

Déferlantes d'invasions dans les milieux marins

Sillonnés de navires, exploités par l'aquaculture, connectés par des canaux, les mers et les océans forment un vaste réseau communicant.

Un bonheur pour les espèces invasives...

Frédérique VIARD
travaille au Laboratoire
Adaptation et diversité
en milieu marin (UPMC-CNRS),
à la Station biologique
de Roscoff.

Thierry COMTET
travaille au Laboratoire
Adaptation et diversité
en milieu marin (UPMC-CNRS),
à la Station biologique
de Roscoff.

L'ESSENTIEL

➔ Les milieux marins sont fortement envahis par des espèces exotiques, et le phénomène s'accélère avec la mondialisation.

➔ Ces espèces sont introduites dans de nouvelles régions par des moyens divers, les principaux étant le transport maritime, en particulier au sein des eaux de ballast, et l'aquaculture.

➔ Pour une même espèce, les arrivées sont souvent multiples, via plusieurs vecteurs. Cela rend les introductions en milieu marin très difficiles à contrôler.

Près de deux tiers de la population mondiale vit à moins de 80 kilomètres des côtes.

Une telle présence n'est pas sans conséquence : la pêche, l'aquaculture, les aménagements littoraux, mais aussi la pollution, menacent les écosystèmes marins en zone côtière. Bien que moins médiatisées, les introductions d'espèces exotiques sont aussi un risque majeur pour la biodiversité et le fonctionnement de ces écosystèmes. L'algue *Caulerpa taxifolia*, par exemple, a complètement transformé le paysage sous-marin de certaines régions méditerranéennes. L'impact peut également être économique : venu de l'Atlantique Nord, le cténophore *Mnemiopsis leidyi*, un organisme à l'allure de méduse friand de zooplancton, a ainsi été introduit dans la mer Noire et est entré en compétition pour la nourriture avec les anchois, dont il a fait chuter la population ; le coût pour les pêcheries locales est estimé à 350 millions d'euros. Enfin, certaines espèces invasives marines, notamment les espèces phytoplanctoniques toxiques, affectent la santé humaine.

Les processus d'introduction par des transferts longue distance, intentionnels ou accidentels, court-circuitent les phénomènes naturels de dispersion des espèces. Ces processus existent-ils depuis que l'homme traverse les océans ? L'absence d'inventaires faunistiques et floristiques anciens ne permet pas d'estimer quantitativement l'importance des transferts passés, mais des études suggèrent quelques cas d'introductions anciennes, comme celle du mollusque *Mya arenaria*, ramené en Europe par les navires vikings de retour d'Amérique. Depuis la fin du XIX^e siècle, en revanche, des inventaires menés dans de nombreuses régions côtières fournissent une ample documentation. Celle-ci révèle une augmentation rapide du nombre d'espèces marines introduites et invasives. Le long des côtes atlantiques européennes, 50 pour cent des introductions d'algues et de plantes marines ont eu

lieu après 1960. Dans la baie de San Francisco, en Californie, Andrew Cohen et James Carlton ont montré qu'en moyenne le rythme d'introduction était d'une espèce toutes les 55 semaines avant 1960, et d'une toutes les 14 semaines depuis cette date.

La prise de conscience des risques liés aux invasions biologiques est relativement récente. De nombreuses conventions internationales soulignent la nécessité de les contenir, comme celle de Montego Bay, signée en 1982, qui stipule : « Les États prennent toutes les mesures nécessaires pour prévenir, réduire et maîtriser [...] l'introduction intentionnelle ou accidentelle en une partie du milieu marin d'espèces étrangères ou nouvelles pouvant y provoquer des changements considérables ou nuisibles. » Pourtant, cela n'a pas permis de réduire l'ampleur des invasions. De nouvelles espèces parviennent encore à franchir les mailles du filet, comme les algues invasives *Undaria pinnatifida* et *Caulerpa taxifolia*, arrivées en Californie en 2000. Une étude récente de Jennifer Molnar, du Conservatoire de la nature américain, et de ses collaborateurs a montré qu'au moins une espèce invasive était présente dans 84 pour cent des 232 écorégions marines – une écorégion étant une zone abritant un assemblage d'espèces différent de celui des zones voisines. Comment expliquer une telle colonisation massive ?

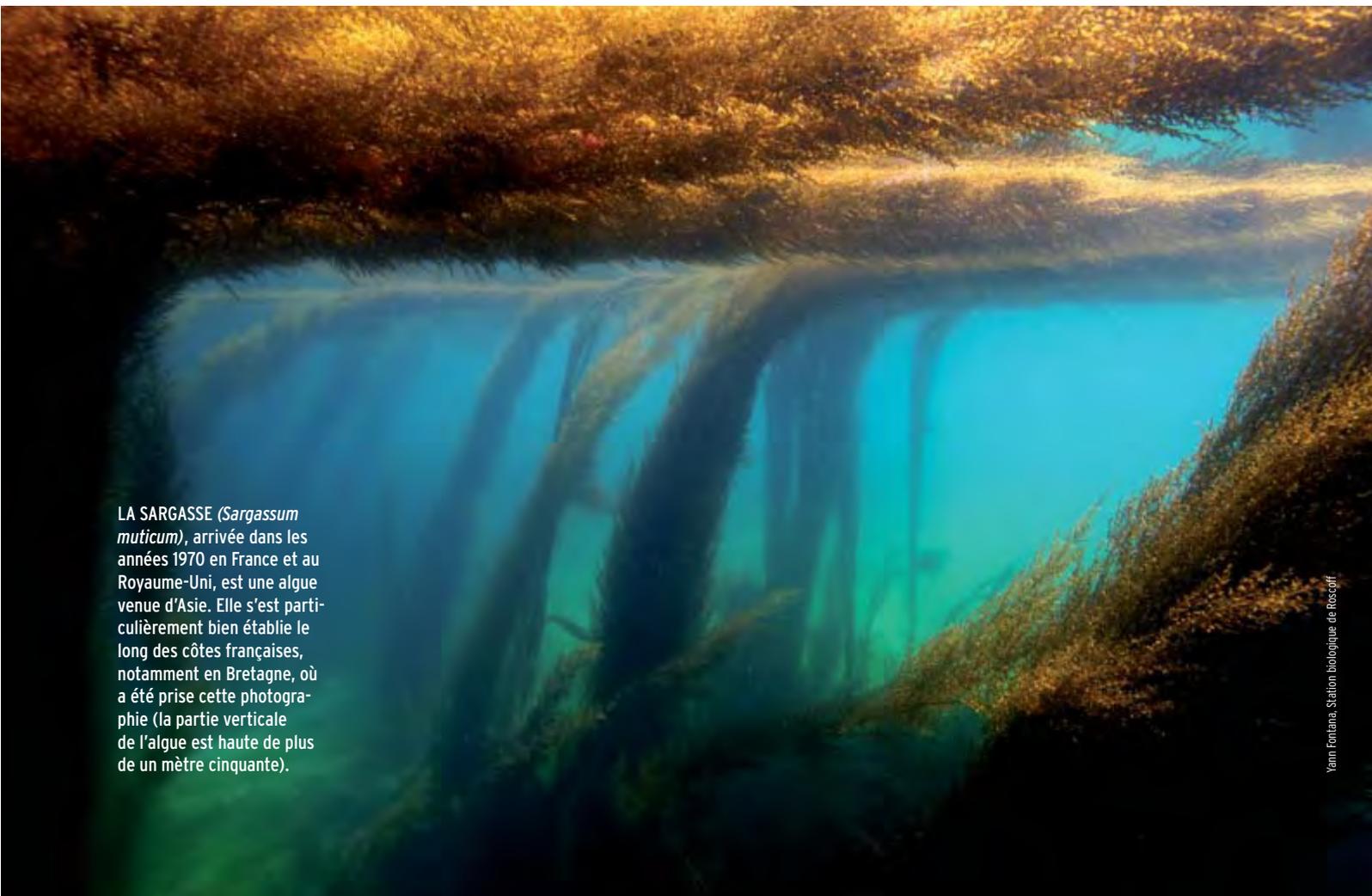
Les clés du succès

Les facteurs conduisant au succès ou à l'échec d'une introduction sont multiples et difficiles à déterminer. Pour caractériser les chances de succès, on définit une pression d'introduction, dite « pression en propagules », une propagule étant tout ou partie d'un organisme capable de réaliser un cycle de reproduction. Cette pression synthétise différents facteurs : le nombre de propagules incluses dans chaque événement d'introduction, le nombre et la fréquence de ces événements,



Yann Fontana, Station biologique de Roscoff

LE WAKAME (*Undaria pinnatifida*) est cultivé en Asie pour l'alimentation humaine. Il s'est répandu dans de nombreux océans en moins de 30 ans, suite à des introductions intentionnelles et accidentelles. Assez discret en Europe, il y est tout de même bien établi depuis la Méditerranée jusqu'à la mer du Nord, où il coexiste avec les espèces locales. Il abonde en particulier dans les ports, marinas et autres structures artificielles de l'Atlantique et de la Manche.



LA SARGASSE (*Sargassum muticum*), arrivée dans les années 1970 en France et au Royaume-Uni, est une algue venue d'Asie. Elle s'est particulièrement bien établie le long des côtes françaises, notamment en Bretagne, où a été prise cette photographie (la partie verticale de l'algue est haute de plus de un mètre cinquante).

Yann Fontana, Station biologique de Roscoff

et l'existence éventuelle de sites d'introduction privilégiés. Or en milieu marin côtier, la pression en propagules est souvent élevée, en raison notamment des particularités des vecteurs de transmission impliqués.

Le premier de ces vecteurs est le transport maritime de marchandises. En effet, les zones proches des grands ports de commerce abritent beaucoup d'espèces introduites. De plus, on a montré l'existence de « corridors d'invasions » superposés aux voies commerciales maritimes ; par ces dernières, véritables autoroutes des océans, transitent aujourd'hui plus de 90 pour cent des marchandises transportées entre les différents continents, selon les chiffres de l'*International Maritime Organization* publiés en 2008. L'un des corridors d'invasion s'étend ainsi entre l'Atlantique Nord-Ouest et les

habitats côtiers de la Grande-Bretagne ; 20 pour cent des introductions dans les eaux britanniques auraient emprunté cette voie. Un autre, allant des ports de l'Est asiatique à la baie de San Francisco, aurait été suivi par 20 pour cent des 234 espèces exotiques qui prospèrent dans cette baie. L'accélération récente des échanges commerciaux par voie maritime s'est accompagnée de celle des introductions biologiques dans les eaux marines côtières, ainsi que dans les mers intérieures et quelques grands lacs.

Comment les organismes vivants « prennent-ils le bateau » ? Certains pratiquent le « fouling », c'est-à-dire qu'ils se fixent sur la coque (voir la figure page 25), tandis que d'autres sont emportés au sein des eaux de ballasts (voir l'encadré ci-dessous). Les navires marchands ou militaires sont les princi-

Le transport par les eaux de ballast

Les ballasts sont des compartiments indispensables à l'équilibre des navires. À l'origine, ils étaient remplis de sable et de roches. L'apparition de bateaux en acier à la fin du XIX^e siècle a permis l'utilisation de lest sous forme liquide, comme l'eau de mer, facilitant les opérations de ballastage et de déballastage (de remplissage et de vidange des réservoirs). Cela explique en partie l'accélération du rythme des introductions d'espèces marines. Il a toutefois fallu attendre le milieu des années 1980 et les travaux de J. Carlton pour que le rôle des eaux de ballasts dans le transfert d'espèces soit reconnu.

Tous les organismes en suspension dans l'eau (qualifiés de « pélagiques ») sont susceptibles d'être aspirés : virus, bactéries, champignons, plancton (animal ou végétal), petits poissons, etc. Des organismes vivant sur le fond des mers peuvent aussi être entraînés, si le remplissage se fait à faible profondeur. Dans les ballasts, une partie des particules pompées se déposent, formant des sédiments riches en micro-organismes.

Certains de ces passagers clandestins ne survivent pas au transport. Les espèces photosynthétiques, par exemple, souffrent de l'absence de lumière. Toutefois, de nombreux organismes résistent à plusieurs jours, voire plusieurs semaines de voyage. On a par exemple retrouvé vivants de petits crustacés *Corophium acherusicum* après 116 jours de confinement dans un ballast. Il arrive même que le nombre d'individus augmente : un autre petit crustacé, *Tisbe graciloides*, dont le temps de génération est très court, s'est ainsi reproduit au sein des eaux de ballast, multipliant sa concentration par 100 lors d'une traversée de 20 jours.

Quelles mesures ?

On a testé plusieurs techniques pour diminuer les introductions biologiques par les eaux de ballasts : ces techniques sont fondées sur des traitements chimiques (chloration, traitement au peroxyde d'hydrogène, désoxygénation, ozonation) et physiques

(choc électrique, chaleur, ultraviolet, microfiltration), ou sur l'échange en pleine mer des eaux de ballast. Elles ont des conséquences économiques (liées notamment à l'immobilisation des navires), environnementales, et sur la sécurité des personnels. Leur efficacité dépend des organismes ciblés, et aucune d'elles ne peut garantir l'absence de risque. Le choix entre ces différents traitements est fonction du rapport coûts-efficacité. L'échange en pleine mer, réalisable par la plupart des navires actuels, est l'option la moins coûteuse. Cette méthode s'est avérée très efficace dans le cas de navires faisant la liaison avec des ports situés en eau douce, comme ceux qui relient les Grands Lacs, entre les États-Unis et le Canada, à l'Europe de l'Ouest. C'est pourquoi elle est préconisée par la convention BWM (*Ballast Water Management*) de l'IMO (*International Maritime Organization*), adoptée en février 2004.

La convention BWM offre un cadre solide pour la mise en place de mesures préventives à l'échelle internationale. Répondant à la norme BWE (*Ballast Water Exchange*), elle implique l'échange d'au moins 95 pour cent du volume

des eaux de ballast à au moins 200 milles nautiques (370 kilomètres) d'une côte et dans une zone où la profondeur est d'au moins 200 mètres. Elle inclut aussi la norme BWPS (*Ballast Water Performance Standard*), qui fixe des limites au nombre d'organismes viables rejetés avec les eaux de ballast ; cette norme sera applicable lorsque les nouveaux navires intégreront des systèmes de traitement des eaux, c'est-à-dire entre 2010 et 2016 selon les bateaux.

Reste à faire entrer la convention BWM en vigueur, ce qui n'est pas encore le cas. Pour cela, il faudrait 30 pays signataires, et à l'heure actuelle, seuls 18 pays ont ratifié cette convention, dont quatre seulement sur le continent européen (Espagne, France, Albanie et Norvège). Il n'y a donc pour l'instant aucune législation internationale. Des initiatives régionales ou nationales existent tout de même, par exemple en Californie, au Canada ou au Brésil.



NBIC

Yann Fomana, Station biologique de Roscoff



LA CRÉPIDULE (*Crepidula fornicata*) est une experte en invasions. Les larves, en suspension dans l'eau, peuvent être transportées dans les ballasts. Les organismes juvéniles et les adultes, qui vivent sur le fond des mers, se fixent, souvent par grappes, sur les coques des bateaux et sur les bivalves d'intérêt commercial, comme les huîtres. Cette espèce étant hermaphrodite séquentielle (les individus sont d'abord mâle, puis femelle), l'introduction de quelques mâles seulement permet la reproduction. Dernier atout, les larves sont incubées quelque temps par la femelle; fécondée dans son milieu natal, elle transporte des milliers de petits colonisateurs prêts à conquérir le nouvel environnement.

paux responsables des transferts d'espèces, mais les bateaux de plaisance jouent aussi un rôle, principalement par le fouling. À l'heure actuelle, 45 000 cargos et des centaines de milliers de navires de plaisance font route autour du monde, causant près de 70 pour cent des invasions en milieu marin. Environ 3,5 milliards de tonnes d'eau de ballast, contenant de 7 000 à 10 000 espèces selon les estimations, transitent ainsi quotidiennement sur les océans du globe. Si l'on se restreint à l'Europe, une étude menée sur 550 navires entre 1992 et 2000 a permis d'identifier près de 1 000 espèces. Lors de chaque opération de déballastage, des milliards d'organismes sont rejetés dans les eaux côtières.

Des vecteurs multiples

Malgré son importance, le transport maritime n'est pas l'unique vecteur d'introduction d'espèces exotiques en milieu marin. L'aquaculture joue en effet un rôle prépondérant, avec des introductions intentionnelles pour la mise en place de nouvelles filières aquacoles, mais aussi accidentelles par l'introduction d'espèces associées à celles que l'on souhaite cultiver. Originnaire du Pacifique Nord-Ouest, l'huître creuse *Crassostrea gigas* a ainsi été implantée à des fins d'élevage dans différentes régions du monde, telles que la côte Ouest des États-Unis et l'Ouest de l'Europe (Méditerranée, Atlantique Nord-Est, Manche, mer du Nord, etc.). Outre sa prolifération hors des sites d'élevage, cette huître a été le « cheval de Troie » de nombreuses espèces associées, appartenant à des groupes taxonomiques variés. En France, par exemple, l'algue *Sargassum muticum*, le gastéropode *Crepidula fornicata* et l'ascidie *Styela clava*, introduits par ce biais, sont aujourd'hui bien établis, voire proliférants.

Notons qu'en plus de l'introduction initiale des espèces, dite « introduction primaire », les trans-

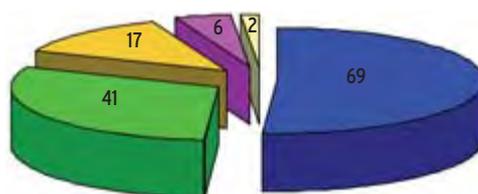
ports maritimes et l'aquaculture permettent aussi leur expansion au sein des nouvelles régions, à travers la navigation régionale et les échanges entre bassins aquacoles.

D'autres voies de transfert complètent ce réseau complexe (voir la figure ci-dessous), notamment les canaux. L'ouverture du canal de Suez en 1869 a ainsi provoqué le passage de nombreuses espèces de la mer Rouge vers la Méditerranée (on parle d'espèces « lessepsiennes », du nom de Ferdinand de Lesseps, qui fit creuser le canal), comme la plante marine *Halophila stipulacea* ou le poisson lapin *Siganus luridus*.

Les aquariums privés et publics jouent aussi parfois un rôle, en accueillant les pionniers des envahisseurs, comme lors de l'introduction de l'algue verte *Caulerpa taxifolia* (voir l'encadré page 24).

L'introduction d'une espèce n'est pas nécessairement liée à un seul vecteur : plusieurs d'entre eux peuvent être impliqués au sein d'une même région d'introduction, et les vecteurs impliqués peuvent être incriminés pour une même introduction, et les vecteurs d'une espèce donnée peuvent être différents selon la région d'introduction. J. Carlton a montré que le nombre de vecteurs potentiels d'introduction du crabe européen *Carcinus maenas* le long des côtes d'Amérique du Nord est passé de deux (ballasts et fouling sur les navires) au XIX^e siècle à plus de dix en 2000 : ces crabes sont en effet de plus en plus utilisés, notamment par l'industrie alimentaire, la pêche

LES VECTEURS D'INTRODUCTION utilisés par 329 espèces exotiques en milieu marin sont représentés en pourcentage. La somme de ces derniers est supérieure à 100, car certaines espèces sont introduites par plusieurs vecteurs.



- **Trafic maritime**, par les eaux de ballasts ou la fixation sur les navires.
- **Aquaculture**, par la fuite des cultures ou l'accompagnement d'espèces cultivées.
- **Canaux**, par la mise en communication de zones maritimes.
- **Aquariologie**.
- **Commerces** (hors aquaculture et aquariologie), pour les appâts de pêche, l'alimentation, etc.

(ils servent d'appâts), l'aquariologie, les écoles (dans un but éducatif) et la recherche ; ils sont aussi introduits *via* des transports d'huîtres et de homards, et bénéficient du trafic généré par les plates-formes pétrolières.

Citons aussi le cas du wakame (*Undaria pinnatifida*), une algue asiatique cultivée pour l'alimentation humaine, et qui a été introduite depuis les années 1970 dans presque tous les océans de trois façons : intentionnellement à des fins de culture, accidentellement en tant qu'espèce accompagnatrice de l'huître creuse, et *via* les transports maritimes. Par des approches moléculaires, Marie Voisin, Carolyn Engel et l'une de nous

(Frédérique Viard), de la Station biologique de Roscoff, avons montré que son implantation en Nouvelle-Zélande et en Australie répond à un schéma d'introductions multiples et récurrentes, liées aux échanges maritimes, alors que son arrivée en Europe résulte plutôt de l'aquaculture.

Envahisseurs à tout âge

La complexité des schémas d'introduction et la multiplicité des vecteurs expliquent en grande partie la difficulté à canaliser, suivre et prévenir les invasions en milieu marin côtier. La maîtrise de ces dernières est encore compliquée par les métamorphoses de nombreux organismes marins, qui possè-

Les caulerpes, les transformeurs de la Méditerranée

Les caulerpes sont des algues vertes communes dans les mers tropicales et subtropicales et plus rares dans les mers tempérées. Le genre *Caulerpa* comporte de nombreuses espèces. Certaines d'entre elles semblent occuper des aires géographiques très étendues, mais les analyses moléculaires montrent qu'il s'agit de complexes d'espèces cryptiques, c'est-à-dire morphologiquement très proches ; les aires en question sont en réalité occupées par plusieurs espèces différentes.

Esthétiques et faciles à cultiver, ces algues sont très prisées par les aquariophiles. Le commerce les véhicule donc un peu partout dans le monde. De nombreuses caulerpes exotiques, sans doute évadées d'aquariums privés ou publics, ont proliféré en milieu naturel, notamment en Californie, en Australie et sur les côtes méditerranéennes.

Deux espèces introduites de caulerpes ont connu un succès spectaculaire en Méditerranée : *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa cylindracea*. Les premiers exemplaires y ont été découverts respectivement en 1984 et en 1990, et assignés par erreur à des espèces tropicales. Cette méprise initiale est toujours perceptible dans la littérature scientifique et de vulgarisation, qui en fait des témoins majeurs du réchauffement de la Méditerranée, voire de sa « tropicalisation ». Or, *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa cylindracea* viennent de régions tempérées, à savoir respectivement le Sud-Ouest et le Sud-Est de l'Australie, de sorte que leur succès en Méditerranée n'a rien d'étonnant.

Dans cette mer, deux taxons introduits du genre *Caulerpa* étaient déjà présents depuis longtemps : *Caulerpa racemosa* var. *turbinata-uvifera* et *Caulerpa racemosa* var. *lamourouxii*. Il pourrait s'agir d'espèces « lessepsiennes », c'est-à-dire venues de la mer Rouge après le percement du canal de Suez. Elles sont restées localisées au Sud et à l'Est de la Méditerranée, où elles sont assez rares.

Caulerpa taxifolia est l'espèce introduite qui a suscité le plus d'attention, de la part du grand public et des scientifiques. Comme on la croyait tropicale, on avait initialement prévu qu'elle s'étendrait vers les régions les plus chaudes de la Méditerranée, au Sud et à l'Est. Pourtant, ses colonies les plus importantes sont restées cantonnées à la Côte d'Azur française et à la Riviera italienne (entre la frontière française et Gênes), et elle ne

s'est que faiblement propagée à la Toscane, aux Baléares, à la Sicile, à la Croatie et à la Turquie.

L'expansion de *Caulerpa cylindracea* a été beaucoup plus rapide : en 15 ans, cette algue a occupé la totalité de la Méditerranée et même le proche Atlantique, puisqu'elle est allée jusqu'aux îles Canaries. Cette *blitzkrieg*, – guerre-éclair en allemand – constitue un record pour une plante marine macroscopique.

Un avant-goût d'homogénéisation massive ?

Caulerpa taxifolia et *Caulerpa cylindracea* sont capables de coloniser une large gamme d'habitats dans l'infralittoral, la zone située à moins de 40 mètres de profondeur : roches, sable, vase, etc. Elles recouvrent

même parfois leur principal concurrent, *Posidonia oceanica*, une plante à fleur marine. Les deux caulerpes se comportent généralement comme des ingénieurs d'écosystèmes, ou « transformeurs » : elles détruisent l'ancien écosystème et en créent un nouveau. Si dans certains cas ce dernier abrite plus d'espèces que celui qu'il a remplacé, la diversité globale diminue, en raison de l'uniformisation des écosystèmes. Vivantes, les caulerpes sont toxiques pour les herbivores, de sorte que dans leur écosystème, la circulation de matière organique passe plutôt par des mangeurs de détritus.

D'autres plantes introduites prolifèrent aux côtés des caulerpes. En Méditerranée occidentale, c'est le cas d'*Acrothamnion preissii* et *Womersleyella setacea*, des algues rouges, ou « Rhodobiontes », qui sont aussi des transformeurs. Sur la Côte d'Azur et en Toscane, elles règnent sur le paysage sous-marin avec les caulerpes.

Dans ces régions, le fonctionnement des écosystèmes infralittoraux est maintenant dominé par la compétition sévère entre ces espèces introduites. Cela préfigure peut-être une homogénéisation planétaire et une nouvelle ère dans l'histoire de la vie sur Terre : l'« Homogocène », que prédisent les spécialistes des invasions, si les tendances actuelles ne sont pas inversées.

Charles-François Boudouresque,
Centre d'océanologie de Marseille



Marine Colombe et Claude LeBlond, Parc national de Port-Cros

DES ALGUES CAULERPA CYLINDRACEA, observées par 30 mètres de profondeur à Porquerolles, dans le Var, recouvrent un *Pinna nobilis*, un coquillage bivalve.

dent des cycles de vie constitués de plusieurs phases : leurs morphologies et leurs modes de vie variant, ils peuvent être transportés par des vecteurs différents. Environ 80 pour cent des invertébrés marins résidant sur le fond des mers tempérées passent ainsi par un stade larvaire microscopique, d'une taille souvent inférieure au millimètre, pendant lequel ils sont en suspension dans l'eau. L'adulte peut alors être transporté *via* le fouling, et la larve au sein des eaux de ballast (voir la figure page 23). De même, les algues présentent des phases libres microscopiques sous forme de spores et de gamètes, qui favorisent leur introduction.

Des portes d'entrée privilégiées

D'autres facteurs freinent la compréhension et la maîtrise des invasions. L'urbanisation peuple les zones côtières de points d'introductions privilégiés, au carrefour des échanges maritimes commerciaux et des activités nautiques de loisirs, à travers les ports, marinas et autres structures artificielles. En outre, ceux-ci jouent un rôle de relais dans l'expansion des espèces au sein des régions d'introductions. Des changements environnementaux, notamment climatiques, peuvent aussi favoriser les espèces introduites, en modifiant les écosystèmes et les fonctionnements démographiques. Selon une étude américaine sur un port de Long Island, le réchauffement climatique a ainsi conféré un avantage à différentes espèces d'ascidies introduites dans cette zone, qui se reproduisent de plus en plus tôt dans l'année : les nouvelles générations arrivent donc désormais à une époque où les ascidies locales n'ont pas encore colonisé les habitats disponibles.

Lors de la colonisation d'un nouveau milieu par des êtres vivants, on observe souvent un effet dit « fondateur » : les quelques pionniers ne portant qu'une fraction de la diversité génétique de l'espèce, celle-ci sera réduite au sein de la colonie. Toutefois, dans les milieux marins, on a vu qu'une même espèce arrivait souvent en plusieurs vagues, issues d'une ou de plusieurs zones de son aire d'origine ou d'autres zones colonisées. Ces introductions récurrentes diminuent considérablement, voire annulent, l'effet fondateur (voir *Invasions biologiques : au carrefour entre écologie et évolution*, par P. David et B. Facon, page 62). Joe Roman, de l'Université du Vermont, et John Darling, de l'Agence de protection de l'environnement américain, ont ainsi montré que plus de 60 pour cent des introductions d'espèces aquatiques suivaient ce schéma multiple et se faisaient sans réduction de diversité génétique au sein des populations colonisatrices. Les arrivées répétées favorisent bien sûr l'installation et l'expansion des espèces introduites, mais aussi leur évolution : d'une part, la pression démographique s'intensifie et, d'autre part, la



Yann Fontana, Station biologique de Roscoff



Yann Fontana, Station biologique de Roscoff



Wilfried Thomas, Station biologique de Roscoff

LE FOULING, aussi nommé « salissure », consiste, pour des organismes vivants, à se fixer sur un substrat artificiel. Cela peut concerner différentes parties d'un navire, comme l'hélice (en haut, presque complètement recouverte), la coque (au milieu), ou les cordages (en bas). De la sorte, ces organismes traversent les océans et s'accumulent dans les ports. La plupart des organismes visibles sur les photographies du haut et du bas sont des ascidies *Styela Clava* ; originaires d'Asie, ces petits animaux en forme d'outre sont arrivés en Europe dans les années 1950. Ils mesurent une quinzaine de centimètres et sont généralement recouverts de toutes sortes d'autres petits organismes.

rencontre entre des populations issues de zones distinctes, parfois génétiquement différenciées, peut conduire à l'émergence de nouvelles combinaisons génétiques, conférant un avantage dans l'environnement colonisé. C'est ce type de phénomène qui pourrait être à l'origine du succès de l'introduction du mollusque *Cyclope neritea* le long des côtes atlantiques françaises.

Les introductions et les invasions biologiques en milieu marin résultent donc directement de la mondialisation des échanges. Bénéficiant d'un nombre croissant de vecteurs, elles sont difficiles à contrôler : on n'a réussi à éradiquer des espèces exotiques marines que dans quelques rares cas. Les efforts de prévention des invasions doivent être menés dans un cadre transfrontalier, et cibler notamment les eaux de ballast et les échanges aquacoles. Quant aux espèces exotiques déjà installées, elles sont devenues une composante majeure des écosystèmes côtiers. Responsables d'une homogénéisation biotique à l'échelle planétaire, mais aussi moteurs de l'évolution, les espèces introduites jouent un rôle central sur le fonctionnement et l'évolution de la diversité marine des zones côtières.

livres

- C.-F. BOUDOURESQUE, *Les espèces introduites et invasives en milieu marin*, GIS Posidonie publ., 2008.

articles

- J. MOLNAR et al., *Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity*, in *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 6, n° 9, pp. 485-492, 2008.
- J. CARLTON, *Global change and biological invasions in the oceans*, in *Invasive Species in a Changing World*, pp. 31-53, Island Press, 2000.

internet

- Caulerpa en ligne : www.unice.fr/LEM/LPagesStatiques/CaulStart.htm
- conserveonline.org/workspaces/global.invasive.assessment
- www.invasivespeciesireland.com/