

# Fleuves, inondations, plages et milieu marin : pour une approche intégrée en Méditerranée

Charles-François BOUDOURESQUE\*, Daniela BĂNARU,  
Thomas CHANGEUX

Aix-Marseille Université et Université de Toulon, IRD, CNRS, MIO (Mediterranean Institute of Oceanography), campus de Luminy, Marseille, France.

\*Contact : charles.boudouresque@mio.osupytheas.fr

**Résumé.** Les fleuves constituent des écosystèmes remarquables qui méritent d'être protégés pour eux-mêmes. En outre, ils apportent à la mer une partie des sels nutritifs (azote, phosphore) nécessaires à la photosynthèse et de la matière organique qui sert de base à certains réseaux trophiques. Lors des crues, un processus naturel et nécessaire, les fleuves apportent également des sédiments et des bois flottés, qui jouent un rôle important dans l'édification des plages et dans le fonctionnement de l'écosystème DBB (Dune, plage, banquette de feuilles mortes de *Posidonia oceanica*) de Méditerranée.

Contrairement à une idée reçue, les crues ne sont pas plus importantes aujourd'hui qu'au cours des siècles passés ; c'est même sans doute le contraire. La mémoire humaine est aujourd'hui relativement brève (moins de 50 ans), et le problème est que l'on a construit dans le lit majeur des fleuves, contrairement à nos ancêtres, dont la mémoire souvent orale pouvait s'étaler sur plusieurs siècles. En Méditerranée, les prairies à *P. oceanica* constituent la principale 'usine à sable' qui, avec les sédiments venus des fleuves, alimente les plages. En outre, les prairies à *P. oceanica* exportent des feuilles mortes vers les plages, où elles constituent provisoirement des 'banquettes' qui les protègent de l'érosion. Ces banquettes font partie du patrimoine méditerranéen et de son identité culturelle. Par méconnaissance de ce rôle, par méconnaissance des souhaits réels des touristes et des résidents (qui peuvent accepter les banquettes) et sous l'influence de *tour-operators* qui souhaiteraient en quelque sorte 'vendre' des plages polynésiennes, la plupart des collectivités territoriales procèdent à l'enlèvement (illégal) des banquettes. Cet enlèvement a pour conséquence la régression des plages, régression compensée par de coûteuses et inefficaces opérations de ré-ensablement. En outre, les feuilles mortes de *P. oceanica* des banquettes ont vocation à retourner en mer, lors de tempêtes, à y participer aux réseaux trophiques côtiers, et donc à jouer un rôle dans la ressource halieutique, à la base de la pêche artisanale.

Au total, la gestion des fleuves, des crues, des plages, de la pêche artisanale et des habitats côtiers devrait faire l'objet d'une réflexion intégrée et d'une évaluation des bénéfices et des coûts écologiques (y compris les services écosystémiques), sociaux et économiques, qui ne soient pas centrées sur des considérations partielles (e.g. barrages, inondations, tourisme balnéaire, banquettes ou prairies à *P. oceanica*), mais sur les interactions entre tous ces éléments.

**Mots-clés :** banquettes de posidonies, barrages, fleuves, inondations, nutriments, pêche artisanale, plages, *Posidonia oceanica*, tourisme.

**Abstract.** Rivers, floods, beaches and coastal habitats: a plea for an integrated approach in the Mediterranean. Rivers are remarkable ecosystems that deserve to be protected for themselves. In addition, they supply the sea with part of the nutrients (nitrogen, phosphorus) essential for photosynthesis, and the organic matter which

serves as the basis for a number of food webs. During flooding, a natural and essential process, the rivers also deliver sediment and driftwood, which play an important role in maintaining beaches and in the functioning of the DBB ecosystem (Dune, beach, *banquettes* of *Posidonia oceanica*) in the Mediterranean area.

Contrary to popular belief, flooding is no more severe today than in past centuries; the opposite might well be the case. Human memory is relatively short today (less than 50 years), and the issue is that present-day humans have built on the flood plains of rivers, unlike previous generations, whose – often oral – memory could span several centuries. In the Mediterranean, the *P. oceanica* meadows constitute the sand factory which, together with the sand washed down by the rivers, supplies the beaches. In addition, *P. oceanica* meadows export dead leaves to the beaches, where they temporarily constitute ‘*banquettes*’ that protect them from erosion. These *banquettes* are an emblem of the Mediterranean ecological and cultural identity. Municipalities, who often misunderstand this role and misinterpret the real wishes of tourists and residents (who find *banquettes* acceptable), and tour-operators, who would like to ‘sell’ flawless Polynesian-style beaches with coconut palms, remove – usually illegally – the *banquettes*. Their removal causes an economic and ecological disaster, the resulting regression of the beaches being clumsily compensated by costly and ineffective sand replenishment operations.

Overall, the management of rivers, flooding, beaches, artisanal fishing and coastal habitats should be the subject of an integrated approach and a proper assessment of the ecological (including ecosystem services), social and economic benefits and costs, not limited to partial considerations (e.g. dams, flooding, seaside tourism, *banquettes*, *P. oceanica* meadows), but taking fully into account the interactions between all these compartments and caveats.

**Keywords:** artisanal fishery, *banquettes*, beaches, dams, flooding, nutrients, *Posidonia oceanica*, rivers, tourism.

## 1. Introduction

La mémoire humaine est aujourd’hui terriblement fugace. Le passé (ligne de base, *baseline* en anglais) est en fait constitué par ce que l’on a connu dans son enfance. Cette mémoire se réduit donc à deux générations (50 ans) au maximum (Pauly, 1995 ; Sáenz-Arroyo *et al.*, 2005 ; Faget, 2009 ; Lotze et Worm, 2009 ; Gravina *et al.*, 2020). Ce ne fut pas toujours le cas : nos ancêtres, à la mémoire en grande partie orale, se souvenaient des orages et des crues pendant plusieurs siècles : ils ne bâtissaient pas dans le lit majeur des fleuves, mais sur des hauteurs.

Les journalistes chargés de l’information scientifique dans les grands médias ont presque toujours une formation purement littéraire. Leur culture scientifique est donc souvent modeste. Non seulement, ils ne contredisent pas (ou ne complètent pas) les témoignages en direct des témoins (*‘Cela ne s’était jamais produit’*), mais ils les suscitent parfois, par des questions orientées.

Les crues des fleuves et les inondations qui peuvent en résulter, avec des dégâts matériels et humains dramatiques, alimentent cette inculture. Le réchauffement climatique, bien réel et dont les conséquences à venir seront bien plus graves pour la cible ‘hommes’ que pour la cible ‘biodiversité’, constitue un bouc-émissaire commode. Chaque orage, chaque crue, constitue pour le grand public une

conséquence du réchauffement climatique. Mais est-ce bien vrai ? Les crues sont-elles plus fréquentes aujourd'hui ? Par ailleurs, une crue constitue-t-elle un événement négatif, ou positif, pour l'environnement et pour les activités humaines (e.g. agriculture, pêche, tourisme balnéaire) ?

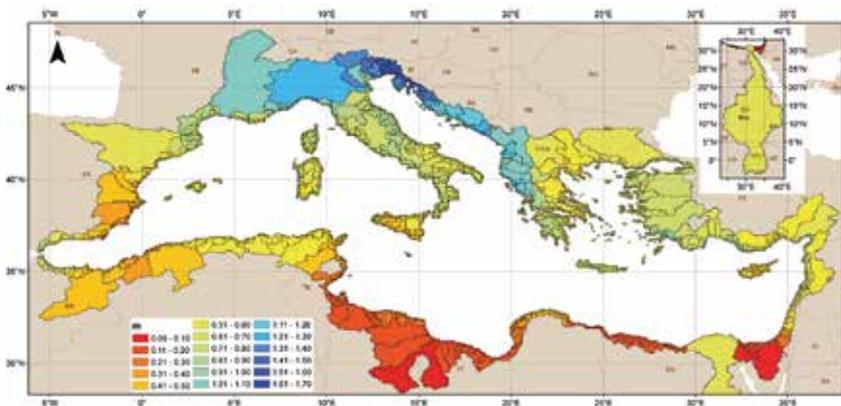
## **2. La Méditerranée : quelques caractéristiques**

Il ne pleut pas assez en Méditerranée et sur son bassin versant pour compenser l'évaporation qui est supérieure aux apports des fleuves. Sans la compensation de ce déficit par les eaux de l'Atlantique, son niveau baisserait d'environ 1 m par an. Chaque jour, presque 100 km<sup>3</sup> d'eau atlantique se déversent en Méditerranée par le détroit de Gibraltar, donnant naissance à un courant de surface colossal. Ce courant, après deux énormes tourbillons ('gyres') en mer d'Alboran, longe les côtes d'Afrique du Nord en direction de l'Est (Bethoux, 1979 ; Bethoux et Gentili, 1998 ; Poulos et Collins, 2002 ; Millot et Taupier-Letage, 2005).

Le bassin versant de la Méditerranée, bordée presque partout par des montagnes, est relativement peu étendu : environ 4 millions de km<sup>2</sup> (Fig. 1). La plupart des fleuves qui y arrivent sont courts, au débit modeste et irrégulier ; ce sont parfois même des cours d'eau temporaires (oueds). Le plus important des fleuves méditerranéens était le Nil ; mais il n'atteint pratiquement plus la mer depuis 1964 : ses eaux s'évaporent dans le lac d'Assouan, ou se dissipent dans la vallée du Nil qu'elles irriguent (Sharaf El Din, 1977 ; Abu-Zeid et El-Moatassem, 1993 ; Laubier, 2005). Avant cette date, ses crues alimentaient en sel nutritifs des blooms planctoniques réguliers (Halim 1960) qui soutenaient une importante pêcherie de sardine en Méditerranée orientale (Rzóska, 1976). La construction du barrage d'Assouan a été à l'origine d'une baisse drastique des prises au large du delta du Nil jusqu'à la fin des années 1970s (Oczkowski *et al.*, 2009). Le Rhône, suivi du Pô, sont désormais les principaux fleuves méditerranéens (Sadaoui *et al.*, 2006 ; Raimbault *et al.*, 2009). Le réchauffement du climat accroît en outre l'évaporation. Au total, le déficit en eau de la Méditerranée s'accroît.

Un exemple récent (novembre 2021) illustre de façon presque caricaturale certains problèmes. Les Nations Unies (ONU), à la suite des scientifiques, s'inquiètent des conséquences du gigantesque barrage que l'Éthiopie et le Soudan construisent sur le cours supérieur du Nil. Depuis la construction du barrage d'Assouan (Égypte), en effet, le Nil n'atteint pratiquement plus la mer ; avec le barrage éthiopien, et le surcroît d'évaporation et d'utilisation de l'eau qu'il implique, l'eau pourrait ne plus atteindre les zones agricoles de la vallée du Nil en Égypte. C'est un drame humanitaire annoncé, dont parlent peu les médias et les écologistes politiques. Attendent-ils le désastre

humanitaire, et les vagues migratoires probables, pour s'y intéresser ? La radio française Franceinfo a demandé à sa correspondante au Caire un reportage ; formatée par la culture écologiste politique dominante, elle n'a pas imaginé que la conséquence du barrage éthiopien soit autre que la pollution. Elle a donc laissé dire à un pêcheur du Nil qu'il n'y avait presque plus de poissons, que seules deux espèces (sur les 40 d'autrefois) subsistaient, et que c'était la conséquence de la pollution. Cette pollution est bien sûr très réelle, mais n'a rien à voir avec la raréfaction des poissons ; la journaliste ignore bien sûr que la pollution (nutriments et matière organique) favorise souvent la plupart des poissons (et non les défavorise) (e.g. Mendez *et al.*, 1997 ; Cancemi *et al.*, 2003 ; Oczkowski *et al.*, 2009 ; Ourgaud *et al.*, 2013, 2015), et que ce sont les perturbations subies par le fleuve, suite à son aménagement hydraulique, qui sont responsables des malheurs de son pêcheur. Bien sûr, pas un mot sur le véritable problème qui menace son pêcheur : y aura-t-il encore de l'eau dans le Nil, devant Le Caire, dans quelques années, après la mise en service du nouveau barrage ?



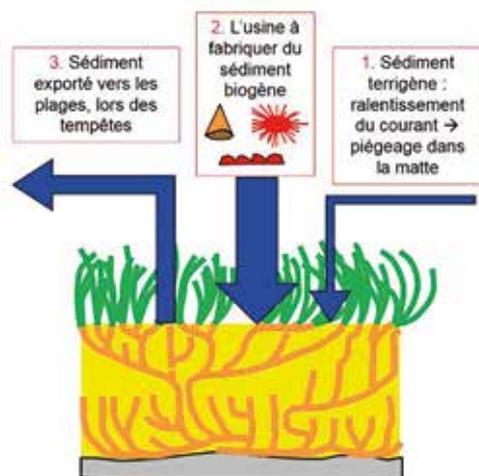
**Figure 1.** Le bassin versant de la Méditerranée et les précipitations annuelles moyennes (en m) sur le bassin versant de chaque fleuve. En bas à droite, seul le nord du bassin versant du Nil est figuré : il se prolonge loin vers le sud (il est représenté à plus petite échelle dans l'encart, en haut à droite). Toutefois, le bassin versant du Nil n'apporte pratiquement plus d'eau à la Méditerranée, depuis la construction du barrage d'Assouan. D'après PERSEUS-UNEP/MAP Report (2015). Reproduction autorisée avec indication de la source.

### 3. Le rôle des fleuves

Une des plus importantes fonctions des fleuves n'est pas d'apporter de l'eau à la mer, mais d'y apporter **(i)** une partie des sédiments qui édifient les plages et modèlent le trait de côte, **(ii)** des sels nutritifs indispensables à la photosynthèse et enfin **(iii)** de la matière organique, qui joue un rôle majeur dans la production de poissons et pour la pêche artisanale, au travers des réseaux trophiques côtiers (Poulos et Collins, 2002 ; Darnaude, 2003 ; Collins et Poulos, 2006).

Il y a deux sources importantes de sédiment en mer. **(i)** Les fleuves, grands et petits, constituent la première source de sédiment. Cet apport est très irrégulier dans le temps : il se produit surtout lors des crues, par 'effet de chasse' (allusion à la chasse d'un WC). Les sédiments apportés par le Rhône ont édifié le delta camarguais et, en direction de l'ouest, les flèches qui ont isolé les étangs d'Occitanie (Thau, Sigean, Leucate, etc.), entre le 11<sup>ème</sup> et le 17<sup>ème</sup> siècle (Atlas, 1997). En Corse, les sédiments du Tavignanu ont isolé la lagune d'U Sale, vers U Caterraghju (Aleria) (Currás *et al.*, 2017). Mais l'aménagement des fleuves, avec en particulier de nombreux barrages piégeant les sédiments, a réduit considérablement les apports de sédiment à la mer : de 79 à 97% pour le Rhône, l'Ebre et le Nil (Poulos et Collins, 2002 ; Sabatier et Provensal, 2002 ; Syvitski *et al.*, 2005 ; Collins et Poulos, 2006 ; Sadaoui *et al.*, 2016). **(ii)** La deuxième source de sédiment est biologique : ce sont les organismes calcifiés vivant dans l'ensemble des écosystèmes marins, dont en premier lieu en Méditerranée l'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*). Les restes des organismes calcifiés qui y ont vécu (mollusques, oursins, algues, etc.) se transforment en sable. L'herbier de posidonie constitue ainsi la principale 'usine à sable' pour les écosystèmes côtiers de la Méditerranée (Basterretxea *et al.*, 2004 ; López *et al.*, 2016 ; De Falco *et al.*, 2017 ; Monnier *et al.*, 2019 ; De Luca *et al.*, 2020). Lors des tempêtes, une partie de ce sable est exportée vers les plages (Fig. 2). Malheureusement, en Provence, sur la Côte d'Azur et en Italie, une gestion désastreuse (enrochements, constructions en arrière-plage, enlèvement des banquettes de feuilles mortes de posidonie sur les plages, ré-ensablement des plages, etc.) aboutit à la régression des herbiers de posidonie et au recul des plages (Paskoff, 1985, 1993 ; Boudouresque *et al.*, 2017 ; Vu, 2018 ; Cantasano, 2021) (pour l'enlèvement des banquettes de feuilles mortes de *P. oceanica*, voir plus loin).

Les sels nutritifs (azote, phosphore, silice, etc.) apportés par les fleuves sont indispensables à la photosynthèse et à la vie marine. C'est en raison de la faiblesse des apports des fleuves que la Méditerranée est une mer naturellement 'oligotrophe' (c'est-à-dire pauvre en sels nutritifs), bien qu'il y ait d'autres sources de sels nutritifs : les sels nutritifs transportés par l'atmosphère depuis les terres, et le métabolisme de certaines bactéries (dites diazotrophes), capables de fixer directement l'azote moléculaire ( $N_2$ ) de l'air. La photosynthèse produit une partie de la matière (matière végétale), à la base des réseaux trophiques, et donc de la ressource halieutique (Turley, 1999 ; Garcia *et al.*, 2006 ; Raimbault *et al.*, 2009 ; Rodellas *et al.*, 2015 ; Bănaru *et al.*, 2019 ; Raimbault *et al.*, 2021).



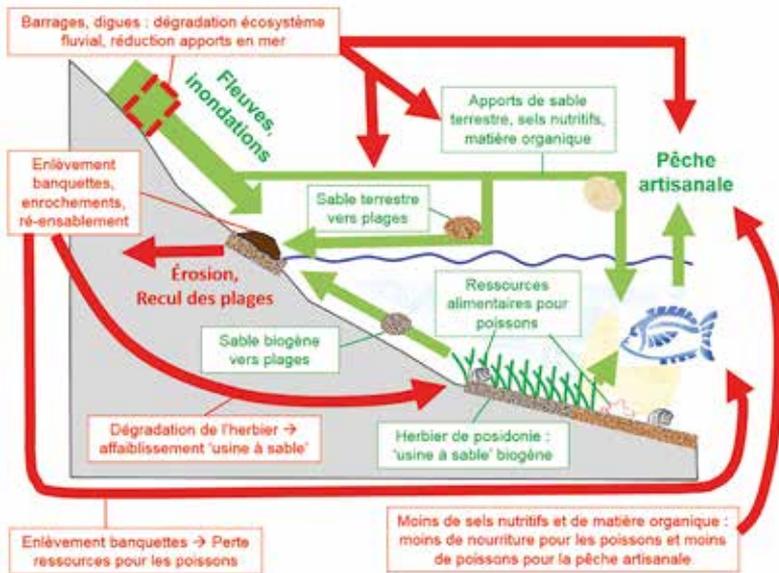
**Figure 2.** L'herbier à *Posidonia oceanica*, producteur de sédiment biogène. **1.** L'énergie cinétique des sédiments terrigènes (= d'origine continentale) transportés par les courants est réduite, en raison du ralentissement des courants par l'herbier : les sédiments sont alors piégés par l'herbier. **2.** L'herbier de posidonie est un énorme producteur de sédiment biogène, c'est-à-dire d'origine biologique ; il provient des mollusques, oursins, algues calcaires et autres organismes calcifiés qui vivent dans l'herbier, et dont les restes *post mortem* se transforment en sable. **3.** Lors des tempêtes, une partie du sédiment piégé par les herbiers est remobilisée, et exportée vers les plages. Bien sûr, ce nourrissage naturel des plages disparaît lorsque les pratiques des collectivités territoriales (enlèvement des feuilles mortes, puis ré-ensablement) détruisent les herbiers. Dessin original © Charles-François Boudouresque.

Les changements à la base des réseaux trophiques pélagiques induits par le changement climatique, par le biais de processus hydrologiques, sont soupçonnés de constituer l'un des principaux moteurs des changements dans les populations de poissons planctonophages, y compris dans le nord-ouest de la Méditerranée (*Northwestern Mediterranean Sea - NWMS*) (Moullec *et al.*, 2016 et références citées ; Bănaru *et al.*, 2019, Feuilloley *et al.*, 2020 ; Margirier *et al.*, 2020). De plus, le NWMS est également impacté par le traitement des eaux usées, entraînant une diminution des apports en nutriments par les rivières (Boissery *et al.*, 2012 ; Raimbault *et al.*, 2021), qui peut potentiellement impacter les communautés planctoniques, comme cela a été démontré dans d'autres zones méditerranéennes (Pagès *et al.*, 2020). Dans les zones côtières, cela peut avoir contribué à réduire la biomasse des poissons planctonophages et leur pourcentage relatif dans les communautés de poissons (Ourgaud *et al.*, 2015 ; Cresson *et al.*, 2019). Dans le NWMS, on a émis l'hypothèse que des changements dans la quantité et la qualité du zooplancton seraient en cause dans les récents changements observés dans le régime alimentaire de certaines espèces de poissons planctonophages telles

que la sardine *Sardina pilchardus* et l'anchois *Engraulis encrasicolus* (Le Bourg *et al.*, 2015 ; Chen *et al.*, 2019, 2021). Un déclin récent de la biomasse, de la taille corporelle et de l'état corporel relatif des poissons planctonophages a été observé, avec des conséquences dramatiques pour la pêche professionnelle des petits pélagiques, qui est quasiment à l'arrêt depuis plusieurs années. Ce déclin pourrait être lié à ces changements dans le régime alimentaire des poissons qui ont probablement vu leurs ressources alimentaires s'appauvrir (Van Beveren *et al.*, 2014 ; Brosset *et al.*, 2015, 2017 ; Saraux *et al.*, 2019, Chen *et al.*, 2021).

Les fleuves apportent en mer de grandes quantités de matière organique dissoute (*Dissolved Organic Matter* – DOM) et particulaire (*Particulate Organic Matter* – POM), principalement de la matière organique morte (Fig. 3). À l'échelle mondiale, elle est évaluée à 0.25 milliards de tonnes de carbone/an, soit 0.5 % de la production primaire continentale (Hedges *et al.*, 1997). Cette matière organique présente une 'signature chimique' (isotopes stables) caractéristique, sorte de puce électronique, qui permet de la suivre pas-à-pas, dans le réseau trophique, et donc de quantifier son rôle (Darnaude, 2005). Il s'avère que la matière organique venue des fleuves, que ce soit le Rhône en Méditerranée nord-occidentale ou le Danube en mer Noire, joue un grand rôle en mer ; pour certaines espèces, comme les soles, elle est même essentielle (Darnaude, 2003, 2005 ; Bănaru *et al.*, 2007 ; Bănaru et Harmelin-Vivien, 2007, 2009 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 2009).

En plus du sédiment, des sels nutritifs et de la matière organique dissoute et particulaire (DOM et POM), les fleuves apportent à la mer, lors des crues, des quantités importantes de bois flottés (Fig. 4). Ces bois sont rejetés sur les plages, où ils constituent un habitat pour de nombreux insectes qui jouent un rôle important dans l'écosystème Dune-Plage-Banquette (*Dune-Beach-Banquette* – DBB) (Boudouresque *et al.*, 2017). Tout comme les banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica*, à l'exception des plages des cœurs du Parc national de Port-Cros (îles de Port-Cros et Porquerolles) (Serantoni, 2015), ces bois flottés sont habituellement envoyés à la décharge par les services municipaux des communes littorales (Boudouresque *et al.*, 2017).



**Figure 3.** Flèches vertes : Les apports positifs au milieu marin des fleuves et des écosystèmes marins. Flèches rouges : les conséquences négatives (sur les plages, la ressource en poisson et la pêche artisanale) de l'aménagement des fleuves et de la mauvaise gestion des plages. Figure originale © Charles-François Boudouresque, Daniela Bănaru et Thomas Changeux.



**Figure 4.** Bois flottés rejetés dans la crique de L'Oustaou dé Diou (Porquerolles, Parc national de Port-Cros, Provence orientale). Cette accumulation fit suite aux fortes pluies survenues en Provence orientale en novembre 2011, suivies des plus sévères crues et inondation du Gapeau depuis 1827. Photo © Charles-François Boudouresque, juin 2012.

Les fleuves ne représentent donc pas seulement des écosystèmes remarquables, dont nous avons et aurons encore besoin dans l'avenir, mais aussi des services écosystémiques exceptionnels. On nomme 'service écosystémiques' les bénéfices que les êtres humains tirent (directement ou indirectement) du fonctionnement des écosystèmes, pour leur alimentation, leur sécurité, leur confort, leurs loisirs, etc. (Brenner *et al.*, 2010 ; European Union, 2014 ; Paoli *et al.*, 2016). Ces services s'étendent largement au milieu marin : plages, pêche,

tourisme, etc. (Fig. 3). Ils sont fortement dépendants de l'époque ; par exemple, les services rendus par les plages étaient modestes au 19<sup>ième</sup> siècle ; ils sont devenus déterminants à partir de la deuxième moitié du 20<sup>ième</sup> siècle.

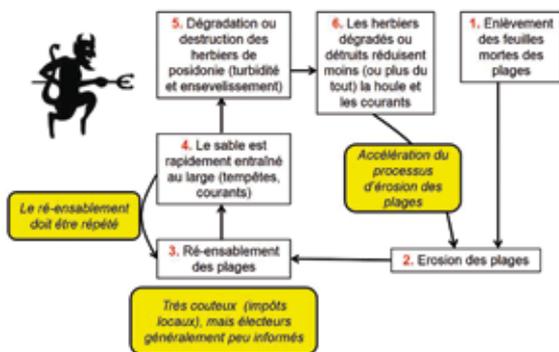
Les inondations sont un phénomène naturel. On sait depuis très longtemps qu'elles entretiennent la productivité des grands fleuves (cf. les travaux de Grigore Antipa sur le Danube au début du 20<sup>ième</sup> siècle, ou bien la modélisation de l'effet des crues sur les pêcheries fluviales tropicales) (Welcomme et Hagborg, 1977), au point que l'importante productivité des rivières de plaines tropicales par rapport aux rivières tempérées est liée à l'avantage que leur confèrent leurs crues plus nombreuses (Bayley, 1991). Les crues entraînent donc à la mer les sédiments et la matière organique, en plus des sels nutritifs, dont elle a besoin, et sont donc nécessaires au fonctionnement des écosystèmes côtiers, à la pêche et à la durabilité des plages. Contrairement à ce que perçoit le grand public et que véhiculent les media et certains travaux scientifiques, les crues ne semblent pas plus fortes aujourd'hui qu'au cours des siècles passés ; en Europe du Nord (Elbe et Oder), comme en France du Sud (Rhône), elles ont même été plus fortes qu'aujourd'hui au cours du Petit-âge glaciaire (*Little Ice Age* - LIA), qui a culminé au 18<sup>ième</sup> siècle (Mudelsee *et al.*, 2003 ; Provansal *et al.*, 2009). La plus forte crue connue du Rhône est celle de novembre 1548, avec 16 000 m<sup>3</sup>/s, et non celle de mai 1856 (12 500 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire) ou de décembre 2003 (11 500 m<sup>3</sup>/s 'seulement'). Les inondations catastrophiques qui ont frappé l'Allemagne, en particulier la vallée de l'Ahr, du 13 au 15 juillet 2021, et ont fait plus de 200 morts, étaient de la même importance que celles de 1910 et moins importantes que celles de 1804, en termes de précipitations et de volume d'eau ; mais les dégâts matériels et le désastre humain ont été supérieurs, en raison de l'urbanisation des vallées ; le niveau de l'eau y est même monté beaucoup plus haut, les constructions entravant l'écoulement des eaux (Fekete et Sandholz, 2021 ; Thewissen *et al.*, 2022). Par l'irresponsabilité de certains, et parfois la démission des services de l'État, on a laissé construire dans des zones inondables, avec les désastres humains et matériels que la Provence, la Côte d'Azur et la Corse connaissent de façon récurrente (Dupré et Giorgetti, 2005, 2006). Or, le réchauffement climatique actuel peut aggraver les événements extrêmes. Pour certains maires, la solution serait de supprimer les contraintes imposées par l'État, pour la sécurité des habitants et pour la protection de l'environnement. L'État devrait selon eux leur permettre de modifier les berges ou le lit des rivières, et de construire des digues (qui se révèlent dérisoires à long terme), afin de protéger des constructions qui n'auraient jamais dû être autorisées.

L'aménagement des fleuves côtiers ne peut être dissocié de ses conséquences sur l'environnement terrestre, sur le recul des

plages (causé également en Méditerranée par l'enlèvement des banquettes de feuilles mortes de posidonies, la destruction des dunes d'arrière-plage et la montée du niveau de la mer) et sur la pêche artisanale (Fig. 3). En Méditerranée, l'enlèvement des banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* (Fig. 5) par des maires mal informés ou mal conseillés est particulièrement dramatique pour les plages, pour les herbiers à *P. oceanica*, pour la pêche et pour l'ensemble des écosystèmes côtiers, dans une sorte de cercle vicieux (Fig. 6). Les banquettes de feuilles mortes représentent en outre une masse de carbone et de sels nutritifs considérable, drossée sur les plages lors d'une tempête, et dont le destin est de retourner à la mer lors d'une tempête ultérieure ; ces feuilles mortes y constituent donc une ressource majeure pour les réseaux trophiques qui aboutissent aux poissons ; 1 m<sup>3</sup> de banquette représente environ 35 kg de poissons disponibles pour les pêcheurs artisanaux (Boudouresque *et al.*, 2016, 2017 ; Boudouresque, 2021). Les habitants des communes concernées sont malheureusement peu conscients du coût énorme, direct et indirect, que représente la destruction des banquettes. Les collectivités territoriales justifient souvent leur enlèvement par une supposée demande du public (touristes et résidents) ; pourtant, toutes les études montrent que ceux qui fréquentent les plages, habitants comme touristes, acceptent majoritairement les banquettes, et cela d'autant plus fortement qu'ils sont informés de leur rôle (Serantoni, 2015 ; Boudouresque *et al.*, 2017 ; Otero *et al.*, 2018 ; Astier *et al.*, 2020 ; Boudouresque, 2021). En fait, l'enlèvement des banquettes répondrait plus à l'imaginaire des tour-opérateurs, prêts à 'vendre' des plages de sable corallien, et pourquoi pas des cocotiers, qu'à celui des usagers.



**Figure 5.** La plage du Prophète, à Marseille. La banquette de feuilles mortes de *Posidonia oceanica* (en brun foncé), qui protège la plage contre l'érosion, n'a pas encore été enlevée par les services municipaux. Il est à noter que cet enlèvement est illégal. Photo © Thomas Changeux.



**Figure 6.** Le cercle vicieux de l'enlèvement des banquettes de feuilles mortes de *Posidonia oceanica*, par des maires mal informés. Cette destruction représente un incroyable gâchis économique et écologique. Dans la boîte 6, afin de ne pas alourdir le texte, l'arrêt de la production de sable biogène n'a pas été mentionné (voir Fig. 2).

#### 4. Conclusion : pour une approche intégrée du rôle des fleuves et des crues

La solution réside dans une approche intégrée du rôle des fleuves dans l'environnement terrestre et marin et dans la pêche côtière, dans une prise en compte critique des coûts économiques liés aux politiques des collectivités territoriales (pour les milieux terrestre et marin), et dans la destruction (avec indemnisation) des constructions en zone inondable. En France, la loi du 30 décembre 2006 sur la préservation des ressources en eau et des milieux aquatiques constitue une avancée en ce sens, à condition qu'elle soit effectivement mise en œuvre.

L'Union Européenne encourage l'utilisation des ressources hydriques pour l'agriculture (Le Monde, 2021). En Europe (en particulier en Espagne), de nombreux bassins de rétention de l'eau des pluies qui alimentent les rivières et les fleuves ont été mis en place pour l'agriculture ; parfois, leur usage agricole a été dévié pour des activités de loisirs. Cette démarche peut s'avérer désastreuse à terme pour la diversité des systèmes aquatiques terrestres et marins, ainsi que pour les activités humaines associées. Un récent rapport du Conseil Scientifique du Comité de Bassin Rhône-Méditerranée (2020) incite à la prudence face à ces décisions qui peuvent avoir aussi des effets néfastes à plus large échelle spatiale et temporelle. Une réduction des apports en sédiments et nutriments par les rivières pourrait être dommageable au milieu marin. Les crues ont un rôle écologique essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes marins. Elles contribuent en particulier au maintien de la biodiversité marine (Harmelin-Vivien *et al.*, 2009) et à la fourniture de nutriments essentiels à la survie, à la croissance et *in fine* aux stocks des espèces, notamment exploitables (Salen-Picard *et al.*, 2002). Les infrastructures comme les retenues, barrages, dérivations vont en règle générale tempérer le régime des crues, mais diminuer à coup sûr ces apports.

Les élus et les gestionnaires doivent être particulièrement prudents et à l'écoute des scientifiques dans la gestion des cours d'eau, dans un contexte de réchauffement climatique, de sécheresse et d'événements extrêmes qui risquent de s'accroître.

**Remerciements.** Les auteurs remercient Michèle Perret-Boudouresque pour la recherche documentaire, Alain Barcelo, Daniel Faget et Mireille Harmelin-Vivien pour la relecture du manuscrit et des suggestions pertinentes, et Michael Paul pour la correction du résumé anglais.

### Références

- ABU-SEID M., EL-MOATASSEM M., 1993. Qualité de l'eau du Nil avant et après la construction du barrage d'Assouan et les conséquences pour la Méditerranée. *Rencontres de l'Agence régionale pour l'Environnement Provence-Alpes Côte d'Azur*, 5 : 62-68.
- ASTIER J.M., BOUDOURESQUE C.F., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2020. Non-removal of the *Posidonia oceanica* 'banquette' on a beach very popular with tourists: lessons from Tunisia. *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park*, 34: 15-21.
- ATLAN E., 1996. Languedoc-Roussillon. Sauvons les étangs du littoral. *Science Nature*, H.S. 3 : 5-9.
- BĂNARU D., HARMELIN-VIVIEN M., 2007. Variations spatio-temporelles de la signature en isotopes stables ( $d^{13}C$  et  $d^{15}N$ ) des eaux du Danube et des communautés marines sur les côtes roumaines de la mer Noire. *Cybium*, 31 (2) : 177-184.
- BĂNARU D., HARMELIN-VIVIEN M., 2009. Trophic links and riverine effects on food webs of pelagic fish of the north-western Black Sea. *Mar. Freshw. Res.*, 60: 529-540.
- BĂNARU D., HARMELIN-VIVIEN M., GOMOIU M.T., ONCIU T.M., 2007. Influence of the Danube River inputs on C and N stable isotope ratios of the Romanian coastal waters and sediment (Black Sea). *Mar. Pollut. Bull.*, 54: 1385-1384.
- BĂNARU D., DIAZ F., VERLEY P., CAMPBELL R., NAVARRO J., YOHIA C., OLIVEROS-RAMOS R., MELLON-DUVAL C., SHIN Y.J., 2019. Implementation of an end-to-end model of the Gulf of Lions ecosystem (NW Mediterranean Sea). I. Parameterization, calibration and evaluation. *Ecol. Modell.*, 401: 1-19.
- BAYLEY P.B., 1991. The flood pulse advantage and the restoration of river floodplain systems. *Regul. Rivers: Res. Manag.*, 6: 75-86.
- BASTERRETXEA G., ORFILA A., JORDI A., LYNETT P., LIU P.L.F., DUARTE C.M., TINTORÉ J., 2004. Seasonal dynamics of microtidal pocket beach with *Posidonia oceanica* seabeds (Mallorca, Spain). *J. Coast. Res.*, 20 (4): 1155-1164.
- BETHOUX J.P., 1979. Budgets of the Mediterranean Sea. Their dependence on the local climate and on the characteristics of the Atlantic waters. *Oceanologica Acta*, 2 (2): 157-163.
- BETHOUX J.P., GENTILI B., 1998. Functioning of the Mediterranean Sea: past and present changes related to freshwater input and climate change. *J. Mar. Systems*, 557: 1-15.
- BOISSERY P., MARQUE A., GIOT H., LAGARRIGUE C., 2012. *Enrichissement en nutriments et en matière organique*. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse, Marseille.
- BOUDOURESQUE C.F., 2021. La biodiversité à Marseille : les herbiers à *Posidonia oceanica*, leur statut et les services qu'ils rendent. *Marseille, la revue culturelle de la ville de Marseille*, 270 : 49-51.
- BOUDOURESQUE C.F., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., THIBAUT T., VERLAQUE M., 2016. The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia*, 781: 25-42.
- BOUDOURESQUE C.F., PONEL P., ASTRUCH A., BARCELO A., BLANFUNÉ A., GEOFFROY D., THIBAUT T., 2017. The high heritage value of the Mediterranean sandy beaches, with a particular focus on the *Posidonia oceanica* 'banquettes': a review. *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park*, 31: 23-70.
- BRENNER J., JIMÉNEZ J.A., SARDÁ R., GAROLA A., 2010. An assessment of the non-market value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain. *Ocean Coast. Manag.*, 53: 27-38.
- BROSSET P., MÉNARD F., FROMENTIN J.M., BONHOMMEAU S., ULSÈS C., BOURDEIX J.H., BIGOT J.L., VAN BEVEREN É., ROOS D., SARAUX C., 2015. Influence of environmental variability and age on the body condition of small pelagic fish in the Gulf of Lions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 529: 219-231.
- BROSSET P., FROMENTIN J.-M., VAN BEVEREN E., LLORET J., MARQUES V., BASILONE G., BONANNO A., CARPI P., DONATO F., ČIKEŠ KEČ V., DE FELICE A., FERRERI R., GAŠPAREVIĆ D., GIRÁLDEZ A., GÜCÜ A., IGLESIAS M., LEONORI L., PALOMERA I., SOMARAKIS

- S., TIČINA V., TORRES B., VENTERO A., ZORICA B., MÉNARD F., SARAUX C., 2017. Spatio-temporal patterns and environmental controls of small pelagic fish body condition from contrasted Mediterranean areas. *Prog. Oceanogr.*, 151: 149-162.
- CANCEMI G., DE FALCO G., PERGENT G., 2003. Effects of organic matter input from a fish farming facility on a *Posidonia oceanica* meadow. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 56: 961-969.
- CANTASANO N., 2021. Deposition dynamics of *Posidonia oceanica* 'banquettes' on Calabrian sandy beaches (southern Italy). *Coasts*, 1: 25-30.
- CHEN C.T., BĂNARU D., CARLOTTI F., FAUCHEUX M., HARMELIN-VIVIEN M., 2019. Seasonal variation in biochemical and energy content of size-fractionated zooplankton in the Bay of Marseille (North-Western Mediterranean Sea). *J. Mar. Syst.*, 199 (103223): 1-14.
- CHEN C.T., CARLOTTI F., HARMELIN-VIVIEN M., GUILLOUX L., BĂNARU D., 2021. Temporal variation in prey selection by adult European sardine (*Sardina pilchardus*) in the NW Mediterranean Sea. *Prog. Oceanogr.*, 196 (102617): 1-13.
- COLLINS M., POULOS S., 2006. Fluvial sediment fluxes, in the Mediterranean and Black Seas, in relation to coastal evolution: a comparison. In: *Fluxes of small and medium-size Mediterranean rivers: impact on coastal areas. CIESM Workshop Monographs*, 30: 41-46.
- CRESSON P., LE DIRÉACH L., ROUANET É., GOBERVILLE E., ASTRUCH P., OURGAUD M., HARMELIN-VIVIEN M., 2019. Functional traits unravel temporal changes in fish biomass production on artificial reefs. *Mar. Environ. Res.*, 145: 137-146.
- CURRÁS A., GHILARDI M., PECHE-QUILICHINI K., FAGEL N., VACCHI M., DELANGHE D., DUSSOUILLEZ P., VELLA C., BONTEMPI J.M., OTTAVIANI J.C., 2017. Reconstructing past landscapes of the eastern plain of Corsica (NW Mediterranean) during the last 6000 years based on molluscan, sedimentological and palynological analyses. *J. Archaeol. Sci. : Rep.*, 12: 755-769.
- DARNAUDE A., 2003. *Apports fluviaux en zone côtière et réseaux trophiques marins benthiques : transfert de matière organique particulaire terrigène jusqu'aux poissons plats au large du Rhône*. Thèse Université Aix-Marseille II : 1-302 + Annexes non numérotées.
- DARNAUDE A.M., 2005. Fish ecology and terrestrial carbon use in coastal areas: implication for marine fish production. *J. Anim. Ecol.*, 74: 864-876.
- DE FALCO G., MOLINAROLI E., CONFORTI A., SIMEONE S., TONIELLI R., 2017. Biogenic sediments from coastal ecosystems to Beach-Dune Systems: implications for the adaptation of mixed and carbonate beaches to future sea level rise. *Biogeoscience Discussions*, 20: 1-27.
- DE LUCA M., CHAIALLAH A., ANDREUCCI S., COSSU G., SANTONASTASO A., SECHI D., STELLETTI M., PASCUCCI V., 2020. Seafloor map of the Alghero Bay (Sardinia, Italy). *J. Maps*, 16 (2): 669-679.
- DUPRÉ G., GIORGETTI J.P., 2005. Déluge et désolation. Histoire apocalyptique d'une crue centennale en Corse (1<sup>e</sup> partie). *Stantari*, 3 : 56-59.
- DUPRÉ G., GIORGETTI J.P., 2006. Déluge et désolation. Histoire apocalyptique d'une crue centennale en Corse (2<sup>e</sup> partie). *Stantari*, 4 : 57-61.
- EUROPEAN UNION, 2014. Regulation (EU) N° 1143/2014 of the European Parliament and the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. *Official J. Eur. Union*, L 317/36. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014R1143>.
- FAGET D., 2009. *Le milieu méditerranéen : conflits, usages et représentations. Le cas du golfe de Marseille (début XVIII<sup>e</sup>-début XX<sup>e</sup> siècles)*. Thèse Doctorat Université de Provence, Aix-en-Provence : 1-732.
- FEKETE A., SANDHOLZ S., 2021. Here comes the flood, but not failure ? Lessons to learn after heavy rain and pluvial floods in Germany 2021. *Water*, 13 (3016): 1-20.
- FEUILLOLEY G., FROMENTIN J.-M., STEMMANN L., DEMARCO H., ESTOURNEL C., SARAUX C., 2020. Concomitant changes in the environment and small pelagic fish community of the Gulf of Lions. *Prog. Oceanogr.*, 186 (102375): 1-12
- GARCIA N., RAIMBAULT P., GOUZE E., SANDRONI V., 2006. Fixation de diazote et production primaire en Méditerranée occidentale. *C.R. Biologies*, 329: 742-750.
- GRAVINA M.F., BONIFAZI A., DEL PASQUA M., GIAMPAOLETTI J., LEZZI M., VENTURA D., GIANGRANDE A., 2020. Perception of changes in marine benthic habitats: the relevance of taxonomic and ecological memory. *Diversity*, 12 (480): 1-15.
- HALIM Y., 1960. Observations on the Nile bloom of phytoplankton in the Mediterranean. *J. Cons. Intl. Explor. Mer*, 26: 57-67.
- HARMELIN-VIVIEN M., BĂNARU D., DIERKING J., HERMAND R., LETOURNEUR Y., SALEN-PICARD C., 2009. Linking benthic biodiversity to the functioning of coastal ecosystems subjected to river runoff (NW Mediterranean). *Anim. Biodiv. Cons.*, 32 (2): 135-145.
- HEDGES J.I., KEIL R.G., BENNER R., 1997. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? *Organic Geochemistry*, 27: 195-212.

- LAUBIER L., 2005. Mediterranean Sea and humans: improving a conceptual partnership. *In: The Mediterranean Sea. The handbook of environmental chemistry*. Hutzinger O. (édit): 3-27.
- LE BOURG B., BANARU D., SARAUX C., NOWACZYK A., LE LUHERNE E., JADAUD A., BIGOT J.L., RIVHARD P., 2015. Trophic niche overlap of sprat and commercial small pelagic teleosts in the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea). *J. Sea Res.*, 103: 138-146.
- LE MONDE, 2021. L'Union Européenne ne dissuade pas la surconsommation d'eau. [https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/09/29/agriculture-l-union-europeenne-ne-dissuade-pas-la-surconsommation-d-eau\\_6096375\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/09/29/agriculture-l-union-europeenne-ne-dissuade-pas-la-surconsommation-d-eau_6096375_3244.html)
- LÓPEZ M., LÓPEZ I., ARAGONÉS L., SERRA J.C., ESTEBAN V., 2016. The erosion of the east coast of Spain: wear of particles, mineral composition, carbonates and *Posidonia oceanica*. *Sci. Total Envir.*, 572: 487-497.
- LOTZE H.K., WORM B., 2009. Historical baselines for large marine animals. *Trends Ecol. Evol.*, 24 (5): 254-262.
- MARGIRIER F., TESTOR P., HESLOP E., MALLIL K., BOSSE A., HOUPERT L., MORTIER L., BOUIN M.N., COPPOLA L., D'ORTENZIO F., DURRIEU DE MADRON X., MOURRE B., PRIEUR L., RAIMBAULT P., TAILLANDIER V., 2020. Abrupt warming and salinification of intermediate waters interplays with decline of deep convection in the Northwestern Mediterranean Sea. *Scientific Reports*, 10 (10923): 1-11.
- MENDEZ S., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1997. Impact of fish farming facilities on coastal ecosystems. *In: Proceedings of the Third international Conference on the Mediterranean coastal Environment, MEDCOAST 97*, November 11-14, 1997, Malta, Ozhan E. (éd.): 197-211.
- MERZ B., APEL H., KREIBICH H., VOROGUSHYN, S., 2022. Disastrous flooding in July 2021 in Germany - Event analysis and consequences for risk assessment approaches. *In: IAHS-AISH Scientific Assembly 2022*, Montpellier, France, 29 May-3 Jun 2022.
- MILLOT C., TAUPIER-LETAGE I., 2005. Circulation of the Mediterranean Sea. *Handbook Envir. Chem.*, 5 (K): 29-66.
- MONNIER B., LAPAQUELLERIE J., BOUDOURESQUE C.F., CANTALOUBE F., MATEO M.Á., CLABAUT P., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2019. The *Posidonia oceanica* mat: a reservoir of environmental information. *In: Proceedings of the Fourteenth International MEDCAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation. MEDCOAST 2019*, 22-26 October 2019, Marmaris, Turkey, Özhan E. (éd.): 275-286.
- MOULLEC F., BENEDETTI F., SARAUX C., VAN BEVEREN É., SHIN Y.J., 2016. Climate change induces bottom-up changes in the food webs of the Mediterranean Sea. *In: The Mediterranean region under climate change*. Moatti J.P., Thiébaud S. (éds.), IRD Éditions, Marseille: 219-228.
- MUDELSEE M., BÖRNGEN M., TETZLAFF G., GRÜNEWALD U., 2003. No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. *Nature*, 425: 166-169.
- OCZKOWSKI A.J., NIXON S.W., GRANGER S.L., EL-SAYED A.F.M., MCKINNEY. R.A., 2009. Anthropogenic enhancement of Egypt's Mediterranean fishery. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 106: 1364-1367.
- OTERO M.M., SIMEONE S., ALJINOVIC B., SALOMIDI M., MOSSONE P., GERAKARIS V., GIUNTA FORNASIN M.E., MILANO P., HEURTEFEUX H., ISSARIS Y., GUIDO M., ADAMOPOULOU M., 2018. *POSBEMED : gouvernance et gestion des systèmes plages/dunes à posidonie. Rapport final*. IUCN publ., Malaga: 1-66 + Annexes.
- OURGAUD M., RUITTON S., BELL J., LETOURNEUR Y., HARMELIN-VIVIEN M., 2013. A 30-year study of seagrass bed fish fauna submitted to different wastewater treatments (Marseille, NW Mediterranean). *Rapp. Comm. Intl. Mer Médit.*, 40: 679.
- OURGAUD M., RUITTON S., BELL J., LETOURNEUR Y., HARMELIN J.G., HARMELIN-VIVIEN M., 2015. Response of a seagrass fish assemblage to improved wastewater treatment. *Mar. Pollut. Bull.*, 90: 25-32.
- PAGÈS R., BAKLOUTI M., BARRIER N., RICHON C., DUTAY J.C., MOUTIN T., 2020. Changes in rivers inputs during the last decades significantly impacted the biogeochemistry of the eastern Mediterranean basin: a modelling study. *Prog. Oceanogr.*, 181 (102242): 1-13.
- PASKOFF R., 1985. *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Masson publ., Paris : 1-188.
- PASKOFF R., 1993. *Côtes en danger*. Masson publ., Paris, Fr : 1-250.
- PAULY D., 1995. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends Ecol. Evol.*, 10 (10): 430.
- PAOLI C., MORTEN A., BIANCHI C.N., MORRI C., FABIANO M., VASSALLO P., 2016. Capturing ecological complexity: OCI, a novel combination of ecological indices as applied to benthic marine habitats. *Ecological Indicators*, 66: 86-102.
- PERSEUS-UNEP/MAP Report, 2015. *Atlas of riverine inputs to the Mediterranean Sea*. UNEP publ., Athens: i-viii + 1-33.
- POULOS S.E., COLLINS M.B., 2002. Fluvial sediment fluxes to the Mediterranean Sea: a quantitative approach and the influence of dams. *In: Sediment fluxes to basins: causes,*

- controls and consequences*. Jones S.E., Frostick L.E. (éds.), Geological Society, London, 191: 227-245.
- PROVANSAL M., SABATIER F., RACCASI G., MAILLET G., ANTONELLI C., FLEURY J., 2009. Apports sédimentaires du Rhône à la mer. Variabilité séculaire et impacts des aménagements. *In: Le Golfe du Lion. Un observatoire de l'environnement en Méditerranée*. Monaco A., Ludwig W., Provansal M., Picon B. (éds.), Editions Quae publ., Versailles : 301-313.
- RAIMBAULT P., GARCIA N., FORNIER M., LAFONT M., 2009. Evolution des apports en nutriments du Rhône à la Méditerranée. *In: Le Golfe du Lion. Un observatoire de l'environnement en Méditerranée*. Monaco A., Ludwig W., Provansal M., Picon B. (éds.), Editions Quae publ., Versailles : 91-104.
- RAIMBAULT P., BOUDOURESQUE C.F., BĂNARU D., JACQUET S., THIBAUT D., VICENTE N., GAZEAU F., LEMÉE R., ANDRAL B., GALGANO F., BOISSERY P., LARDIC J.C., 2021. Le milieu marin autour de Marseille. *In: Marseille & l'environnement. Bilan qualité et enjeux. Le développement durable d'une grande ville littorale face au changement climatique*. Guiot J., Mazurek H., Curt T., Raimbault P. (éds.), Presses universitaires de Provence, Aix-en-Provence : 171-256.
- RODELLAS V., GARCIA-ORELLANA J., MASQUÉ P., FELDMAN M., WEINSTEIN Y., 2015. Submarine groundwater discharge as a major source of nutrients to the Mediterranean Sea. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 112 (13): 3926-3930.
- RZÓSKA J., 1976. A controversy reviewed. *Nature*, 261: 444-445.
- SABATIER F., PROVANSAL M., 2002. La Camargue sera-t-elle submergée ? *La Recherche*, 355 : 72-73.
- SADAOUI M., LUDWIG W., BOURRIN F., RAIMBAULT P., 2016. Controls, budgets and variability of riverine sediment fluxes to the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea). *J. Hydrol.*, 540: 1001-1015.
- SÁENZ-ARROYO A., ROBERTS C.M., TORRE J., CARIÑO-OLVERA M., ENRÍQUEZ-ANDRADE R.R., 2005. - Rapidly shifting environmental baselines among fishers of the Gulf of California. *Proc. Roy. Soc. B*, 272: 1957-1962.
- SALEN-PICARD C., DARNAUDE A.M., ARLHAC D., HARMELIN-VIVIEN M., 2002. Fluctuations of macrobenthic populations: a link between climate-driven river run-off and sole fishery yields in the Gulf of Lions. *Oecologia*, 133: 380-388.
- SARAUX C., VAN BEVEREN E., BROSSET P., QUEIROS Q., BOURDEIX J.H., DUTTO G., GASSET É., JAC C., BONHOMMEAU S., FROMENTIN J.M., 2019. Small pelagic fish dynamics: a review of mechanisms in the Gulf of Lions. *Deep-Sea Res. Pt II*, 159: 52-61.
- SERANTONI É., 2015. La gestion des dépôts marins sur les plages de l'île de Porquerolles, située en zone coeur du Parc national de Port-Cros (Provence, France). *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park*, 29: 223-235.
- SHARAF EL DIN S.H., 1977. Effect of the Aswan High Dam on the Nile flood and on the estuarine and coastal circulation pattern along the Mediterranean Egyptian coast. *Limnol. Oceanogr.*, 22 (2): 194-207.
- SYVITSKI J.M.P., VÖRÖMARTY C.J., KETTNER A.J., GREEN P., 2005. Impact of humans on the flux of terrestrial sediments to the global coastal ocean. *Science*, 308: 376-380.
- THEWISSEN A., HRACHOWITZ M., BLOM A., 2022. Flood of July 13-15 2021: a new type of floods in Western Europe? *In: NCR days 2022n Anthropogenic Rivers*, TU Delft: 16-17.
- TURLEY C.M., 1999. The changing Mediterranean Sea - A sensitive ecosystem? *Prog. Oceanogr.*, 44: 387-400.
- VAN BEVEREN E., BONHOMMEAU S., FROMENTIN J.-M., BIGOT J.L., BOURDEIX J.H., BROSSET P., ROOS D., SARAUX C., 2014. Rapid changes in growth, condition, size and age of small pelagic fish in the Mediterranean. *Mar. Biol.*, 161: 1809-1822.
- VU M.T., 2018. *Une approche numérique pour la conception d'ouvrages de protection côtière au tombolo oriental de la presqu'île de Giens*. Thèse Université de Toulon : 1-393.
- WELCOMME R., HAGBORG D. 1977. Toward a model of floodplain fish population and its fisheries. *Envir. Biol. Fish.*, 2: 7-24.