

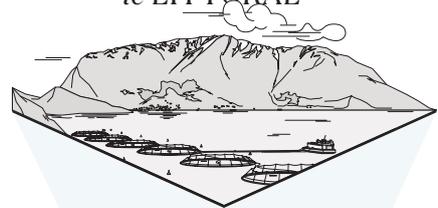


Le delta du Gange est recouvert par la réserve protégée des Sundarbans (vert foncé), gigantesque zone de mangroves et de marais, refuge de nombreuses espèces en danger. En vert clair, les zones d'agriculture et d'aquaculture. Photographié par le satellite Landsat 7 de la NASA, le 16 novembre 2000

DOSSIER

ENTRE TERRE ET MER

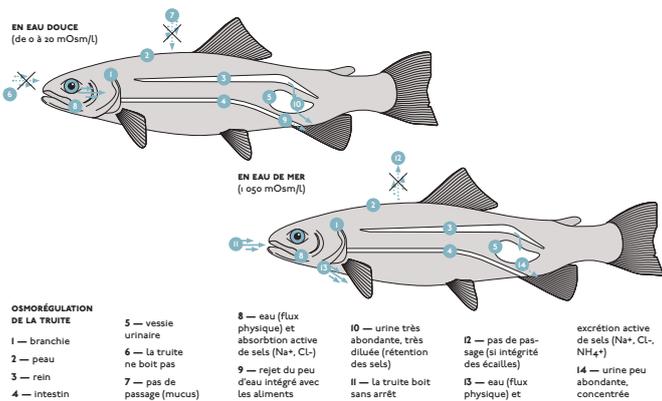
le LITTORAL



« J'ai vu des terres nées d'une plaine liquide ». Cette formule issue des Métamorphoses d'Ovide suggère l'idée du littoral où, il y a 450 millions d'années, la vie au grand air s'est modelée. Les régions côtières, qui abritent une biodiversité aussi riche que fragile, sont aujourd'hui gravement menacées par l'activité humaine. Gilles Boeuf revient en détail sur le rôle qu'a joué cet espace charnière dans l'évolution de la vie et de l'humanité.



Gilles Boeuf
Biologiste



LE LITTORAL EST CETTE MINCE BANDE DE TERRE JOUXTANT l'océan, entre terre et mer, à moitié sous l'eau et à moitié hors de l'eau. Le «supralittoral» est quasi constamment émergé mais baigné par les embruns et inondé durant les tempêtes et les marées* hautes de vives eaux. L'«infralittoral», quant à lui, correspond à une zone presque constamment immergée à l'exception des périodes de marée basse de vives eaux. On appelle zone intertidale la zone entre haute et basse mer, alternativement couverte et découverte.

Le littoral désigne un écosystème d'interface tout à fait extraordinaire, difficile à estimer en superficie puisque les limites, tant en mer que sur terre, sont établies de façon plus ou moins aléatoire. On avance le chiffre de 8 % de la surface du globe. Aujourd'hui, plus de la moitié des humains vivent à moins de 100 km de distance du rivage. On y dénombre la majorité des grandes métropoles du monde. Les prévisions indiquent un afflux de plus en plus fort des populations vers la mer, si bien qu'à l'horizon 2035, 75 % de la population mondiale pourrait vivre sur les littoraux.

Le littoral définit une frontière entre divers milieux, lesquels s'articulent sur deux plans. Sur le premier plan, de l'amont à l'aval, le littoral est la terminaison ultime des cours d'eau, là où ils se jettent à la mer via des estuaires, des embouchures, des deltas... S'y trouve la première barrière physique très forte : la salinité de l'océan. Si elle est stable au large, avec une moyenne de 35 grammes de sel par litre, elle se révèle beaucoup plus variable sur le littoral puisque l'eau douce des fleuves s'y jette. Le second plan correspond à l'interface eau/air : la vie y est passée de l'eau à l'air, évènement fondamental tant en physique qu'en physiologie.

PASSER DE L'EAU SALÉE À L'EAU DOUCE ET DE L'EAU À L'AIR

Sur notre planète, la vie est apparue dans l'océan, puis en est sortie, plusieurs fois, en différents endroits, à différentes époques, vers 1 milliard d'années pour les cyanobactéries, 450 millions d'années pour les plantes et les animaux. Ils ont dû s'adapter à l'air libre et à l'eau douce, et donc faire face à des milieux aux caractéristiques physiques très différentes. Ainsi, l'eau, molécule **très** extraordinaire, à l'origine de la vie, est environ soixante fois plus visqueuse que l'air, et huit cent cinquante fois plus dense. Elle est donc moins «pénétrable», mais aussi incompressible. Le sel, en dissolution dans l'eau de mer, développe une pression osmotique* qui provoque des contraintes physiologiques bien particulières. Des flux d'eau et de sels s'établissent entre les organismes et l'eau extérieure (voir le schéma). Pendant très longtemps (et toujours aujourd'hui, des éponges aux arthropodes), les animaux avaient la même pression osmotique dans leurs tissus et dans leur sang que celle que l'on retrouve dans l'eau de mer. Il leur était impossible de sortir de l'océan. Puis, certaines espèces, comme les crustacés, ont évolué pour atteindre une pression osmotique plus faible, la même que celle de l'humain actuellement, leur permettant alors de vivre dans l'eau saumâtre près des estuaires, puis en eau douce.

ILS ONT DÛ S'ADAPTER À L'AIR LIBRE ET À L'EAU DOUCE, ET DONC FAIRE FACE À DES MILIEUX AUX CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES TRÈS DIFFÉRENTES.

Quelles sont les contraintes de la respiration dans l'eau ? Beaucoup moins riche en oxygène que l'air, et subissant des niveaux variables en oxygène, compte tenu des effets de la température et des végétaux photosynthétiques, le milieu aquatique exige une dépense énergétique très importante aux organismes complexes afin d'en extraire l'oxygène. Alors que chez un mammifère, la capture d'oxygène ne coûte que 1 à 2 % de toute l'énergie dépensée, la proportion s'étend de 20 à 40 % chez un respirateur aquatique (hors cellule ou larve). La surface branchiale ne peut augmenter indéfiniment à cause des désordres hydrominéaux qui se produiraient (perte d'eau en mer par cette branchie, entrée d'eau chez un poisson* d'eau douce). La surface branchiale la plus grande se retrouve chez les thons avec environ 1,36 m² par kg de masse corporelle. Elle n'est que de 0,2 m² par kg chez les truites. Il faut aussi tenir compte du facteur écologique abiotique* qu'est la température, dont les effets sont aussi liés à la chaleur spécifique de l'eau*. La température varie considérablement moins dans l'eau que dans l'air. En effet, au cours d'une journée, la température de l'air peut fluctuer considérablement tandis que celle de l'eau de la rivière varie moins et celle de la mer beaucoup moins encore !

Lorsque la vie a quitté l'océan, elle a donc dû se conformer aux conditions de respiration en milieu aérien. Les animaux terrestres ont délaissé les branchies pour des poumons très efficaces, adaptés à un environnement où l'oxygène est abondant, et l'osmorégulation*, tout comme l'excrétion, se sont effectuées dès lors hors de l'eau. La poussée d'Archimède, si présente en milieu aquatique, a disparu et les squelettes, internes et externes, ont considérablement été modifiés. Pierre Dejours disait en 1991 «pour le physiologiste, la division des animaux en aquatiques et aériens est aujourd'hui fondamentale...». Bien que renforcés, ces derniers n'ont jamais pu être aussi grands et lourds que les animaux marins, notamment les baleines.

Toutes ces évolutions ont eu lieu sur le littoral, faisant de ce milieu le théâtre d'une révolution biologique sans précédent.

BIODIVERSITÉ LITTORALE

La biodiversité littorale est très riche. C'est le milieu marin qui compte le plus grand nombre d'espèces en raison des apports terrigènes (la terre apportée à la mer) qui «fécondent» les eaux marines plus pauvres. Les zones humides littorales, concernées par la Convention internationale RAMSAR (Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau), jouent un rôle déterminant sur les équilibres côtiers et les frayères de juvéniles et d'alevins. Certaines espèces de mollusques et de poissons sont capables de migrer vers l'amont de l'estuaire et de supporter des dessalures. Les grands migrateurs peuvent quant à eux remonter entièrement en eau douce parfois sur un millier de kilomètres, comme le saumon de l'Allier en France.

C'est aussi non loin des zones littorales, dans la partie immergée, que se développent trois des écosystèmes marins essentiels, parmi les plus productifs au monde : les récifs coralliens, les mangroves et les herbiers de phanérogames marines (posidonies, zostères...).

Les récifs coralliens

Les coraux font partie des plus anciens groupes d'animaux de la planète, apparus au Cambrien, il y a plus de 500 millions d'années. Alors qu'ils ne représentent en superficie pas plus de 1 % de la surface totale de l'océan et des mers, ils abritent plus de 30 % de toutes les espèces qui y sont connues, soit près de 100 000 sur un peu moins de 300 000 espèces décrites en milieu océanique. Des milliers d'espèces de coraux, de mollusques, de crustacés, d'échinodermes et d'autres groupes d'invertébrés

POISSONS MIGRATEURS

Les espèces migratrices de poissons allant de l'eau douce à l'eau de mer, et inversement, ont développé des performances extraordinaires dont l'étude a permis de mettre en avant le rôle essentiel des littoraux. Il s'agit des espèces eurhalines* qui vont pondre en mer, dites

«thalassotoques», telles que les anguilles, muges, bars, flets ; et de celles qui à l'inverse viennent pondre en eau douce, dites «potamotokes», comme les truites, les saumons, les esturgeons, ou encore les aloses... Ces poissons migrateurs ne représentent qu'environ 1 % des 35 000 espèces de poissons, et tous, à un moment de leur cycle de vie (au moins deux fois) passent par le littoral.

LES CORAUX FONT PARTIE
DES PLUS ANCIENS GROUPES

D'ANIMAUX DE LA PLANÈTE,
APPARUS AU CAMBRIEN, IL Y A
PLUS DE 500 MILLIONS
D'ANNÉES.

marins moins connus (ascidies, cnidaires et cténaïres, annélides, nématodes, brachiopodes, chaétognathes...) s'y abritent aujourd'hui. On peut comparer cet écosystème à la forêt tropicale humide. Le corail de surface est une association symbiotique entre l'individu de base, le polype de cnidaire, et des microalgues zooxanthelles photosynthétiques. Comme chez beaucoup d'invertébrés marins, de nombreuses bactéries sont également présentes dans l'association. Ils peuvent constituer les plus grandes structures vivantes sur la Terre, comme la grande barrière de corail à l'est de l'Australie, ou le grand récif du lagon de Nouvelle-Calédonie.

Les écosystèmes coralliens sont aujourd'hui menacés par l'acidification de l'océan (+ 30 % en 250 ans), la hausse des températures de surface due au changement climatique, les tempêtes qui sont de plus en plus violentes, la montée du niveau de la mer, la pollution, la destruction pure et simple et les techniques de pêches catastrophiques, en particulier celles reposant sur le cyanure ou la dynamite. Par ailleurs, le phénomène très préoccupant du blanchiment du corail s'accroît depuis une quarantaine d'années. Ce blanchiment correspond à une dissociation des microalgues symbiotiques, et est sans nul doute lié à ces mêmes menaces.

Corail (*Acropora*) blanchi, 2016



Les mangroves

La mangrove est un écosystème de marais maritimes se développant dans la zone de balancement des marées et abritant des espèces ligneuses. Les plus célèbres sont les fameux arbres palétuviers, avec leurs racines aériennes «échasses» et leurs pneumatophores*. La mangrove prolifère dans des zones calmes, peu profondes, et occupe les trois-quarts des côtes et deltas des régions tropicales, assurant une excellente protection contre l'érosion du trait de côte* et la montée des eaux. Mangroves et coraux avaient d'ailleurs joué un rôle primordial dans la protection du littoral et des populations lors du grand tremblement de terre de Sumatra en 2004.

Elle couvre une superficie d'environ 150 000 km² sur notre planète et se situe le long des zones côtières intertropicales. C'est un milieu de vie très particulier où les plantes sont adaptées au sel, au jeu des marées, à une faible oxygénation du sol, à la conservation de l'eau douce, à la chaleur et à l'acidification. De très nombreuses espèces s'y réfugient. C'est le royaume du tigre du Bengale dans les Sundarbans en Inde et au Bangladesh, des singes nasiques à Bornéo, et de manière plus générale d'une multitude d'oiseaux, invertébrés, crustacés, mollusques mais aussi de poissons très convoités. De nombreuses menaces pèsent sur la mangrove, et en particulier leur destruction systématique pour les transformer en marais salants ou en bassins d'élevage de crevettes. La crevetteculture (production de gambas) s'est ainsi développée en Chine, en Thaïlande, en Indonésie, au Panama, au Costa Rica, au Pérou, au Mexique, en Équateur, en Inde, ou encore à Madagascar. Des millions d'hectares ont déjà disparu en 40 ans. Il est grand temps de réagir!

L'étoile de mer épineuse *Acanthaster planci* à La Réunion, 2014



Les herbiers

Les phanérogames marines font partie des plantes supérieures ou cormophytes (par opposition aux algues ou thallophytes) se développant dans des environnements côtiers peu profonds ou formant les fameux « herbiers », véritables prairies ou forêts sous-marines. Ils abritent une biodiversité importante et spécifique. Ils servent aussi de nourriture à certaines tortues marines. Ce sont des plantes à fleurs pollinisées par de petits crustacés ou poissons. Elles ont une très forte productivité, à l'image des célèbres posidonies de la mer Méditerranée. Ce sont également d'extraordinaires puits de carbone : leur capacité à le stocker est largement supérieure à celle des forêts tropicales. Elles jouent donc un rôle essentiel dans la réduction des effets du changement climatique. Les

La grande barrière de corail, en Australie, partie nord. Photographie prise depuis l'ISS, le 14 septembre 2003



herbiers sont aussi directement menacés par les activités humaines : surpêche, arrachage par les ancres, pollution, destruction pour construire des ports, augmentation de la violence des tempêtes, excès d'eutrophisation* et d'apports de nutriments favorisant la croissance des épiphytes* qui se fixent et grandissent sur les feuilles. Les directives européennes « habitats, faune, flore » interdisent la destruction des herbiers et permettent ainsi de mieux préserver ces écosystèmes très importants.

LE POISSON
DIABLE

C'est également sur le littoral que nous allons rencontrer certaines espèces qui fleurissent avec la physiologie de l'extrême ! Pensez à un petit « poisson diable », un gobie. Le voici à marée haute, sur une plage bretonne, en eau salée, froide et très concentrée en

oxygène. Puis pris au piège à marée basse dans un trou d'eau alimenté par un petit ruisseau venant du rivage, il passe en milieu très dessalé, chaud, avec peu ou pas d'oxygène durant la nuit et qui plus est dans un milieu plus acide qu'en mer ! Et il résiste à un tel traitement deux fois par jour ! C'est là toute la stratégie développée par les espèces littorales.

L'HOMME ET LE LITTORAL

Partout dans le monde, l'afflux humain tend à s'orienter de plus en plus vers les zones littorales, ce qui cause des problèmes environnementaux majeurs. Les littoraux supportent aujourd'hui des agressions permanentes sur lesquelles il faut se pencher beaucoup plus sérieusement. On peut ainsi citer :

1. la destruction systématique des rivages, urbanisation, artificialisation, disparition des plages (cas de l'Espagne, de l'Italie, de la France méditerranéenne, de la Croatie aujourd'hui) ;
2. la pollution généralisée, macro et micro-déchets, métaux lourds, matières plastiques, perturbateurs endocriniens... Les pollutions agricole et industrielle, issues de l'intérieur des terres, rejoignent, tôt ou tard, le littoral ;
3. la surexploitation des stocks halieutiques ;
4. la dissémination d'espèces, bien souvent par les ports : le petit *Ditropa arietina*, un ver marin dans le Golfe du Lion qui s'est mis à proliférer, plus de 400 espèces entrées en Méditerranée par le canal de Suez, dites « les-sepsiennes » ou érythréennes, venues de la mer Rouge,

Aquaculture dans le barrage de Seyhan, à Adana, en Turquie, 2016



d'autres par Gibraltar comme les dorades coryphènes ou les barracudas, le poisson-lion en mer des Caraïbes, les algues sargasses, les gastropodes crépidules dans la baie du Mont-Saint-Michel, venues avec les péniches du débarquement de 1944 en Normandie, sans oublier les millions de micro-organismes, de spores et de larves contenus dans les eaux de ballast des grands tankers ;

5. le changement climatique, dans lequel l'humain a bien sa part de responsabilité, qui affecte particulièrement la zone côtière : augmentation des températures de surface de l'océan, salinisations localement excessives, hypoxies*, hausse du niveau général de l'océan (7 cm en 26 ans).

C'est également sur les rivages que l'aquaculture s'est développée il y a plus de 4 000 ans en Égypte et en Chine. Elle produit aujourd'hui, en valeur, 165 milliards de dollars, contre 150 pour la pêche. Son volume se révèle également plus important si l'on inclut l'ensemble des productions en eau douce, en eau saumâtre et en eau de mer. L'aquaculture en mer, côtière, a fortement progressé ces quarante dernières années, essentiellement avec des productions d'algues (27 millions de tonnes – mt – en 2014), de mollusques diversifiés (16 mt, huîtres, moules, palourdes, coquilles Saint-Jacques), de crustacés (6 mt, crevettes, gambas) et de poissons (50 mt, saumon, truite,

bar, daurade, sériole, poisson-lait...). Cette activité a, elle aussi, entraîné de graves nuisances aux littoraux (destruction de la mangrove, pollutions, dissémination d'espèces...).

Son avenir sera lié à la capacité des éleveurs à arrêter la destruction systématique des littoraux (30 % de la mangrove en 40 ans), à modifier l'alimentation des poissons carnivores pour qu'ils émettent moins de phosphore et d'azote dans l'environnement côtier, à diminuer la pollution liée à l'intensification des élevages et à arrêter les disséminations d'espèces : la coquille Saint-Jacques bretonne au Pérou, le saumon atlantique norvégien au Chili, le turbot européen et les crevettes mexicaines en Chine, la crevette impériale japonaise en mer Rouge...

L'élevage d'espèces carnivores, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, pose de sérieuses questions d'allocation des ressources. Il faut 3,5 kg d'anchois ou de sardines pour produire, en alimentation sèche (granulés), 1 kg de saumon ou de turbot. En aliment frais (poisson broyé) ce sont 6 à 7 kg, et pour un thon 12 kg ! L'aquaculture demeure toutefois une excellente activité pour fournir à l'humanité les ressources vivantes dont elle a besoin, pallier la surpêche généralisée, organiser des marchés sur des bases plus solides que ce que l'on peut faire avec les seules captures par pêche, aldatatoires, et enfin fixer des populations actives sur le littoral, dont des femmes, très peu représentées dans le secteur de la pêche.

CONCLUSION

Depuis que l'eau s'est formée sur la Terre, résultant de milliards d'impacts de météorites, et que l'océan s'y est déployé, des zones de contacts entre terre et mer sont apparues : les littoraux, supportant les rivages. D'abord barrière infranchissable qui interdisait à la biodiversité de partir à la conquête des terres émergées, les littoraux ont ensuite été le lieu de multiples adaptations et métamorphoses des organismes lors de la « sortie des eaux ». De la conquête des eaux douces à la respiration aérienne en passant par la conservation, la récupération de l'eau et l'excrétion sans eau, il aura aussi fallu développer la thermorégulation* à laquelle participent les cuticules* et les phanères* pour éviter les pertes d'eau, s'adapter aux variations de température et résister aux rayonnements, notamment aux ultraviolets, en milieu aérien.

Enfin, n'oublions pas que la pression osmotique du sang humain, et donc sa salinité, correspond à celle d'une eau estuarienne, saumâtre, que l'on retrouve sur les zones littorales. En cela, inéluctablement, l'être humain se trouve lié à ces points déterminants du vivant sur la Terre, au rôle fondamental de l'eau liquide, à la physico-chimie subtile de ces écosystèmes littoraux, à la fois charnières et barrières. Ces milieux très fragiles sont aujourd'hui gravement menacés, il nous appartient plus que jamais de les préserver. ^

* GLOSSAIRE

Abiotique : se dit d'un facteur écologique physique, indépendant du vivant, que celui-ci subit.

Chaleur spécifique de l'eau (ou capacité thermique massique) : énergie qu'il faut fournir à un kilogramme d'eau pour augmenter sa température de 1°C. Elle est considérablement plus élevée que celle de l'air.

Cuticule : revêtement protecteur sur la peau des organismes, couche sécrétée par l'épiderme.

Euryhalin : se dit d'un organisme qui supporte différentes salinités pouvant par exemple vivre en eau douce ou en eau de mer. Équivalent de amphihalin.

Épiphyte : plante qui pousse sur une autre plante comme support.

Eutrophisation : processus par lequel des nutriments s'accumulent dans les écosystèmes.

Hypoxie : faible niveau d'oxygène, certains fonds côtiers de la mer Baltique subissent ce phénomène. Cela peut conduire à l'anoxie, à savoir la privation totale d'oxygène, autrement nommée « zone morte ».

Marée : variation de la hauteur du niveau des mers et de l'océan, causée par l'effet conjugué des forces de gravitation de la Lune et du Soleil, et de la force d'inertie due à la révolution de la Terre autour du centre de gravité du système Terre-Lune.

Osmorégulation : régulation du métabolisme de l'eau et des sels, particulièrement fondamentale en milieux aquatiques.

Phanère : tissu produit par la peau, écailles, poils, plumes...

Pneumatophore : excroissance aérienne des racines de plantes pour respirer dans des milieux inondés.

Poisson : vocable général correspondant aux animaux vertébrés aquatiques à nageoires et à écailles (la plupart) qui possèdent une branchie et respirent dans l'eau. Certains peuvent aussi respirer par la peau ou tirer leur oxygène de l'air.

Pression osmotique : pression minimale qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée vers une solution plus concentrée à travers une membrane biologique semi-perméable, parfois utilisée pour mesurer la quantité de sels ou de sucre.

Thermorégulation : mécanisme se rapportant aux animaux homéothermes, qui permet de maintenir la température corporelle constante, quelles que soient les fluctuations extérieures de la température. On le trouve essentiellement chez les oiseaux et les mammifères, mais certaines espèces aquatiques comme les grands pélagiques (espadons, grands requins, thons, marlins, voiliers) peuvent conserver localement une part de la chaleur qu'ils produisent.

Trait de côte : ligne qui marque le niveau des plus hautes mers par temps calme.

À LIRE

- Boeuf, G. *La biodiversité de l'océan à la cité*, « Leçons inaugurales », Paris, Fayard / Collège de France, 2014

- Ouvrage collectif, *L'océan à découvrir*, CNRS Éditions, 2017

- « Évolution systématique et de la biodiversité des environnements côtiers et littoraux sous la pression du changement climatique, des facteurs naturels et anthropiques locaux », Actes du colloque coast, Bordeaux, 7-10 novembre 2017. À paraître.