergents pour les locaux, entre la rentabilisation économique et la conservation ; et sur la compatibilité de l'ensemble de ces objectifs, au regard par exemple de la dichotomie entre « activité touristique » et « identité insulaire » (Ayrault, 2006), ou entre développement touristique insulaire et qualité de vie des résidents (Furt et Maupertuis, 2012).

Ces préoccupations invitent alors le chercheur à s'intéresser aux conditions sociales et spatiales du bien commun : quelles en sont les conditions de réalisation, de contribution ? Quelles sont les modalités théoriques et opérationnelles facilitant l'atteinte d'objectifs d'équilibre et de partage ? Quelles sont également les contraintes, les forces limitatives et restrictives, au bien commun en tourisme ?

En fil conducteur de ces objets d'analyse, semble émerger l'idée selon laquelle toute démarche d'optimisation du tourisme dans le sens du développement durable du territoire pourrait impacter favorablement ce territoire, par exemple en contribuant à une forme de conservation des ressources et de valorisation du patrimoine, y compris culturel (Lequin, 2001 ; Gagnon et coll., 2007 ;

Laurent, 2009 ; Breton et coll., 2010). À ce titre, l'opérationnalisation du tourisme structure des espaces, locaux et régionaux, et devient une problématique inscrite tant dans le développement territorial que dans le développement durable.

D'un point de vue opérationnel, et selon la majorité des auteurs qui se sont penchés sur la question de l'adéquation de l'activité touristique avec les principes du développement durable (Lahaye, 2008 ; Lequin, 2000), trois enjeux centraux semblent conditionner pour une large part la réussite d'une démarche d'appropriation d'un projet de territoire dans un contexte touristique, et ce faisant la durabilité du développement territorial. Ces trois enjeux sont l'activation de la participation des parties prenantes, l'appropriation identitaire et le règlement des conflits d'usage. Or sur le territoire breton, les zones littorales et insulaires sont au cœur de ces défis. Car en l'espace de quelques contributions ciblées, une observation est ici que de nombreuses réponses cruciales pour le développement des territoires littoraux et insulaires restent en suspens. Et que si l'industrie touristique peut être une force de contribution, le paramétrage de son déploiement et de sa durabilité restent encore largement à définir. De l'analyse des forces historiques et des dynamiques régionales (innovation et inertie), qui doivent être davantage cernées, aux conditions techniques de l'opérationnalisation d'un tourisme littoral distinctement breton, le travail des chercheurs doit se poursuivre. En misant sur l'interdisciplinarité scientifique et une approche systémique et globale du territoire, il s'agit de pleinement prendre la mesure des défis scientifiques et des opportunités sociétales.

RÉFÉRENCES

- AYRAULT, N. (2006), L'impact du tourisme sur l'identité insulaire : le cas de l'île-aux-moines, Mémoire de Master 2 Recherche « Sciences de l'Homme et de la société », Université de Tours.
- BEHNASSI, M. (2008) Tourisme durable : fondements, indicateurs et apport au développement des pays du sud, *Revue de Droit et de Sciences Sociales*, Université Ibn Zohr, no 1, p. 96-120.
- BRETON, J-M. (dir.). (2010). Patrimoine, tourisme, environnement et développement durable. Paris : Karthala, 2010. *Iles et pays d'Outre-Mer*.
- CAZELAIS, N., R. NADEAU, G. BEAUDET (1999) *L'espace touristique*, Québec : PUQ, 314 p.
- CAZES, G. (1989). L'île tropicale, figure emblématique du tourisme international. In : *Îles et tourisme en milieux tropical et subtropical*. Talence : CRET – CEGET, p. 37-53.
- CAZES G. (2000), La fréquentation touristique des littoraux français : une remarquable « durabilité ». In : *L'information géographique*, volume 64, n°4, 2000. pp. 289-299
- COLAS S., 2011, Environnement littoral et marin, *Commissariat général au développement durable – Service de l'observation et des statistiques*, mai 2011, 164 p.
- FRUSTIER P. (2007), *Les identités insulaires face au tourisme - Actes du colloque organisé par le Centre de recherche éducation-culture*, Université de Nantes, La Roche-sur-Yon, 1er-2 juin 2006, Ed. Siloé, La Roche-sur-Yon, 224pages. ISBN 978-2-354290-06-1
- FURT, J-M. et Maupertuis, M-A. (2012), Développement touristique insulaire et qualité de vie des résidents : une analyse critique des indicateurs de tourisme durable. *Études caribéennes* [Online], 23 | Décembre 2012.
- GAGNON C. et GAGNON S. (dir.). (2007). *L'écotourisme entre l'arbre et l'écorce. De la conservation au développement viable des territoires*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec, , 2007.
- GRENIER, C. (2000), *Conservation contre nature. Les Îles Galápagos*, Paris : IRD Éditions, Coll. « Latitudes 23 ».
- GUIBERT C. (2019), Contrôler ou s'émanciper. Ce qui sépare : de l'usage intéressé des normes et des marges, Mémoire d'HDR, ENS Lyon, 400p.
- INSEE Première, 2015, Un million d'emplois liés à la présence de touristes, n°1555.
- LAHAYE, N. (2008), Évaluation de la participation et graphe d'influence pour une gouvernance participative en écotourisme. Le cas du projet écotouristique Taonaba, en Guadeloupe, *Contribution au XLVème colloque de l'ASRDLF : « Territoires et action publique territoriale : nouvelles ressources pour le développement régional »*.

- LAURENT, A. (dir.). (2009), *Tourisme responsable. Clé d'entrée du développement territorial durable. Guide pour la réflexion et l'action. Chronique Sociale*, 2009. (Coll. Comprendre la société).
- LEQUIN, M. (2000), *Gouvernance en écotourisme : Développement durable, développement régional et démocratie participative*, Doctorat en Études urbaines, UQAM.
- LEQUIN, M. (2001). *Écotourisme et gouvernance participative*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec, 2001. (Coll. Temps Libre Culture, 4).
- MESPLIER, A., Bloc-Duraffour, P. (2002), *Le tourisme dans le monde Paris*, Bréal, 4e éd., 304 p.
- PAUL, A., O. I. WIERCIOCH et L. DAYAN (2007). *Stratégies d'implémentation dans et par le tourisme*. APREIS, octobre. 9 p. <<http://www.apreis.org>>, consulté le 10 février 2012.
- PÉRON F. (2002), Désir d'île ou l'insularité dans ses dimensions contemporaines, in *Le littoral, regards, pratiques et savoirs*, Paris, Éditions ENS Rue d'Ulm, p. 285-301.
- World Tourism Organization (WTO), (1997), *The Social Impacts of Tourism – L'impact du tourisme sur la société*, Monographie.

QUAND LE BIEN COMMUN DEVIENT OBJET DE CONTESTATION : LE CAS DES VAGUES DE SURF

Christophe Guibert

Université d'Angers, Espaces et Sociétés (UMR CNRS 6590), UFR ESTHUA Tourisme et Culture, 7 allée F. Mitterrand, BP40455, 49004 Angers cedex 01, France
christophe.guibert@univ-angers.fr

Mots-clés : surf ; bien commun ; ressources territoriales

RÉSUMÉ

Ce chapitre interroge la notion de bien commun à travers l'étude du cas des vagues de surf. Les vagues sont par essence un bien qui ne peut se posséder et appartenir à personne en particulier. Pourtant, elles sont l'objet de contestation entre ceux qui prétendent à leur usage.

ABSTRACT

This chapter questions the notion of the common good through the study of the case of surf waves. Waves are inherently an asset that cannot be owned and owned by anyone in particular. Yet they are the object of contention between those who claim to use them.

1. INTRODUCTION

Ce chapitre interroge la notion de bien commun à travers l'étude du cas des vagues de surf. Les vagues sont par essence un bien qui ne peut se posséder et appartenir à personne en particulier. Pourtant, elles sont l'objet de contestation entre ceux qui prétendent à leur usage.

2. UN BIEN COMMUN COMME OBJET DE CONTESTATION : LE CAS DES VAGUES DE SURF

Les espaces littoraux sont quantitativement de plus en plus utilisés à des fins d'usage récréatif. Les activités nautiques et le surf se sont en effet largement développés sur les littoraux français au point de participer pleinement à l'offre touristique des destinations. Le surf, particulièrement, témoin de ce processus engagé depuis plusieurs décennies. Alors que l'espace maritime, sauf réglementation spécifique et localisée, est de droit accessible à tous, la pratique du surf et sa mobilisation par des acteurs économiques et politiques rompent avec la vision angélique et universaliste du bien commun. Les vagues des rivages côtiers, entendues comme « matérialités naturelles », dont la visibilité tient principalement à leur qualité supposée pour la pratique du surf, constituent en effet un bon moyen d'identifier les procédures d'appropriation différenciées et, partant, d'illustrer la difficile mise en œuvre d'un bien commun partagé du plus grand nombre. Trois processus d'appropriation des vagues peuvent être identifiés, renvoyant chacun à des profits escomptés différents, ceux-ci étant d'ordre politique, économique et identitaire (Guibert, 2014). En effet, selon les territoires et les configurations spatiales, d'une part, puis les volontés des pratiquants et/ou les modes

de régulation, d'autre part, les vagues de surf peuvent à la fois être patrimonialisées aux fins d'identification territoriale, monopolisées plus ou moins exclusivement aux fins de maintien d'une forme d'entre soi ou encore purement et simplement privatisées aux fins de profits strictement économiques. Ces trois entrées permettent d'insister sur le fait que les processus d'appropriation d'un support identique (la vague) peuvent engager des finalités totalement différentes. Les configurations sociales, spatiales et politiques font qu'à des moments historiquement datés et dans des destinations touristiques données, des vagues de surf peuvent à la fois être patrimonialisées, privatisées ou monopolisées.

S'il est classiquement entendu que le processus de patrimonialisation vise à transmettre des objets matériels ou de l'immatériel aux générations futures – voir Christian Bromberger (2006) au sujet du sport –, force est de constater que l'appropriation des vagues répond à des intérêts directs (politiques, économiques, symboliques) éloignés de toute préoccupation commune et partagée. Les intérêts individuels et collectifs à l'égard d'une activité structurante pour certains territoires touristiques questionnent donc directement la notion de bien commun. La vague est par exemple perçue par des élus locaux du Pays basque comme une « ressource territoriale » (Gumuchian & Pecqueur 2004) et naturelle rare, digne d'être conservée « entre ses mains » au risque d'engendrer des concurrences territoriales explicites. Si la patrimonialisation de la vague de « Parlementia » implique « un enlacement des fonctions patrimoniales et territoriales dans la formation du lien spatial (individuel et collectif) » (Di Méo, 1994), la mobilisation des deux maires des communes de Bidart et de Guéthary ne peut faire l'économie de l'étude d'intérêts explicitement politiques. Ainsi, la fabrique du territoire est un principe et un objectif majeur pour tout dirigeant politique, or ici, la singularité réside dans le fait qu'il s'agit de faire du territoire avec une ressource aquatique.

Aux Maldives et aux Fidji, l'économie est au centre de toute appropriation des « spots » de renommée mondiale même si le gouvernement fidjien vise dorénavant à utiliser le surf comme outil structurant l'offre touristique (sans qu'il soit possible de quantifier les effets à court terme du changement de stratégie politique suite au décret de 2010). Les îles des Maldives sont devenues, depuis une vingtaine d'années, une destination privilégiée des surfeurs australiens, américains et européens en quête d'exotisme et de vagues de « qualité mondiale », telles que définies de manière indiscutée dans la presse spécialisée internationale. Offrant une variabilité importante d'espaces de pratique, certains atolls, dédiés à l'hébergement de luxe dans des hôtels 5 étoiles, sont reconnus comme pouvant offrir des vagues d'excellente qualité. Les promoteurs et organisateurs de « surftrip » se sont rapidement positionnés sur ce secteur géographique au point, en accord avec les autorités locales en charge du développement économique et touristique de l'archipel, de privatiser strictement l'accès aux vagues. Très circonscrits sur le plan spatial, ces atolls sont uniquement réservés à une clientèle étrangère haut de gamme.

Enfin, le « localisme » est une autre forme d'appropriation – plus ou moins exclusive – des vagues par des surfeurs revendiquant une sorte de domination traditionnelle selon la typologie weberienne (Weber, 1995). Qualifiées de « localisme » dans le jargon de l'univers du surf – forme contemporaine d'autochtonie –, les procédures d'appropriation sont portées par des individus dont l'objectif avoué est de limiter les effets, néfastes à leurs yeux, de la surpopulation des « spots » de surf par les populations touristiques. Si le localisme et son corollaire lié à un imaginaire belliqueux restent davantage discursif que réel, il n'en demeure pas moins que des vagues de surf sont réputées pour être jalousement conservées, autrement dit monopolisées, par des surfeurs « locaux ». Quelques vagues de Bretagne, du sud de l'Aquitaine, du littoral espagnol voire, à une échelle plus exotique, des îles polynésiennes (Tahiti) et pacifiques (Hawaii), sont ainsi emblématiques de ces appropriations distinctes de tout mode de régulation officielle politique et juridique.

On le voit, ces quelques cas empiriques témoignent de la (très) relative perception des vagues en qualité de bien commun accessible et dédié au plus grand nombre. Les intérêts politiques, économiques et sociaux illustrent la difficile mise en commun d'un bien naturel approprié par les habitants (élus locaux, entrepreneurs, usagers). Dès lors, l'optimisation des accès aux vagues, de

leur préservation durable et du maintien de leurs propriétés environnementales, posent la question des processus de régulation/dérégulation. Dès lors, comment, à l'initiative de qui et selon quelles logiques sociales doit se décider le cadre (nécessairement ?) normatif visant à appréhender les vagues de surf comme un bien commun ?

RÉFÉRENCES

- BROMBERGER C., « De la notion de patrimoine sportif. » Patrimoine sportif et tourisme, *Cahiers Espaces*, n°88, 2006, p.8-12.
- DI MÉO G., Patrimoine et territoire, une parenté conceptuelle, *Espaces et sociétés*, n°78, 1994, p. 15-34.
- GUIBERT C. (2014), Les vagues de surf : des convoitises différenciées. Entre patrimonialisation, privatisation et monopolisation, *Terrain*, n° 63, pp. 126-141.
- GUIBERT C. (2019), Contrôler ou s'émanciper. Ce qui sépare : de l'usage intéressé des normes et des marges, Mémoire d'HDR, ENS Lyon, 400p.
- GUMUCHIAN H., PECQUEUR B., La notion de ressource territoriale, *Montagnes Méditerranéennes*, n°20, 2004, p. 4.
- INSEE Première, 2015, Un million d'emplois liés à la présence de touristes, n°1555.
- WEBER M., Les catégories de la sociologie, *Économie et société*, Tome 1, Paris : Plon, 1995, 411 p.

UN DÉVELOPPEMENT HÉTÉROGÈNE DU TOURISME DANS LES TERRITOIRES INSULAIRES : POINTS COMMUNS ET NÉCESSITÉ D'UNE APPROCHE SPÉCIFIQUE

C. Petr¹, C. Mahéo², Sofía López-Rodríguez³, Saidah Attoumani⁴
A. Cariou⁵, C. Chenard⁵, J. Fiocco⁵, B. Motreff⁵

¹. Université Bretagne Sud, Laboratoire d'Économie et de Gestion de l'Ouest (EA 2652), Institut de Management de l'UBS, DSEG, Campus de Tohannic, 56 000 Vannes, France. christine.petr@univ-ubs.fr

². Université Bretagne Sud, Pôle de Recherche Francophonies, Interculturel, Communication, Sociolinguistique (EA 7469), UBS, 4 rue Jean Zay, BP 92116, 56321 Lorient Cedex, France. claire.mahéo@univ-ubs.fr

³. Departament d'Economia de l'Empresa. Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa, km 7.5, 07122, Palma, Espagne. sofia.lopez@uib.es

⁴. Laboratoire GR3D (Groupe de Recherche pour le Développement Durable de Diégo-Suarez), IST-D (Institut Supérieur de Technologie d'Antsiranana), BP 509 Antsiranana, 201, Madagascar. attoumanisaidah@hotmail.com

⁵. Licence Marketing-Vente (Promotion 2019-2020), Institut de Management, DSEG, Campus de Tohannic, BP 573, 56017 Vannes Cédex, France.

Mots-clés : îles ; développement touristique ; impact environnemental ; croissance économique

RÉSUMÉ

L'objectif ici est de reconsidérer le développement du tourisme insulaire aujourd'hui et la nécessité d'en avoir une gestion raisonnée, mais il nous semble que la grande diversité des configurations du développement du tourisme dans les îles doit être prise en compte comme fondement de toute analyse notamment pour étudier les impacts de la sur-fréquentation touristique.

ABSTRACT

The objective here is to reconsider the development of island tourism today and the need to have a reasoned management, but it seems to us that the great diversity of the configurations of the development of tourism in the islands must be taken into account as the basis of any analysis, in particular to study the impacts of tourism over-occupancy.

« La définition du mot île, retenue par le Dictionnaire de la géographie, paru sous la direction de Pierre George est la suivante : « terre isolée de tous côtés par les eaux ». L'accent est donc mis sur l'isolement lié à l'encerclement de l'espace exondé par les eaux » (Lasserre, 2). Si cette définition est commune à toutes les îles, leurs origines géologiques, leurs tailles, leurs écosystèmes, l'histoire de leur peuplement et de leur développement sont tous radicalement différents à l'échelle de la planète. Cependant, Guy Lasserre citant Aubert de La Rüe, « fait remarquer que les îles ont

toujours exercé une certaine fascination sur les hommes, et qu'elles ont été très tôt colonisées par les habitants du continent ».

Cette fascination perdure aujourd'hui : les îles font rêver, tout un imaginaire, que les îles soient méditerranéennes, tropicales ou subtropicales ou septentrionales, s'est développé, souvent lié aux mythes maritimes et aux dangers des voyages en mer sans cesse réalimentés par les voyageurs, marins ou touristes au fil du temps. Aujourd'hui, leur médiatisation et leur promotion en lien avec les destinations touristiques s'appuient également sur cet imaginaire. En effet, dès le 19^e siècle en méditerranée et sur le littoral atlantique, puis plus récemment notamment sur les îles tropicales et subtropicales, le tourisme se développe sur ces morceaux de territoire. Le succès du tourisme est d'ailleurs devenu une spécificité des territoires insulaires. « Le tourisme s'inscrit ainsi dans l'ensemble des activités tertiaires créatrices d'emplois et permet d'élever le niveau de vie des populations des petits États insulaires. » (Lasserre)

Comme nous l'avons déjà souligné dans le chapitre introductif, et que le colloque montre déjà, les caractéristiques du tourisme insulaire sont connues : « mythe de l'île, attraits essentiels du soleil et de la mer, contraintes potentialités humaines locales, saturation plus vite atteinte qu'ailleurs, menaces sur l'environnement plus fortes, etc. » (Barbier)

Par conséquent, sans ignorer ces points communs, l'objectif ici est de reconsidérer le développement du tourisme insulaire aujourd'hui et la nécessité d'en avoir une gestion raisonnée, mais il nous semble que la grande diversité des configurations du développement du tourisme dans les îles doit être prise en compte comme fondement de l'analyse.

Il s'agit de montrer que des variables comme l'ancienneté du développement touristique, l'éloignement versus la proximité des foyers émetteurs de touristes, la taille des espaces insulaires, le niveau de vie de la région, le manque ou le surplus d'offres sur place (d'hébergement, de transport) ainsi que le contexte politique et social sont des variables déterminantes pour préciser le contexte dans lequel se retrouve la destination insulaire.

Les recommandations que le chercheur et le gestionnaire touristique doivent conjointement élaborer doivent nécessairement s'adapter à ce contexte. Les ambitions et priorités doivent être définies en fonction de tous ces éléments, puis traduits en termes d'actions concrètes, aménagements des infrastructures, actions réglementaires et en stratégies de sensibilisation des habitants à l'accueil des touristes, mais aussi des touristes à l'égard des lieux et populations qu'ils visitent.

1. LES ÎLES MÉDITERRANÉENNES : UNE NÉCESSAIRE REMISE EN QUESTION DU TOURISME DE MASSE POUR UN TOURISME PLUS DURABLE MAIS UNE RÉALITÉ SOUMISE AUX POLITIQUES

1.1 LA QUESTION CLÉ DU TOURISME SOUTENABLE DANS LES ÎLES BALÉARES : COMBIEN DE TOURISTES EST-IL ENCORE POSSIBLE D'ACCUEILLIR ? (PAR SOFÍA LÓPEZ-RODRÍGUEZ)

Les Îles Baléares forment une communauté autonome en Espagne avec un total de 4,992 km². L'archipel se compose de 4 îles habitées : Majorque, Minorque, Ibiza et Formentera, avec une population totale de 1,187,808 habitants.

Le boom touristique a commencé dans les Îles Baléares dans les années 1960 avec le développement fort d'un tourisme de masse, permettant un boom économique dans les îles. Le tourisme est ainsi devenu la principale activité économique. Ce développement n'est pas inoffensif pour le paysage et les ressources insulaires : le développement urbain et territorial nécessaire à l'infrastructure de cette nouvelle activité économique s'est réalisé au prix d'un grand impact environnemental et paysager.

Aujourd'hui, le tourisme reste la principale activité économique des îles Baléares : l'année 2018 s'est clôturée avec la visite de 16 millions de touristes, 13,7 millions en 2019.

Les institutions et pouvoirs publics mènent donc diverses initiatives pour, d'une part, désaisonna-

liser cette activité. Il s'agit d'offrir d'autres produits touristiques, en plus du traditionnel « soleil et plage » qui permettent une croissance économique plus large et plus maîtrisée. Sports, culture, nature, tourisme de congrès sont quelques-unes de ces propositions qui prennent de l'importance chaque année. De plus, des efforts sont également déployés pour réduire l'impact environnemental de cette activité sur l'environnement, tant du point de vue du paysage que de la conservation des autres ressources naturelles nécessaires au maintien des conditions de vie et à la coexistence des autres activités économiques insulaires ; l'eau et la préservation des ressources en eau sont à cet égard particulièrement importantes.

Outre le tourisme national, les principaux pays émetteurs de tourisme dans les îles Baléares sont l'Allemagne et le Royaume-Uni. Autrement dit, des pays proches du bassin méditerranéen. Par conséquent, de telles mesures de protection de l'environnement et de gestion du tourisme sont de plus en plus nécessaires si les îles Baléares veulent rester un marché touristique compétitif dans la région, avec un paysage attrayant et riche d'un point de vue environnemental.

Pour répondre à ces problématiques croissantes, différentes approches sont donc à l'étude. Cependant, il n'y a toujours pas de consensus sur une question clé concernant l'évolution du tourisme baléaire : y'a-t-il un nombre maximum de touristes que les îles peuvent supporter du point de vue du bien-être environnemental et socio-économique ? Si oui, quelle serait la meilleure façon d'analyser ce potentiel maximum ?

Il ne fait pas de doute que les îles Baléares sont actuellement une grande attractivité touristique, mais une analyse critique des défis et opportunités auxquels elles sont confrontées dans les nouvelles conditions d'hypercroissance touristique redevient nécessaire pour assurer la durabilité de cette activité économique phare pour ces îles.

1.2 LA CORSE : UNE ÎLE FACE AUX DÉSÉQUILIBRES OFFRE/DEMANDE ET À UNE TRÈS FORTE SAISONNALITÉ SUR LA PÉRIODE ESTIVALE (PAR BENJAMIN MOTREFF)

La Corse est une île située au Sud de la France et s'étend sur 8680 km². Surnommée « l'île de Beauté » en référence à la richesse de ses paysages et de son patrimoine naturel, elle a connu un développement touristique assez tardif bien que l'île ait acquis une certaine renommée touristique auprès des anglais dès le début du 19^e siècle. Désormais, l'économie locale est très dépendante du tourisme comme le montre ce chiffre comparatif emblématique : en France, il y a 18 lits d'hôtels pour 1000 habitants. En Corse, c'est 83 lits d'hôtels pour 1 000 habitants, elle rejoint en cela le cas des Baléares, même si la taille des hôtels est bien différente. Cela suggère ainsi l'importance de la dépendance mais aussi la spécialisation touristique de l'économie Corse. De plus, le tourisme participe à la création d'emploi : entre 12 à 14 000 emplois en été. En période estivale, la population totale est 2,4 fois supérieure par rapport à la population résidente de novembre ou fin janvier.

Malgré une météo plus avantageuse en Corse que dans d'autres îles françaises grâce à une moins forte exposition aux tempêtes, une température plus chaude sur une plus longue période, la Corse subit la saisonnalité du tourisme (sauf dans les deux grandes villes Bastia et Ajaccio où elle se fait moins sentir). Ainsi, le nombre de nuitées est répartie sur l'année entre 87% des nuitées entre juin et septembre dont 38% pour le moins d'août.

Cette saisonnalité pose des problèmes au niveau de la gestion du personnel et donc au niveau de la précarisation de l'emploi. En effet, les employeurs peuvent choisir d'embaucher en contrats courts ou alors se retrouver en sureffectifs en basse saison, certains choisissent aussi de faire appel à l'économie souterraine. Il y a un problème au niveau de la légalité des emplois puisque le taux de salariat pour l'emploi permanent est de 75% donc 25% des emplois sont non déclarés. De plus, l'importance des recrutements de personnels saisonniers peut générer des soucis compte tenu des ratios (44% - 56%) qui donnent quasi autant d'importance aux populations saisonnières qu'aux populations résidentes. En effet, outre le fait que cela peut entraîner un problème

de manque de qualification et de formation puisque l'emploi saisonnier n'exige pas de disposer de formations (et induire une baisse de la qualité de l'accueil vis-à-vis des touristes), les rémunérations versées au titre de l'activité touristique (qui s'élève à près de 500 millions d'euros) n'est pas réinjectée en totalité dans le circuit économique local. En effet, tous les salaires versés aux personnes travaillant dans le secteur du tourisme ne profitent pas pleinement à l'économie Corse. De plus, et comme c'est aussi le cas dans de nombreuses îles, la Corse est une région où l'on consomme plus qu'on ne produit. Cependant, les biens consommés sont régulièrement des biens importés. Il y a peu d'industries autres que le tourisme en Corse ce qui diminue la marge obtenue sur les ventes. Enfin, les dépenses des touristes en termes d'hébergement et de nourriture représentent proportionnellement la part la plus élevée des consommations et ceci en raison de la nature des dépenses des touristes qui est prioritairement liée à l'achat d'hébergement professionnel. Les défis à relever pour la Corse sont donc multiples : malgré l'ouverture de commerces purement saisonniers, l'importance du développement touristique de la Corse conduit à une situation où aujourd'hui, l'offre n'absorbe pas la totalité de la demande. En somme, la Corse fait face à une forte saisonnalité du tourisme et donc, par conséquent, à une variation importante d'activités, ce qui cause des problèmes au niveau des stocks et de la structure de stockage pour les commerces mais aussi de capacité de production et de personnels. Trouver les moyens d'améliorer les modalités pour répondre à ces difficultés sont des défis majeurs pour les responsables de la gestion du tourisme en Corse.

1.3 LES ÎLES GRECQUES : LA PRESSION DE LA POLITIQUE TOURISTIQUE GOUVERNEMENTALE SUR L'ENVIRONNEMENT INSULAIRE (PAR JULIA CHENARD)

La Grèce compte un nombre très important d'îles dont l'estimation peut aller de 1 200 jusqu'à 6 000 en fonction du critère retenu notamment la superficie. Cependant, le nombre d'îles habitées se situe entre 166 et 227.

Le tourisme en Grèce pèse près de 20% dans son économie et fait travailler plus d'un million de personnes : les Grecs ont conscience de l'importance du tourisme dans l'économie selon Elena Kountoura, la ministre chargée du tourisme. Le gouvernement multiplie ainsi les politiques afin de rendre les îles encore plus attractives et proposer des formules pour les touristes. De plus, l'économie touristique réalisée par les îles grecques est jugée essentielle par le gouvernement grec qui mise beaucoup sur le tourisme sur ces îles.

- Les dangers du tourisme sur les petites îles : le cas de l'hypertourisme de Santorin

Sur l'île de Santorin (plus petite que Paris intra-muros), les chiffres indiquaient en 2016 un score de 2,1 millions de touristes pour 10 000 habitants.

En 2015, le maire de l'île, Nikos Zorzos, a appelé le ministère grec du Tourisme à trouver les moyens de limiter l'afflux de touristes afin de protéger les vestiges de l'île. En effet, les rues sont bondées, les restaurants surchargés, la circulation extrêmement dense... L'engorgement des touristes provoquent des conséquences néfastes au détriment de l'environnement mais également à la tranquillité des insulaires. Le projet souhaité par le maire était d'arriver à limiter le débarquement du nombre de passagers de croisières à 8 000 entrées par jour.

- Un déséquilibre dans la capacité à gérer le tourisme en fonction de la taille de l'île

Le développement touristique des îles grecques suit souvent ce même schéma. Au début de l'histoire touristique, la Grèce a compté sur l'attrait des principales grandes îles (Crète, Rhodes, Corfou, ...). Si ces grandes îles ont su s'adapter et profiter du touriste dans le but de faire perdurer l'économie locale et proposer des activités aux vacanciers, la tendance s'est inversée pour les petites îles.

Il s'observe un paradoxe entre les attendus de vacances des touristes de ces îles « moins connues » (souvent les plus petites) et ce qu'ils y vivent réellement. Ainsi, les visiteurs demandent davantage de calme et de tranquillité. Or, le problème est que ces îles dites « non touristiques » ont une capacité d'accueil très limitée qui génère par suite un sentiment de vivre la pression d'un tourisme de masse (avec des restaurants bondés, des plages envahies). Ceci est bien sûr sans compter avec les effets néfastes sur la biodiversité. Le tout provoque une certaine crainte du tourisme et de la venue du touriste.

- Le défi de la Grèce vis-vis du tourisme insulaire suite à la crise économique

Avec la crise économique en Grèce, le tourisme a été lourdement impacté et on observe l'accroissement de la demande touristique vers les îles plutôt que vers Athènes ou le Péloponèse qui disposent de davantage de capacité d'accueil. Cette augmentation impose aux insulaires de s'adapter à l'arrivée de toujours plus de touristes alors qu'elles n'en ont pas forcément les moyens sachant que la situation va continuer puisque le gouvernement grec cherche, quant à lui, à étendre la période touristique. Le désaccord entre les politiques publiques nationales, les stratégies d'attractivité de la destination nationale et les habitants des îles risquent de conduire à des réactions anti-touristiques qui nuiront à tous. Des phases de négociation et des arbitrages dans les choix des lieux à rendre à nouveau attractifs semblent le défi majeur de la Grèce dans le contexte actuel.

1.4 LES ÎLES CROATES : UN TOURISME DÉBRIDÉ QUI EXCLUT LE TOURISME DOMESTIQUE (PAR ARTHUR CARIOU)

En quelques années la Croatie s'est imposée à nouveau comme une destination touristique incontournable dans la Méditerranée. Dès 2007, le pays accueillait plus de 11 millions de visiteurs, générant 21% du PIB, contre 15% en 2001. Aujourd'hui, la Croatie compte plus de deux touristes par habitant.

Son principal attrait touristique est constitué par la côte adriatique et ses îles même si le pays possède des sites touristiques dans les zones intérieures. En effet, la partie méditerranéenne du pays représente 31% de la superficie totale avec 1.185 îles et îlots, dont 47 sont habitées. La côte croate est connue pour sa beauté, sa biodiversité et avant d'être une attraction touristique, elle était une fierté nationale.

L'état croate a conscience de l'importance du tourisme qui constitue une formidable opportunité économique. Toutefois, le développement touristique exponentiel des côtes et îles adriatiques provoque des disparités économiques régionales très importantes. Les terres sont délaissées et l'économie est centralisée sur les côtes.

- Un tourisme de masse qui s'est imposé trop vite : des impacts fonciers et une exclusion du touriste national

L'afflux des visiteurs étrangers a fait monter les prix beaucoup trop vite par rapport aux revenus des habitants. Ceci a un double effet néfaste. D'une part, la hausse du foncier explose et réduit les possibilités d'accès à la propriété pour les habitants. Ainsi, l'immobilier connaît une flambée des prix. Les prix augmentent de 30% à 50% par an. Il y a une forte demande d'achats de résidences secondaires alors même que les produits de ce type sont rares. D'autre part, la hausse des prix sur les espaces devenus touristiques pour les voyageurs étrangers, les touristes nationaux n'y trouvent plus leur compte. En effet, les prix proposés dans les structures touristiques des côtes et des îles du pays conduisent à une exclusion des touristes nationaux de ces côtes et îles de l'Adriatique. Ainsi, la côte croate est désormais devenue inabordable pour une partie des Croates qui doivent aller en Turquie ou en Bulgarie pour avoir des vacances à leur portée.

- Des attitudes et réaction anti-touristes qui émergent

L'afflux de touristes acquéreurs et/ou d'investisseurs génère des réactions parfois vives et un sentiment d'inéquité vis-à-vis de politiques d'urbanisme jugées trop pro-touristiques. On peut remarquer un agacement de la population comme avec cette intervention d'un habitant ancien de l'île de Brač en Dalmatie contre le maire de la ville qui s'insurge en disant : « *Vous êtes un voleur. Cela fait vingt ans que vous détruisez la région. Cet hôtel n'accueillera que des touristes en pension complète qui ne dépenseront pas un sou dans le village. En revanche, il consommera encore plus d'eau, produira encore plus de déchets !* »

Conscientes des risques écologiques que peut générer la spéculation, les autorités croates ont adopté dès 2005 une réglementation comparable à la loi littorale française pour limiter le « bétonnage » de leurs côtes. Elles souhaitent éviter autant que possible les constructions sur le littoral, mais la réalité est souvent tout autre.

La population locale se sent rejetée par les effets directs de l'expansion touristique, le sentiment que l'industrie du tourisme n'est pas finalement la meilleure solution s'insinue et s'exprime de plus en plus alors même qu'elle fait office de politique publique prioritaire de développement économique.

Pour conclure, le tourisme croate pose trois problèmes majeurs : l'augmentation du foncier, l'exclusion pour la population croate de bénéficier des vacances et loisirs en zone littorale en raison de prix qui deviennent inabordables et la désagrégation du patrimoine immatériel local (entre éloignement et même disparition de la culture originelle des villes croates du littoral et dénaturalisation du littoral croate par des politiques d'urbanisme contestées).

Les îles et littoraux croates font face aux mêmes enjeux que de nombreuses îles avec des problèmes d'infrastructures, des problématiques liés aux logements et à l'environnement. Toutefois, dans le contexte croate, s'y ajoute des manifestations et des réactions anti-touristiques de la population nationale (manifestations, articles de personnes influentes et interventions verbales brutales face à de fortes inégalités sociales entre touristes et nationaux) qui risquent à terme de desservir l'attractivité de la destination si des mesures ne sont pas prises.

2. DES ÎLES PEU TOURISTIQUES : UN DÉVELOPPEMENT NÉCESSAIREMENT DURABLE

2.1 MADAGASCAR : DÉVELOPPER LE TOURISME BALNÉAIRE SANS DÉGRADER L'ENVIRONNEMENT NATUREL ET HUMAIN (PAR SAIDAH ATTOUMAND)

A l'inverse des nombreuses autres cas d'îles qui sont déjà depuis longtemps et très largement fréquentées par le tourisme, Madagascar n'en est encore qu'à ses débuts. Ce retard relatif est aussi une opportunité pour éviter les erreurs de ceux qui se sont développées avant en manquant de vision à long terme. Les responsables du tourisme comptent bien ne pas commettre trop d'erreurs pour développer le tourisme, d'abord balnéaire, mais sans risquer de dégrader ce qui en fait aujourd'hui toute l'originalité et la richesse de l'île.

Les données relatives aux aspects géographiques, démographiques et économiques sont synthétisées dans le tableau 1 (page suivante).

Madagascar est une île dont la superficie est très importante avec 587 040 km². Située sur la côte Est de l'Afrique, son environnement naturel constitue aujourd'hui un atout essentiel.

Même si certains problèmes sont connus (déforestation), Madagascar est reconnu comme étant l'un des pays les plus riches du point de vue écologique. Le pays dispose d'un extraordinaire capital biologique, tant au niveau de la faune que de la flore, à la fois terrestre et marin. A ce titre,

cette île se distingue par sa diversité et la qualité de ses espèces naturelles endémiques (faune et flore comme le montre la figure 1). Le taux d'endémisme des espèces végétales et animales y est extrêmement élevé, pouvant atteindre jusqu'à 95%.

Données géographiques	Données démographiques	Données économiques
	Population : 25,6 millions d'habitants en 2017 (Banque mondiale) Densité (en 2015) : 42 habitants/km² (Banque mondiale) Croissance démographique (en 2017) : 2,7 % (Banque mondiale) Indice de développement humain (2018) : 161e sur 188 pays (PNUD)	PIB (2017) : 11,5 milliards \$ RNB par habitant (2017) : 400 \$ (Banque mondiale)

Tableau 1 – Madagascar en chiffres



Figure 1 - Quelques illustrations des atouts naturels de Madagascar

- Un tourisme en phase de démarrage

Malgré ses atouts, le tourisme à Madagascar est encore peu développé. Pourtant, le tourisme est considéré comme l'une des activités économiques les plus importantes pour l'île puisqu'il en est une des premières sources de devises.

L'immense potentialité touristique de Madagascar est à peine exploitée. Madagascar est une destination touristique encore peu explorée. Le nombre de visiteurs accueillis à Madagascar reste modeste en comparaison avec sa superficie.

Si l'on effectue une comparaison ne serait-ce qu'avec l'une des îles environnantes, par exemple l'île Maurice : en 2017, selon Statistics Mauritius, l'île Maurice (2.040 de km ² de superficie) a accueilli 1 341 860 touristes et Madagascar (587.040 de km ² de superficie) a enregistré un peu moins de 300 000 touristes pour la même année, selon le Ministère du Tourisme de Madagascar. Le gouvernement malgache table sur 500 000 touristes par an, d'ici 2020.

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
344	375	162	196	225	255	196	222	244	293	255
348	010	687	052	055	942	375	374	321	185	460

Tableau 2 - Évolution des arrivées des visiteurs non-résidents aux frontières par année

Source : Ministère du tourisme de Madagascar, 2019

• Les enjeux et défis du tourisme pour Madagascar

L'éloignement géographique des marchés émetteurs, le manque d'infrastructures touristiques comme les hôtels, les routes et les moyens de transport intérieur, le manque de promotion de la destination, sont autant de freins au développement du tourisme à Madagascar.

Quant au marché national, son existence demeure encore marginale, considérant le faible pouvoir d'achat des Malgaches, la rareté des congés payés...

La nature est l'une des richesses durables du pays, un atout pour sortir Madagascar de la pauvreté mais si cet accroissement du volume de touristes n'est pas contrôlé, le développement du tourisme pourrait contribuer à la destruction de ces ressources naturelles alors même que, comme cela a été souligné précédemment, la qualité de l'environnement naturel est ce qui fait l'avantage touristique distinctif de Madagascar.

Madagascar dispose de 5 500 km de côtes de toute nature et se distingue par sa biodiversité marine et un littoral également exceptionnel par la profusion des variétés d'espèces qui le peuplent. L'exploitation du littoral et le secteur du tourisme peut être une source de revenus non négligeable pour la population.

• L'urgence des questions sur le tourisme pour soutenir le développement économique

La démographie galopante du pays a déjà accéléré le défrichement. La régénération naturelle de la forêt n'est plus assurée. 90% de la surface forestière malgache d'origine a disparu selon les chiffres publiés par le ministère de l'Environnement et des Forêts malgache.

La marge de progression du tourisme malgache est encore importante si des solutions sont apportées au niveau des infrastructures, des capacités de siège d'avions et des capacités d'hébergement notamment.

Outre les questions sur les moyens humains, matériels et financiers permettant de gérer la croissance de la fréquentation et ses effets potentiels sur l'environnement naturel et humain, il s'avère nécessaire de trouver un équilibre entre une fréquentation de masse et une fréquentation de bas volume.

Dans une perspective de développement durable, un équilibre doit être trouvé entre protection des richesses naturelles du pays et développement du secteur touristique considéré comme l'un des piliers de la croissance économique.

2.2 LES ÎLES DE LA MADELEINE : UNE HOSPITALITÉ BIENHEUREUSE (PAR JULIA FIOCCO)

Les îles de la Madeleine sont composées de plusieurs îles comme l'île Brion, l'île d'Entrée, l'île Pointe-Aux-Loups... C'est un archipel canadien du golfe du Saint-Laurent appartenant au Québec (Voir figure 2). Elles s'étendent sur 205,5 km². L'archipel est toutefois assez isolé par rapport aux grands centres de réception touristiques du Québec.

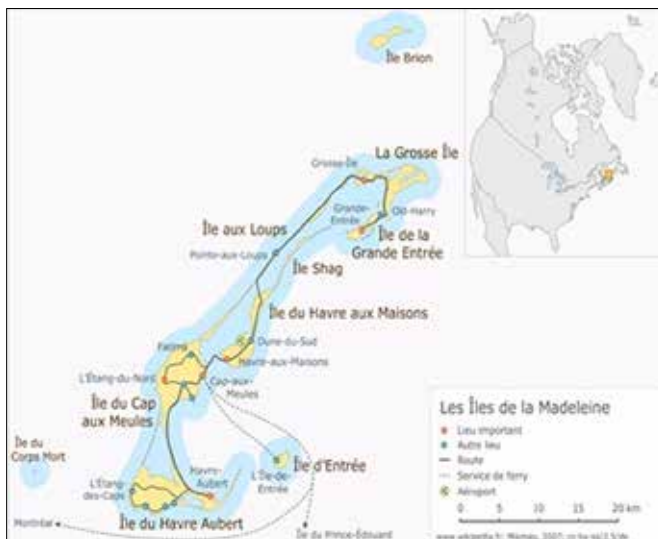


Figure 2 – Les îles de la Madeleine (Canada)

Les îles de la Madeleine offrent un système écologique riche et fragile. L'héritage madelinot est tout autant matériel qu'immatériel puisqu'on y trouve partout l'architecture, la pêche, la musique, les traditions et le parler madelinot (accent qui séduit le visiteur touristique).

Au fil du temps, l'amélioration des moyens de communication a largement atténué l'isolement des insulaires qui conservent une façon de vivre unique. En 2013, la population totalisait 12 721 habitants, dont 5% environ sont des anglophones majoritairement d'origine écossaise.

• La place du tourisme et le rôle des habitants

Les habitants insulaires ont une expérience de l'accueil du tourisme. Ils ont l'habitude de répondre aux besoins des touristes : pratique fréquente des locations (vélos, voitures, scoots), propositions de visites guidées, construction d'aménagements dédiés aux touristes comme l'entretien des sentiers de promenade, l'offre de taxis et bus... L'archipel offre une forte concentration de sites et d'activités diversifiées permettant autant de d'expériences touristiques en lien avec de la terre et avec la mer.

Il n'y a pas de saisonnalité bien que la fréquentation soit plus importante l'été. Toute l'année, les îles de la Madeleine offrent attraits et activités. En été, ce sont les plages et les activités de plein air qui demeurent les principales forces d'attraction. L'hiver offre l'occasion de découvrir et de vivre au rythme naturel des insulaires après l'effervescence de la saison estivale.

Parmi les témoignages et paroles du voyageur, on relève des commentaires qui insistent comme celui-ci « l'intensité des couleurs et le vent m'ont conquis mais par-dessus tout, c'est la chaleur et la gentillesse des Madelinots qui m'ont marqué pour la vie. Vive les îles ! » (Josée, visiteuse).

De leur côté, les habitants expriment leur fierté d'avoir cette identité insulaire particulière. Ainsi, les habitants se disent : *“Fiers de leurs origines, les Madelinots ont su conserver l'authenticité de leur parler (accent) au fil des ans.”* Et pour citer à nouveau des témoignages, citons Marie-Christine (habitante de Gros-Cap) qui explique : « j'ai une appartenance forte pour mes îles. J'aime les partager et je prends plaisir à les faire découvrir. L'amour que j'ai pour mes îles, ça ne s'explique pas, ça se vit. »

Il transparaît ainsi un équilibre positif entre des habitants qui apprécient de recevoir des touristes

qu'ils souhaitent accueillir, rendre heureux de leur séjour et à qui ils aiment montrer les atouts de leurs îles et faire partager ce qui fait l'âme de leurs îles.

- Un tourisme durable par définition

Sur les îles de la Madeleine, le tourisme est naturellement durable. Le tourisme durable n'y est pas une pratique à part, ni un marché touristique particulier. C'est une démarche qui peut être adoptée par tout acteur touristique en intégrant les principes du développement durable dans sa gestion stratégique et/ou l'offre qu'il propose. Le tourisme durable relève aussi de la responsabilité individuelle des voyageurs : dans leurs comportements, gestes quotidiens et choix de prestataire(s) et/ou destination(s) selon des critères de durabilité.

La force de l'identité insulaire est parfois source de confusion de la part des touristes, surtout étrangers, si l'on considère l'identité québécoise qui est elle-même spécifique. En effet, les touristes sont parfois perdus par rapport aux îles et ne savent pas quelles sont les régions principales du Québec. Il y a beaucoup de régions touristiques au Québec, ce qui perd les touristes et n'arrive plus à caractériser l'identité du Québec et à situer l'identité Madelinoise par rapport à l'identité québécoise.

RÉFÉRENCES

- ARSENEAU BUSSIÈRES S., CHEVRIER H. (2007), Profil socioéconomique de la communauté anglophone des Îles-de-la-Madeleine, mars, rapport CERMIM, UQAR.
- BEAUDET G., CAZELAIS N., NADEAU R. (2000), *L'Espace touristique*, Québec : PUQ.
- CHEZE M. (2016) Les Français en Grèce : du tourisme de lettrés au tourisme de masse (années 1930- années 1990), Centre d'histoire de Sciences Po, « *Histoire@Politique* », 1 n° 28, pages 126 à 144.
- DERENS J.A., GESLIN L. (2018), Haro sur le tourisme de masse en Croatie, *Le Monde Diplomatique*, septembre, N°774.
- GEORGES A. T., RAJAONSON J. (2012) Stratégie de sélection d'indicateurs de tourisme durable pour les régions de la Gaspésie et des Îles de la Madeleine, *Innovations en tourisme durable*, *Téoros*, N° HS, pp.27-34.
- Îles et tourisme en milieu tropical et subtropical. *Actes du XIe Colloque de la Société pour l'Étude, la Protection et l'Aménagement de la Nature dans les Régions Intertropicales* (SEPNRIT), Bordeaux, 9-10 avril 1987. Talence : Centre de Recherches sur les Espaces Tropicaux (Université Michel de Montaigne, Bordeaux 3), 1989. 320 p. (Îles et Archipels, 10)
- LASSERRE G., « îles », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 22 janvier 2021, url : <http://www.universalis-edu.com.srvext.uco.fr/encyclopedie/iles/>
- SAVARY D. (2018), Sur-tourisme, ces 12 destinations qui n'en peuvent plus, *Le Quotidien du Tourisme*, 10/09.
- SAVARY D. (2018), Grèce, Le tourisme, davantage une malédiction qu'une bénédiction, selon un écologiste, *Le Quotidien du tourisme*, 7/06.
- SIDO B., BAILLYG., FORTASSIN F., PANIS J., RAOULT P. (2008-2009), La Croatie : une « nouvelle côte d'Azur » pour l'Union européenne ? (Mission effectuée en Croatie du 15 au 19 juillet 2008, rapport d'information N°49 au nom de la Commission des affaires économiques, https://www.senat.fr/rap/r08-049/r08-049_mono.html#toc92
- SOURBES L. (1998), « Tourisme alternatif et durabilité dans l'île de Lesbos (Grèce) », N° thématique La Ville et ses territoires en Méditerranée septentrionale, *Méditerranée*, N°89, 2-3, pp.81-86.
- <https://www.tourismeilesdelamadeleine.com/fr/decouvrir-les-iles/particularites-regionales/faune/>
- https://www.tourmag.com/Grece-quand-le-tourisme-pese-20-du-PIB-on-le-prend-au-serieux-_a89239.html

CADRAGES ET PROPOSITIONS THÉORIQUES : ENVISAGER LA CAPACITÉ DE CHARGE TOURISTIQUE EN ZONES LITTORALES ET INSULAIRES, ADAPTER ET PARAMÉTRER LES OUTILS D'ÉVALUATION

M. Tranquard¹, C. Petr²

¹ Université du Québec, Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Plein Air, 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi (Québec), G7H 2B1, Canada

Manu_Tranquard@uqac.ca

² Université Bretagne Sud, Laboratoire d'Économie et de Gestion de l'Ouest (EA 2652), Institut de Management de l'UBS, DSEG, Campus de Tohannic, 56 000 Vannes, France.
christine.petr@univ-ubs.fr

Mots-clés : capacité de charge touristique ; méthodes d'évaluation ; capacité de charge sociale

RÉSUMÉ

La capacité de charge touristique est le seuil de visiteurs au-delà duquel les fonctions d'un milieu seraient objectivement altérées, compromettant son intégrité physique, culturelle et sociale. Considérant les spécificités socio-historiques des pratiques touristiques pratiquées sur les zones littorales et insulaires, la question de l'adaptation des méthodes techniques d'analyse et d'évaluation de cette capacité de charge se pose, notamment au regard de la criticité née de la surfréquentation actuelle du territoire.

ABSTRACT

The tourist load capacity is the threshold of visitors beyond which the functions of an environment would be objectively impaired, compromising its physical, cultural and social integrity. Considering the socio-historical specificities of tourist practices practised on coastal and island areas, the question of the adaptation of technical methods for analysing and evaluating this load capacity arises, in particular with regard to the criticality of the current overcrowding of the territory.

1. INTRODUCTION

Au-delà de certains bénéfices économiques potentiels, le tourisme peut être une activité humaine génératrice d'impacts négatifs pour les territoires d'accueil. Le contexte mondial étant à la croissance de l'activité, l'augmentation des dommages environnementaux, notamment, est particulièrement notable (Cazelais et al., 1999 ; Paul et al., 2007). Le tourisme peut également être à l'origine d'impacts au niveau socioculturel, voire psychologique, dans les territoires où l'activité s'implante. L'afflux de visiteurs pouvant générer des tensions sociales en lien avec la réorganisation de l'es-

pace territoriale dans le but de satisfaire les touristes. Le problème est alors qu'en affectant l'environnement naturel mais aussi social, l'activité touristique réduit d'autant sa capacité à contribuer positivement au développement territorial et durable (Fennell, 1999 ; Gagnon et Lahaye, 2009).

Dans ce contexte, l'élaboration d'un cadre d'optimisation du potentiel de développement territorial par l'industrie touristique nécessite de prendre la mesure des impacts réels de l'activité afin d'en restreindre les effets négatifs. Cette analyse étant d'autant plus critique dans les zones littorales et insulaires où les territoires sont marqués à la fois par une grande vulnérabilité écologique et par une pression anthropique historique résultant d'une surconsommation mondiale due au grand « *pouvoir d'attraction symbolique des destinations insulaires* » (Cazes, 1989).

Au niveau opérationnel, des méthodes d'analyse et des outils de suivi de tels impacts existent, telle que l'évaluation de la capacité de charge. Cette opération porte sur l'évaluation de la pression maximale que l'homme peut exercer sur un territoire sans porter atteinte à son intégrité physique, culturelle et sociale. La capacité de charge touristique est le seuil de visiteurs au-delà duquel les fonctions d'un milieu seraient objectivement altérées, compromettant à la fois son équilibre et les bienfaits et la gamme des avantages et des services qu'ils procurent.

Malgré son intérêt de principe, l'évaluation de cette capacité de charge touristique revêt un certain flou, reposant sur une méthodologie plurielle et non homogène. Des options techniques existent, mais qui varient selon notamment la vocation première des territoires mis en tourisme, les priorités accordées par les gestionnaires, les ressources humaines, financières, temporelles disponibles, etc. Or dans le but d'envisager la pertinence théorique et les modalités opérationnelles du recours à cet outil sur le territoire littoral et insulaire de la Bretagne, une analyse préliminaire de ses objectifs et méthodes semble requise. Tel est l'objet de la présente contribution qui aborde notamment l'importance de la prise en compte de la capacité de charge sociale dans un contexte de développement durable.

2. ÉLÉMENTS DÉFINITIONNELS DE LA CAPACITÉ DE CHARGE DES TERRITOIRES TOURISTIQUES

2.1 À L'ORIGINE, LE CONSTAT DES IMPACTS DE L'ACTIVITÉ TOURISTIQUE

Il est désormais un lieu malheureusement commun que de dire que la fréquentation touristique de masse participe à la dégradation des écosystèmes (Grenier, 2000). Et ceci alors même que bon nombre de formes de tourisme (l'écotourisme par exemple) commercialisent des ressources naturelles et sont tributaires d'un environnement intact. L'impact environnemental du tourisme n'est pas neutre, qu'il s'agisse de l'atteinte à l'intégrité physique du territoire et des paysages (compactage et érosion des sols, dégradation volontaire des sites), de l'exploitation des ressources et des coûts énergétiques des transports, de la pollution au sens large (pureté de l'environnement) et des impacts sur la diversité biologique et les habitats (perte d'habitats et perturbations de la faune) (V. Tableau 1).

	Nature des impacts	Composantes des impacts	Activités humaines impliquées
Composante physique	Modification des sols et fonds marins	Tassement, érosion des sols, terrassement, défrichement, remblaiement, dragage, nivellement, piétinement	Construction d'infrastructures d'hébergement, campement, randonnées, traçage des chemins, stabilisation des sentiers, ancrage de bateaux (plaisance)
		Effets chimiques : déversement de produits nocifs	Construction d'infrastructures d'hébergement, campement,
		Surproduction et enfouissement de déchets	Camping
	Modification de la qualité de l'eau	Effets chimiques : déversement de produits nocifs	Nautisme, plaisance, camping
		Surconsommation, "pics de consommation"	Terrains de golf, plages
		Pollution visuelle / effluents	Nautisme, plaisance, camping
		Eutrophisation / acidification / toxicité	Nautisme, plaisance, camping
	Qualité de l'air	Émission de GES, smog	Construction d'infrastructures autoroutières et plus des déplacements
Composante physique	Modification du patrimoine naturel	Arrachage, usure, graffiti	Toutes activités confondues
	Modification de la flore	Piétinement	Randonnées, campement, ancrage des bateaux, nautisme
		Arrachage, cueillette	
	Perturbation de la faune	Perturbation des habitudes alimentaires	Construction d'infrastructures d'hébergement, campement,
		Créations de réserves, conservation "in situ" et "ex situ"	Réserves fauniques
		Prélèvements	Pêche à pied
		Coexistence avec espèces menacées	Randonnée, campement
		Modification des comportements	Randonnée, campement
	Production de déchets	Surutilisation des sites d'enfouissement, dépassement de la capacité de stockage et conséquences sur la flore et les habitats	Randonnée, campement
	Sources : Benayas del Alamo, 2008 ; Bresson G. et Logossah, 2009 ; Ceballos-Lascurain, 1996 ; Coccossis (LPE), 2001 ; CIRUR, 2005 ; Möller, 2000 ; Pearce, 1976 ; PNUE, 2002 ; Prosser, 1994 ; Proulx, 2006		

Tableau 1. Nature des impacts environnementaux de l'exploitation touristique (dimensions Infrastructures, Hébergement et Activités) (Source : Tranquard, 2013)

De la même manière, le Programme des Nations unies pour l'environnement a réalisé un inventaire synthétique des impacts socioculturels du tourisme. Cet inventaire répertorie quatre grands domaines d'impacts : l'érosion des identités et des valeurs indigènes, les chocs de culture, les pressions physiques entraînant un stress social, et les questions éthiques (PNUE, 2002). Selon Laurent (2003), « *le tourisme associé à la marchandisation entraîne des transformations des cultures locales notamment les rituels religieux, les rites ethniques traditionnels, des manifestations coutumières et les festivals, qui sont souvent réduits ou folklorisés* ». Un sentiment de perte d'identité peut également naître en lien avec la « consommation des mœurs ». Ce phénomène naît d'une réorganisation de l'espace social dans le but de satisfaire les touristes étrangers en quête de repères historiques et culturels qui prennent souvent la forme de « clichés ». Il existe

par ailleurs des limites au changement du système social d'une personne et à la compatibilité avec une culture différente lors des rencontres touristiques. Également, « *des conflits d'usage de la terre et de l'occupation de l'espace peuvent naître sur un territoire car les usages traditionnels rentrent en concurrence avec l'installation d'infrastructures touristiques* » (Laurent, 2003). Une autre manière de présenter ces impacts sociaux est par exemple de distinguer entre impacts socio-culturels et paysagers (V. Figure 2).

	Nature des impacts	Composantes des impacts	Activités humaines impliquées
Composante culturelle	Nuisances	Lumière, bruit	Toutes activités confondues
	Production de déchets	Changements de habitudes de gestion des déchets	Toutes activités confondues Tourisme de masse
	Conflits d'usage	Occupation des terres, expropriations, utilisation touristique des lieux de cultes	Tourisme culturel, tourisme scientifique, tourisme éducatif
	Acculturation	"Effets de démonstration", développement d'un "pseudo-art", "folklorisation"	Tourisme culturel, tourisme éducatif, festivals, Tourisme de masse
	Tensions sociales / Sécurité	Phénomène dit d'éviction («crowding-out»), aggravation de la criminalité	Terrains de golf, plages
		Pollution visuelle / effluents	Nautisme, plaisance, camping
		Phénomène dit d'éviction ("crowding-out"), aggravation de la criminalité	Toutes activités confondues, Tourisme de masse
Composante paysagère	Modification du patrimoine culturel	Arrachage, usure, graffiti	Tourisme culturel, tourisme scientifique, tourisme éducatif
	Modification de l'utilisation des sols	Modification de zonage, perte de jouissance	Construction d'infrastructures d'hébergement
	Nuisances	Bruit, lumière Irritation, stress, pertes auditives	Tourisme de masse, Activités récréatives motorisées
	Pollution architecturale	Concentration d'infrastructures, "ghettos touristiques", perte de valeurs esthétiques	Construction d'infrastructures d'hébergement
	Promiscuité	Perte de jouissance	Tourisme de masse
Sources : Anzuini et Strublet, 2001 ; Ashworth et Tunbridge, 2000 ; Bresson G. et Logossah, 2009 ; Butler, 1980 ; Ceballos-Lascurain, 1996 ; CIRUR, 2005 ; Coccossis (LPE), 2001 ; Möller, 2000 ; Pearce, 1976 ; PNUE, 2002 ; Prosser, 1994 ; Proulx, 2006 ; Williamson, 2000			

Tableau 2. Nature des impacts sociaux de l'exploitation touristique (dimensions Infrastructures, Hébergement et Activités)
(Source : Tranquard, 2013)

Toutes ces considérations générales invitent à tempérer le caractère a priori indiscutable du bénéfice de l'activité touristique aux projets territoriaux de développement. À tout le moins, elles conduisent à souligner que ces projets doivent nécessairement s'inscrire dans une logique de développement durable, et notamment dans ses dimensions environnementales et sociales.

2.2 CAPACITÉ DE SUPPORT, DE CHARGE, D'ACCUEIL

C'est notamment le constat des impacts environnementaux du tourisme qui a conduit à développer des méthodes d'évaluation de la capacité de charge touristique. Cette capacité de charge est une déclinaison de la notion de capacité de support utilisée dans le domaine de l'écologie appliquée. Cette dernière consiste dans la capacité d'un milieu naturel de biodégrader et de recycler certains rejets d'origine anthropique sans que la biodiversité et les maillons de la chaîne alimentaire soient touchés de manière irréversible. Plus précisément, la capacité de support correspond aux pressions que peuvent tolérer les écosystèmes ainsi que les services que ces écosystèmes sont aptes à fournir (par exemple, régulation climatique, assainissement de l'air et de l'eau, conservation du sol et des eaux, sécurité alimentaire, services énergétiques). Elle englobe ainsi les contraintes physiques, logistiques, économiques et sociales subies par les populations humaines (Plan de développement durable du Québec, 2004).

En matière touristique, la notion de capacité de charge (ou d'accueil) est plus couramment employée. Middleton et Hawkins (1998) la définissent comme « la mesure de la tolérance d'un site ouvert à l'activité touristique et la limite au-delà de laquelle une zone peut souffrir des effets négatifs du tourisme ». Möller (2000) précise que « la notion de capacité de charge en tourisme a été développée à partir de l'exemple des pâturages. En s'inspirant de la capacité de charge dans le cas des pâturages, on est parti du principe selon lequel une pâture ne peut supporter qu'un nombre limité de bêtes à long terme. Ainsi, le système entre en crise, c'est-à-dire, la pâture subit des dommages et n'est plus utilisable, dès que ce seuil est dépassé ». Chamberlain (1997) la définit quant à lui comme « le niveau d'activité humaine qu'une zone donnée peut supporter sans subir de détérioration, et que la communauté de résidents en soit négativement affectée ou que sans que la qualité de la visite des touristes en soit affectée ».

Globalement, une destination touristique posséderait une résistance-limite à la pression, au-delà de laquelle elle se dégrade. Dans cette logique, Butler (1980) postulait déjà en s'inspirant de la physique des matériaux, que les touristes (la contrainte) exercent leur poids (impact ou déformation) sur l'espace à la façon d'un cycle qui peut se traduire par un point de rupture. L'impact serait proportionnel au nombre de touristes : si le nombre des touristes est faible, l'espace touristique reste inchangé. Au contraire, la plus forte fréquentation induit d'importantes modifications ; et au-delà d'une certaine limite, il y a irréversibilité. Dans ce contexte, deux solutions existent pour augmenter le niveau de résistance-limite des destinations. La première consiste dans la diminution de la fréquentation pour assurer de meilleures conditions de visite en évitant les phénomènes de saturation. La seconde est d'augmenter la résistance de la destination concernée, par exemple en élargissant la fréquentation dans l'espace et dans le temps (création de sites connexes et d'itinéraires alternatifs). Pour les institutions internationales enfin (PNUE, OMT), la capacité de charge est envisagée dans ses trois composantes physique, économique et socioculturelle. Cette dernière dimension étant abordée au regard notamment du fait que la saturation sociale d'un site touristique pourra être atteinte bien avant sa limite de saturation physique dans la mesure où la satisfaction des touristes à jouir d'un beau paysage, par exemple, sera frustrée par la présence d'autres touristes qui veulent profiter de la même vue au même endroit et au même moment.

2.3 LES SPÉCIFICITÉS TOURISTIQUES DES ESPACES LITTORAUX ET INSULAIRES

Dans le cadre spécifique des espaces littoraux et insulaires, le tourisme qui s'y déploie est essentiellement un tourisme de nature, notamment relié aux pratiques balnéaires portées par le slogan « sea, sun and sand ». Le tourisme de nature est une forme de tourisme à laquelle peuvent être associés les produits et activités touristiques utilisant l'environnement naturel pour se réaliser, se concrétiser (Couture, 2002). Il correspond à toute forme de tourisme qui dépend principalement

d'un milieu naturel en tant que principal attrait ou site pour prendre forme (Weaver, 2001). Les activités du tourisme de nature sont axées sur l'observation ou l'appréciation de la nature à des fins de découverte ou de pratique d'activités de plein air. Cette pratique touristique favorise donc l'immersion dans le milieu naturel d'accueil et lui confère un rôle plus important que pour d'autres catégories de tourisme. Plus précisément, les caractéristiques des sites sur lesquelles repose « naturellement » la motivation des touristes sont les attraits, définis comme les valeurs intrinsèques du territoire (de Grandpré, 2007). Selon une approche géographique classique (Blanchard, 1960), les attraits sont les espaces naturels à dominante minérale, hydrologique ou forestière, les écosystèmes, la flore, la faune, la biodiversité, ou encore le patrimoine bâti. Il s'agit également des attributs ou caractéristiques du site liés aux sens, au mode de perception et au vécu des usagers (Mollard, 2007), le paysage entrant par exemple dans cette catégorie (Peyrache-Gadeau, 2008 ; Fortin, 2008 ; Peyrache-Gadeau et Perron, 2010).

Dans un tel contexte, les ressources naturelles et les écosystèmes deviennent des attraits qui se transforment en attractions et donc en produits et services. Ce sont les ressources naturelles (environnement physique, géographique et biologique), et le territoire qui les porte, qui fondent majoritairement l'offre touristique. Une des motivations premières des touristes à séjourner et vivre des expériences de découverte est la possibilité d'y être en contact avec une nature comportant une certaine qualité biologique ainsi qu'une diversité de paysages, présentant une pollution de tout ordre la moins marquée possible (Tourisme Québec, 2002, 2017 ; AEQ, 2004).

La préservation de la ressource environnementale constitue alors une condition fondamentale associée aux aménités de l'expérience du rapport à la nature (de Juan Alonso, 2010 ; SCDB, 2009). Présentée ainsi, la durabilité des ressources naturelles devient un facteur premier et limitant du cycle économique de l'activité touristique. La fonction environnementale que ces ressources remplissent est critiquée pour que cette activité économique soit durable.

Autre spécificité, le tourisme des espaces littoraux et insulaires est majoritairement associé « *au tourisme de masse, à la construction et l'infrastructure à grande échelle, au développement intensif de l'espace et à l'urbanisation intensive* » (Coccossis, 2001). Au niveau social, « *la plupart des îles connaissent une augmentation du tourisme qui engendre une importante pression sur le foncier alors que parallèlement, le coût élevé des transports, la diversification limitée de la production, l'étroitesse du marché domestique freinent le développement d'activités productives et multiplie les sources de chômage* » (Bouyer et al., 2008). Ce tourisme de masse se traduit également par une saisonnalité marquée : la saison touristique n'a qu'une durée très limitée, avec des séjours courts ou des visites à la journée, et la pression sur l'environnement est concentrée sur quelques mois.

Ainsi, on trouve dans les espaces littoraux et insulaires une pression forte sur les espaces, les ressources naturelles et les habitants où l'activité touristique peut par exemple générer des conflits d'usage exacerbés par la spécificité de ces territoires. Face à ces constats des impacts du tourisme de masse, les gestionnaires de territoires semblent prendre conscience de la nécessité d'engager des formules plus durables de tourisme. Pour ce faire, connaître la diversité et les caractéristiques principales des impacts potentiels et réels de l'activité touristique apparaît comme un prérequis à leur limitation ; l'appropriation des méthodes spécifiques d'évaluation et de contrôle en facilitant par la suite la mise en place. À cet égard, maîtriser les outils d'évaluation de la capacité de charge touristique d'un site pourrait contribuer à y limiter la pression touristique en facilitant la gestion des effets des visiteurs, les limites du changement acceptable et les cadres de protection des ressources des expériences des visiteurs (Izabel, 2003).

3. LES MÉTHODES ET OUTILS D'ÉVALUATION EXISTANTS

Le tourisme se définit comme l'union du voyage et du séjour. C'est sommairement une forme de récréation impliquant un déplacement minimum et un séjour minimum. En pratique, l'activité recoupe plus que cela. L'industrie repose sur le transport mais aussi l'hébergement, l'alimentation, les activités sur les lieux de séjour, l'environnement local. En ce sens, le tourisme est une activité très segmentée. Chacune des sous activités est en fait le maillon d'une chaîne économique qui s'apparente à un "bouquet" de prestations. Les services touristiques sont les produits de toute une série d'entreprises et de branches.

Le tourisme est donc un produit complexe qui concerne plusieurs aspects de l'environnement (naturel, socio-historique et culturel). Et chacun de ces aspects peut générer des impacts de nature différente, avec des intensités et des formes variées. La capacité de charge, fondée sur l'analyse d'une valeur unique – le nombre de visiteurs acceptable- est une méthode pour l'évaluation de certaines composantes de ces impacts. L'idée fondatrice est que les effets des activités touristiques sont proportionnels aux causes (impacts). Une telle interprétation reprend l'exemple emprunté à la physique évoqué plus haut. Jusqu'à un certain point, l'objet reprendra sa forme initiale si l'on arrête la contrainte. En revanche, à partir d'un seuil d'élasticité, même en l'absence de contrainte, il reste déformé. En pratique, des nombreuses méthodologies sont sollicitées.

3.1 LES MÉTHODES GÉNÉRIQUES PORTANT SUR L'ENVIRONNEMENT NATUREL

Selon la littérature institutionnelle et scientifique sur ce sujet (V. Tableau 1), les considérations sur la capacité de charge touristique sont centrées sur trois composantes ou dimensions fondamentales : physico-écologique-environnementale, sociodémographique et culturelle, et économique.

Thématiques	Sources institutionnelles	Sources scientifiques
Utilisation d'outils d'évaluation et de contrôle spécialisés : évaluation de la capacité de charge / de support des sites	Mondiales : (Acting for life, 2009); (UNEP, 2002) (NWHO, 1999) (PNUE, 2006) Européennes : (Commission Européenne, s.d.) (Ecological Tourism in Europe, 2007) (Fédération EUROPARC, 2005) (Fédération EUROPARC, 2002) Nationales : (ATOUT-France, 2011) ; (ASRDLF, 2011) ; Provinciales (Qc) : (Parcs Québec, s.d.) (CIRUR, 2005) (MDDEP, 2007) (Québec, 2010) (Tourisme Québec, 2002).	(Blangy, 2008) (Caire et Rouillet-Caire, 2002) (Céron et Dubois, 2000) (Charbonneau, 2008) (Couture, 2002) (Gagnon et Lapointe, 2006) ; Goodwin, 1996) (Lawton, 2001) (Litzler et Blais, 2003) (Mader, 1999) (Paul et al., 2007) (Swanson, 1992) (Tardif, 2003) (Ziffer, 1989)
Préservation de l'intégrité géophysique du milieu (air, sol, eau) : respect de la capacité de charge du site ; consommation des ressources sous leur taux de renouvelabilité	Mondiales : (UICN, 2009) (TIES, 1990) (UNEP-UNWTO, 2007) (UNEP, s.d.) (NWHO, 1999) (Acting for life, 2009) (PNUE, 2006) Européennes : (Commission Européenne, s.d.) (Ecological Tourism in Europe, 2007) (Fédération EUROPARC, 2005) (Fédération EUROPARC, 2002) (Fédération EUROPARC, 2002) Nationales : (ATOUT-France, 2011) Provinciales (Qc) : (Parcs Québec, s.d.) (CIRUR, 2005) (MDDEP, 2007)	(Abichou et al., s.d.) (ASRDLF, 2011) (Behnassi, 2008) (Breton, 2006) (Céron et Dubois, 2000) (Desmarais, 2007) (Gagnon et Lapointe, 2006) (GTI-DTD, 2007) (Lejeune, 2010) (Lequin, 2000) (Paul et al., 2007) (TEC, 2002) (Villeneuve, 2007) (Villeneuve, s.d.) (Viès et al., 2008)

Tableau 3. Références institutionnelles et scientifiques traitant de l'utilisation d'outils d'évaluation et de contrôle de la capacité de charge touristique (Source : Tranquard, 2013)

Concernant la première composante, la pratique de l'évaluation de la capacité de charge environnementale conduit à une démarche initiale d'analyse des caractéristiques écologiques de la destination. Cette étape vise à dresser un portrait de la vulnérabilité du territoire afin d'être par la suite en mesure d'estimer objectivement le degré de résistance, d'adaptation et de résilience des écosystèmes présents face aux pressions d'origine anthropique.

En pratique, sont ainsi inventoriés et colligées les informations portant sur :

Les dimensions et caractéristiques biologiques et géomorphologiques de la destination : taille et limites géographiques du site, unités de paysage, zones climatiques, topographie, végétation, biodiversité (ressources en faune et en flore : quantité, diversité et distribution) ;

La fragilité de l'environnement et les écosystèmes critiques : présence d'espèces endémiques et menacées (selon des indicateurs de protection et des catégories descriptives définies par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses ressources naturelles (UICN) : rares, vulnérables, en danger, en voie d'extinction) ;

Les facteurs de pression sur l'environnement et l'identification des limites de la capacité assimilatrice des systèmes naturels. Il s'agit ici d'évaluer quelles actions humaines ont directement un impact (lien de causalité établi) et produisent des dommages sur la qualité des écosystèmes du territoire (comme par exemple la sensibilité de certaines espèces animales aux visites humaines). Ces impacts sont notamment analysés en termes d'intensité, de durée, de récurrence, d'étendue et de couverture spatiale. Une logique similaire à celle des outils de type Analyse d'impact environnemental (AIE) peuvent alors être utilisés (voir notamment la *Directive de Parcs Canada sur l'évaluation des impacts* (2015), mise à jour pour inclure la *Loi sur l'évaluation d'impact* (2019)).

L'objectif est ici d'obtenir « *un corps central d'indicateurs, reflétant les pressions et l'état des facteurs-clés (...) comme un moyen de suivi de l'état du système et d'identification de la violation des limites de la capacité de charge* » (Satta, 2007). Plus précisément, et dans une dernière phase d'analyse, il s'agira de mettre en évidence les interactions des touristes avec l'environnement naturel du site préalablement inventorié. L'idée est de pouvoir estimer l'ampleur du lien de causalité direct entre les impacts environnementaux et les pressions anthropiques résultant exclusivement de la pratique touristique. Cette démarche nécessite de recourir notamment à certains indicateurs ciblés : « *nombre d'« endroits courus », pourcentage des sites de l'UNESCO soumis à un stress, concentration de l'activité, perte maximale acceptable des ressources naturelles (p.ex. eau ou terre) sans une dégradation considérable des fonctions des écosystèmes ou de la biodiversité ou encore sans la perte d'espèces, etc.* » (Satta, 2007).

Dans la volonté et la capacité de limiter l'ampleur du développement touristique ou l'affluence des touristes sur une destination ou sur un site, les facteurs de limitation sont avant tout la capacité en ressources naturelles du site et sa résilience écologique. La résilience écologique est la capacité d'un écosystème, d'un habitat, d'une population ou d'une espèce à retrouver un fonctionnement et un développement normal après avoir subi une perturbation importante. Cette perturbation peut résulter d'un développement touristique trop important et incontrôlé. La favorisation de la résilience des écosystèmes (encourager la régénération naturelle) devient par la suite indispensable. Ces facteurs doivent être pris en compte pour fixer les limites qui doivent être respectées par l'ensemble des acteurs concernés. Par ailleurs, et dans un objectif de développement durable du tourisme, d'autres facteurs de limitation peuvent être les préoccupations de la communauté et la satisfaction des visiteurs.

3.2 LES MÉTHODES INTÉGRANT L'ENVIRONNEMENT SOCIOCULTUREL

La capacité de charge touristique ne revêt pas seulement une dimension écologique. Elle doit également amener à prendre notamment en compte : « *la limite au-delà de laquelle le développement du tourisme et le nombre de visiteurs affectent les communautés locales et leurs modes de vie (dimension culturelle et sociale)* » ;

et la limite au-delà de laquelle les qualités essentielles recherchées par les humains (le calme la tranquillité et la solitude), seraient remises en question par le développement du tourisme (dimension psychologique) » (Möller, 2000).

Ainsi, la capacité de charge sociale inclut tant le niveau de tolérance de la part de la population d'accueil que la qualité des expériences des visiteurs dans la région (Coccossis, 2001).

La dimension sociodémographique de la capacité de charge touristique réfère aux aspects sociaux qui sont importants pour les communautés locales. Il s'agit des questions sociales et démographiques, comme l'effectif humain ou la main d'œuvre formée disponible ; et des questions socioculturelles, comme le sens d'identité de la communauté locale ou les expériences des touristes. Une partie peut être exprimée en termes quantitatifs ; cependant, la plupart d'entre eux nécessitent une recherche socio-psychologique appropriée. Les seuils de la capacité sociale sont peut-être les plus difficiles à évaluer par rapport aux facteurs physique-écologique et économique, étant donné que ces seuils dépendent en grande partie des jugements de valeurs (Satta, 2007).

La logique de la démarche méthodologique reste tout de même identique à celle de la composante environnementale. Dans un premier temps, un portrait sociodémographique du territoire est nécessaire, les caractéristiques de la localité conditionnant sa résistance aux pressions touristiques. Devront ainsi être analysés :

La structure socioéconomique du territoire d'accueil (quantité et qualité des emplois notamment) ;
L'importance de l'identité culturelle et de l'héritage local (arts et métiers, croyances, cérémonies, us et coutumes)

Le flux touristique (ampleur spatiale et temporelle (saisonnalité), proportion de visiteurs récurrents)

Par la suite, il conviendra d'inventorier les dommages et les situations de conflits inhérents aux pratiques touristiques (conflits d'usage, surconsommation des services et de l'infrastructure locale et indisponibilité des biens et équipements collectifs, situations de choc culturel et de confrontation directe, diminution de l'expérience des visiteurs, atteinte à l'identité, au mode de vie, aux modèles sociaux et aux activités des communautés d'accueil). Le but est ici d'établir des corrélations objectives entre le flux touristique et la satisfaction ou les plaintes répertoriées, soit directement auprès des producteurs et fournisseurs de services touristiques et de leur clientèle, soit auprès des organismes de développement local, ou encore directement auprès des touristes et des locaux. Des méthodes d'observation directe et des enquêtes de satisfaction sont alors requises. Au final, l'objectif est de pouvoir déterminer, à partir d'indicateurs ciblés, le nombre de touristes, d'activités touristiques et de loisir capables d'être assimilé sans atteindre le mode de vie des communautés d'accueil et tout en garantissant aux visiteurs une expérience de qualité.

4. PARAMÉTRAGE DE LA CAPACITÉ DE CHARGE SOCIALE POUR LES TERRITOIRES BRETONS

Les démarches évoquées ici sont axées sur la gestion et le contrôle des flux de visiteurs afin d'en contrôler et d'en minimiser les impacts. Il s'agit surtout de méthodes adaptées à des systèmes peu complexes et surtout destinées à régler des problèmes ponctuels. Elles ont été développées dans l'esprit de la gestion par objectifs et recouvrent des notions comme : la gestion des effets des visiteurs, les limites du changement acceptable, les cadres de protection des ressources des expériences des visiteurs au lieu de la capacité de charge touristique.

Or « la capacité de charge ne se réduit pas à l'application d'une formule mathématique qui sert à obtenir un nombre, au-delà duquel le développement devrait cesser. Le ratio entre nombre de visiteurs et satisfaction des visiteurs peut par exemple varier considérablement selon les destinations. Les limites éventuelles doivent servir de guide. Elles devraient être évaluées et suivies attentivement et complétées par d'autres normes » (Izabel, 2003). Bon nombre des outils disponibles

n'ont pas le caractère intégré des outils nécessaires pour prendre en compte certaines spécificités propres aux zones littorales et insulaires bretonnes (géographie du tourisme, démographie, patrimoine historique).

Dans ce contexte une démarche spécifique d'évaluation de la capacité de charge touristique mériterait d'être paramétrée *ad hoc*.

5. CONCLUSION

Le concept de capacité de charge fait référence à la taille maximale jusqu'à laquelle une population peut se développer et continuer à subsister de manière permanente grâce à son milieu. Appliquée au tourisme, il s'agit du nombre maximum de touristes visitant au même moment un site donné sans causer à l'environnement aucune destruction d'ordre physique, biologique, économique et socioculturel ni une inacceptable dégradation du degré de satisfaction des visiteurs. Cette donnée doit obligatoirement être connue des gestionnaires d'entreprises touristiques pour être prise en compte dans la conception et l'opération des projets. Son calcul est toutefois relativement complexe puisque lié à l'évaluation transversale des impacts (pas uniquement environnementaux). Un moyen d'y parvenir en partie est de mettre en place un système d'enregistrement des touristes approprié permettant de connaître le nombre total d'arrivées de visiteurs (moyenne, par mois, périodes de pointe). Ce nombre devra par la suite être mis en perspective avec les limites du milieu naturel perçues comme telles par les producteurs.

L'évaluation de la capacité de charge doit être dynamique afin qu'elle puisse s'adapter aux changements et aux évolutions aussi bien de l'environnement que de l'activité touristique proprement dite. Elle doit par ailleurs inclure prioritairement la capacité de charge psychologique ou perceptive qui est le seuil de l'activité touristique à partir duquel commence à se produire une dégradation visible de l'expérience récréative. Le rôle des gestionnaires territoriaux est alors est de respecter cette capacité d'accueil, de contrôler le développement abusif et de canaliser les flux de visiteurs, en favorisant par exemple une meilleure répartition des touristes en leur recommandant des itinéraires ou des sentiers différents et en les réorientant vers des sites moins sensibles. En ce sens, la démarche d'évaluation de la capacité de charge touristique devient un élément clef pour la planification d'un développement territorial durable.

RÉFÉRENCES

- AEQ — Aventure Écotourisme Québec (2004), *Étude sur la valeur économique de l'écotourisme et du tourisme d'aventure*, Montréal : DBSF. 16 p.
- Anzuini, A. & Strubelt, W. (2001). *Criteria for the spatial differentiation of the EU-Territory: cultural assets*. Bonn: Federal Office for Building and Regional Planning.
- Ashworth, G.J. & Tunbridge, J.E. (2000). *Tourist-historic city: retrospect and prospect of managing the heritage city*. Amsterdam: Pergamon Press.
- Benayas Del Álamo, J. et M.-B. Junca (2008), Évaluation de l'impact environnemental du tourisme commercial sur les écosystèmes antarctiques, Madrid et Barcelone : Université autonome de Madrid et Université autonome de Barcelone. 6 p.
- Blanchard, R. (1960), Le tourisme, Dans Blanchard, R. (dir.), *Le Canada français : Province de Québec, Étude géographique*, p. 235-245. Montréal : Fayard.
- Bouyer, C., Fortin, C., Lombard, N. et Simon, M., (2008), Le développement durable du tourisme dans les territoires insulaires français et la valorisation touristique des espaces naturels littoraux métropolitains, *Études caribéennes* (En ligne), 11 | Décembre 2008.
- Bresson, G. and K. Logossah, 2009, Crowding-out effects of cruise tourism on stay-over tourism within the Caribbean. Non-parametric panel data evidence, *Tourism Economics*
- Butler, R. W. (1980), The concept of a tourist area cycle of évolution: implications for management of resources, *Canadian Geographer*, vol. 24, p. 5-12. Cazalais, N., Nadeau,

- CAZES, G. (1989) *Le tourisme international : mirage ou stratégie d'avenir ?* (col. J. Bremond), Hatier, Paris.
- Ceballos-Lascurain, H. (1996), *Tourism, Ecotourism and Protected Areas*, Gland, Suisse : UICN. 301 p.
- Chamberlain K., (1997), Carrying capacity in UNEP *Industry and environment*, n° 8 January-June 1997, Paris.
- CIRUR, (2005) Comité Intergouvernemental de Recherches Urbaines et Régionales. Plan directeur de quartier Vieux-Québec, Haute-Ville, Basse-Ville et Cap-Blanc, *Étude sur le tourisme durable et l'aménagement du territoire dans les villes patrimoniales*. Ville de Québec, Canada, novembre 2005. 23p.
- Coccossis, H. (2001) dir., Définir, mesurer et évaluer la capacité de charge dans les destinations touristiques européennes, Laboratoire de planification environnementale, Université de l'Égée.
- Couture, M. (2002) L'écotourisme — un concept en constante évolution, *Téoros*, 21, 3, automne, p. 5-13.
- De Grandpré, F. (2007). Attraits, attractions et produits touristiques : trois concepts distincts dans le contexte d'un développement touristique régional, *Téoros*, 26-2, 12-18.
- De Juan Alonso, J. M. (2010) *Tourisme durable en méditerranée situation et perspectives, stratégies et actions*, Malaga : IUCN.
- Fennell, D. A. 1999. *Ecotourism: An Introduction*. New York: Routledge, 315 p.
- Fortin, M.-J. (2008), Paysage et développement : du territoire de production au territoire habité, Dans Massicotte, G. (dir.), *Sciences du territoire. Perspectives québécoises*, p. 55-76. Québec : PUQ, Coll. « Science régionale ».
- Gagnon C., Lahaye N. (2009), Conflit social, environnemental et territorial au Parc national du Mont-Orford : l'écotourisme comme solution ? ASRDLF (Clermont-Ferrand, 6-7- 8 juillet 2009).
- Gouvernement du Canada, *Directive de Parcs Canada sur l'évaluation des impacts* (2015) <https://www.pc.gc.ca/fr/nature/eie-eia/itm1/itm1b/itm1b-2#1-1>
- Grenier, C. (2000), *Conservation contre nature. Les Îles Galapagos*, Paris : IRD Éditions, Coll. « Latitudes 23 ».
- Izabel, Y. (2003), *Les méthodes d'évaluation de la capacité de charge des destinations touristiques*, ULB.
- Laurent, A. (2003), Caractériser le tourisme responsable facteur de développement durable. Étude pour le Ministère des Affaires étrangères
- Middleton V.C., Hawkins R., (1998), *Sustainable tourism: a marketing perspective*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1998.
- Mollard, A. (dir.) (2007), Les aménités environnementales des espaces ruraux : valorisation, gestion et contribution au développement durable des territoires, Analyses conjointes en Aquitaine, Auvergne et Rhône-Alpes. Projet AMEN du Programme PSDR3, Grenoble, Bordeaux, Clermont-Ferrand.
- Möller, A. (2000), Tourisme et environnement, chapitre 21 dans *Statistiques pour la politique de l'environnement*, p. 200- 214. Munich.
- Paul, A. ; O. I. Wiercioch et L. Dayan (2007) *Stratégies d'implémentation dans et par le tourisme*, APREIS, octobre. 9 p.
- Pearce, D. (1976), The Limits of Cost-Benefit Analysis as a Guide to Environmental Policy, *Kyklos*, Wiley Blackwell, 29, 1, p. 97-112.
- Peyrache-Gadeau, V. (2008), Le paysage comme ressource territoriale : modes de réponse à des enjeux de vulnérabilité/durabilité, *Communication au XXIV^e colloque annuel de l'ASRDLF, Territoires et action publique territoriale, nouvelles ressources pour le développement régional*, Rimouski.
- Peyrache-Gadeau, V. et L. Perron (2010), Le Paysage comme ressource dans les projets de développement territorial, *Développement durable et territoires*, vol. 1, no 2, septembre.
- Plan de développement durable du Québec, 2004, Miser sur le développement durable : pour une meilleure qualité de vie, <http://www.mdep.gouv.qc.ca/developpement/2004-2007/plan-enbref.pdf>
- PNUE, (2002). Negative Socio-cultural Impacts From tourism : <http://www.uneptie.org/pc/tourism/sust-tourism/soc-drawbacks.htm>. Consulté le 25 octobre 20016.
- Prosser, R. (1994). Societal change and the growth in alternative tourism, lu dans *Cater, E. & Lowman, G. (Eds), Ecotourism: A Sustainable Option*, p. 19-37. New York: John Wiley and Sons Ltd. 30 pp.
- Proulx, L. (2006). L'écotourisme : une activité d'épanouissement collectif et individuel ? Impacts sociaux et culturel du tourisme, lu dans Gagnon, C. et Gagnon, S. (dir.) *L'écotourisme entre l'arbre et l'écorce*, Presse de l'Université du Québec, 2006, p. 74-106.

- Satta, A. (2007), Instructions pour l'application de la méthodologie d'évaluation de la capacité d'accueil touristique, Projet «DESTINATIONS», *LIFE-Pays Tiers*, CRENOS
- SCDB — Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2009), Ligne directrice sur la diversité biologique et le développement du tourisme, Montréal : SCDB.
- Tourisme Québec (2002) *Nature et tourisme : L'écotourisme au Québec en 2002*, octobre, BNQ, Table de concertation sur l'écotourisme au Québec.
- Tourisme Québec (2017), *Nature Aventure, Stratégie de mise en valeur du tourisme de nature et d'aventure au Québec*, 32 p.
- Weaver, D. B. (2001), *The Encyclopaedia of Ecotourism*, Wallingford: Cabi Publising. p. 657-666.

RÉFÉRENCES DU TABLEAU 3

Sources institutionnelles

- Acting for life, 2009 : Des projets touristiques à partir des indicateurs du tourisme durable. Toulouse, 72p.
- ASRDLF, 2011 : Association de Science Régionale de Langue Française. L'éco-tourisme, un « modèle » de tourisme alternatif pour les territoires insulaires touristiques français ? *Discussion à partir d'expériences croisées Corse-Martinique : 48^e colloque organisé par l'ASRDLF* (Shoelcher-Martinique : 6,7 et 8 juillet 2011). Rapport rédigé par Olivier Dehoorne, Jean-Marie Furt et Caroline Tafani. 14 p.
- ATOUT-France, 2011 : Agence de développement touristique de la France). Tourisme et développement durable de la connaissance des marchés à l'action marketing. Rédigé par : Pappalardo, M. Collection Marketing Touristique. Paris, 108p
- CIRUR, 2005 : Comité Intergouvernemental de Recherches Urbaines et Régionales. Arrondissement de la Cité. Plan directeur de quartier Vieux-Québec, Haute-Ville, Basse-Ville et Cap-Blanc, Étude sur le tourisme durable et l'aménagement du territoire dans les villes patrimoniales. Ville de Québec, Canada, novembre 2005. 23p.
- Commission Européenne, s.d. : Vers un tourisme durable basé sur le patrimoine naturel et culturel, DG Entreprises et industrie. Rapport. P.46.
- Ecological Tourism in Europe, 2007 : Criteria for Sustainable tourism for the three Biosphere Reserves Aggtelek, Babia Gora and Sumava. UNESCO-MaB, 28 p.
- Fédération EUROPARC, 2002 : Charte Européenne du Tourisme Durable dans les Espaces Protégés. Fédération EUROPARC, 7 diapositives.
- Fédération EUROPARC, 2005 : La Charte Européenne du Tourisme Durable dans les Espaces Protégés, Texte Intégral : Mise à jour de la Charte rédigée en 1999
- MDDEP, 2007 : Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs . Guide d'élaboration d'un plan d'action de développement durable. Québec, Canada, Décembre 2007. 48p.
- NWHO, 1999. New World Hope Organization. Sustainable Tourism and Cultural Heritage: A review of development assistance and Its potential to Promote Sustainability. Rédigé par : Kris Enderson, directeur, Novembre 1999.
- Parcs Québec. s.d. Loi sur le développement durable, Les principes. Développement durable, Environnement et Parcs Québec, Québec, Canada, 2p.
- PNUE, 2006 : Programme des Nations Unies pour l'environnement et Organisation mondiale du tourisme. Vers une Tourisme Durable : Guide à l'attention des décideurs. Paris : Organisation mondiale du tourisme. 223p.
- TIES, 1990 : The International Ecotourism Society (Société Internationale d'Écotourisme). Principles of Ecotourism. URL : http://www.ecotourism.org/site/c.orLQKXPCLmF/b.4835303/k.BEB9/What_is_Ecotourism_The_International_Ecotourism_Society.htm
- IUCN, 2009 : Union Internationale pour la Conservation de la Nature. **Écotourisme**. URL : <http://www.iucn.org/fr/propos/union/secretariat/bureaux/paco/>
- UNEP-UNWTO, 2007: Vers un Tourisme Durable. Publication de l'OMT. URL : <http://www.unep.fr/tourism/library>
- UNEP, 2002 : United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics. Eco-tourism: Principles, Practices & Policies for Sustainability. Rédigé par : Meagn Epler Wood. Paris: UNEP, 32 p.

Sources scientifiques

- Abichou, H. et al. S.d. *Évaluation de la durabilité du tourisme patrimonial au sud tunisien: indicateurs de développement durable à l'échelle de l'entreprise touristique*. 22p
- Behnassi, M. 2008. *Tourisme Durable : Fondements, Indicateurs et Apport au Développement des Pays du Sud. Revue de Droit et de Sciences Sociales*, no 1, juin 2008. Éditée par la Faculté des Sciences Juridiques, Économiques et Sociales d'Agadir, Université Ibn Zohr.
- Blangy, S. 2008. *Évaluation de la durabilité dans les projets de tourisme autochtone au Canada*. École thématique CNRS. Department of Geography & Environmental Studies, Carleton University (Université de Montpellier III). Cargèse, Oct. 2008
- Breton, J.-M. 2006. *L'écotourisme, clé de la gestion viable et de la gouvernance intégrée des aires protégées (problématique et enjeux)*
- Caire, G. et Rouillet-Caire, M. 2002. *Le tourisme peut-il être un moyen de développement durable ? Enjeux du développement durable*, Orcades, Poitiers.
- Céron, J.-P. et Dubois, G. 2000. Les indicateurs du tourisme durable : Un outil à manier avec discernement. *Cahier Espaces*, no 67 : Novembre 2000. Éditions Espaces tourisme & loisirs. Pp.30-46.
- Charbonneau, J. 2008. *Guide d'évaluation des projets écotouristiques dans les pays en développement* Mémoire de maîtrise, Sherbrooke, Centre Universitaire de Formation en Environnement, Université de Sherbrooke.
- Couture, M. 2002. L'écotourisme : un concept en constante évolution. *Téoros*, vol. 21, no 3, p. 5-13.
- Desmarais, Véronique. 2007. *Un cadre d'évaluation du tourisme de nature durable en forêt publique québécoise*. Mémoire de maîtrise. Québec, Université Laval. 82 p.
- Gagnon, C. et Lapointe, D. 2006. *Écotourisme et développement durable viable : Une dialectique, un cadre impératif*. Chapitre 1, tiré de : *Entre l'arbre et l'écorce De la conservation au développement viable des territoires*, par Christiane Gagnon et Serge Gagnon. Presses de l'université du Québec. Pp14-42
- Goodwin, H. 1996. In pursuit of ecotourism. *Biodiversity and Conservation*, vol. 5, p. 277-291.
- Groupe de travail international sur le développement du tourisme durable. 2007. *Définition du tourisme durable : définition simplifiée du comité français sur le tourisme durable*. République Française. URL : http://www.veilleinfotourisme.fr/1186758213380/0/fiche___article/&RH=GTIDDT.
- Lawton, L.J. 2001. Public Protected Areas. Dans *The Encyclopedia of Ecotourism*. Oxon, UK, New York, NY: CABI Pub, p. 287-30
- Lejeune, S. 2010. *L'intégration des principes de développement durable dans le tourisme : Approche systémique et territoriale des logiques d'action françaises*. Mémoire de maîtrise en Tourisme, Université de Paris 1 – Panthéon Sorbonne. Département Développement et Aménagement Touristique des Territoires. Septembre 2010.
- Lequin, M. 2000. *Gouvernance en écotourisme : Développement durable, développement régional et démocratie participative*. Université du Québec à Montréal. 500 p.
- 2003. *La coopérative écotouristique, un produit du commerce équitable : Parce qu'il faut bien imaginer l'avenir avant de se donner des moyens de le bâtir*. Rédigé par : Litzler, R. (président AQPPE) et Blais, B. Année internationale de l'écotourisme 2002. Montréal. 16 p.
- Mader, R. Kalalú-Danza, Inc. 1999 (12 août). *Programme de recherche sur la certification du tourisme durable. Questionnaire Identification de la Durabilité Touristique*. En ligne. < <http://kiskeya-alternative.org/certif/cuest-certi-fra.html> >. Consulté le 28 décembre 2011
- Paul, A. et al. 2007. *Tourisme. Durabilité. Développement. Stratégies d'implémentation dans et par le tourisme*. APREIS, Octobre 2007.
- Swanson, M.A. 1992. *Ecotourism: embracing the new environmental paradigm*. International Union For Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) *IV World Conference on National Parks and Protected Areas*, Caracas, Venezuela, February, pp.10-12.

- Tardif, J. 2003. Écotourisme et développement durable [*VertigO*] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, Institut des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal. vol. 4, n°3, 2003.
- TEC, 2002. Tourisme, Environnement Conseil (TEC). 2003. *Livre blanc sur le développement durable du tourisme en Méditerranée : Le cas du tourisme méditerranéen français*. Diaporama. Rédigé par Ghislain Dubois. 26 diapositives.
- Villeneuve, C. 2007. *Guide d'utilisation de la grille de développement durable pour l'analyse de projets*, Chaire de recherche en Éco-Conseil, Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi. 37 p
- Villeneuve, C. s.d. *Écotourisme et tourisme durable*. Diaporama. Département des sciences fondamentales : Université du Québec à Chicoutimi. 30 images.
- Vlès, V. et al. 2008. *Tourisme durable en montagne - Entre discours et pratiques*. AFNOR. 223 p.
- Ziffer, K. 1989. *Ecotourism: The Uneasy Alliance*, Washington, DC: Conservation International and Ernest & Young

PROPOSITION D'UN AGENDA DE RECHERCHE EN TOURISME AUTOUR DE LA NOTION DE BIEN COMMUN DANS LES ESPACES INSULAIRES ET CÔTIERS

M. Tranquard¹, C. Petr², C. Guibert³, C. Maheo⁴

¹. Université du Québec, Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Plein Air, 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi (Québec), G7H 2B1, Canada. *Manu_Tranquard@uqac.ca*

². Université Bretagne Sud, Laboratoire d'Économie et de Gestion de l'Ouest (EA 2652), Institut de Management de l'UBS, DSEG, Campus de Tohannic, 56 000 Vannes, France. *christine.petr@univ-ubs.fr*

³. Université d'Angers, Espaces et Sociétés (UMR CNRS 6590), UFR ESTHUA Tourisme et Culture, 7 allée F. Mitterrand, BP40455, 49004 Angers cedex 01, France. *christophe.guibert@univ-angers.fr*

⁴. Université Bretagne Sud, Pôle de Recherche Francophonies, Interculturel, Communication, Sociolinguistique (EA 7469), 4 rue Jean Zay, BP 92116, 56321 Lorient Cedex, France. *claire.maheo@univ-ubs.fr*

Comme souligné dans le chapitre précédent, la question posée est de savoir comment faire face à la multiplicité des demandes d'usages sur la zone littorale et à leurs variations dans l'année, et de proposer des axes pour appréhender scientifiquement les principales problématiques sociales portant sur le bien commun des habitants, des visiteurs et des territoires en contexte touristique. Outre que la diversité des approches méthodologiques semble nécessaire (Lozato, 2007), nous proposons en guise de conclusion d'interpeller les chercheurs à travers diverses questions qui sont, entre autres, de savoir quels objets de recherche spécifiques concernant cette thématique devraient être privilégiés, ou nécessairement abordés, pour que la science joue un rôle actif de contribution aux projets sociétaux.

PROPOSITIONS ET SUGGESTIONS DE RECHERCHES ET APPROCHES SCIENTIFIQUES

Comment le chercheur peut-il conduire l'analyse du fait touristique de manière à contribuer au bien commun ?

Mobiliser les connaissances et compétences multidisciplinaires est une priorité pour contribuer à l'analyse des défis socioéconomiques et environnementaux touchant les zones littorales et insulaires fragilisées par la pression touristique. Ensuite, mettre à contribution les socio-professionnels du secteur touristique doit permettre d'aboutir à des propositions innovantes fondées sur des recherches scientifiques.

Or, dans un contexte où les objets d'analyse concernant le tourisme en zone littorale et insulaire sont multiples, les approches scientifiques sollicitées apparaissent toutes aussi nombreuses. L'idée est ici de les fédérer pour en accroître l'efficacité et de les singulariser pour tenir explicitement compte des spécificités territoriales du littoral, qu'elles soient historiques, environnementales, sociales, économiques, voire politiques.

Les chercheurs qui viennent d'horizons variés ont ainsi tenté d'enrichir les débats en soulignant l'intérêt des différents angles suivants pour répondre au mieux au projet de management du phénomène touristique dans les espaces littoraux et insulaires.

Ainsi, au terme de l'exercice, au vu de l'acuité et la criticité de ces thématiques, nous proposons de travailler en priorité sur les thématiques suivantes :

La notion de bien commun appliquée à l'industrie touristique reste à définir selon différents paramètres : quelle est la place du développement durable (Céron et Dubois, 2002 ; Ryan, 2002 ; Marsat, 2008) ? Du tourisme durable et de l'écotourisme (et les différences d'interprétation et d'opérationnalisation du concept) ? De la préservation du patrimoine matériel et immatériel ? De la rentabilité économique face à la viabilité et la durabilité écologique ? De l'équilibre territorial ? Ainsi, la question du tourisme soutenable, entre valeurs et retombées économiques et préservation de l'environnement et du bien-être social et personnel des habitants et résidents locaux mérite d'être posée et traitée.

Les conflits d'usages et d'usagers en contexte touristique sont également un point à ne pas négliger : faire l'inventaire des pratiques conflictuelles, de leur nature, de leur fréquence, de leur ampleur et de leurs conséquences, pose la question de la légitimité des usages des espaces littoraux par les différentes parties prenantes.

Un focus sur la capacité de charge touristique est aussi une nécessité : les modalités des outils d'analyse écologique doivent être questionnées pour étendre leur capacité et trouver une application dans une dimension sociale (questions socioculturelles, comme le sens ou la perte d'identité de la communauté locale), voire psychologique (équilibre mental et psychologique).

L'analyse anthropologique et culturelle des relations quotidiennes entre les habitants, résidents, et les touristes, face aux développements du tourisme et à la surpression touristique induite à certaines périodes de l'année (Petr, 2019b) doit être effectuée.

L'étude spécifique de la perception du tourisme en condition de sur-tourisme et la compréhension des représentations négatives associées à l'individu touriste (Petr, 2018) doivent être menées indépendamment de ce qu'il est statistiquement (Petr, 2019a).

La question de la gouvernance touristique territoriale inclut notamment les préoccupations et objectifs suivants (Tranquard, 2010, 2013) :

- initiative locale et participation, conduite locale de la concertation, « milieu dialoguant » ;
- principe de subsidiarité et autonomisation, régulation autonome ;
- appropriation des ressources et gestion concertée des biens communs territoriaux ;
- apprentissage collectif et construction sociale du territoire ;
- transversalisation des actions collectives, démarche intégrée, rationalisation des processus décisionnels.

Si toutes ces problématiques nous semblent essentielles, la priorité pourrait toutefois être donnée aux recherches autour de deux objets thématiques plus ciblés (évoqués au fil des chapitres) :

- Le concept d'optimum touristique dans le contexte insulaire avec la prise en compte des phénomènes de saturation sociale, en plus des composantes économiques sur un espace clos que représente une île.
- La notion de capital naturel au prisme de la dualité d'une vision économico-centrée du monde face à la compétitivité et aux exigences d'attractivité régionale.

Par conséquent, le nombre de questions posées et de suggestions faites montrent l'ampleur de cette thématique de recherche sur le tourisme dès lors que la notion de bien commun des espaces insulaires et côtiers est convoquée.

Dans un contexte d'hyper-croissance touristique, il apparaît urgent de se pencher sur ces sujets face à ces espaces sociogéographiques particulièrement fragiles et spécifiques, d'autant plus aujourd'hui où le secteur connaît une rupture sans précédent à cause de la pandémie et où il apparaît urgent de se poser les bonnes questions.

RÉFÉRENCES

- Céron, J.-P. et Dubois, G. 2000. Tourisme durable : L'environnement, un enjeu planétaire. Les indicateurs du tourisme durable : Un outil à manier avec discernement. *Cahier Espaces*, No 67 : Novembre 2000. Éditions Espaces tourisme & loisirs. 30-46.
- Lozato-Giotard J-P. (2007), Tourisme et territoire insulaire : enjeu identitaire et analyse iso-culturelle, *Conférence inaugurale du Colloque international*, sous la direction de Pierre Frustier, Éditions Siloe (Actes du colloque de la Roche sur Yon, 1er et 2 juin 2006), Ed. Siloë, La Roche-sur-Yon.
- Marsat, J.-B. (2008) Valorisation et gestion des aménités naturelles : Comment construire des stratégies d'alliance entre acteurs d'environnement et acteurs du tourisme ?. Thèse de doctorat, Paris : AgroParisTech. 668 p.
- Petr C. (2019a), Qui sont les touristes : définitions et périmètres, *La Recherche en Management du Tourisme*, Coordonné par C. Clergeau et N. Peypoch, Ouvrage labélisé par la FNEGE, Viubert Éditions. ISBN : 978-2-311-40682-5.
- Petr C. (2019b), Islands and coasts as empirical field for over tourism research and eco-sustainable tourism promotion, *54th TRC Meeting*, 4-7th April, Palma de Majorca, Spain.
- Petr C. (2018), Pourquoi le tourisme est-il malaimé ? Pourquoi faut-il se justifier de faire du tourisme ? Discussion autour du désamour du voyage de l'Autre, *Les Hippocampes du Golfe du Morbihan*, Vannes, Université de Bretagne Sud, 8 novembre 2018.
- Ryan, C. (2002), Equity, management, power sharing and sustainability — issues of the 'new tourism', *Tourism Management*, vol. 23, no 1, p. 17-26.
- Tranquard, M. (2013), Ingénierie des projets écotouristiques et durabilité environnementale. Thèse de doctorat en développement régional, Université du Québec à Chicoutimi, 383 p.,
- Tranquard, M. (2010), Gouvernance territoriale et dynamique des parcs au Québec, Chicoutimi : UQAC. 31 p



● PARTIE 6

**AGIR POUR DEMAIN :
L'UNIVERSITÉ BRETAGNE SUD
FORCE DE PROPOSITION**



L'Université Bretagne Sud est pluridisciplinaire, ce qu'illustrent les différentes contributions présentées dans cet ouvrage.

Nous pensons qu'il est intéressant important de considérer certains travaux comme des propositions pour préserver nos biens communs, c'est-à-dire agir pour demain.

Ce chapitre illustre des travaux de recherches issus des laboratoires de l'UBS et présentés lors du séminaire de juin 2019. D'autres thématiques et projets auraient parfaitement trouvé leur place ici, mais des choix ont été faits à l'époque du colloque, par souci d'équilibre dans son programme.

Les articles de ce chapitre montrent que nous cherchons aussi à faire autrement, pour construire en limitant les impacts sur l'environnement à partir de ressources renouvelables (plantes et bactéries), et en utilisant de nouvelles technologies pour mieux connaître et restaurer les écosystèmes marins (une logique de reconquête et non pas uniquement de protection).

Travailler sur ces thèmes n'est pas ici un effet d'opportunité (on ne travaille pas sur un sujet à la mode pour verdir notre image en d'autres termes), mais s'inscrit dans un long cheminement scientifique.

Il ne s'agit que d'éclairages partiels, avec un objectif de vulgarisation. Le lecteur pourra approfondir les sujets en consultant les références bibliographiques.

Certains projets présentés pourraient être considérés comme des utopies. Ce n'est pas la vision des chercheurs qui y travaillent. Et comme disait Oscar Wilde : « Une carte du monde sur laquelle ne figure pas le pays d'Utopie ne mérite pas le moindre coup d'œil ».

DES MATÉRIAUX ISSUS DE LA MER POUR DES APPLICATIONS EN MER

P. Lemechko¹, S. Bruzaud²

¹. Institut Régional des Matériaux Avancés (IRMA), 2 allée Copernic, Parc Technologique de Soye, 56270 Ploemeur, France. p.lemechko@irmatech.com

². Université Bretagne Sud, Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS 6027), rue Saint Maudé BP 92116, 56321 Lorient, France. stephane.bruzaud@univ-ubs.fr

Mots-clés : bioplastiques ; biodégradation ; économie circulaire ; biotechnologie

RÉSUMÉ

Les bioplastiques biosourcés et biodégradables attirent de plus en plus afin de répondre aux enjeux actuels de pollution plastique, de réduction de la dépendance aux ressources fossiles, et de développement durable. Les polyhydroxyalcanoates ou PHA sont une famille de bioplastiques qui pourraient être une réponse à une partie de ces problématiques. Les PHA sont des polyesters qui sont biosynthétisés par des microorganismes. La biodiversité marine est une des principales sources dans laquelle les souches bactériennes les plus intéressantes peuvent être découvertes. Une fois identifiées, nourrir ces souches avec des déchets pour qu'elles les convertissent en PHA est un des axes de recherche les plus prometteurs pour diminuer les coûts de production. Ces plastiques sont biodégradables et particulièrement en milieu marin.

ABSTRACT

Biosourced and biodegradable bioplastic are drawing more and more attention to answer current issues such as plastic pollution, lowering the fossils resources dependence and of sustainable development. Polyhydroxyalkanoates or PHA are a family of bioplastics which might answer some of these issues. PHA are polyesters biosynthesized by microorganisms. Marine biodiversity is one of the main sources in which the most interesting bacterial strains can be discovered. Once identified, feeding these strains with wastes which they will convert in PHA is one of the most promising research axis to lower the costs of production. Finally, these plastics are biodegradable and especially in marine environment.

1. INTRODUCTION

Depuis leur apparition, les plastiques sont devenus incontournables dans un grand nombre d'applications et omniprésents dans toute notre société. Cet essor est lié à leurs nombreux avantages. Ils sont performants, notamment dans le secteur plus visible de l'emballage où leurs propriétés mécaniques et leur imperméabilité permettent une meilleure conservation des aliments, réduisant ainsi le gaspillage. Ils sont légers, ce qui est indispensable pour certains débouchés (composites pour l'aéronautique et le transport en général, emballage, etc.) où ils contribuent à la diminution de la consommation de carburants. Enfin, ils sont peu chers à produire. La production mondiale de plastiques est ainsi en constante augmentation depuis plus d'un demi-siècle, atteignant 359 millions de tonnes en 2018. Les estimations vont jusqu'à plus de 600 millions de tonnes de plastiques produits annuellement en 2050. Toutefois, de plus en plus de voix s'élèvent contre ces

matériaux en raison à la fois de leur origine fossile mais aussi de la pollution qu'ils entraînent, la plus visible et médiatisée actuellement étant la pollution des océans par les microparticules de plastiques. Pour remédier à ce problème, un des premiers leviers est, bien évidemment, de réduire la consommation de plastiques là où c'est possible (suremballage, usage unique, réutilisation...). Un deuxième levier peut être la substitution de certains de ces plastiques par des alternatives plus respectueuses de l'environnement comme les bioplastiques. C'est cet axe qui sera exposé dans cet article avec tout d'abord une présentation de ce qu'est un bioplastique avant de parler d'un type de bioplastique prometteur en particulier, les polyhydroxyalcanoates.

2. LES BIOPLASTIQUES, DES MATÉRIAUX D'AVENIR

Les plastiques dits « conventionnels » sont définis par opposition aux bioplastiques. Pour savoir si un plastique est un bioplastique, il faut s'intéresser à sa source et à sa fin de vie. Un plastique produit à partir de ressources renouvelables (biomasse, dioxyde de carbone...) est un bioplastique même s'il n'est pas biodégradable, ce qui est le cas des plus répandus actuellement (PE ou PET biosourcés par exemple). Si un plastique est biodégradable, indépendamment de la façon dont il est produit, il est aussi classé comme bioplastique. On voit donc qu'un plastique peut être appelé bioplastique s'il est soit biosourcé et non biodégradable, soit non biosourcé et biodégradable ou soit biosourcé et biodégradable. Les plastiques conventionnels sont donc des plastiques non biosourcés, c'est-à-dire issus de ressources fossiles, et non biodégradables. La figure 1 résume cette classification.

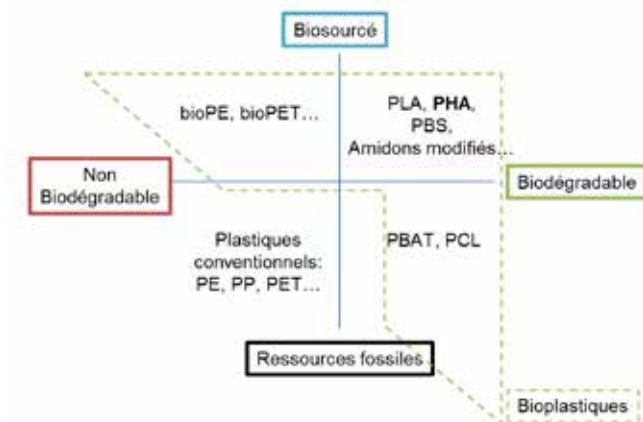


Figure 1. Classification des plastiques entre plastiques conventionnels et bioplastiques.

On peut estimer que 99% des plastiques produits et utilisés dans le monde sont des plastiques conventionnels. L'utilisation de ressources fossiles pour la production de ces plastiques génère notamment l'émission de gaz à effet de serre et entraîne une dépendance aux aléas liés à la géopolitique du pétrole (fluctuation des prix, instabilités politiques, etc.). De plus, leur durée de vie dans l'environnement est très élevée, de l'ordre de dizaines, voire centaines d'années, alors que leur durée d'usage est souvent courte, de quelques mois pour l'emballage à quelques dizaines d'années pour l'automobile et la construction.

C'est pourquoi la recherche d'alternatives est en marche pour trouver des matières plus vertueuses, poussée en cela par la législation. L'utilisation de ressources renouvelables comme la biomasse, par exemple, permet de diminuer fortement la dépendance aux ressources fossiles. Il faut toutefois faire attention à ce que cette utilisation de la biomasse ne vienne pas concurrencer d'autres utilisations comme l'alimentation humaine, l'idéal étant de valoriser des gisements de

biomasse considérés comme des déchets et sans valeur économique. Concernant la fin de vie des plastiques, il existe actuellement 3 voies : l'enfouissement en décharge, l'incinération pour la production d'énergie et le recyclage. À ces 3 voies de fin de vie s'ajoute malheureusement le rejet dans l'environnement, qu'il soit volontaire ou accidentel. De plus en plus, la voie de l'enfouissement tend à être limitée, voire interdite, et l'incinération ne reste une option que si le recyclage n'est pas possible. Avoir des plastiques biodégradables, idéalement aussi recyclables, permet d'ajouter une filière potentielle de compostage comme voie de fin de vie alternative qui limitera leurs impacts sur l'environnement. Enfin, dans le cas des bioplastiques biosourcés et biodégradables, nous aurions un cycle du carbone complet de la production à la fin de vie comme illustré sur la figure 2. Le dioxyde de carbone et l'eau produits par la biodégradation complète du bioplastique seront ainsi transformés en une nouvelle biomasse qui servira à produire à nouveau du bioplastique.

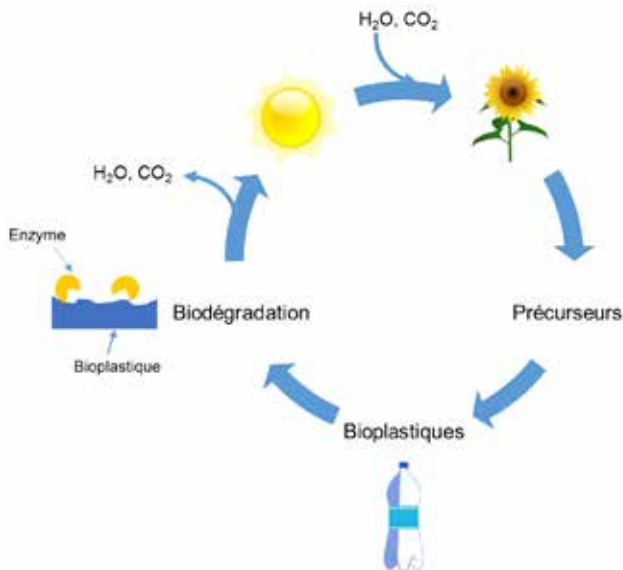


Figure 2. Cycle de vie idéal des bioplastiques biosourcés et biodégradables.

3. LES POLYHYDROXYALCANOATES

Une famille de polymères semble répondre à ce cahier des charges : il s'agit des polyhydroxyalcanoates (PHA) qui sont une famille de polyesters biosourcés et biodégradables (Lemechko, 2018). La particularité de ces polymères est d'être produits par des microorganismes, principalement des bactéries. Identifiés pour la première fois en 1926 par Maurice Lemoigne de l'Institut Pasteur (Lemoigne, 1926), ils n'ont suscité que peu d'intérêt face aux plastiques pétrochimiques alors en plein essor. Depuis quelques années, ils redeviennent la cible des chercheurs et des industriels comme une alternative crédible aux plastiques conventionnels. Si en terme de propriétés ils semblent suffisamment performants, en revanche leur coût de production est encore à un niveau rédhibitoire face à des plastiques conventionnels souvent très peu chers. Un des leviers pour baisser ces coûts de production est l'utilisation de coproduits ou de déchets qui sont peu ou pas valorisés.

3.1 APPORT DE LA BIODIVERSITÉ MARINE

Si de nombreux microorganismes sont capables de produire des PHA, beaucoup se trouvent dans le milieu marin. En effet, la principale utilisation que font ces organismes du PHA qu'ils produisent est de lutter contre des stress nutritifs : ce sont leurs réserves de carbone et d'énergie pour survivre lorsque le milieu devient pauvre en nutriments. C'est pourquoi on en trouve dans le milieu marin, qui est par nature un milieu fluctuant. Il faut donc fouiller cette biodiversité afin d'identifier ces microorganismes particuliers. C'est ce qui a été fait au laboratoire IRDL au cours des programmes Biocomba et PHAPack (Elain, 2015 et 2016). Un grand nombre de microorganismes vivants sur les coquilles de coques ou de palourdes ont été isolés puis mis en culture sur un milieu spécifique en présence d'un marqueur fluorescent des PHA. Comme on peut le voir sur la figure 3, à gauche, les souches produisant des PHA fluorescents tandis que celles n'en produisant pas ne présentent aucune fluorescence. A droite de la figure 3, des granules de PHA peuvent être observées à l'intérieur du cytoplasme de bactéries par microscopie électronique en transmission.

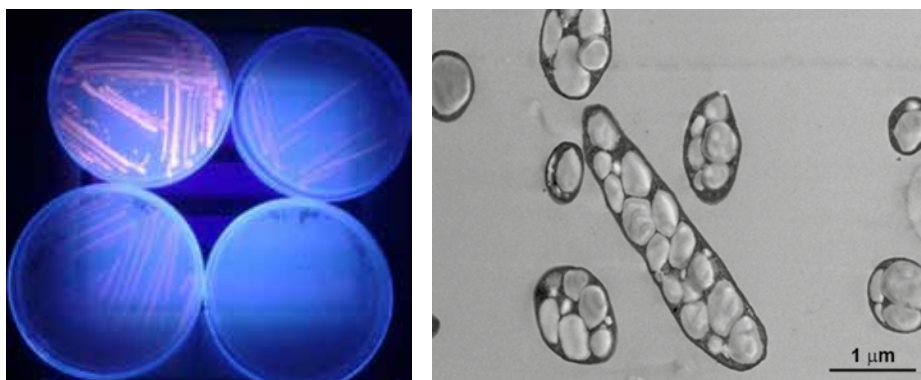


Figure 3. Gauche : Souches bactériennes cultivées en boîte de Petri en présence d'un marqueur fluorescent des PHA. Droite : Image en microscopie électronique en transmission de cellules bactériennes (membranes bactériennes en noir) contenant des granules de PHA (en blanc).

Ces projets de recherche ont permis d'identifier une souche bactérienne particulièrement performante : la souche *Halomonas* SF2003. Cette souche a la capacité de métaboliser de nombreux nutriments différents et est donc intéressante pour valoriser des coproduits, souvent de compositions complexes. Le fait de travailler avec une souche marine permet aussi d'utiliser des coproduits riches en sels minéraux qu'il faudrait dessaler pour être utilisables par des bactéries terrestres. Cette approche est à la base du projet BluEcoPHA conduit entre 2015 et 2018 et financé par l'Ademe. Au cours de BluEcoPHA, des déchets issus d'industries agroalimentaires ont été fournis par des partenaires industriels et ont servi à nourrir les bactéries *Halomonas* SF2003. Des PHA ont ainsi été produits à partir de ces déchets, ce qui a permis de diminuer le coût de production. Des essais à l'échelle pilote ont été réalisés afin de préparer une future industrialisation. Certains de ces déchets sont très chargés en sels et nécessitent des traitements onéreux pour être détruits. Les utiliser comme matière première, sans traitement, pour produire des PHA grâce à une souche bactérienne issue du milieu marin, comme *Halomonas* SF2003, est donc très intéressant.

3.2 APPLICATIONS DES POLYHYDROXYALCANOATES

Les PHA sont une famille de polymères. En effet, en fonction du type de souche utilisée et des composés utilisés pour nourrir les bactéries, différents PHA peuvent être obtenus aux propriétés physico-chimiques et mécaniques différentes. Les PHA les plus répandus sont des plastiques

opaques, rigides et cassants. Il est possible en modifiant les nutriments donnés aux bactéries d'aller vers des plastiques plus transparents, plus souples et moins cassants, voire élastiques. C'est cette modularité des propriétés qui font que les PHA peuvent potentiellement remplacer un grand nombre de plastiques conventionnels. Par exemple, la souche *Halomonas* SF2003 peut donner un PHA plus ou moins transparent et plus ou moins souple, comme on peut le voir sur la figure 4, en jouant sur la composition des substrats de production (Lemechko, 2018).

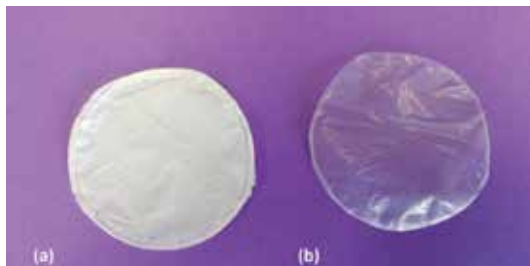


Figure 4 : PHA produits par *Halomonas* SF2003 à partir de mélanges différents de déchets. (a) PHA opaque, rigide et cassant. (b) PHA transparent, souple, plus élastique.

De plus, les PHA sont biodégradables : ils sont compostables en composts industriels et domestiques et des études ont montré qu'ils se biodégradent aussi dans le milieu marin. Ainsi des films de PHA de 0,3 mm d'épaisseur ont été mis à vieillir en mer et leur épaisseur a diminué de moitié en 6 mois comme on le voit sur la figure 5. Ces études ont été complétées par des études in vitro démontrant qu'il y a bien une métabolisation complète des PHA en dioxyde de carbone, et pas une simple érosion mécanique. La biodégradation du PHA in vitro se révèle même plus rapide que celle de la cellulose (Deroiné, 2015).

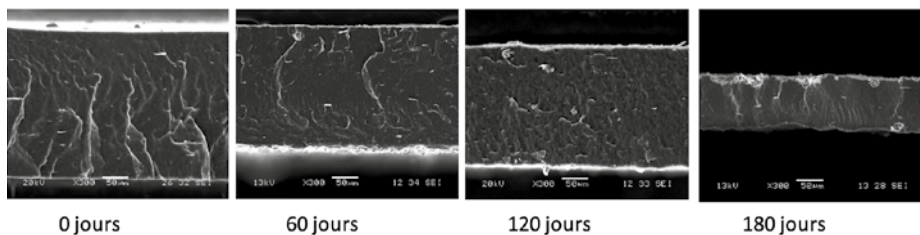


Figure 5 : Images obtenues en microscopie électronique à balayage de la tranche de films de PHA vieillis en mer.

Les domaines d'application sont multiples avec en premier lieu des domaines comme le biomédical, les cosmétiques ou l'impression 3D. Leur coût de production élevé actuel les réservent à ces marchés de niche à forte valeur ajoutée. Néanmoins, une fois que l'augmentation de la production globale engendrera des économies d'échelle et une optimisation des process plus poussée, les PHA pourront très bien être utilisés dans les marchés de masse de l'emballage et des biens de consommation courants. A terme, l'utilisation des PHA pourrait être particulièrement intéressante dans des secteurs d'application comme la pêche et le nautisme, où le risque est grand de perdre des produits en matière plastique directement dans l'environnement (perte accidentelles d'objets, macro- et micro-déchets issus de dégradations lors de l'utilisation des objets, etc.), avec d'importants impacts associés.

4. CONCLUSION

Il sera ainsi possible à l'avenir de proposer des objets en PHA produits à partir de déchets ou de coproduits qui pourront ensuite être compostés ou, en cas de perte accidentelle dans les océans, se biodégrader rapidement et ainsi ne pas impacter l'environnement marin. Ce type de matériaux peut s'insérer dans un contexte d'économie circulaire où les déchets des uns sont les matières premières des autres. De plus, produire des PHA à partir de coproduits s'envisage plutôt à l'échelle locale ou régionale afin de limiter les transferts et transports des déchets et de coproduits, et de maîtriser leur composition.

RÉFÉRENCES

- Deroiné M., César G., Le Duigou A., Davies P., Bruaud S., Natural degradation and biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) in liquid and solid marine environments, *Journal of Polymers and Environment*, 23, (2015), pp. 493-505.
- Elain A., Le Fellic M., Corre Y.M., Le Tilly V., Legrand A., Audic J.L., Bruzaud S., Rapid and qualitative fluorescence-based method for the assessment of PHA production in marine bacteria during batch culture, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31, (2015), pp. 1555-1563.
- Elain A., Le Grand A., Corre Y.M., Le Fellic M., Hachet N., Le Tilly V., Loulergue P., Audic J.L., Bruzaud S., Valorization of local agro-industrial processing waters as growth media for polyhydroxyalkanoates production, *Industrial Crops Production*, 80, (2016), pp. 1-5.
- Lemechko P., Bruzaud S., Des polymères bactériens biodégradables obtenus à partir de ressources renouvelables : la biotechnologie au service de la chimie, *L'Actualité Chimique, Numéro spécial « Chimie durable »*, 427-428, 60-65 (2018)
- Lemechko P., Le Fellic M., Bruzaud S., Production of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) using agro-industrial effluents with tunable proportion of 3-hydroxyvalerate monomer units, *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, (2019), pp. 429-434.
- Lemoigne M., Produit de déshydratation et de polymérisation de l'acide β -oxybutyrique, *Bulletin de la Société de Chimie et de Biologie*, 8, (1926), p. 770

DES MATÉRIAUX COMPOSITES À HAUTES PERFORMANCES À PARTIR DE PLANTES

Christophe Baley

Université Bretagne Sud,
Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS 6027),
rue Saint Maudé BP 92116, 56321 Lorient, France
christophe.baley@univ-ubs.fr

Mots-clés : matériaux composite ; fibres végétales ; plantes et société

RÉSUMÉ

Dans le domaine des matériaux composites à matrice organique, l'usage des fibres végétales comme renfort se développe aujourd'hui. Ces matériaux sont ici nommés biocomposites. Ce type de renfort présente des spécificités telles qu'une origine renouvelable, une capacité de biodégradation et de bonnes propriétés mécaniques pour certaines. Leur usage permet par ailleurs une réduction des impacts sur l'environnement pour la phase de la production des matériaux. Cet article s'intéresse dans un premier temps à définir et justifier l'usage des biocomposites puis de présenter les plantes à fibres. En complément de leur usage, les structures des plantes sont aussi des modèles d'organisation, elles sont donc aussi sources de connaissances et non seulement une ressource végétale. La place des plantes dans notre société complète cet article.

ABSTRACT

In the field of organic matrix composite materials, the use of plant fibers as reinforcement is developing today. These materials are here called biocomposites. This type of reinforcement has some specificities such as a renewable origin, a biodegradation capacity and good mechanical properties for some of them. Their use also allows a reduction of environmental impacts during the material production phase. This article first focuses on defining and justifying the use of biocomposite and then presents fibre plants. In addition to their use, plant structures are also models of organization, they are therefore also sources of knowledge and not only a plant resource. The place of plants in our society completes this article.

1. INTRODUCTION

1.1 GÉNÉRALITÉS SUR LES MATÉRIAUX ET LES COMPOSITES

Cet article présente des éléments sur l'usage de ressources renouvelables dans le domaine des matériaux. Plus précisément, sur l'usage de fibres végétales pour le renforcement de polymères afin de réaliser des matériaux composites à hautes performances. La notion de performance est à prendre au sens large, c'est-à-dire qu'elle fait référence à des gains apportés par leur usage pour, par exemple, réduire la masse d'une structure, faciliter la gestion de la matière en fin de vie ou diminuer les impacts sur l'environnement. Il s'agit d'un article général qui se veut accessible à

tous. Ce sujet de recherche, développé au laboratoire IRDL (<https://irdl.fr/>) depuis de nombreuses années, implique plusieurs chercheurs. Les domaines d'application sont très larges comme par exemple la construction de pièces dans le domaine des transports (construction navale, automobile, ...), l'emballage ou le bâtiment.

Il est utile de rappeler qu'il existe, en simplifiant, trois familles principales de matériaux : les métaux, les céramiques et les polymères (souvent nommés plastiques dans le vocabulaire courant). Les deux premières sont issues de ressources minérales généralement prélevées dans l'écorce terrestre, il s'agit donc de ressources plus ou moins limitées provenant d'un monde fini. Les polymères, eux, peuvent être produits à partir de ressources fossiles (comme le pétrole) ou vivantes (ressources renouvelables comme les plantes et les bactéries). En complément, il est possible de réaliser des mélanges, d'où le nom de matériaux composites, constitués, toujours en simplifiant, d'un liant et d'un renfort. Ce dernier peut se présenter sous forme de fibres (renfort monodimensionnel), de plaquettes (renforcement dans un plan) ou de sphères (renfort tridimensionnel). Les fibres présentent une géométrie optimum car elles peuvent être orientées dans la direction des efforts. Pour compléter la définition d'un matériau composite, l'adhérence entre renfort et matrice joue un rôle très important sur les performances. Aujourd'hui, les matériaux composites sont utilisés pour de nombreuses applications structurales telles que les bateaux de plaisance et de course, les pales d'éolienne et les avions. On note que leur transformation se fait par moulage ; lors de cette opération on fabrique à la fois le matériau composite et la pièce. Dans la suite du texte, un matériau composite constitué d'un polymère renforcé par des fibres végétales sera appelé biocomposite.

1.2 EST-CE UNE NOUVELLE IDÉE D'UTILISER DES FIBRES VÉGÉTALES COMME RENFORT ?

L'homme utilise depuis très longtemps des parois végétales pour renforcer des briques de terre (ce mélange est aussi un composite) et des « fibres » pour la confection de textiles. L'une des plus anciennes traces d'usage par l'homme de fibres de lin pour des applications textile date de 36 000 ans (Kvavadze *et al.*, 2009).

Le développement des matériaux « plastiques » correspondait au souhait de répondre à des besoins industriels, en particulier de disposer d'isolants électriques. C'est ainsi qu'apparaît en 1906 la Bakélite (réaction phénol-formaldéhyde) utilisée comme vernis puis comme matrice (imprégnée de papier, tissu, sciure de bois). En 1930, des composites sont réalisés par imprégnation de tissus de coton par une matrice phénolique (Tufnol®) ; ils permettaient la réalisation de pièces mécaniques (engrenages, cames, disjoncteur électrique...) et étaient aussi utilisés dans un environnement sévère (remplacement du bois pour les paliers d'arbres d'hélice en construction navale, par exemple). En 1939, et pour des applications structurales dans l'aéronautique, De Bruyne (De Bruyne, 1939) remplace le coton par du lin (composites lin/phénolique nommé Gordon aérolite) pour augmenter les propriétés mécaniques. Ceci a permis, en 1940, la première réalisation d'éléments de structure primaire d'avion Spitfire en matériaux composites (Bishopp, 2005), plus précisément le fuselage et un longeron d'aile. La structure de ce dernier était bioinspirée ; en effet la conception copiait l'organisation interne d'un os métacarpien de l'aile d'un vautour. Norman de Bruyne a fait œuvre de pionnier dans le domaine des composites renforcés de fibres naturelles, mais aussi dans celui des matériaux composites plus largement. Ses travaux sont considérés comme un tournant majeur par plusieurs auteurs, c'est le début de l'usage des matériaux composites pour des applications structurales (Gordon, 1994)(McMullen, 1984)(Hill and Hughes, 2010).

Aujourd'hui, les biocomposites sont couramment utilisés pour des applications automobiles (aménagement intérieur de véhicule), le sport et loisir (fabrication de ski), le decking, la lutherie, mais d'autres secteurs s'y intéressent, comme par exemple, la construction navale et l'aéronautique

(Pil *et al.*, 2015). La figure 1 présente un canoë réalisé à l'IRD (UBS, fin de programme en 2011) entièrement à partir de ressources renouvelables (matrice PLA fabriquée à partir d'amidon et fibres de lin). Cette coque est recyclable en fin d'usage (transformation par injection après broyage) et biocompostable (biodégradation dans un compost) en fin de vie.



Figure 1 : Canoë en biocomposites réalisé à l'IRD (UBS). Il est entièrement biobasé : coque en PLA/lin (matériau recyclable en fin d'usage et biocompostable en fin de vie) et finitions en bois (traitées à l'huile de lin).

1.3 POURQUOI S'INTÉRESSER AUJOURD'HUI À L'USAGE DES FIBRES VÉGÉTALES COMME RENFORT ?

Le développement des matériaux composites à très grande échelle date des années 1980 (De Banville and Verilhac, 1985) avec l'usage principalement de fibres de verre. Les fibres de carbone se sont développées par la suite. Depuis les années 2000, on note un regain d'intérêt pour les fibres végétales. Il ne s'agit pas d'une simple opération de substitution mais celles-ci ont des spécificités qu'il est intéressant de valoriser comme : une origine renouvelable, une durabilité (stabilité des performances dans le temps), une capacité à se biodégrader. Par ailleurs, les performances mécaniques spécifiques de certaines fibres sont importantes et proches de celles des fibres de verre (Baley, 2020), elles demandent peu d'énergie pour être produites (en comparaison avec les fibres de verre) et leur incinération permet de récupérer de l'énergie...

Les industriels exploitent ces spécificités et utilisent les biocomposites avec différents arguments, car ils permettent entre autres :

- de mettre en place une démarche d'écoconception avec l'objectif de réduire les impacts sur l'environnement (Le Duigou, Davies and Baley, 2011) acidification, non-renewable energy consumption... -on note que l'usage de biomasse n'est pas systématiquement synonyme de réduction des impacts, une analyse du cycle de vie est nécessaire pour vérifier et quantifier les gains ;
- de réduire la masse des pièces dans certains cas ;
- d'envisager différents scénarios en fin d'usage et en fin de vie: recyclage par broyage mécanique si la matrice est de type thermoplastique (Bourmaud and Baley, 2007) (Bourmaud and Baley, 2009), valorisation énergétique, biocompostage si la matrice le permet et qu'aucun élément écotoxique n'a été introduit dans la formulation. La logique est de penser cycle de vie, du berceau à la tombe pour l'ensemble des produits, voire, comme dans la nature, du « berceau au berceau » (« cradle to cradle » en anglais) ;
- de donner une image ou une finition naturelle aux pièces ;

- de réduire les impacts sur la santé des opérateurs ;
- d'un point de vue stratégique, de se préparer à de nouvelles attentes des consommateurs et à la mise en place d'une législation avec des contraintes environnementales (Reach, par ex.).

Les biocomposites ont des particularités, mais ce sont d'abord des matériaux composites. Ils doivent évoluer pour répondre aux mêmes challenges que les matériaux composites renforcés par des fibres de synthèse. Nous disposons aujourd'hui des connaissances pour les développements technologiques en tenant compte de leurs spécificités (Baley, Gomina, Breard, Bourmaud, Drapier, *et al.*, 2019). Néanmoins, leur développement demande une démarche d'innovation, ce qui impose des approches pluriculturelles, pluridisciplinaires, transdisciplinaires, multiéchelles et pluripartenariales. Le terme transdisciplinaire signifie que les sciences humaines et sociales ont un rôle majeur à jouer pour cette problématique à fort enjeu sociétal. L'aspect pluripartenarial illustre le fait que de nombreux domaines de connaissance sont nécessaires, provenant du monde académique mais aussi des mondes agricole et industriel. Le paragraphe suivant est consacré aux plantes à fibres produites par l'agriculture.

2. DES PLANTES À FIBRES

2.1 FIBRES NATURELLES OU NON

Les fibres existant initialement dans la nature peuvent être séparées en trois grands groupes selon leur origine (Baley, 2020) :

- les fibres végétales (unique objet de cet article),
- les fibres animales qui proviennent des poils, tels que la toison animale, et des sécrétions telles que la soie,
- les fibres minérales telles que l'amiante.

Les mots « fibres naturelles » sont souvent utilisés pour décrire les fibres végétales, mais c'est discutable. Cette notion de matériau naturel peut être abordée par différentes disciplines comme l'économie (Rotillon, 2005) ou le droit (Bonin, 2010). Les ressources naturelles jouent un rôle capital dans le développement économique des pays et le bien-être de leurs habitants (nourriture, sources d'énergie, matières premières...) ; elles sont fournies par la nature sans être le fruit d'un travail humain. Il est donc proposé de considérer comme une ressource naturelle tout ce qui, sans être un produit de l'activité humaine, influe ou pourrait influencer sur l'économie des pays ou le bien-être de leurs habitants (Bonin, 2010). À ce titre, le littoral et l'océan sont des ressources naturelles environnementales. Les fibres végétales utilisées aujourd'hui par l'industrie (textiles, composites...) sont produites par l'agriculture, il ne s'agit donc pas de ressources naturelles. En complément, il est aussi possible de séparer les ressources en deux parties : les renouvelables et les non renouvelables (le flux et le stock, en d'autres termes). En simplifiant, suite à l'évolution des espèces, il existe des ressources naturelles que les hommes ont au départ simplement récoltées et valorisées (ces fibres végétales et animales sont alors des matériaux de rencontre), puis sélectionnées et cultivées (elles sont devenues des ressources renouvelables).

2.2 PRÉCISIONS SUR LE TERME « FIBRE »

Une fibre est souvent décrite comme un élément à la géométrie élancée (rapport important de la longueur sur le diamètre). Une approche pluridisciplinaire impose de disposer d'un langage commun. Le terme « fibre végétale » n'a pas la même signification pour un chercheur dans le domaine des matériaux et pour un botaniste. Pour ce dernier, le terme « fibre » décrit une seule cellule végétale allongée, à paroi épaisse. Une plante a une structure hiérarchique avec des cellules poreuses et des parois denses qui assurent le transport des nutriments et/ou un soutien mécanique (une

cellule peut avoir plusieurs fonctions). Une plante développe les cellules dont elle a besoin pour vivre et se développer. Utiliser des parois végétales comme renfort impose de connaître leur origine et fonction dans la plante. Les fibres ayant une fonction structurelle uniquement (les tissus de soutien, en d'autres termes) ont généralement les meilleures propriétés mécaniques ; c'est le cas, par exemple, des fibres de lin, de chanvre et d'ortie.

2.3 LES PLANTES À FIBRES

Il existe de très nombreuses « plantes à fibres » sur la planète. Il est possible de les classer suivant la zone de prélèvement comme les poils séminaux de graines (coton, kapok, par ex.), les tiges de plantes (fibres libériennes : lin, chanvre, jute, ortie, par ex.), les feuilles (sisal, par ex.), les troncs (palmier, par ex.) et les enveloppes de fruits (noix de coco, par ex.) (Baley, 2020).

En Europe, les principales plantes à fibres cultivées sont le lin, le chanvre et les orties. Seules les deux premières sont produites à grande échelle. Néanmoins, le choix des fibres provenant d'un milieu naturel et présentant des performances mécaniques intéressantes se fait en tenant compte :

- de leur origine et fonction dans la plante,
- de leur disponibilité en volume avec des propriétés maîtrisées (Baley, Gomina, Breard, Bourmaud and Davies, 2019),
- de leur composition, architecture et propriétés,
- de la connaissance des impacts environnementaux en tenant compte de l'ensemble des étapes (production, rouissage, traitements mécaniques ou autres, stockage, transport...).

Certaines plantes marines produisent aussi des fibres aux propriétés mécaniques intéressantes, c'est le cas des Zostères Marina (Davies *et al.*, 2007) qui sont des phanérogames (plantes à fleurs). Ces plantes ont un rôle écologique très important et forment des herbiers. Elles ne sont pas disponibles en volume à l'état naturel et ne sont pas cultivées. Quelques travaux de recherches ont été conduits pour valoriser cette biomasse après échouage (comme les herbiers de posidonies). Cette approche n'est pas aisée compte tenu de l'importance écologique de la laisse de mer et de la non-maîtrise des propriétés d'une biomasse échouée (impose le contrôle d'un état de biodégradation qui peut être plus ou moins avancé). La logique, pour l'instant, est plus de valoriser la biomasse terrestre.

2.4 DES SPÉCIFICITÉS À CONSERVER

Les fibres naturelles renouvelables (végétales ou animales) sont initialement biodégradables et doivent le rester si possible, même à la suite de traitements (la vitesse de biodégradation, elle, peut être modifiée). Un matériau est dit biodégradable s'il est dégradé par des micro-organismes (des bactéries ou des champignons, par exemple). Le résultat de cette dégradation est la formation d'eau, de dioxyde de carbone et/ou de méthane et éventuellement de sous-produits non toxiques pour l'environnement.

Ces fibres sont souvent considérées comme neutres vis-à-vis des émissions de CO₂ dans l'atmosphère puisque leur combustion ou leur biodégradation ne produit qu'une quantité de dioxyde de carbone égale à celle que la plante a absorbée lors de sa croissance. Ceci est une approche simplifiée car, en réalité, il est aussi nécessaire de tenir compte des pratiques agricoles, des phases d'extraction, de transport et de mise en forme des préformes et des composites.

2.5 S'INTÉRESSER AUX PLANTES ET À L'AGRICULTURE

Au-delà d'aspects très techniques, l'usage de fibres végétales comme renfort impose de s'intéresser aux plantes, à leur anatomie et à l'agriculture. Par ailleurs, une terre agricole de qualité n'est

pas un simple support de culture mais un milieu vivant. Une graine a un patrimoine génétique et différents paramètres (météo, nature du sol, distances entre deux plantes, fertilisation...) vont influencer la croissance des plantes, et donc les propriétés des cellules (Baley, Gomina, Breard, Bourmaud and Davies, 2019). Par la suite, elles subissent différents traitements (fanage, rouissage) pour faciliter l'extraction des fibres et la division des faisceaux (teillage, peignage...). Toutes ces étapes influencent les propriétés des parois.

Grâce aux travaux des sélectionneurs, les variétés cultivées évoluent au cours du temps pour, entre autres, améliorer la production des fibres à l'hectare, réduire la sensibilité aux maladies et obtenir une meilleure tenue à la verse. Pour le lin, 10 ans en moyenne sont nécessaires pour mettre au point une nouvelle variété. Par ailleurs, le changement climatique va influencer les productions agricoles de demain. Ceci conduit à différents travaux de recherche comme l'adaptation des variétés aux différents terroirs, l'évolution des zones de cultures, les techniques de rouissage et les pratiques agricoles. À titre d'illustration, le lin est traditionnellement semé au printemps (on parle de variétés de lin de printemps), mais, depuis plusieurs années, des lins d'hiver sont aussi sélectionnés et cultivés. C'est peut-être une réponse pour limiter les conséquences des périodes de stress hydrique liées aux évolutions climatiques.

En complément, d'autres aspects sont étudiés tels que : le volume des ressources disponibles chaque année (il s'agit de cultures annuelles en Europe), la valorisation de l'ensemble des coproduits de la plante (fibres, bois, graines, poussières...), la compétition possible avec la production alimentaire et l'évolution des surfaces agricoles utiles (SAU). En effet, la perte de terres agricoles (environ 70 000 hectares chaque année), et leur possible épuisement si les pratiques n'évoluent pas, sont des sujets d'inquiétude à court terme (Nahon, 2008). D'un point de vue agronomique, les plantes à fibres cultivées en Europe (le lin et le chanvre) imposent des rotations de cultures, c'est-à-dire que le lin, par exemple, est cultivé tous les sept ans sur une même parcelle.

La compétition entre production de plantes à fibres et alimentation est souvent questionnée. En France, et pour un usage dans le domaine des matériaux (hors bois), les cultures dédiées (lin, chanvre, miscanthus) et les coproduits agricoles (pailles de blé, colza, tournesol, lin oléagineux) représentaient 0.31% de la SAU (Surface Agricole Utile) en 2017 et devraient représenter 0.54% de la SAU en 2035 (Bono and Bausset, 2020). Ces chiffres permettent de relativiser la notion de compétition en sachant qu'une plante peut fournir des coproduits pour l'alimentation et d'autres pour les matériaux.

Plus globalement, la biomasse joue un rôle majeur pour répondre aux besoins de nourriture, de matériaux et d'énergie des populations. Dans un contexte mondial, l'évolution des demandes a été quantifiée en tenant compte de la croissance de la population et des besoins. En 2050, et par rapport à 2010, il faudra produire 1,6 fois plus de produits alimentaires, 1,5 fois plus d'agro-matériaux (bois, papier, textiles...) et 1,6 fois plus d'énergie (Bos and Broeze, 2020). Sur ce dernier sujet, la logique est de passer des énergies de stock (pétrole, charbon...) à des énergies de flux (soleil, vent, eau, biomasse...). En France, en 2020, le bois représente environ 50% des énergies dites renouvelables. Ces chiffres illustrent les enjeux mondiaux pour l'agriculture.

L'observation attentive de l'organisation interne des plantes, à différentes échelles, est riche d'enseignement. En effet il s'agit de structures composites optimisées pouvant être considérées comme des modèles d'organisation, elles deviennent alors sources de connaissances. C'est l'objet du prochain paragraphe.

3. APPRENDRE DES PLANTES

3.1 LA PLANTE DE LIN, EXEMPLE D'UNE STRUCTURE VÉGÉTALE REMARQUABLE

Les plantes à fibres poussent verticalement et sont des structures naturelles plus ou moins élançées, l'élançement étant le rapport entre la hauteur et le diamètre de la tige (ou du tronc). Cette grandeur a été étudiée pour les arbres et les herbacées (Niklas, 1994) experimentally determined

values for the physical properties of stems (Young's elastic modulus and bulk tissue density)(Niklas, 1995). Le lin cultivé avec une densité de plantes de 1600-1800 plantes par m2 (Bourmaud, Gibaud and Baley, 2016) présente un élancement de 300-350 (Goudenhooff *et al.*, 2019), ce qui est remarquable pour le monde végétal (Figure 2).



Figure 2 : Plantes de lin (*Linum usitatissimum*) avant floraison.

Cette performance s'explique par l'organisation des tiges (structure sandwich composites), qui peuvent être considérées, en simplifiant, de l'extérieur vers l'intérieur, comme un cylindre composé d'une couche protectrice, d'un pli composite renforcé par des fibres unidirectionnelles et d'un noyau poreux (Figure 3) (Baley *et al.*, 2018). Le pli unidirectionnel a une fonction structurelle ; il est composé d'une fraction volumique élevée de fibres assemblées en faisceaux. Les tissus conducteurs poreux au centre (xylème et phloème), nommés anas pour le lin et chenevotte pour le chanvre, contribuent aussi à la résistance mécanique des tiges (Baley, Goudenhooff, *et al.*, 2019) en limitant les risques d'ovalisation et de flambage local des faisceaux.

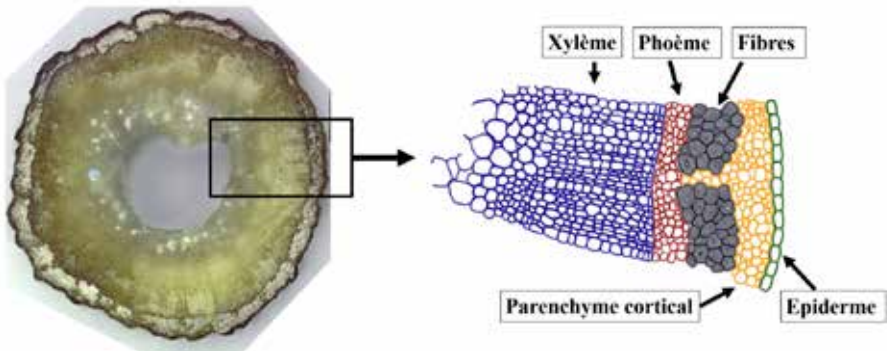


Figure 3 : Coupe d'une tige de lin

3.2 DES PLANTES COMME DES STRUCTURES MODÈLES

Les organisations internes des plantes sont optimisées et l'analyse de leurs architectures est riche d'enseignement pour concevoir de nouvelles structures (bioinspiration). C'est-à-dire que les plantes ne sont plus uniquement considérées comme des ressources mais comme des modèles. À titre d'illustration, voici quelques exemples :

- * La tige d'une herbe est souvent constituée d'une enveloppe cylindrique à paroi mince à l'extérieur et d'un noyau alvéolaire de faible densité au centre (Gibson, Ashby and Harley, 2010). Cette architecture peut être copiée pour, par exemple, concevoir des réservoirs ou des fuselages d'avions (Dawson and Gibson, 2007).
- * La réalisation d'actionneur copiant le comportement des pommes de pin dont la géométrie change avec la teneur en humidité. Ce type de comportement permet la conception de toiture qui s'ouvre et se ferme en fonction des conditions météo (Pohl and Nachtigall, 2015).
- * Les performances des plantes s'expliquent par leur structure hiérarchique, organisation inspirante pour inventer des matériaux sur mesure pour demain. À titre d'illustration, et de manière simplifiée, le tronc d'un arbre est composé d'un empilement de cernes (bien visibles à l'œil nu), chacune étant constituée d'un assemblage de cellules. Ces dernières sont formées par la superposition d'une paroi primaire et d'une paroi secondaire. Trois couches constituent cette dernière (nommées généralement S1, S2 et S3). Elles sont renforcées par des fibrilles de cellulose organisées suivant différentes orientations (constituées principalement de cellulose partiellement cristallisée, d'hémicelluloses et de lignine). Cette organisation multiéchelles (du mètre au nanomètre) explique les propriétés mécaniques du bois.

Par ailleurs les plantes sont des structures vivantes qui s'adaptent à des situations exceptionnelles. Elles peuvent cicatriser après endommagement (Paul-Victor *et al.*, 2017), se redresser (phénomène nommé le gravitropisme) (Goudenhooff, Bourmaud and Baley, 2019) et adapter leur architecture aux simulations mécaniques (phénomène nommé thigmomorphogénèse). Dans la nature, ce type de croissance permet aux plantes de se développer en réponse au vent, aux gouttes de pluie et au frottement des animaux de passage (Biddington, 1986). En complément, la plupart des structures industrielles sont conçues pour être rigides, ce qui n'est pas le cas dans le monde végétal (De Langre, 2008). Les plantes sont relativement flexibles, minimisant les effets des charges aérodynamiques par des déformations de grande amplitude.

Utiliser une ressource végétale dans le domaine des matériaux doit aussi nous amener à nous interroger sur leur place dans nos sociétés, c'est l'objet du prochain paragraphe.

4. LA PLACE DES PLANTES DANS NOS SOCIÉTÉS

Au quotidien, nous entretenons un rapport très intense avec les plantes. Nous les utilisons pour manger, nous soigner, nous vêtir, construire, nous protéger du froid, nous chauffer ... et pourtant elles n'ont que rarement le droit d'exister dans l'espace culturel (Coccia, 2016).

Les plantes sont aussi à l'origine de la plupart des chaînes alimentaires, elles structurent nos paysages, abritent les animaux, participent à la formation des sols et au contrôle local des climats, rafraîchissent l'air et sont capables, dans une certaine mesure, de nettoyer certains polluants (Hallé, 1999). Par ailleurs, grâce à la photosynthèse, elles nous fournissent de l'oxygène, notre premier besoin pour vivre. S'intéresser aux plantes conduit à aborder les relations entre plantes et sociétés.

Depuis longtemps, des personnes se sont intéressées aux différences entre les plantes et les animaux. Ainsi, Aristote (384-322 av. J.-C.) considérait que, si chaque être vivant avait une âme,

suivant les cas, celle-ci pouvait présenter des caractéristiques fort différentes. Des trois fonctions de l'âme humaine, végétative, sensitive et intellectuelle, celle des animaux n'en conservait que les deux premières, tandis que les végétaux ne disposaient que d'une simple âme végétative, gouvernant génération, alimentation et croissance (Thellier, 2015). Cette perception est encore malheureusement trop souvent d'actualité. Les humains se sentent plus facilement concernés par les animaux qui, par certains aspects, nous ressemblent (on parle de zoocentrisme et anthropocentrisme) (Hallé, 1999). On retrouve ces idées dans notre vocabulaire. Le terme botanique (la science des plantes) provient lui-même de l'animal par son étymologie, « boton » en grec ancien était une bête de troupeau et « botané » la plante dans sa vocation nourricière (fourrage) (Rey, 2004). Par ailleurs, prêter à l'être humain des traits végétaux est souvent mauvais signe, par exemple : végéter, se planter, se transformer en légume, être dans un état végétatif chronique... La forêt amazonienne est décrite comme le poumon vert de la planète malgré de grandes différences avec l'organe humain, ce qui illustre la méconnaissance de son fonctionnement. Le succès grand public d'un ouvrage sur la forêt (Wohlleben, 2017), malgré ses imperfections, illustre l'intérêt actuel pour une partie du monde végétal. Ceci s'explique, entre autres, par la situation écologique de notre planète (émissions de Co2, perte de biodiversité...), le souhait d'utiliser des matériaux naturels et renouvelables, de disposer d'un cadre sain pour les loisirs, de se protéger des inondations et des avalanches, et par des représentations symboliques (les arbres par exemple sont associés aux notions de longévité et de fertilité).

On a longtemps considéré les plantes comme des organismes passifs dépourvus de capacités perceptives. L'état des connaissances montre qu'elles sont sensibles à de multiples stimuli, tels que la lumière, la gravité et leur propre posture (Lenne, Bodeau and Moulia, 2014) (Moulia, 2013), elles bougent tout le temps (à leur rythme), elles communiquent entre elles (Hallé, 1999) et elles ont une mémoire, même si elle est très différente de la nôtre (Thellier, 2015). Sur ce dernier point, il est possible de s'émerveiller de la sélection naturelle ; aux plantes, qui ne se déplacent pas, elle a attribué une faculté de mémoire qui leur permet d'adapter leur métabolisme et leur développement aux conditions locales de leur environnement, en générant une réponse intégrée, optimisée, à l'ensemble des stimulations, stress et agressions, auxquels elles sont soumises au cours du temps. Sur des aspects philosophiques, approches complémentaires, on invite le lecteur à consulter la référence suivante (Coccia, 2016).

5. CONCLUSION

Cet article illustre des travaux de recherche sur l'usage de fibres végétales pour la réalisation de matériaux composites à hautes performances. L'usage d'une ressource renouvelable est logique dans une démarche de développement soutenable. Il permet de limiter les impacts sur l'environnement et impose une approche pluridisciplinaire. Il ne s'agit pas d'une simple substitution de fibres de synthèse par des parois végétales, mais d'une volonté de valoriser leurs spécificités. En complément, la production de fibres végétales fait partie de la « Bioéconomie », approche stratégique pour demain. Ce concept englobe l'ensemble des activités liées à la production, à l'utilisation et à la transformation de bioressources. Elles sont destinées à répondre de façon durable aux besoins alimentaires et à une partie des besoins matériaux et énergétiques de la société, et à lui fournir des services écosystémiques.

Les principales plantes à fibres cultivées en Europe sont le lin et le chanvre. Leur production industrielle est possible grâce à des filières structurées permettant de garantir des cultures chaque année. Les bonnes propriétés mécaniques spécifiques de ces fibres s'expliquent par leur rôle de soutien des plantes. Ces cellules présentent un fort élanement (longueur/diamètre) lié à un mécanisme de croissance intrusif remarquable pour le monde végétal.

L'observation de la coupe d'une tige montre que les plantes à fibres présentent une organisation interne optimisée, conséquence de l'évolution de ces espèces. L'analyse de leur structure est riche d'enseignement, elles ont une structure hiérarchique et sont constituées par l'assemblage de

cellules présentant chacune une ou plusieurs fonctions. Par ailleurs, elles disposent de capacités d'adaptation pour survivre malgré des sollicitations qui peuvent être exceptionnelles. Ainsi, dans une démarche de bioinspiration, elles sont considérées comme des modèles pour concevoir de nouvelles structures.

Le regard porté par notre société sur les plantes est le dernier sujet abordé, on note en effet que malgré leur importance au quotidien (pour manger, se soigner, se vêtir, construire...), elles sont peu présentes dans l'espace culturel. Les graines, avec leur patrimoine génétique, les terres agricoles (un sol vivant) et le climat sont des biens communs. S'intéresser aux fibres végétales doit nous conduire à observer plus attentivement les plantes, les écosystèmes et plus largement la nature. Les plantes à fibres sont utilisées par l'homme depuis des millénaires, elles font partie plus ou moins consciemment de notre culture.

RÉFÉRENCES

- Baley, C. *et al.* (2018) Flax stems: from a specific architecture to an instructive model for bioinspired composite structures, *Bioinspiration and biomimetics*, 13(026007), p. 12. doi: 10.1088/1748-3190/aaa6b7.
- Baley, C., Goudenhoft, C., *et al.* (2019) Compressive strength of flax fibre bundles within the stem and comparison with unidirectional flax/epoxy composites, *Industrial Crops and Products*. Elsevier, 130, pp. 25–33. doi: 10.1016/J.INDCROP.2018.12.059.
- Baley, C., Gomina, M., Breard, J., Bourmaud, A., Drapier, S., *et al.* (2019) Specific features of flax fibres used to manufacture composite materials, *International Journal of Material Forming*, pp. 1–30. doi: 10.1007/s12289-018-1455-y.
- Baley, C., Gomina, M., Breard, J., Bourmaud, A. and Davies, P. (2019) Variability of mechanical properties of flax fibres for composite reinforcement. A review, *Industrial Crops and Products*, p. 111984. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111984>.
- Baley, C. (2020) Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites, *Techniques de l'ingénieur Matériaux composites : présentation et renforts*. Editions T.I. Available at: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/materiaux-composites-presentation-et-renforts-42142210/fibres-naturelles-de-renfort-pour-materiaux-composites-am5130/>.
- Biddington, N. L. (1986) The effects of mechanically-induced stress in plants --- a review, *Plant Growth Regulation*, 4(2), pp. 103–123. doi: 10.1007/BF00025193.
- Bishopp, J. (2005) Aerospace: A pioneer in structural adhesive bonding, in Cognard, P. B. T.-H. of A. and S. (ed.) *Adhesives and Sealants*. Elsevier Science Ltd, pp. 215–347. doi: [https://doi.org/10.1016/S1874-5695\(02\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S1874-5695(02)80006-9).
- Bonin, P.-Y. (2010) *La justice internationale et le partage des ressources naturelles*. Edited by L. P. de l'Université Laval.
- Bono, P. and Bausset, J. (2020) *Panorama des marchés « Fibres végétales techniques en matériaux » (hors bois) en France. Mémento 2020*. Ademe.
- Bos, H. L. and Broeze, J. (2020) Circular bio-based production systems in the context of current biomass and fossil demand, *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 14(2), pp. 187–197. doi: 10.1002/bbb.2080.
- Bourmaud, A. and Baley, C. (2007) Investigations on the recycling of hemp and sisal fibre reinforced polypropylene composites, *Polymer Degradation and Stability*, 92(6), pp. 1034–1045. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2007.02.018.
- Bourmaud, A. and Baley, C. (2009) Rigidity analysis of polypropylene/vegetal fibre composites after recycling, *Polymer Degradation and Stability*, 94(3), pp. 297–305. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2008.12.010.
- Bourmaud, A., Gibaud, M. and Baley, C. (2016) Impact of the seeding rate on flax stem stability and the mechanical properties of elementary fibres, *Industrial Crops and Products*, 80, pp. 17–25. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.10.053.
- De Banville, E. and Verilhac, J. (1985) La lente émergence de « matériaux nouveaux », les composites, *Revue d'économie industrielle*, (31), pp. 132–145.
- De Bruyne, N. A. (1939) Plastic progress. Some Further Developments in the manufacture and Use of Synthetic Materials for Aircraft Construction, *Flight*, 12 January, pp. 77–79.

- De Langre, E. (2008) Effects of Wind on Plants, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 40(1), pp. 141–168. doi: 10.1146/annurev.fluid.40.111406.102135.
- Coccia, E. (2016) *La vie des plantes. Une métaphysique du mélange*. Payot et Rivages.
- Davies, P. et al. (2007) Structure and properties of fibres from sea-grass (*Zostera marina*), *Journal of Materials Science*, 42(13). doi: 10.1007/s10853-006-0546-1.
- Dawson, M. A. and Gibson, L. J. (2007) Optimization of cylindrical shells with compliant cores, *International Journal of Solids and Structures*, 44(3), pp. 1145–1160. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2006.06.009.
- Gibson, L., Ashby, M. and Harley, B. (2010) *Cellular materials in nature and medicine*. Cambridge University Press.
- Gordon, J. (1994) *Structures et Matériaux. L'explication mécanique des formes*. Edited by Belin. Pour la science.
- Goudenhooff, C. et al. (2019) The remarkable slenderness of flax plant and pertinent factors affecting its mechanical stability, *Biosystems Engineering*, 178, pp. 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.015>.
- Goudenhooff, C., Bourmaud, A. and Baley, C. (2019) Study of plant gravitropic response: Exploring the influence of lodging and recovery on the mechanical performances of flax fibers, *Industrial Crops and Products*, 128. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.11.024.
- Hallé, F. (1999) *Éloge de la plante. Pour une nouvelle biologie*. Éditions du Seuil.
- Hill, C. and Hughes, M. (2010) Natural Fibre Reinforced Composites. Opportunities and Challenges, *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 4, pp. 148–158. doi: 10.1166/jbmb.2010.1079.
- Kvavadze, E. et al. (2009) 30,000-Year-Old Wild Flax Fibers, *Science*. American Association for the Advancement of Science, 325(5946), p. 1359. doi: 10.1126/science.1175404.
- Lenne, C., Bodeau, O. and Moulia, B. (2014) Percevoir et bouger : les plantes aussi !, *Pour la science*, 438, pp. 40–47.
- Le Duigou, A., Davies, P. and Baley, C. (2011) Environmental impact analysis of the production of flax fibres to be used as composite material reinforcement, *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 5(1), pp. 153–165. doi: 10.1166/jbmb.2011.1116.
- McMullen, P. (1984) Fibre/resin composites for aircraft primary structures: a short history, 1 936–1 984, *Composites*, 15(3), pp. 222–230. doi: 10.1016/0010-4361(84)90279-9.
- Moulia, B. (2013) Plant biomechanics and mechanobiology are convergent paths to flourishing interdisciplinary research, *Journal of Experimental Botany*, 64, Iss(15), pp. 4617–4633. doi: 10.1093/jxb/ert320.
- Nahon, D. (2008) *L'épuisement de la terre. L'enjeu du XXIe siècle*. Odile Jacob.
- Niklas, K. J. (1994) Interspecific allometries of critical buckling height and actual plant height, *American Journal of Botany*, 81(10), pp. 1275–1279. doi: 10.1002/j.1537-2197.1994.tb11449.x.
- Niklas, K. J. (1995) Plant Height and the Properties of Some Herbaceous Stems, *Annals of Botany*, 75(2), pp. 133–142. doi: 10.1006/anbo.1995.1004.
- Paul-Victor, C. et al. (2017) Effect of mechanical damage and wound healing on the viscoelastic properties of stems of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L. cv. Eden and cv. Drakkar), *PLOS ONE*. Edited by B. Clair. Public Library of Science, 12(10), p. e0185958. doi: 10.1371/journal.pone.0185958.
- Pil, L. et al. (2015) Why are designers fascinated by flax and hemp fibre composites?, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, pp. 193–205. doi: 10.1016/j.compositesa.2015.11.004.
- Pohl, G. and Nachtigall, W. (2015) *Biomimetics for Architecture & Design. Nature—Analogies—Technology*. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-19120-1.
- Rey, A. (2004) *Dictionnaire historique de la langue française*. Dictionnaire Le Robert. Paris.
- Rotillon, G. (2005) *Économie des ressources naturelles*. Edited by L. Découverte. La Découverte.
- Thellier, M. (2015) *Les plantes ont elles une mémoire ?* Éditions Quae.
- Wohlleben, P. (2017) *La Vie secrète des arbres*. Les Arènes.

CONSEILS DE LECTURES

- Abel J-D, Blanc M. Vers une bioéconomie durable. CESE. CESE ; 2017.
- Christophe Baley. Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. *Techniques de l'Ingénieur*. 2020. AM 5 130v3. 35 pages.
- Françoise Berzin. *Composites polymères et fibres lignocellulosiques. Propriétés, transformation et caractérisation*. Hermes Lavoisier. Coll. Science et ingénierie des matériaux. Parution 02-2017, 328 pages, ISBN : 9782746247772
- Pierre Bouloc. *Le chanvre industriel : Production et utilisations*. France agricole (2006) 432 pages. ISBN : 2-85557-131-8
- Documents CESE (Conseil Économique Social et Environnemental) téléchargeables (<https://www.lecese.fr/>) :
- Chabaud C. *Les filières lin et chanvre au cœur des enjeux des matériaux biosourcés émergents*. CESE. CESE ; 2015.
- Agnès Courtoux, Cécile Claveirole. *La bonne gestion des sols agricoles : un enjeu de société...* CESE. Mai 2015
- Emmanuele Coccia. *La vie des plantes. Une métaphysique du mélange*. Éditions Payot et Rivages, 2016, 192 pages, ISBN : 9-782743-638009
- Paul Colonna. *La chimie verte*. Éditeur : Tec et Doc – Lavoisier, (2006) 532 pages. ISBN 978-2-7430-0834-5
- Francis Hallé. *Éloge de la plante*. Éditions du seuil, 1999, 355 pages. ISBN 978-2-02-068498-9
- John King, Le monde fabuleux des plantes. Pourquoi la terre est verte. Belin – *Pour la Science*, 2004, 287 pages, ISBN : 9-782701-136325
- Catherine Lenne. *Dans la peau d'une plante*. Édition Belin, 2014, 258 pages, ISBN 978-2-7011-8315-2
- Daniele Reis, Brigitte Vian, Catherine Bajon. *Le monde des fibres*. Éditeur Belin.2006. 351 pages.
- Claude Roy. *Bioéconomie, de la photosynthèse à l'industrie, de l'innovation au marché*. France Agricole Eds. 2019. ISNB : 2855576318
- Jean Claude Roland. *Des plantes et des hommes*. Éditeur Vuibert. 2002. 165 pages.
- Ernst Zurcher. *Les arbres entre visible et invisible*. Actes Sud. 2016, 283 pages, ISBN : 978-2-330-06594-2

BIORESTAURATION, BIOREMÉDIATION, BIOMATÉRIAU... TOUT EST BIO !

Pierre Sauleau

Université Bretagne Sud, Laboratoire de Biotechnologie et Chimie Marines (EA 3884)
IUEM
56100 Lorient, France
pierre.sauleau@univ-ubs.fr

Mots-clés : espèce invasive ; contamination ; biodiversité ; aquaculture ; spongiaire

RÉSUMÉ

Le déclin de la biodiversité dans le monde est principalement lié à la surexploitation des ressources biologiques et de leurs habitats, aux pollutions chimiques et biologiques d'origine anthropique, au réchauffement climatique, mais aussi au développement d'Espèces Exotiques Envahissantes. Notre littoral breton n'est pas épargné avec une urbanisation galopante et un trafic maritime de plus en plus intense. Afin de réduire la contamination du milieu marin, facteur aggravant le développement d'espèces invasives, différentes stratégies écorespectueuses sont envisageables parmi lesquelles la bioremédiation. Cette étude vise à développer la culture des éponges marines, organismes filtreurs et bioaccumulateurs, sur de nouveaux matériaux composites, afin de limiter, voire réduire, la contamination du milieu et faciliter la restauration d'une biodiversité en milieu portuaire.

ABSTRACT

Biodiversity loss in the world is mainly due to overexploitation of biological resources and their habitats, anthropogenic chemical and biological pollution, global warming, but also the development of Invasive Exotic Species. Our Brittany coastline is not spared with rampant urbanization and increasing maritime traffic. In order to reduce contamination of the marine environment, a factor aggravating the development of invasive species, various eco-conscious strategies are available including bioremediation. In this work, we propose to develop the culture of marine sponges which are filtering organisms and bioaccumulators, on new materials, in order to limit or even reduce the contamination of the environment and facilitate the restoration of biodiversity in harbors.

1. INTRODUCTION

Selon le récent rapport de l'IPBES (2019), le déclin de la biodiversité dans le monde est principalement lié à la surexploitation des ressources biologiques et des matières premières, aux pollutions chimiques et biologiques d'origine anthropique, au réchauffement climatique, mais aussi au développement d'EEE (Espèces Exotiques Envahissantes). Le milieu marin n'est pas épargné. Avec l'accroissement de l'urbanisation en zone côtière, du tourisme, des activités de loisirs, le littoral subit une pression anthropique croissante sans parler des risques d'érosion et d'inondation. Actuellement, près de la moitié de la population de l'UE (Union Européenne) vit à moins de 50 km de la mer ; plus de 14% de la population à moins de 500 m (AEE, 2016). À cela s'ajoute l'augmentation

du trafic maritime essentiel au commerce international : en Europe, 90 % du commerce extérieur se fait par voie maritime. En vidant leurs eaux de ballast, les navires introduisent involontairement diverses espèces exotiques, leurs gamètes et propagules (organes de propagation non sexués). Ainsi, les ports de commerce et, dans une moindre mesure, de plaisance, sont considérés comme de véritables portes d'entrée d'espèces exotiques. Une fois introduites, et ce, de façon répétitive, ce qui contribue au succès de leur installation, ces espèces exotiques trouvent les conditions nécessaires pour survivre, se reproduire et s'installer sur les structures artificielles (béton, acier, plastiques, etc.). La biodiversité locale, affaiblie par les peintures antifouling et les autres contaminants chimiques et biologiques d'origine anthropique, ne parviennent plus à lutter contre le développement de ces espèces qui deviennent alors envahissantes. En se propageant en dehors des ports, ces EEE affectent le littoral naturel situé à proximité et menacent la fonctionnalité des écosystèmes mais aussi l'économie locale, voire la santé humaine.

L'hypothèse de notre travail est que certaines espèces endémiques, notamment les éponges marines, sont capables, grâce à leurs propriétés naturelles de filtration et de bioaccumulation, de limiter, voire réduire, la contamination du milieu marin. En effet, les éponges marines sont des animaux capables de filtrer 10 000 fois leur volume en eau par jour et de retenir 80% des particules en suspension comme la matière organique, les minéraux et les bactéries, pour se nourrir. Par la même occasion, elles accumulent certains éléments traces métalliques comme le plomb, et contaminants organiques tels que les PCBs (PolyChloroBiphényles) ou les HAPs (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques). En limitant les teneurs en contaminants chimiques en milieu portuaire, ces organismes marins dits bioremédiateurs pourraient faciliter le maintien voire la restauration d'une biodiversité et permettre à celle-ci de lutter contre l'installation et la propagation d'EEE.

Lors d'une étude précédente, plusieurs espèces d'éponges marines de la ria d'Étel ont révélé des propriétés bioaccumulatrices intéressantes et variables suivant les espèces (Gentric et al., 2016). Parmi les différents spongiaires, l'espèce *Hymeniacidon perlevis* a démontré les capacités bioaccumulatrices les plus encourageantes. Cette même espèce, et plus vraisemblablement son microbiote associé, ont également démontré des propriétés bioremédiatrices vis-à-vis du lindane, un insecticide organochloré (Aresta et al., 2015 ; Loredana et al., 2017). L'espèce *H. perlevis* a également été utilisée comme filtre biologique vis-à-vis de bactéries fécales et pathogènes dans les élevages de turbot (Zhang et al., 2010). Ainsi, la culture de cette espèce sur des sites à l'origine d'une contamination du milieu marin comme les sorties de station d'épuration, les sites portuaires, les zones de « clapage », les bassins versants, etc., serait à privilégier dans le cadre d'une stratégie de bioremédiation.

L'objectif de ce travail consistait à réaliser la culture en milieu portuaire du spongiaire *H. perlevis*, une espèce marine bien connue pour ses propriétés bioremédiatrices. Les travaux ont été réalisés *in situ* dans le port d'Étel et consistaient à greffer des transplants d'éponges sur un support de culture puis de suivre le taux de survie et de croissance de cette espèce. La nouveauté résidait dans l'utilisation de nouveaux supports biosourcés et/ou biodégradables afin que ces biomatériaux ne soient pas eux-mêmes à l'origine de la contamination chimique du milieu marin lors de leur dégradation, contrairement aux plastiques et bétons couramment utilisés.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

Les essais de culture d'éponges marines ont été entrepris dans le port d'Étel (47°39'30.4" N, 3°12'22.8"O), Morbihan, France. Celui-ci est situé au cœur d'une zone Natura 2000 (FR5300028), laquelle occupe une superficie totale de 4 259 ha dont 49 % de superficie marine. Le port d'Étel présente un fond sablo-vaseux en très légère pente dans le sens est-ouest vers le lit de la rivière. Sous les pontons et au niveau des pieux, le fond est recouvert de déchets coquilliers et d'étoiles de mer. La bathymétrie ne dépasse pas les 5 m de profondeur, sous le zéro hydrographique.

2.2 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU PORT D'ÉTEL

Les paramètres mesurés à l'aide d'un multimètre HQ40d (Hach) étaient la température, l'oxymétrie et la conductivité. La turbidité a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre HI 2210 (Hanna Instruments). Ces mesures ont été effectuées mensuellement en 2018 et 2019, au moment de l'étal de pleine mer de mortes-eaux.

2.3 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Les éponges de l'espèce *Hymeniacidon perlevis* (Montagu, 1814) appartiennent à la famille des *Halichondriidae*. Il s'agit d'une espèce ubiquitaire, relativement abondante et qui présente l'intérêt de supporter de courtes périodes d'exondation, ce qui la rend facilement accessible pour sa collecte lors de la basse mer de pleines eaux. Cette espèce se reconnaît facilement à son aspect massif, environ 15-25 cm de diamètre pour une dizaine de cm d'épaisseur, et recouverte de nombreuses papilles. Sa couleur rouge-orangée lui vaut parfois le nom d'éponge sanguine. L'analyse microscopique de ses spicules révèle la présence de mégasclères en forme de styles.

Les échantillons utilisés dans cette étude ont été prélevés lors de basse mer de vives-eaux en Octobre 2018 et avril 2019, sur une concession ostréicole à Locoal (56) située plus en amont de la ria. Dans la mesure du possible, lors du prélèvement, au moins 50 % du spongiaire donneur ont été laissés sur place de façon à renouveler la biomasse. Les échantillons ont été transportés le jour même, dans une glacière, avec de l'eau prélevée sur le même site, jusqu'au port d'Étel en moins de 30 minutes. Les éponges fraîches ont été coupées en fragments d'environ 5x5 cm² et de 1 cm d'épaisseur avant d'être réimmergées.

2.4 MISE EN PLACE DU SUPPORT DE CULTURE

Plusieurs matériaux biosourcés et/ou biodégradables ont été testés comme support de culture d'éponges marines. Les prototypes ont été réalisés par impression 3D FFF (Fused Filament Fabrication) par la plate-forme CompositIC (<https://compositic.fr/>) de l'UBS. Le support en polyéthylène (PE) pétrosourcé et non biodégradable, utilisé comme témoin, provenait d'une poche à huîtres usagée fournie par un ostréiculteur. Les supports se présentaient sous la forme de grilles de 14x14 cm² avec une maille de 1 cm. Les transplants d'éponge ont été fixés aux supports grillagés à l'aide d'un fil de fer. Cinq transplants ont été utilisés par matériau. L'ensemble a été fixé sur une table ostréicole immergée au fond du port d'Étel comme illustré sur la figure 1.



Figure 1. Culture d'éponges marines, port d'Étel (56)

2.5 TAUX DE SURVIE ET SUIVI DE CROISSANCE

Les observations et mesures ont été réalisées en plongée subaquatique à l'étal des pleines mers de mortes-eaux à 5 m de profondeur par rapport au 0 hydrographique (- 9 m lors de l'étal de pleine mer de mortes-eaux). L'évaluation du taux de survie consistait à comptabiliser le nombre Nf de greffons toujours présents sur les supports grillagés, sur les 5 greffons initiaux Ni. Le taux de survie était calculé suivant la formule (1) :

$$\text{Taux de survie (\%)} = Nf \times 100 / Ni \quad (1)$$

Le suivi de croissance consistait en une mesure mensuelle *in situ* du volume, c'est-à-dire de la longueur, largeur et hauteur des transplants. Le taux de croissance a été mesuré selon la formule (2) :

$$\text{Croissance (\%)} = (V_{m+1} - V_m) \times 100 / V_m \quad (2)$$

où V_m est le volume mesuré au mois m et V_{m+1} est le volume du transplant mesuré le mois suivant.

3. RÉSULTATS

3.1 ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DE LA RIA D'ÉTEL

Les paramètres physico-chimiques de la ria d'Étel ont été mesurés mensuellement pendant 2 ans, en 2018 et 2019. En moyenne, sur l'année, la température de l'eau de la ria d'Étel est de 14,8°C avec des extrêmes à 23,4°C en juillet et 8,1°C au mois de février.

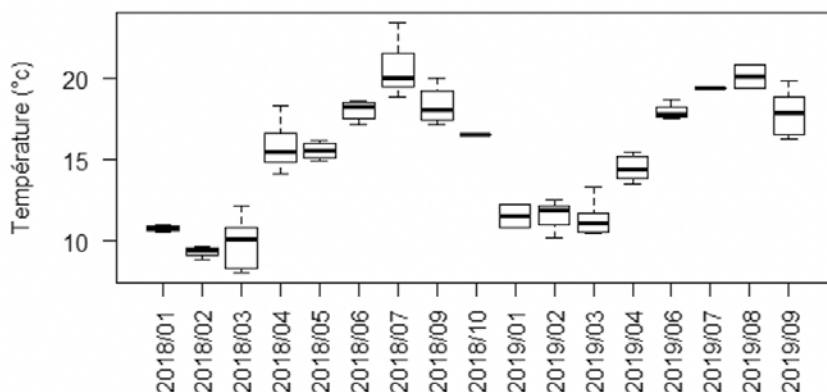


Figure 2. Variation mensuelle de la température de l'eau de la ria d'Étel entre janvier 2018 et septembre 2019

La turbidité permet d'évaluer la transparence de l'eau et varie en fonction des particules en suspension (sédiments et plancton). En ria d'Étel, la transparence est en moyenne limitée à 3 m selon la méthode du disque de Secchi. La visibilité peut être parfois réduite à 50-75 cm, après une période de pluie intense et/ou prolongée, et exceptionnellement dépasser les 8 m. Le pH est stable sur l'année et de l'ordre de 8,07.

La conductivité est liée à la salinité. Elle est sensible aux périodes de pluie, lesquelles sont plus abondantes au début du printemps. Sur l'année, la conductivité varie entre 42,9 et 50,3 mS/cm.

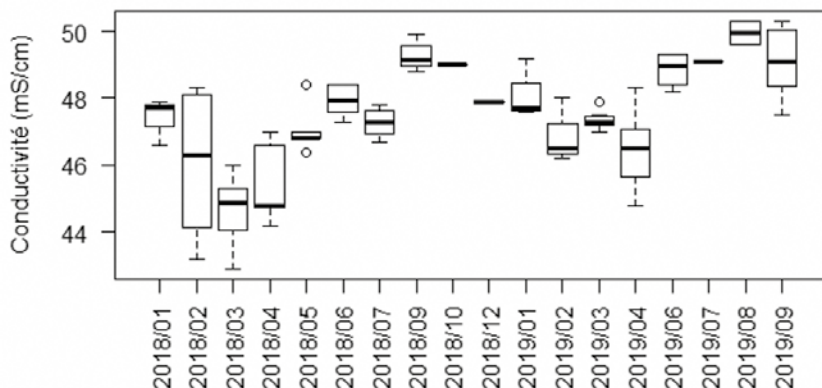


Figure 3. Variation mensuelle de la conductivité de l'eau de la ria d'Étel entre janvier 2018 et septembre 2019.

L'oxygène dissous est indispensable à la survie de certaines espèces. Il dépend de facteurs physico-chimiques et biologiques comme la photosynthèse ou la respiration des organismes. En ria d'Étel, la quantité d'O₂ dissous varie au cours de l'année entre un maxima au mois de mars de 13,13 mg/L et un minima au mois d'août de 8,46 mg/L. Cette baisse s'expliquerait par une consommation d'O₂ plus élevée l'été par les organismes marins.

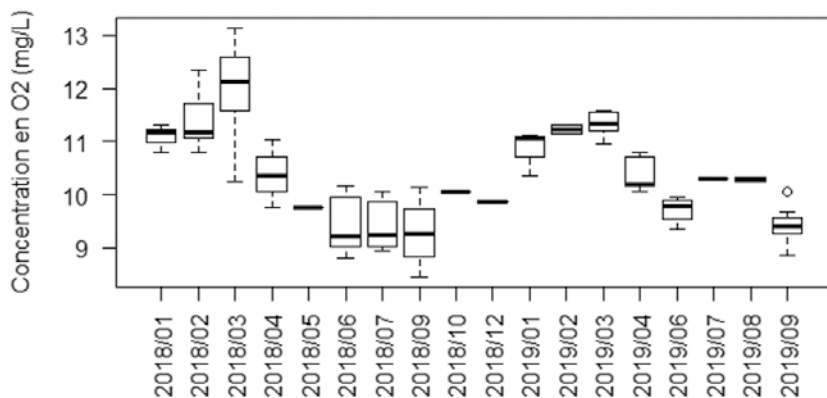


Figure 4. Variation mensuelle de la quantité d'oxygène dissous dans l'eau de la ria d'Étel entre janvier 2018 et septembre 2019

La saturation en O₂ exprimée en pourcentage apporte des informations sur l'équilibre entre la consommation et la production d'O₂. Elle est notamment sensible à l'état d'eutrophisation du milieu. En ria d'Étel, la saturation en O₂ est en moyenne de 101,6 %. Elle ne varie pas significativement pendant l'année.

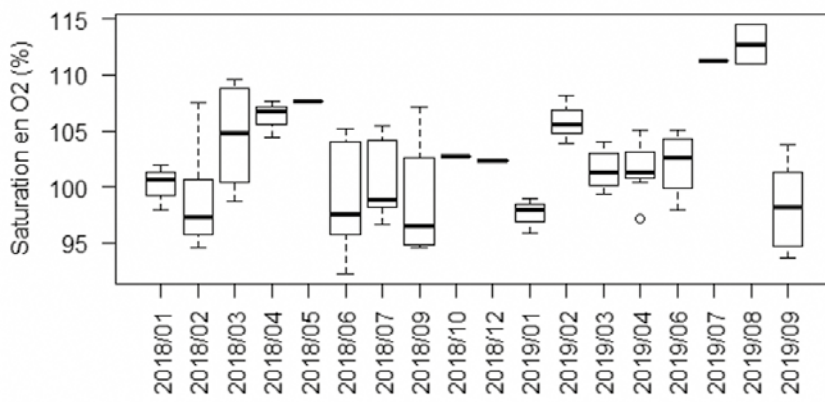


Figure 5. Variation mensuelle du pourcentage de saturation en O2 dans l'eau de la ria d'Étel entre janvier 2018 et septembre 2019

3.2 SURVIE ET CROISSANCE DES ÉPONGES

Le taux de survie correspond au pourcentage de greffons ayant survécu pendant toute la phase de l'expérimentation. Après démarrage de la culture en octobre, le taux de survie est de 100% ($n = 5$) pendant toute la durée du suivi, jusqu'en février, quel que soit le matériau utilisé. Lorsque la culture débute au printemps, les taux de survie sont plus faibles comme illustrés dans la figure 6, avec une mortalité de 40 % en l'espace de 3 mois. Le support en PE est le seul matériau pour lequel aucune mortalité n'a été observée.

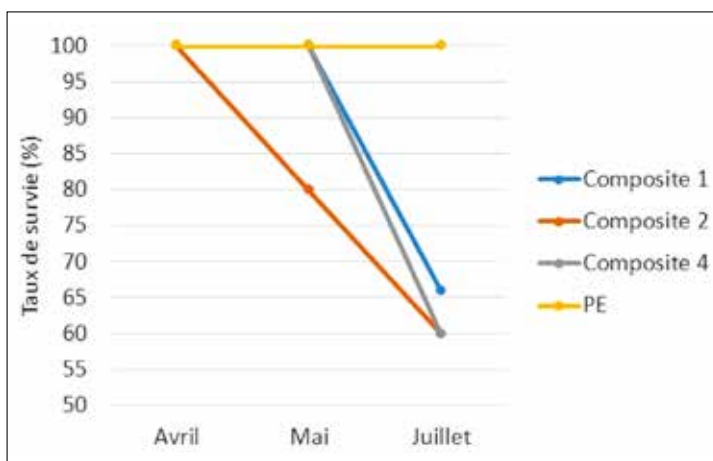


Figure 6. Taux de survie des greffons d'éponges transplantés au printemps suivant les différents matériaux utilisés comme support

Les résultats de la croissance des greffons d'éponges sont présentés dans les figures 7 et 8. Un démarrage de la culture en automne comme illustré sur la figure 7 semble plus propice à la croissance des spongiaires. En effet, les résultats les plus spectaculaires sont obtenus sur le composite N°1, permettant une croissance de 250% du volume de l'éponge en seulement 3 mois. Le composite N°3 est également intéressant avec une augmentation de 100% du volume des greffons sur la

même période. À l’opposé, le composite N°2 et le support en polyéthylène (PE) ne permettent pas une croissance mais simplement de maintenir le volume des éponges constant. Toutefois, après cette courte période de croissance, le volume des éponges finit par décroître, en un mois, quel que soit le matériau utilisé.

Lorsque la culture est initiée en avril, comme indiqué sur la figure 8, les taux de croissance sont très faibles sur les supports en PE et de l’ordre de seulement 20% en 1 mois. Les autres matériaux ne favorisent pas la croissance des greffons qui finissent par nécroser au bout d’un trimestre.

En conclusion, ces résultats suggèrent que la croissance des spongiaires différerait suivant la date de démarrage de la culture et suivant le matériau utilisé comme support de culture.

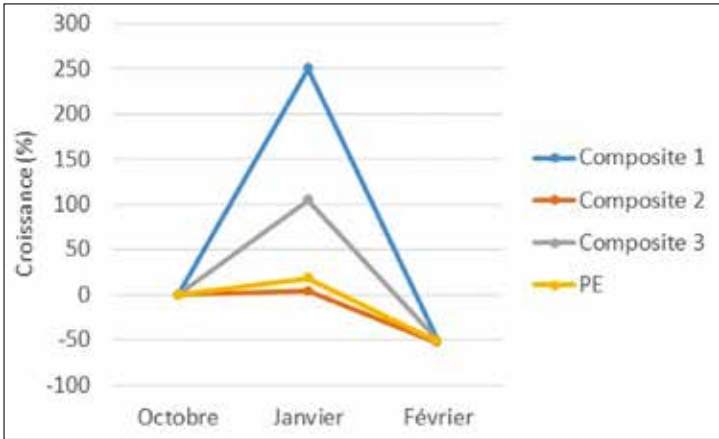


Figure 7. Croissance automnale des greffons d'éponges suivant différents biomatériaux

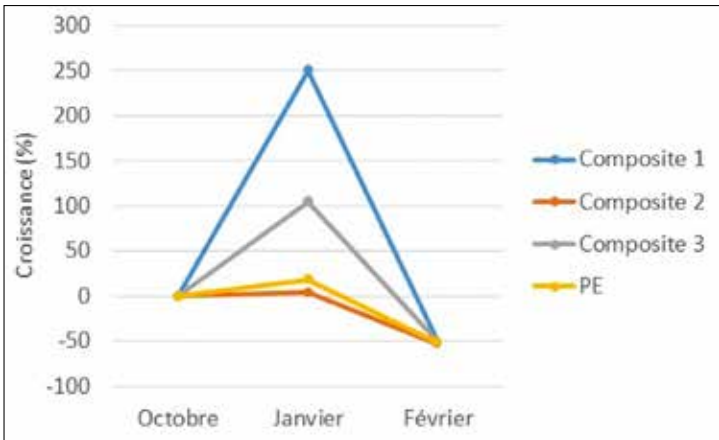


Figure 8. Croissance printanière des greffons d'éponges suivant différents biomatériaux

4. DISCUSSION

La culture d'éponges marines a débuté au 19^{ème} siècle afin de répondre à la pénurie des éponges de toilette méditerranéennes *Spongia officinalis* et *Hippospongia communis* jusqu'alors abondamment prélevées dans leur milieu naturel. Avec l'arrivée des éponges synthétiques dites végétales, la spongiculture s'est effondrée (FAO, 1990). Elle connaît aujourd'hui un regain d'intérêt avec la découverte des propriétés médicinales des spongiaires, afin de fournir en plus grande quantité des métabolites naturels d'intérêts pharmacologiques ou biotechnologiques. Plusieurs espèces sont ainsi cultivées en Nouvelle-Zélande, à Eilat en Israël, au large de Bodrum en Turquie, le plus souvent sur des supports artificiels en PVC ou dans des filets en nylon. L'intérêt de la culture d'éponges dans le cadre de la bioremédiation est apparu beaucoup plus récemment et est sans doute lié à la prise de conscience de la dégradation de la qualité du milieu marin.

Grâce à leur importante capacité de filtration, les éponges sont proposées en pisciculture afin de réduire l'impact environnemental de l'activité (Gökalp et al., 2019). L'espèce *H. perlevis* est notamment cultivée au large de Bari, en Italie, dans des fermes piscicoles dans le cadre d'une aquaculture multitrophique (RemediaLife). Notre travail s'inscrit dans cette continuité puisqu'à notre connaissance, c'est la première fois que la culture d'éponges marines à des fins de bioremédiation est menée en milieu portuaire, sur la façade atlantique française. Des travaux similaires avaient été tentés précédemment en milieu ostréicole mais sans succès (Gentric, 2016). Par ailleurs, c'est la première fois que des matériaux biodégradables obtenus par impression 3D sont utilisés à la place de matériaux plastiques type PE.

Les taux de croissance obtenus dans notre étude sont très insuffisants pour envisager à l'heure actuelle une application en bioremédiation à plus large échelle. Les taux de décroissance survus lors de nos expérimentations en ria d'Étel s'expliqueraient par différents facteurs physiologiques et environnementaux. En période hivernale, la chute des températures de l'eau de la ria, qui n'est plus que de 10-12°C environ, entre janvier et février, affecte probablement le métabolisme de l'espèce *H. perlevis* qui rentrerait dans une phase de régression tissulaire (Bell, 2008) mais sans qu'il y ait de mortalité. Ce même phénomène s'observe sur les sites naturels, là où les échantillons ont été prélevés. Au printemps, la phase de revivification qui était attendue n'a pas été observée sur nos supports et la mortalité a été plus importante contrairement aux spécimens sauvages présents sur le site de collecte. La présence de prédateurs de type nudibranche sur notre structure artificielle a probablement contribué à la réduction du taux de croissance de nos greffons. D'autres paramètres tels que la luminosité liée à la turbidité de l'eau, l'apport en nutriments, les teneurs en silicium pour la constitution du squelette, ont certainement joué un rôle important dans la croissance du spongiaire. Enfin, les matériaux eux-mêmes peuvent être à l'origine de taux de croissance variables. Certains composites érodables seraient défavorables au processus de colonisation par les spongiaires (Gentric et Sauleau, 2019). Dans le cadre de l'étude menée dans le port d'Étel, les matériaux testés ont révélé des résultats contrastés suivant la période d'immersion. La dégradation rapide des matériaux n'a pas permis de poursuivre les suivis de croissance des spongiaires au-delà de 4 mois, ce qui aurait permis de conclure plus précisément sur le choix du ou des matériaux à adopter par la suite. Cette dégradation est certainement liée à la nature du polymère, à la température de l'eau, à la colonisation par d'autres invertébrés marins ou à l'action enzymatique d'origine microbienne. Des connaissances supplémentaires sur les propriétés des biomatériaux en milieu marin ainsi que sur le cycle de vie de l'espèce *H. perlevis* seraient nécessaires pour améliorer ses taux de survie et de croissance. Toutefois, ces résultats préliminaires suggèrent des applications futures en culture marine plus prometteuses d'un point de vue environnemental que les matériaux à base de PE.

5. CONCLUSION

À notre connaissance, c'est la première fois que des essais de culture d'éponges marines ont été réalisés sur des matériaux obtenus par impression 3D. Ces travaux, réalisés dans le port d'Étel, ont permis de tester plusieurs matériaux biodégradables qui, pour certains, favoriseraient la croissance d'une éponge marine bioremédiatrice. Les résultats sont encore insuffisants pour envisager une application à plus grande échelle. Toutefois, lorsque la culture de l'espèce *Hymeniacidon perlevis* sera totalement maîtrisée, il sera intéressant de mesurer ses capacités de bioaccumulation vis-à-vis de contaminants chimiques en milieu portuaire, et de relier celles-ci avec un éventuel effet positif sur la richesse spécifique et l'abondance, de la faune et de la flore marines endémiques.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) et la société Seabio pour le financement du projet de recherche « Anticelto » visant à réduire la prolifération de l'EEE *Celtodoryx ciocalyptoides* en ria d'Étel. Je remercie également la capitainerie du port d'Étel pour l'accès à ses infrastructures, et enfin, je remercie Y-M. Corre de la plate-forme ComposiTIC pour la réalisation des impressions 3D des divers supports de culture.

RÉFÉRENCES

- AAE (Agence Européenne pour l'Environnement), Côtes et Mers, (2016), https://www.eea.europa.eu/fr/themes/coast_sea/intro (consulté le 08/12/2019).
- Aresta A., Marzano C.N., Lopane C., Corriero G., Longo C., Zamboni C. et Stabili L., Analytical investigations on the lindane bioremediation capability of the demosponge *Hymeniacidon perlevis*, *Mar. Pollut. Bull.*, **15**, 90, (2015), pp. 143-9.
- Bell J.J., Sponges as agents of biological disturbance, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **368**, (2008), pp. 127-135.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Sponges: world production and markets, (1990), <http://www.fao.org/3/AC286E/AC286E00.htm#TOC> (consulté le 08/12/2019).
- Gentric C., La bioremédiation in situ des parcs conchylicoles par les éponges marines est-elle envisageable ?, Thèse de doctorat en Biotechnologie, Université de Bretagne Sud, (2016), (NNT : 2016LORIS399)
- Gentric C., Rehel K., Dufour A., et Sauleau P., Bioaccumulation of metallic trace elements and organic pollutants in marine sponges from the South Brittany Coast, France, *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, **51**, (2016), pp. 213-219.
- Gentric C. & Sauleau P., An eco-friendly strategy using flax/poly lactide composite to tackle the marine invasive sponge *Celtodoryx ciocalyptoides* (Burton, 1935), *Oceanologia*, **61**, (2019), pp. 218-226.
- Gökalp M., Wijgerde T., Sarà A., de Goeij J.M., et Osinga R., Development of an Integrated Mariculture for the Collagen-Rich Sponge *Chondrosia reniformis*, *Mar. Drugs*, **17**, 1, (2019), pii: E29.
- IPBES (Plateforme Intergouvernementale sur la Biodiversité et les Services Écosystémiques), Communiqué de presse : Le dangereux déclin de la nature : Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère (2019) <https://ipbes.net/> (consulté le 08/12/2019).
- Loredana S., Graziano P., Antonio M., Carlotta N.M., Caterina L., Maria A.A., Carlo Z., Giuseppe C., et Pietro A., Lindane bioremediation capability of bacteria associated with the Demosponge *Hymeniacidon perlevis*, *Mar. Drugs*, **6**, 4, (2017), pp. E108.
- Remedialife. Remediation of Marine Environment and Development of Innovative Aquaculture <https://remedialife.eu/> (consulté le 08/12/2019).
- Zhang X., Zhang W., Xue L., Zhang B., Jin M., et Fu W., Bioremediation of bacteria pollution using the marine sponge *Hymeniacidon perlevis* in the intensive mariculture water system of turbot *Scophthalmus maximus*, *Biotech. Bioeng.*, **105**, 1, (2010), pp.59-68.

BIOCOMPOSITES HYGROMORPHES : NOUVELLE FONCTIONNALITÉ POUR LES FIBRES VÉGÉTALES

A. Le Duigou, M. Castro

Université Bretagne Sud,
Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS 6027),
rue Saint Maudé BP 92116, 56321 Lorient, France
antoine.le-duigou@univ-ubs.fr
mickael.castro@univ-ubs.fr

Mots-clés : biomimétisme ; fibre végétales ; composites ; morphing ; applications marines

RÉSUMÉ

Les composites à fibres naturelles sont de plus en plus utilisés dans l'industrie des composites en raison de leur rapport rigidité / légèreté ainsi que de leur faible empreinte environnementale. Cependant, leur utilisation pourrait être limitée par leur sensibilité à l'humidité. Au lieu d'appliquer des stratégies d'ingénierie conventionnelles (traitements chimiques / physiques), à l'Université de Bretagne Sud (UBS) - IRDL, de nouveaux concepts de biocomposites adaptatifs bioinspirés (pomme de pin) sont conçus.

ABSTRACT

Natural fibre composites are increasingly used in the composite industry due their stiffness to lightweight ratio as well as their low environmental footprint. However, their use could be limited by their moisture sensitivity. Instead of applying conventional engineering strategies (chemical/physical treatments), in Université of Bretagne Sud (UBS)- IRDL, novel paradigmatic concepts of bioinspired adaptive biocomposite based on flax fibre are designed.

1. L'HUMIDITÉ EST UN VERROU POUR LES BIOCOMPOSITES

Les fibres végétales telles que le lin sont généralement utilisées dans les applications textiles et comme agents de renforcement dans les matériaux composites. Cependant, comme le soulignent les articles de revue [1], les fibres végétales souffrent généralement d'une forte absorption d'eau qui peut s'expliquer par leur composition et leur structure biochimiques. Lorsque l'humidité relative est proche de 100%, l'absorption d'eau dans les fibres de lin peut atteindre environ 20% en masse [2]. En conséquence, leurs valeurs de gonflement libre axial et transversal atteignent respectivement 0,1% [3] et 20-25% [4]. Lorsque les fibres végétales sont intégrées dans une matrice polymère, leur gonflement doit être réduit par rapport à la capacité de gonflement libre [5] mais des dommages précoces avec fissuration et décollement à l'interface fibre / matrice se produisent [6]. thermal, fire, and ultraviolet degradation through an extensive literature review. The effects of chemical additives such as fibre treatments, fire retardants and Ultraviolet (UV). Cela entraîne une perte de résistance au cisaillement interfacial [7] et une dégradation des propriétés composites telles que la rigidité et la résistance [8].

2. L'HUMIDITÉ EST UNE OPPORTUNITÉ GRÂCE AU BIOMIMÉTISME

La nature est une source d'inspiration croissante pour l'innovation. Une étude de la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte a récemment conclu qu'un potentiel élevé est attendu notamment pour les systèmes d'architecture adaptative [9].

Les plantes ont développé des stratégies de mouvement originales pour disperser les graines sans aucune source d'énergie extérieure, et influencées uniquement par les gradients d'humidité [10][11]. Par exemple, le mouvement de l'écaille de la pomme de pin (figure 1a) est obtenu en raison de la relation hiérarchique microstructure / fonction avec notamment une structure bilame (figure 1b).

Chaque tissu (actif et passif) est composé de fibres anisotropes avec différentes propriétés hygro-mécaniques (expansion hygroscopique) qui produisent la courbure finale de l'écaille de la pomme de pin. Leur réactivité est généralement limitée par le transport de l'eau à l'intérieur de la structure poreuse [11][12].

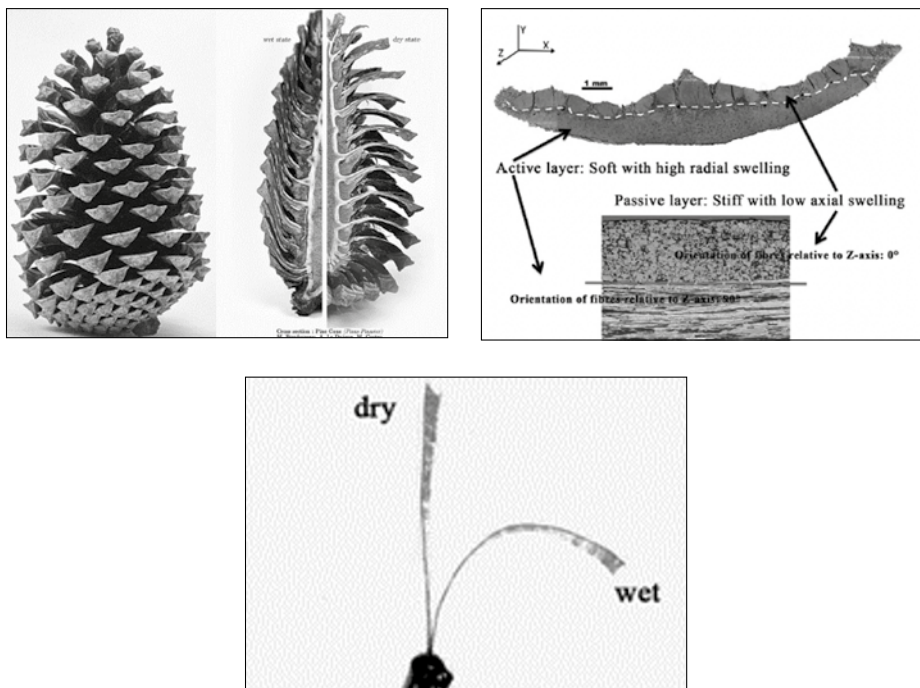


Figure 1 Ouverture/fermeture d'une pomme de pin lors d'une variation d'humidité (a), détail de la microstructure d'une écaille et d'un biocomposite hygromorphe (HBC) [13] (b), morphing d'un HBC (c) [14]

Ces plantes sont des actionneurs hygromorphes autonomes. Sur la base de ces observations, le principe de microstructure / fonction est transféré aux biocomposites pour créer des biocomposites hygromorphes avec une fonctionnalité similaire. Comme les fibres naturelles gonflent de manière anisotrope lorsqu'elles sont exposées à la variation d'humidité, nous utilisons une microstructure de type bilame, c'est-à-dire un stratifié asymétrique $[0,90]^\circ$ de fibres naturelles imprégnées par une matrice polymérique. La Figure 1c illustre le résultat obtenu.

3. COMMENT DÉFINIR LES BIOCOMPOSITES HYGROMORPHES ?

Les HBC représentent une approche disruptive de l'utilisation des fibres végétales par leur potentiel d'actionnement naturel. Ce sont des actionneurs autonomes dont la réponse réversible est déclenchée par un gradient humidité / température. Ils peuvent produire un déplacement ou une force importante.

La réponse est programmable selon la théorie de Timoschenko [15]. En effet, leur actionnement peut être programmé à travers le coefficient de gonflement, la teneur en humidité, la rigidité ou le rapport d'épaisseur de chaque couche [15] [16]. Leur réponse dépend non seulement de la teneur volumique en fibres naturelles mais également de la résistance au cisaillement interfacial [17]. De plus, leur potentiel d'actionnement semble être directement contrôlé par la microstructure des fibres (MFA de cellulose et taille du lumen) et la composition biochimique (pectines, hémicelluloses et teneur en lignine).

Ils sont actuellement fabriqués par un procédé de thermocompression qui donne une géométrie plane. L'utilisation d'une matrice polymère thermoplastique donne la capacité du HBC à être thermoformable de sorte que la forme et l'actionnement complexes puissent être obtenus. En fin de vie, ils sont recyclables et potentiellement compostables. La fabrication additive, l'impression 3D / 4D de composite de fibres naturelles pourrait également être envisagée [18].

Les HBC peuvent donc être utilisés comme système de déploiement ou comme élément de base pour le déploiement, comme une charnière active (Figure 2a). Dans ce cas, un biocomposite hygroscopiquement actif peut jouer le rôle d'une charnière active qui relie les facettes des matériaux passifs. La figure 2a présente l'évolution d'un prototype d'Origami de type charnière dans lequel un HBC est utilisé comme charnière active, et le polymère PLA est utilisé comme facettes passives avant et après l'immersion dans l'eau.

Les origami à pliures courbes peuvent produire une forme 3D [19]. En effet, les deux éléments des feuilles sont contraints l'un par l'autre en raison de la ligne courbe. Ainsi, une petite flexion uniaxiale forcera le premier élément à se plier et provoquera une courbure inverse du lobe adjacent. L'exploitation du comportement anisotrope des HBC et leur placement engendrent une flexion continue lors de la sorption (Figure 2b, HR = 50%). Les forces et le moment de flexion sont donc transmis à travers le pli courbe vers la face adjacente et déclenchent le déploiement.

(a)



(b)



(c)

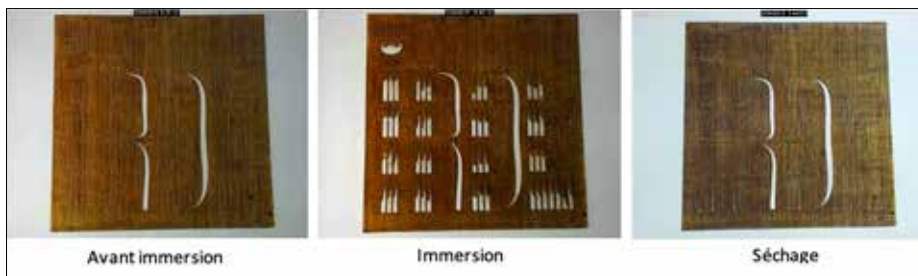


Figure 2 Exemple de biocomposite hygromorphe : Origami à charnière [20]wheat awn, *Selaginella lepidophyll* (a) structure déployable basée sur un pliage courbe [20]wheat awn, *Selaginella lepidophyll* (b), exemple de Kirigami [20]wheat awn, *Selaginella lepidophyll*

La technique du Kirigami est de plus en plus appliquée aux matériaux intelligents (électro-actifs, SMA, SMP) pour développer des structures auto-déployables [21][22][23]. De manière similaire, nous avons produit des HBC par découpe au laser avec différents motifs de coupe. La découpe au laser permet la création de motifs avec de minuscules coupes (2 mm de largeur), de sorte que des membranes actionnées par l'humidité peuvent être fabriquées (Figure 2c).

Outre les applications déjà connues dans les textiles ou comme agent de renforcement dans les composites polymères, le mécanisme proposé du biocomposite hygromorphe suggère une autre application potentielle des fibres de lin dans le domaine des membranes intelligentes, d'enveloppe active pour le bâtiment, des systèmes d'ombrage autonomes, du tracker solaire ... qui pourrait par conséquent devenir une source supplémentaire de revenus pour les producteurs de fibres végétales.

RÉFÉRENCES

- [1] Bledzki AK, Gassan J. Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres. *Prog Polym Sci* 1999;24:221–74.
- [2] Hill CAS, Norton A, Newman G. The water vapor sorption behavior of natural fibers. *J Appl Polym Sci* 2009;112:1524–37. doi:10.1002/app.29725.
- [3] Preston JM, Ackson JHE., Nimkar MV. A Note on the Anisotropy of Cellulose Acetate Fibres. *J Soc Dye Colour* 1949;65:483–5.
- [4] le Duigou A, Merotte J, Bourmaud A, Davies P, Belhouli K, Baley C. Hygroscopic expansion: A key point to describe natural fibre/polymer matrix interface bond strength. *Compos Sci Technol* 2017;151. doi:10.1016/j.compscitech.2017.08.028.
- [5] Joffre T, Wernersson ELG, Miettinen A, Luengo Hendriks CL, Gamstedt EK. Swelling of cellulose fibres in composite materials: Constraint effects of the surrounding matrix. *Compos Sci Technol* 2013;74:52–9. doi:10.1016/j.compscitech.2012.10.006.
- [6] Azwa ZN, Yousif BF, Manalo AC, Karunasena W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Mater Des* 2013;47:424–42. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.11.025.
- [7] Le Duigou A, Davies P, Baley C. Exploring durability of interfaces in flax fibre/epoxy micro-composites. *Compos Part A. Appl Sci Manuf* 2013;48:121–8. doi:10.1016/j.compositesa.2013.01.010.
- [8] Assarar M, Scida S, Mahi E, Poilâne C, Ayad R. Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax-fibres and glass-fibres. *Mater Des* 2011;32.
- [9] Durand H, Larrieu C, Hubert C. Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers. [Http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED72.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED72.pdf) 2012.

- [10] Dawson C, Vincent J, Rocca A. How pine cone open. *Nature* 1997;390:668.
- [11] Dumais J, Forterre Y. Vegetable Dynamics : The role of water in plant movement. *AnnuRevFluidMech* 2012;44:453–78.
- [12] Skotheim J, Mahadevan L. Physical limits and design principles for plant and fungal movements. *Science* (New York) 2005;308:1308–10.
- [13] Le Duigou A, Castro M. Evaluation of force generation mechanisms in natural, passive hydraulic actuators. *Sci Rep* 2016;18105.
- [14] Le Duigou A, Castro M. Moisture-induced self-shaping flax-reinforced polypropylene biocomposite actuator. *Ind Crops Prod* 2015;71. doi:10.1016/j.indcrop.2015.03.077.
- [15] Timoshenko S. Analysis of bi-metal thermostats. *J Opt Soc Am* 1925;11:233–55.
- [16] Reyssat E, Mahadevan L. Hygromorphs: from pine cones to biomimetic bilayers. *J R Soc Interface* 2009;6:951–7. doi:10.1098/rsif.2009.0184.
- [17] Le Duigou A, Castro M. Hygromorph BioComposites: Effect of fibre content and interfacial strength on the actuation performances. *Ind Crops Prod* 2017;99. doi:10.1016/j.indcrop.2017.02.004.
- [18] Le Duigou A, Castro M, Bevan R, Martin N. 3D printing of wood fibre biocomposites: From mechanical to actuation functionality. *Mater Des* 2016;97:347–408. doi:10.1016/j.matdes.2016.02.018.
- [19] Demaine. ED, ML. Demaine, D Koschitz TT. Curved Crease Folding a Review on Art, *Design and Mathematics*. Proc IABSE-IASS Symp 2011.
- [20] Le Duigou A, Requile S, Beaugrand J, Scarpa F, Castro M. Natural fibres actuators for smart bio-inspired hygromorph biocomposites. *Smart Mater Struct* 2017;26. doi:10.1088/1361-665X/aa9410.
- [21] Neville. RM, Chen. J, Guo. X, Zhang. F, Wang. W, Dobah.Y, Scarpa.F, Leng. J and PH. A kirigami shape memory polymer honeycomb concept for deployment. *Smart Mater Struct* 2017;5:05LT03.
- [22] Rossiter. J SS. Kirigami design and fabrication for biomimetic robotics. Bioinspiration, Biomimetics, Bioreplication, *Proc SPIE* 2014;9055.
- [23] Sareh. S and J Rossiter. Kirigami artificial muscles with complex biologically inspired morphologies. *Smart Mater Struct* 2013;22:014004.

OBSERVATION DE LA MER PAR APPRENTISSAGE PROFOND : QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATIONS POUR PROTÉGER NOTRE BIEN COMMUN.

S. Lefèvre¹, L. Courtraï¹, M.T. Pham¹, C. Friguët¹, J.C. Burnel¹

¹ Université Bretagne Sud,
Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires (UMR CNRS 6074)
Campus de Tohannic, 56000 Vannes, France
sebastien.lefevre@irisa.fr

Mots-clés : vision par ordinateur ; réseaux de neurones profonds ; détection d'objet ; reconnaissance d'espèces ; suivi de la mégafaune marine

RÉSUMÉ

L'intelligence artificielle a connu un vif succès ces dernières années avec l'avènement des réseaux de neurones profonds. Ces derniers, profitant à la fois de la puissance de calcul offertes par les processeurs récents tels que les GPU, et des masses de données accumulées à l'ère du big data, ont ainsi révolutionné de nombreux domaines et notamment celui de la vision par ordinateur. Dans ce chapitre, nous présentons quelques applications de l'apprentissage profond au domaine de l'observation de l'environnement dans un contexte maritime. Nous nous intéressons en particulier à l'analyse de la mégafaune marine et décrivons les travaux réalisés dans le cadre de différents projets collaboratifs visant tous à une meilleure préservation de notre bien commun.

ABSTRACT

In the last years, artificial intelligence has become very popular thanks to the success of deep neural networks. Benefiting from both the computational power brought by recent processors such as GPUs and the massive data gathered at the Big Data era, these networks have thus led to a significant breakthrough in numerous fields including computer vision. In this chapter, we present some applications of deep learning to the field of environment observation in a marine context. We focus in particular on the marine megafauna analysis and describe research works conducted through different collaborative projects, all aiming to a better preservation of one of our common good.

1. INTRODUCTION

La mer est un écosystème particulièrement riche qui recense une grande partie de la biodiversité de notre planète. Il est primordial d'estimer précisément celle-ci, en particulier pour mesurer les effets des activités de l'homme sur son environnement. Comme nous le verrons dans ce chapitre, les progrès technologiques facilitent grandement l'observation de la mégafaune marine. Les images numériques, qu'elles soient prises de l'espace, du ciel, ou encore sous la surface de

la mer, s'avèrent une source d'information essentielle. Cependant, elles restent le plus souvent analysées manuellement, par des experts devant leur ordinateur, alors que les progrès en informatique, et notamment en vision par ordinateur, permettent d'envisager l'automatisation de ces analyses, avec pour conséquence la possibilité d'observer plus souvent et plus largement les espèces marines.

Ainsi, nous présentons dans ce chapitre les travaux en intelligence artificielle conduits par l'équipe OBELIX⁴ de l'institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (IRISA) dans plusieurs projets collaboratifs et multidisciplinaires, dont l'objectif commun est d'offrir des solutions automatiques d'observation de la mégafaune marine, et ce, à partir de différentes sources de données en imagerie satellite, aérienne, ou sous-marine. Les solutions sont toutes basées sur le paradigme de l'apprentissage profond, et plus précisément des réseaux de neurones profonds, qui ont profondément impacté le domaine de la vision par ordinateur en plaçant les données au cœur du processus d'analyse.

L'organisation de notre chapitre est la suivante : nous proposons tout d'abord une rapide introduction aux réseaux de neurones profonds. Nous nous intéressons ensuite au cas de l'imagerie aérienne et satellite, que nous traitons au travers de deux projets visant à détecter et recenser la mégafaune marine. Nous nous focalisons ensuite sur l'imagerie sous-marine dans le but de détecter, suivre, compter et caractériser les poissons présents dans un chalut de pêche. Nous terminons ce chapitre en identifiant les questions qui restent ouvertes dans le domaine et en proposant quelques pistes de recherche.

2. LES RÉSEAUX DE NEURONES PROFONDS

Depuis des décennies, l'homme cherche à doter les machines d'une capacité à réfléchir, d'une intelligence. Cette question scientifique est complexe et de nombreuses définitions de l'intelligence artificielle ont été proposées dans la littérature. Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur le domaine de la vision par ordinateur et la problématique de perception visuelle, où l'objectif d'une machine ou d'un algorithme est d'analyser et comprendre le contenu d'une image à l'instar de ce que pourrait faire ou voir un utilisateur, qu'il soit novice ou expert. Pour ce faire, les réseaux de neurones artificiels ont connu un nouvel essor lors de la dernière décennie avec l'avènement des réseaux de neurones profonds, dont les performances ont contribué à la place croissante de l'intelligence artificielle dans notre société contemporaine. Notons que le domaine de l'apprentissage profond est en pleine expansion, passant en dix ans d'un millier à cent milliers de publications scientifiques annuelles.

Bien que leur appellation traduise un souhait d'établir des modèles mathématiques et informatiques visant à imiter le fonctionnement du cerveau humain, les réseaux de neurones profonds développés ces dernières années restent encore loin d'appréhender la complexité du cerveau telle qu'elle peut être établie au regard des connaissances scientifiques actuelles en neurosciences. Les réseaux de neurones (artificiels), dont l'étude a débuté au milieu du siècle dernier avec les travaux de McCulloch et Pitts (1943) et Hebb (1949), reposent sur la définition de neurones artificiels capables de traiter une information, et de connexions entre eux pour échanger ces informations, à l'instar des neurones biologiques et des synapses. Leur mise en œuvre s'effectue au travers de fonctions mathématiques, dont les paramètres vont être déterminés lors d'une phase d'apprentissage (correspondant ainsi au phénomène de plasticité cérébrale). Vient ensuite une phase d'inférence (ou test) où le réseau, préalablement entraîné à résoudre une tâche donnée en optimisant ses paramètres, analysera le signal fourni en lui appliquant successivement les différentes fonctions mathématiques pour en déduire une information finale correspondant à la tâche visée. Profitant des technologies informatiques modernes (et notamment l'accroissement conjoint des ressources de calcul et des masses de données disponibles), les réseaux de neurones profonds

4 <http://www.irisa.fr/obelix>

ont été mis en avant notamment par les travaux de Bengio, Hinton et Le Cun (2015), lauréats du prix Turing en 2019 (l'équivalent du prix Nobel pour l'informatique). Ils consistent en un assemblage de neurones artificiels en de nombreuses couches, qui vont permettre de caractériser le signal fourni en entrée du réseau avec un niveau croissant de sémantique, jusqu'à fournir en sortie du réseau des informations complexes permettant la prise de décision. Les domaines d'application sont variés, citons par exemple la reconnaissance de la langue parlée ou écrite, les véhicules autonomes, le diagnostic médical, ou encore la prédiction des évolutions boursières ou climatiques. En vision par ordinateur, l'information fournie au réseau et traitée par les neurones au sein des différentes couches prend généralement la forme d'une image faite de pixels. L'approche la plus répandue consiste à traiter cette image au travers de filtres (dits de convolution) capables d'extraire des caractéristiques telles que les contours, la texture, la couleur principale, etc. Les neurones sont ainsi convolutifs, donnant lieu aux réseaux de neurones du même nom (Krizhevsky et al., 2017) qui restent aujourd'hui la base de la plupart des propositions scientifiques et technologiques. La convolution étant une opération linéaire locale, ne traitant qu'un voisinage de pixel, elle est souvent suivie d'une étape dite d'activation non-linéaire et complétée par une étape de sous-échantillonnage de l'image (pooling en anglais) qui élargit le contexte visuel (ou champ récepteur) considéré par le réseau. L'alternance de couches de convolutions (et d'activations non-linéaires) et de sous-échantillonnage permet de transformer l'image d'origine en un vecteur de caractéristiques. Ce dernier est finalement exploité comme le ferait un réseau de neurones artificiels classique pour prendre la décision finale (par exemple, reconnaître le contenu d'une image et décider si elle présente des éléments relatifs à notre bien commun). La figure 1 illustre le fonctionnement d'un tel réseau.

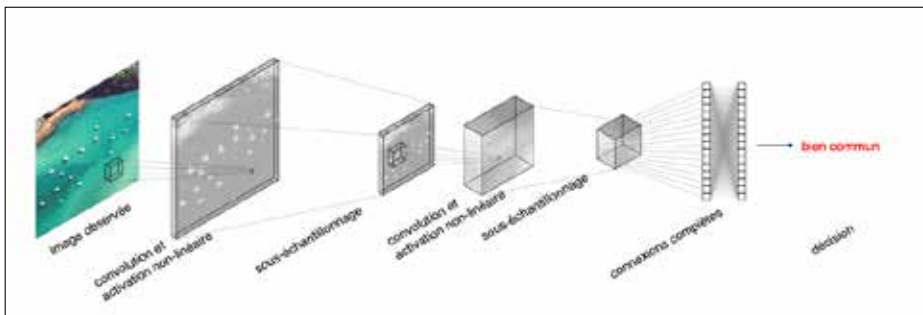


Figure 1. Illustration d'un réseau de neurones convolutifs.

Les réseaux de neurones convolutifs peuvent accomplir différentes tâches, chacune d'elles nécessitant l'élaboration d'un modèle particulier inspiré de celui présenté en figure 1 et qui a pour but la classification d'une image. Parmi les tâches les plus usuelles, on distingue notamment la segmentation sémantique, qui associe une classe à chaque pixel de l'image, la détection d'objet, qui vise à localiser chaque objet le plus souvent par une boîte englobante et à lui associer une classe, la segmentation d'instance, qui couple les deux tâches précédentes en fournissant une délimitation précise de chaque objet reconnu dans l'image, le suivi des objets dans des vidéos, la simulation d'images réalistes, etc.

Quelle que soit la tâche à accomplir, les réseaux de neurones profonds comportent des millions, voire des milliards de paramètres, ce qui leur permet de résoudre des problèmes complexes dans le domaine de la vision par ordinateur qui nous intéresse ici. L'optimisation de ces nombreux paramètres n'est cependant possible que si la phase d'apprentissage s'appuie sur un nombre suffisamment grand d'exemples (des milliers, voire des millions d'exemples). La qualité de ces exemples, aussi appelés annotations, est particulièrement critique. Dans certains contextes, l'implication d'experts thématiques (écologues, biologistes, géographes, etc.) est donc une condition

sine qua non à la réussite du processus d'apprentissage du réseau. On comprend ici le caractère multidisciplinaire que revêtent les projets visant à appliquer l'intelligence artificielle dans les domaines de la mer et du littoral.

La complexité inhérente aux réseaux de neurones profonds, que ce soit lors de la phase d'apprentissage avec la recherche des paramètres optimaux ou lors de la phase d'inférence consistant à faire passer une image dans le réseau pour la traduire en décision, nécessite de faire appel à des matériels informatiques dédiés tels que les processeurs graphiques (ou GPU).

3. OBSERVER DEPUIS LE CIEL ET L'ESPACE

La télédétection aérienne et spatiale permet d'observer notre planète respectivement depuis le ciel et l'espace. Les survols aériens sont notamment utilisés pour acquérir des images très précises (de l'ordre d'une dizaine de centimètres par pixel, parfois moins) couvrant une zone d'étude pouvant s'étendre sur des dizaines de kilomètres. Ils servent notamment à l'IGN pour mettre à jour les bases d'informations géographiques disponibles à l'échelle nationale, ou au parc naturel régional du Golfe du Morbihan pour suivre l'activité de pêche à pied de loisirs à l'aide d'outils intelligents (Laroze et al., 2018). La démocratisation récente des drones, dont certains sont équipés de capteurs photographiques, a simplifié l'accès à la télédétection aérienne et en a multiplié les usages. À une autre échelle, les satellites d'observation de la Terre fournissent aujourd'hui des informations riches et variées quant à l'état de notre planète. Bien que certains satellites à très haute résolution spatiale (jusqu'à 30 centimètres par pixel) fournissent des observations qui se rapprochent de celles obtenues lors des campagnes aériennes, l'intérêt principal de ces capteurs en orbite réside dans leur grande couverture spatiale, permettant la cartographie à l'échelle continentale (Merciol et al., 2019), voire mondiale, et leur capacité de revisite temporelle. Ainsi, les missions Sentinel, lancées depuis 2014 par l'agence spatiale européenne (ESA) dans le cadre du programme européen Copernicus d'observation de la Terre, fournissent gratuitement aux scientifiques, aux entreprises et aux citoyens des images radar et multispectrales pour le suivi des terres, des océans et de l'atmosphère (chaque point du globe est ainsi observé tous les 5 jours).

Les possibilités offertes par la télédétection aérienne et spatiale sont nombreuses. Pour autant, elles requièrent également de concevoir des processus d'analyse automatique performants et sachant exploiter au mieux les masses de données disponibles. Suite à leur succès en vision par ordinateur, l'application des réseaux de neurones profonds à ces données d'observation de la Terre a donc motivé de nombreuses études ces dernières années, focalisées notamment sur les tâches de segmentation sémantique et de détection d'objet. Citons par exemple quelques travaux dans lesquels nous avons été impliqués : cartographie automatisée à partir d'imagerie couleur, infra-rouge et de données d'élévation (Audebert et al., 2018) ou d'imagerie hyperspectrale (Audebert et al., 2019) ; détection, reconnaissance et caractérisation de navires par imagerie radar (Dechesne et al., 2019) ; détection de changements en couplant des observations aériennes et prises au sol (Lefèvre et al., 2017) ; détection et comptage de véhicules pour en dériver des indicateurs macro-économiques (Froidevaux et al., 2020) ; ou encore suivi au plus proche des pratiques agricoles (Rußwurm et al., 2019). Dans la suite de ce chapitre, nous nous intéressons plus précisément au suivi de la mégafaune marine.

3.1 PROJET DEEPTDETECT

Le projet DeepDetect, financé pour 30 mois par l'agence nationale de la recherche (ANR) et la direction générale de l'armement (DGA) dans le cadre du programme 2017 d'accompagnement spécifique des travaux de recherches et d'innovation défense (ASTRID), a pour objectifs la détection et la reconnaissance d'objets multiples sur des fonds variables par apprentissage profond. Les applications visées sont duales, et nous nous intéressons ici au cas d'utilisation civil qui consiste en la détection et la cartographie des populations de mammifères marins par imagerie satellitaire. Comme nous l'avons indiqué précédemment, les progrès de la télédétection spatiale avec no-

tamment l'amélioration de la résolution des images, l'augmentation de la couverture temporelle, et la mise à disposition gratuite des données Copernicus, offrent de nouvelles possibilités quant au suivi à large échelle des mammifères marins. Ainsi, Fretwell et al. (2014) ont montré qu'il était possible de compter automatiquement depuis l'espace les baleines présentes dans une zone de reproduction. Plus récemment, Guirado et al. (2019) ont montré que les réseaux de neurones profonds pouvaient être mobilisés pour accroître les performances de reconnaissance et analyser différentes zones géographiques.

À titre d'exemple, la figure 2 illustre les résultats que nous avons obtenus pour la détection automatique de baleines avec un réseau de neurones profond de type Faster R-CNN (Ren et al., 2017) entraîné sur une cinquantaine d'exemples pris dans une dizaine d'extraits d'images à très haute résolution spatiale. Bien que ces résultats soient convaincants, il faut souligner qu'ils ont été obtenus à partir d'images satellites à très haute résolution spatiale (30 à 50 cm par pixel) tels que les missions WorldView (DigitalGlobe) ou Pléiades (CNES / Airbus Defense and Space). Ces images, dont l'acquisition est coûteuse et doit être programmée à l'avance, ne permettent pas de couvrir de larges zones géographiques ni d'assurer un suivi dans le temps. Les images fournies par Copernicus au travers des missions Sentinel n'ont pas ces inconvénients. Néanmoins, avec une résolution spatiale 20 à 30 fois moindre que les images à très haute résolution, elles nécessitent le développement de méthodes capables de détecter de très petits objets (ainsi la baleine bleue, si grande soit-elle, n'est représentée que par quelques pixels de l'image).

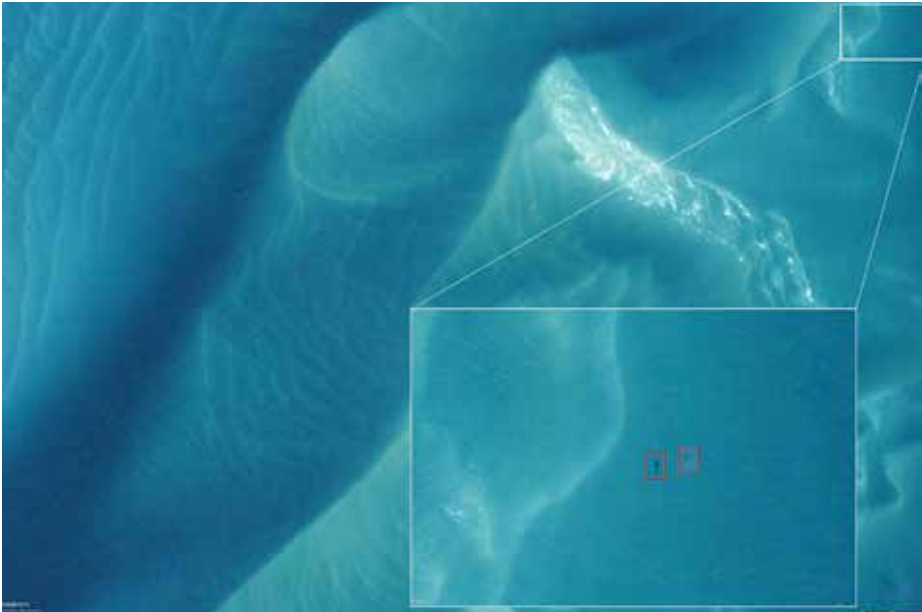


Figure 2. Détection de baleines par imagerie satellite à très haute résolution spatiale.

Dans ce contexte, les travaux conduits dans le projet DeepDetect visent à apporter des éléments de réponse au travers de réseaux de neurones profonds originaux, capables de détecter de très petits objets. En particulier, nous nous sommes intéressés à des modèles qui cherchent à la fois à détecter ces objets et à améliorer la résolution de l'image (problème connu sous le nom de super-résolution). Nos travaux (Courtrai et al., 2020a ; Courtrai et al., 2020b) s'appuient sur les réseaux dits adversaires pour générer des images de meilleure résolution, et exploitent les carac-

téristiques apprises par le réseau au sein d'un bloc dédié à la détection d'objet. La figure 3 illustre notre méthodologie, et les résultats obtenus sur des bases d'images de véhicules démontrent l'intérêt de l'approche. L'application à des baleines sur des images Sentinel n'a cependant pas encore pu être mise en œuvre faute d'images annotées.

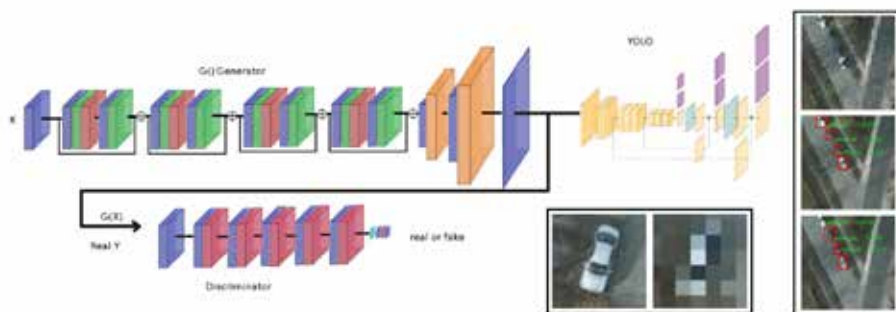


Figure 3. Réseau de neurones profond combinant des modules de super-résolution et de détection : architecture du réseau et encarts montrant la différence d'apparence visuelle d'un véhicule en haute ou basse résolution (en bas), et les résultats de détection obtenus (à droite, de haut en bas : image basse résolution 1:8, résultat théorique à partir d'une image haute résolution, et résultat conjoint de détection et super-résolution fourni par notre réseau appliqué aux images de basse résolution).

3.2 PROJET SEMMACAPE

Le projet Semmacape, piloté par l'Université Bretagne Sud, et cofinancé par l'agence de transition écologique (anciennement agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, ADEME) dans le cadre du programme Énergie Durable en 2019, porte sur le suivi et l'étude de la mégafaune marine par caractérisation automatique dans les parcs éoliens. Il vise à doter les projets d'énergies marines renouvelables d'outils automatiques pour l'analyse d'impact sur l'environnement, et en particulier sur la mégafaune marine (oiseaux, mammifères marins, tortues, grands poissons). Les données analysées consistent ici en des survols aériens, et l'objet des travaux de recherche est non seulement de démontrer la pertinence des réseaux de neurones profonds pour le suivi de la mégafaune en conditions opérationnelles, mais aussi de développer des réseaux non-supervisés, qui offrent l'intérêt de ne pas nécessiter d'annotations lors de leur phase d'entraînement.

La première campagne d'acquisition d'images vient d'être effectuée en mai 2020. Les 2500 kilomètres survolés au sein du parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis ont permis d'obtenir plus de 20 000 photos aériennes et d'observer plusieurs espèces, parmi lesquelles puffins, laridés, méduses, dauphins, marsouins ou encore requins. La figure 4 présente un extrait d'une image obtenue par le dispositif d'acquisition haute-définition déployé lors de cette campagne. Bien que le banc de dauphins soit clairement visible, on peut constater la difficulté à identifier les individus dès lors qu'ils s'éloignent de la surface, et les perturbations inhérentes aux vagues, aux gerbes d'écume et autres reflets du soleil. Élaborer un réseau de neurones profond s'affranchissant de ces difficultés pour détecter, recenser et catégoriser la mégafaune marine dans des conditions opérationnelles, reste un problème ouvert auquel cherchera à répondre le projet Semmacape qui s'achèvera en 2022.



Figure 4. Exemple d'image haute-définition (extrait) acquise lors d'un survol aérien Semmacape.

4. OBSERVER DEPUIS LES FONDS MARINS

Alors que dans la section précédente nous avons montré que l'apprentissage profond permettait le recensement automatique des espèces marines par imagerie aérienne et satellite, nous nous intéressons ici à un autre cas d'application, où les observations sont réalisées sous la surface de la mer, mis en œuvre au sein du projet Game of Trawls.

Projet Game of Trawls

Le projet Game of Trawls, piloté par l'institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), est cofinancé en 2018 par le fond européen pour les affaires maritimes et la pêche (FEAMP) dans le cadre de la mesure Innovation dans la filière pêche, liée à la conservation des ressources biologiques de la mer, et par l'association interprofessionnelle France Filière Pêche. Il vise à faire profiter la filière de la pêche des dernières avancées en intelligence artificielle, en développant des chaluts de fond connectés et intelligents pour contrôler de manière active la sélectivité, l'incidence sur les écosystèmes, et identifier en temps réel les espèces capturées. En effet, en équipant les chaluts de différents capteurs (dont des caméras vidéo) connectés à des systèmes embarqués communicants avec le navire de pêche, et de dispositifs d'échappement ou d'évitement actionnables à distance, le capitaine pourra alors suivre son opération de pêche en temps réel, adapter ses captures, et ainsi limiter l'impact environnemental de son activité. Dans le projet Game of Trawls, la mise en œuvre de telles solutions passe notamment par le développement de réseaux de neurones profonds pour analyser automatiquement les flux vidéo ou les autres signaux issus des capteurs équipant le chalut, puis par le déploiement de ces réseaux dans des systèmes embarqués sur le navire, voire sur le chalut.

Les travaux que nous avons réalisés lors de la première moitié du projet ont porté sur la détection des individus et la reconnaissance de leur espèce, qu'elle soit pélagique (sardines, chinchards), ou benthique (langoustines). La figure 5 illustre les résultats obtenus dans les deux cas, la caméra étant orientée soit vers l'intérieur du chalut, soit vers le fond. Bien que ces résultats soient prometteurs, il faut souligner la relative simplicité des images analysées qui ne présentent pas de carac-

rière de turbidité et bénéficient d'un éclairage adéquat. A mi-parcours, les travaux restant à mener dans ce projet visent donc à tenir compte de ces conditions d'acquisition difficiles, à exploiter les informations fournies par les autres capteurs (sonar acoustique, par exemple) conjointement aux données vidéo, à caractériser les poissons (taille) et estimer leur comportement de nage pour mieux identifier leur espèce.

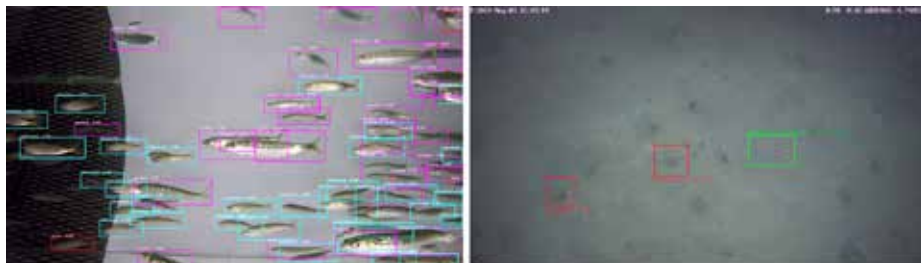


Figure 5. Détection et reconnaissance d'espèces pélagiques (à gauche) et benthiques (à droite).

5. CONCLUSION

Notre société et notre planète ont connu de nombreux bouleversements. L'essor de l'intelligence artificielle au travers des succès obtenus par l'apprentissage profond, et l'amélioration continue de nos capacités à observer notre environnement, peuvent être combinés et mis à profit pour analyser plus massivement le monde qui nous entoure. Dans ce chapitre, nous nous sommes focalisés sur la mégafaune marine et avons illustré dans ce contexte le potentiel de l'apprentissage profond. Pour cela, nous avons présenté quelques projets collaboratifs multidisciplinaires impliquant les chercheurs de l'équipe OBELIX de l'IRISA, et illustrant l'importance de la télédétection aérienne et spatiale, mais aussi de l'imagerie sous-marine.

Différentes perspectives à ces travaux peuvent être envisagées. D'une part, il est nécessaire de limiter la dépendance aux données de référence, généralement annotées manuellement par les utilisateurs, et pourtant nécessaires à l'entraînement des réseaux de neurones profonds. Les réseaux semi-supervisés semblent une voie prometteuse dans ce contexte (Castillo-Navarro et al., 2019). En outre, la diversification des sources de données, avec par exemple les relevés laser 3D (Guiotte et al., 2020), apporte des informations complémentaires sur les scènes étudiées, mais nécessitent de développer des réseaux capables de traiter des informations dites non structurées (comme les nuages de points). Enfin, fusionner ces différentes sources, depuis l'observation rapprochée jusqu'à celle depuis l'espace, est aujourd'hui possible (Lefèvre et al., 2017). Le développement de réseaux aptes à combiner différentes modalités ou différents points de vue (Nassar et al., 2019) est une question au cœur des problématiques scientifiques, et qu'il convient d'approfondir.

Pour conclure, en dépit des possibilités offertes par l'apprentissage profond, il ne faut pas oublier son coût énergétique et l'impact environnemental induit par le recours massif aux processeurs GPU. Une intelligence artificielle verte reste donc à inventer, pour qu'elle puisse bénéficier, sans équivoque, à notre bien commun.

REFERENCES

- Audebert N., Le Saux B., et Lefèvre S., Beyond RGB: very high resolution urban remote sensing with multimodal deep networks, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 140, (2018), pp. 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.11.011>
- Audebert N., Le Saux B., et Lefèvre S., Deep learning for classification of hyperspectral data: a comparative review, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 7, 2, (2019), pp. 159-173. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2019.2912563>
- Castillo-Navarro J., Audebert N., Boulch A., Le Saux B., et Lefèvre S., What data are needed for semantic segmentation in earth observation?, dans *Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, (2019). <https://doi.org/10.1109/JURSE.2019.8809071>
- Courtrai L., Pham M.T., Burnel J.C., et Lefèvre S., Apprentissage de réseaux de neurones de super-résolution pour la détection d'objets de petite taille dans les images de télédétection, dans *Congrès Reconnaissance des Formes, Image, Apprentissage et Perception*, (2020).
- Courtrai L., Pham M.T., Friguet C., et Lefèvre S., Small object detection from remote sensing images with the help of object-focused super-resolution using Wasserstein GANs, dans *International Geosciences and Remote Sensing Symposium*, (2020).
- Dechesne C., Lefèvre S., Vadaine R., Hajduch R., et Fablet R., Ship identification and characterization in Sentinel-1 SAR images with multi-task deep learning, *Remote Sensing*, 11, 24, (2019), 2997. <https://doi.org/10.3390/rs11242997>
- Froidevaux A., Julier A., Lifschitz A., Pham M.T., Dambreville R., Lefèvre S., et Lassalle P., Vehicle detection and counting from VHR satellite images: efforts and open issues, dans *International Geosciences and Remote Sensing Symposium*, (2020). <https://arxiv.org/abs/1910.10017>
- Fretwell P.T., Staniland I.J., et Forcada J., Whales from space: counting southern right whales by satellite, *PLOS One*, 9, 2, (2014), e88655. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088655>
- Guiotte F., Pham M.T., Dambreville R., Corpetti T., et Lefèvre S., Semantic segmentation of lidar points clouds: rasterization beyond digital elevation models, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, (2020). <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2958858>
- Guirado E., Tabik S., Rivas M.L., Alcaraz-Segura D., et Herrera F., Whale counting in satellite and aerial images with deep learning, *Scientific Reports*, 9, (2019), 14259. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50795-9>
- Hebb D.O., *The organization of behavior: a neuropsychological theory*. Wiley & Sons, (1949).
- Krizhevsky A., Sutskever I., et Hinton G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks, *Communications of the ACM*, 60, 6, (2017), pp. 84-90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- Laroze M., Dambreville R., Friguet C., Kijak E., et Lefèvre S., Active learning to assist annotation of aerial images in environmental surveys, dans *International Conference on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI)*, (2018). <https://doi.org/10.1109/CBMI.2018.8516511>
- Le Cun Y., Bengio Y., et Hinton G., Deep learning. *Nature*, 521, 7553, (2015), pp. 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lefèvre S., Tuia D., Wegner J.D., Produit T., et Nassar A.S., Toward Seamless Multiview Scene Analysis From Satellite to Street Level, *Proceedings of the IEEE*, 105, 10, (2017), pp. 1884-1899. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2684300>
- McCulloch W.S., et Pitts W., A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, (1943), pp. 115-133.
- Mercier F., Fauqueur L., Damodaran B.B., Rémy P.Y., Desclée B., Dazin F., Lefèvre S., Masse A., et Sannier C., Geobia at the terapixel scale: toward efficient mapping of small woody features from heterogeneous VHR scenes, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 1, (2019), 46. <https://doi.org/10.3390/ijgi8010046>
- Nassar A.S., Lefèvre S., et Wegner J.D., Simultaneous multi-view instance detection with learned geometric soft-constraints, dans *International Conference on Computer Vision*, (2019). <https://arxiv.org/abs/1907.10892>
- Ren S., He K., Girshick R., et Sun J. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39, 6, (2017), pp. 1137-1149. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031>
- Rußwurm M., Tavenard R., Lefèvre S., et Kömer M., Early classification for agricultural monitoring from satellite time series, dans *International Conference on Machine Learning AI for Social Good Workshop*, (2019). <https://arxiv.org/abs/1908.10283>

CONSEILS DE LECTURES

2 conseils de lecture :

- *Quand la machine apprend : La révolution des neurones artificiels et de l'apprentissage profond*, par Yann Le Cun ; Odile Jacob, 2019, 394 pages
 - *L'apprentissage profond*, par Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville ; traduit * de l'anglais par Quantmetry à l'aide de DeepL, solution de traduction automatique par apprentissage profond ; Massot Éditions, 2018, 768 pages
- * Pour les lecteurs pratiquant la langue de Shakespeare, il reste préférable de lire la version originale.

An aerial photograph of a coastal area. A long, narrow wooden pier or breakwater extends from a sandy beach into the sea. The water is a deep teal color, while the beach is a light tan. The pier is made of weathered wooden planks and has a small white flag or marker at its end. The overall scene is captured from a high angle, looking down at the coastline.

CONCLUSION

**CONVERGENCES
ET PERSPECTIVES
AUTOUR DE LA THÉMATIQUE
« MER ET LITTORAL :
UN BIEN COMMUN ? »**

Cet ouvrage présente des travaux et des réflexions qui sont tous relatifs aux interactions entre les activités humaines et la vulnérabilité des littoraux.

La pollution des littoraux, les érosions côtières, les phénomènes d'ensablement et la surexploitation des ressources sont en relation directe avec les activités humaines ; elles dépendent de pressions anthropiques. Les problématiques environnementales ne peuvent donc être abordées sans parler des usages et conflits d'usage (ou d'usagers) sur les littoraux et on ne peut pas faire l'économie d'une étude qui se situerait à la croisée de la sociologie et du droit et qui porterait sur les intérêts et logiques contradictoires des différentes communautés qui occupent les littoraux (« autochtones » et touristes par exemple). Ces deux thématiques – usages et conflits d'usage d'une part, intérêt et logiques contradictoires des communautés d'autre part – doivent être étudiées pour mieux comprendre les problématiques environnementales et y répondre.

Cet ouvrage met en évidence différents enjeux. Il faut trouver un équilibre, un compromis, entre le développement économique et la préservation de l'environnement. Il a été question de « capacité de charge environnementale » qu'il serait possible d'apprécier et de la nécessité que les activités s'insèrent « en douceur » dans leur environnement ; ce qui est le cas du tourisme durable. Il est nécessaire, également, d'identifier de nouveaux modes de gouvernance (une normativité souple, ou « soft-law », qui soit incitative plutôt que normative ou contraignante) et de définir de nouveaux modes de gestion des espaces maritimes et littoraux. Enfin, il faut envisager la voix des citoyens et la voie citoyenne pour faire levier sur la voie politique. Ce message constitue le credo de l'institut Archipel.

Il y a également accord sur l'approche à adopter. Il est nécessaire de dépasser le clivage des disciplines (parvenir à combiner le droit privé et le droit public, par exemple) et d'adopter une approche pluridisciplinaire pour pouvoir aborder la complexité de la problématique. Nous avons affirmé qu'il était *essentiel de promouvoir les approches multidisciplinaires intégrant les sciences naturelles et sociales, ainsi que les méthodes statistiques avancées, pour favoriser une meilleure compréhension des causes et conséquences du changement global sur la planète Terre*. Il convient d'adopter une approche systématique, une vue globale (« embracing view »), pour pouvoir comprendre les interactions entre les différents composants d'un système qui est extrêmement complexe. Ce sont différentes temporalités qui doivent être prises en compte (temps court et temps long) pour comprendre la dynamique des écosystèmes, les évolutions et la trajectoire des territoires (les ports notamment). Des approches longitudinales s'imposent donc, générant une grande quantité de données qu'il faut ensuite pouvoir stocker et traiter. Comme cela a été souligné, *le challenge réside dans notre capacité à intégrer, dans un même cadre de référence, des marqueurs pertinents à des échelles temporelles, spatiales et causales distinctes* (p.46).

Enfin, il apparaît indispensable d'impliquer différents acteurs dans les prises de décision : les citoyens, les professionnels, les scientifiques ou experts, et le législateur, pour définir une nouvelle forme de gouvernance des espaces littoraux ; on a vu, ainsi, qu'il était indispensable d'impliquer les habitants des espaces côtiers et insulaires dans l'accueil des touristes.

Cet ouvrage collectif permet de dégager différentes perspectives, qui constituent autant de « feuilles de route » pour l'Institut ARCHIPEL.

Il a été question, ainsi, de la valorisation des microplastiques ou des nouvelles voies de valorisation de la biomasse, mais aussi de la restauration de la biodiversité au moyen de stratégies de bio-rémediation.

Sur le plan méthodologique, l'importance de l'observation et de la surveillance des littoraux a été soulignée à de nombreuses reprises. Observation et surveillance des littoraux permettront de collecter des données qui seront partagées par tous et qui serviront à la fois à éduquer les citoyens et à sensibiliser les décideurs. Grâce à ces outils de surveillance, il sera possible de concevoir des outils d'aide à la décision. La recherche d'indicateurs communs et multifactoriels (intégrant

notamment les aspects sociaux) doit faire l'objet d'une approche pluridisciplinaire. Ces indicateurs doivent également faire l'objet d'une « traduction ». Ils doivent être mis en contexte pour être « appropriables », utilisables par chacun et à bon escient. Enfin, des méthodologies communes doivent être recherchées pour croiser des données de différentes natures.

Ces questions feront l'objet d'une réflexion commune menée dans le cadre d'un réseau de recherche international ouvert aux citoyens.

Pr. Christine Chauvin

Vice-présidente Relations Internationales de l'Université Bretagne Sud

NOTES

NOTES

Le littoral et la mer sont des ressources naturelles environnementales. C'est-à-dire des ressources qui, sans être un produit de l'activité humaine, influent ou pourraient influencer sur l'économie des pays ou le bien-être de leurs habitants.

Partout dans le monde, ces zones concentrent des populations croissantes et des activités multiples. Les impacts et conflits d'usage engendrés sont considérables. Pour les surmonter, il apparaît nécessaire de repenser ces espaces et les ressources qu'ils représentent comme un bien commun.

Cet ouvrage collectif regroupe des articles rédigés suite au colloque international intitulé : « Mer et littoral : un bien commun ? » organisé à l'Université Bretagne Sud (France) du 17 au 19 juin 2019.

Dans une volonté de sortir de l'étau disciplinaire et territorial sur un sujet aussi vaste, il propose des regards de chercheurs de différentes disciplines et de différentes nationalités, abordant ainsi la question sous l'angle du droit, de la bio-surveillance du milieu marin, du rôle des ports, des ressources, et du tourisme.

En complément, la dernière partie présente des exemples de travaux de recherche conduits à l'Université Bretagne Sud pour améliorer nos connaissances sur le milieu littoral et marin, et réduire les impacts sur l'environnement.



Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction réservés pour tous pays

© 2021, Éditions Archipel - Université Bretagne Sud

ISBN 978-2-9573619-0-8 - Imprimé en France - Dépôt légal : Avril 2021

ISBN 978-2-9573619-1-5 (version e-book)

25 € TTC

www-archipel.univ-ubs.fr

Institut citoyen
d'études maritimes
& littorales

archipel:
Université Bretagne Sud