

grottes plus accessibles aux visiteurs et aux recherches.

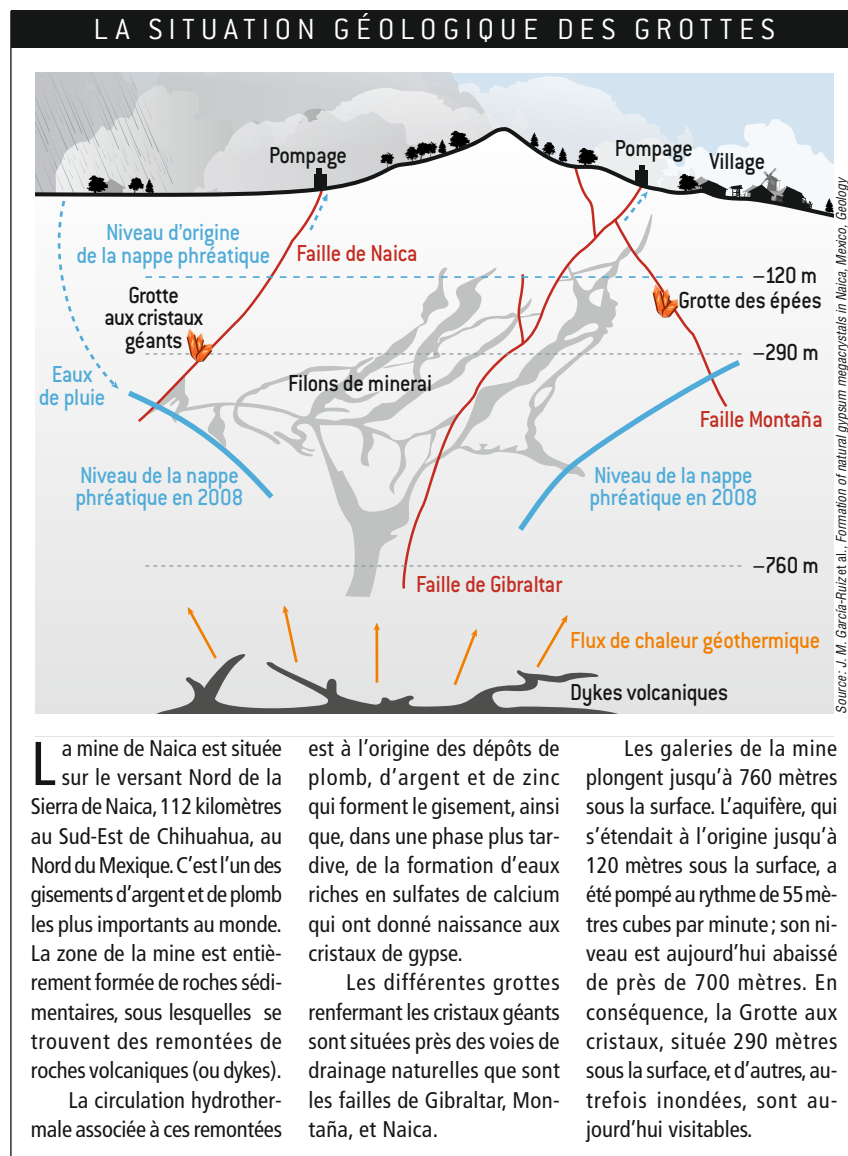
Nous avons ainsi découvert que la Grotte aux cristaux se refroidit de 0,52 degré par an en raison du contact avec la mine *via* le couloir d'accès et, à travers la roche, avec des galeries passant non loin à l'Ouest. Un très faible courant d'air qui traverse la grotte montre qu'il existe une communication avec des zones plus basses de la mine. L'étude des réactions de la grotte à de brusques variations thermiques et de l'évolution des fluctuations de température et d'humidité en fonction de la profondeur a révélé un résultat fascinant : la Grotte aux cristaux serait seulement un petit élément visible d'une série plus vaste qui s'étend au-dessus, comprenant notamment la grotte de l'Œil de la reine (*Ojo de la Reina*). L'un des objectifs des recherches futures sera d'explorer ces cavités.

Quel avenir ?

Pour diverses raisons, les grottes de Naica ne pourront pas rester intactes très longtemps. Avant toute chose, elles sont sous la menace constante de déprédations. La valeur commerciale des grands cristaux est telle que les mineurs tentent d'en extraire pour les vendre sur le marché international des minéraux. La compagnie propriétaire de la mine fait de son mieux pour empêcher les pillages, mais ils ne peuvent être totalement évités.

Le refroidissement constant et assez rapide des grottes constitue une menace encore plus grande. La chute progressive de la température externe des cristaux, qui a commencé il y a un peu moins de 30 ans, a depuis peu déclenché un phénomène de condensation de la vapeur d'eau, avec de graves conséquences. L'eau qui se condense redissout partiellement les cristaux en surface, mais y forme aussi des concrétions de calcite, qui leur font perdre leur brillance et leur transparence.

Mais la grotte est avant tout condamnée par la fin des activités minières, qui surviendra sans doute d'ici quelques années, lorsque l'extraction de l'argent ne sera plus assez rentable. Dès le moment où l'on arrêtera les pompes, l'eau de l'aquifère remontera en quelques semaines jusqu'à son niveau d'origine, 160 mètres au-dessus de la Grotte aux cristaux (située à 290 mètres de profondeur). La grotte retrouvera alors les conditions environnementales qui ont présidé à la formation des cristaux, mais



La mine de Naica est située sur le versant Nord de la Sierra de Naica, 112 kilomètres au Sud-Est de Chihuahua, au Nord du Mexique. C'est l'un des gisements d'argent et de plomb les plus importants au monde. La zone de la mine est entièrement formée de roches sédimentaires, sous lesquelles se trouvent des remontées de roches volcaniques (ou dykes).

La circulation hydrothermale associée à ces remontées

est à l'origine des dépôts de plomb, d'argent et de zinc qui forment le gisement, ainsi que, dans une phase plus tardive, de la formation d'eaux riches en sulfates de calcium qui ont donné naissance aux cristaux de gypse.

Les différentes grottes renfermant les cristaux géants sont situées près des voies de drainage naturelles que sont les failles de Gibraltar, Montaña, et Naica.

Les galeries de la mine plongent jusqu'à 760 mètres sous la surface. L'aquifère, qui s'étendait à l'origine jusqu'à 120 mètres sous la surface, a été pompé au rythme de 55 mètres cubes par minute ; son niveau est aujourd'hui abaissé de près de 700 mètres. En conséquence, la Grotte aux cristaux, située 290 mètres sous la surface, et d'autres, autrefois inondées, sont aujourd'hui visitables.

la brève fenêtre temporelle qui s'était ouverte sur ces merveilles géologiques se refermera à jamais. Pour cette raison, les participants du Projet Naica tentent de mener à bien toutes les études scientifiques et les relevés d'un lieu qui disparaîtra tôt ou tard.

Nous aimerions cependant faire en sorte que ces merveilles naturelles restent visibles pour les générations futures même après que les eaux thermales seront remontées. Il s'agirait de déplacer la grotte, un peu comme le temple égyptien d'Abou-Simbel a été littéralement déplacé pour être sauvé de la remontée des eaux provoquée par le barrage d'Assouan. Du point de vue technique, le projet est réalisable, mais il nécessite une volonté politique. C'est là l'unique moyen de continuer à montrer les grottes de Naica et leurs incroyables « forêts de cristaux géants ».

✓ BIBLIOGRAPHIE

P. Forti, *Genesis and evolution of the caves in the Naica mine [Chihuahua, Mexico]*, *Zeitschrift für Geomorphologie*, vol. 54, suppl. 2, p. 115-135, mai 2010.

P. Forti et L. Sanna, *The Naica project : a multidisciplinary study of the largest gypsum crystal of the world*, *Episodes*, vol. 33, n° 1, pp. 1-10, 2010.

J. M. García-Ruiz, R. Villasuso, C. Ayora, A. Canals et F. Otálora, *Formation of natural gypsum megacrystals in Naica, Mexico*, *Geology*, vol. 35 pp. 327-330, 2007. doi : 10.1130/G23393A.1.

Entre terre et mer : des zones à préserver

Les zones humides du littoral, sols gorgés d'eau, sont parmi les plus riches écosystèmes de la planète.

Leur protection est devenue un enjeu majeur pour le maintien de la biodiversité.

Fernand Verger

L'ESSENTIEL

✓ Le zones humides existent sous de multiples formes : estuaires, deltas, plaines alluviales, marais, étangs, tourbières, barrières de corail...

✓ Convoitées pour leur fertilité, elles sont drainées, asséchées et cultivées depuis des siècles.

✓ Leur disparition s'est accélérée au XX^e siècle avec l'urbanisation, l'industrialisation et l'agriculture intensive.

✓ Depuis 40 ans, on tente de les protéger tant pour la richesse de ces écosystèmes que pour leur valeur économique et sociale.

En 2010, la tempête Xynthia a envahi des zones humides du littoral vendéen. Des lotissements et un camping avaient été construits sur ces zones, que l'on avait tenté de soustraire aux marées au moyen de digues. Cette tempête aux conséquences tragiques a mis sur le devant de la scène la question de la gestion raisonnée des zones humides. Rien qu'en France, ce patrimoine naturel couvre plus de trois millions d'hectares, dont près de la moitié sur le littoral. Aujourd'hui, alors que leur disparition s'accélère, on mesure leur rôle dans l'équilibre écologique de la

planète. Pourquoi ces zones disparaissent-elles ? Quelles sont les conséquences de leur disparition sur les écosystèmes ? Quelles solutions sont mises en place ou envisagées pour les protéger ? Telles sont les questions que nous examinerons ici. Mais auparavant, précisons ce qu'est une zone humide.

C'est un domaine où l'eau est présente soit en profondeur dans les sols, soit en surface, et ce de façon permanente ou saisonnière. Une succession de définitions légales en ont été données à partir des années 1970, lorsqu'il s'est agi de les protéger, notamment aux États-Unis et en France. Parmi les



multiples critères retenus pour les définir, on trouve des indications hydrologiques (niveaux des eaux de surface ou de la nappe phréatique), le caractère hydromorphe des sols (la marque physique d'une présence régulière de l'eau) et la composition de la flore. Les roseaux, les typhas, les laïches ou les iris des marais sont des espèces hygrophiles (qui ont besoin d'humidité pour vivre) caractéristiques des zones humides en milieu d'eau douce; dans les milieux salés ou saumâtres, d'autres espèces telles les spartines, obiones ou salicornes, halophiles celles-là – c'est-à-dire se développant dans un milieu salé –, sont caractéristiques des zones humides tempérées (voir la figure 2); les palétuviers poussent dans les zones humides situées entre les tropiques.

Il existe des zones humides à l'intérieur des terres, là où le drainage est médiocre, par exemple dans les fonds de vallée tourbeux ou sur le bord des lacs. Mais c'est sur les littoraux maritimes qu'elles sont les plus nombreuses, dans des situations très diverses allant des fonds marins peu profonds aux marais en arrière des dunes, en passant par les plaines alluviales façonnées au fil des siècles par les marées sur les rives ou à l'embouchure des fleuves.

Par convention, les fonds marins de moins de six mètres de profondeur au-dessous des plus basses mers sont considérés comme des zones humides. Les fonds coralliens entrent en grande partie dans cette catégorie. La Grande Barrière de Corail, qui s'étend en avant de la côte australienne sur

une longueur de 2300 kilomètres, constitue ainsi une zone humide littorale d'une prodigieuse biodiversité. Les recensements y ont dénombré plus de 300 espèces de coraux, plus de 800 espèces d'échinodermes, plus de 1500 espèces de poissons et plus de 150 espèces d'oiseaux.

Plaines alluviales, estuaires, marais...

Les étendues alluviales, tour à tour immergées et découvertes au gré des marées, abritent aussi une flore et une faune abondantes et variées. La mer des Wadden, qui s'étend en arrière des îles Frisonnes, de la Hollande jusqu'au Jutland, au Danemark, offre près de 10000 kilomètres carrés de vasières et de bancs de sable de ce type. Par le balancement des marées, ces surfaces nourrissent une riche faune de mollusques et de crustacés. Les rives sont colonisées par une végétation qui supporte la submersion par les eaux salées (spartines, salicornes...). L'abondance de nourriture (mollusques, crustacés) fait des vasières de la mer des Wadden l'une des plus importantes zones de transit des oiseaux migrateurs: ce domaine peut accueillir simultanément jusqu'à six millions d'oiseaux.

Par les estuaires soumis au flot et au jusant, des rubans de zones humides littorales pénètrent profondément dans les terres. Leurs rives et leurs îles offrent des parties découvertes aux marées basses. L'estuaire du Saint-Laurent, au Canada, est ainsi

composé, auprès d'un lit mineur, de marais riverains, de vasières découvrantes et d'îles soumises au gel hivernal. La biodiversité varie en fonction de la salinité, laquelle s'accroît vers l'aval, de même que le nombre de poissons. L'estuaire du Saint-Laurent est en particulier remarquable par l'abondance des cétacés et des phoques, dont on y dénombre 16 espèces.

Les deltas construits par les fleuves étalent leurs plaines alluviales marécageuses entre des bourrelets de berge et des cordons littoraux. Le delta commun du Gange et du Brahmapoutre, qui s'étend sur 105000 kilomètres carrés, est le plus grand delta du monde. Les palétuviers de la mangrove y occupent de grandes superficies et bordent le rivage de deux ceintures. La plus proche de la mer est le plus souvent constituée de palétuviers rouges (*Rhizophora*) pouvant atteindre 30 mètres de hauteur. Elle est en général doublée d'une seconde ceinture de palétuviers blancs (*Avicennia*) moins élevés. Vers l'intérieur, la mangrove est parfois bordée de surfaces herbeuses sursalées qu'on nomme des tannes. Les bras fluviaux mouvants érodent et façonnent les îlots du delta – ou chars –, qui sont souvent cultivés.

Enfin, l'action de la mer tend à créer des cordons littoraux de sable ou de galets

1. MANGROVE DU QUINTANA ROO, un État du Sud du Mexique.



qui restreignent le libre écoulement des eaux fluviales et pluviales, enserrant des lagunes et construisent des marais. Par exemple, en arrière des dunes de Monts et de celles de l'île de Noirmoutier, le marais breton-vendéen étend des terres argileuses qui supportent des prairies humides, enserrées dans un réseau de fossés et de canaux.

Les zones humides disparaissent

Beaucoup de zones humides ont disparu depuis un siècle ; celles qui subsistent ont souvent connu une dégradation d'une ampleur considérable. Le caractère général de cette évolution accélérée suscite l'inquiétude des écologues. Les facteurs de cette évolution sont nombreux et variés, mais leurs effets convergent.

Déjà au Moyen Âge, on cherchait à conquérir des terres sur la mer et les estuaires pour en faire des terres agricoles ; foyers de paludisme, refuges des hors-la-loi, les marais et autres zones humides avaient mauvaise réputation et l'on s'est efforcé, pendant des siècles, de les drainer pour les

soustraire aux inondations et les « assainir ». Ces sols étant particulièrement fertiles, nombre d'acteurs – populations locales, mais aussi communautés religieuses, noblesse, sociétés privées, États – ont encouragé les entreprises d'assainissement et d'endiguement afin de transformer ces terrains en parcelles cultivables.

Cette tradition, qui s'est manifestée aussi bien en Europe occidentale qu'en Extrême-Orient, s'est accélérée au cours du dernier siècle. Elle a été particulièrement marquée aux Pays-Bas, où de nombreux polders – des terrains endigués situés sous le niveau de la mer – ont été construits et asséchés. La région a toutefois amorcé un renversement de cette politique dans les années 1980 en abandonnant le projet d'assèchement du Markerwaard, dernier grand polder prévu, non loin d'Amsterdam. Ce renversement n'est toutefois pas universel. En Corée du Sud, notamment, les endiguements se poursuivent à des fins agricoles, mais aussi industrielles, urbaines et touristiques. Une grande digue, longue de 33,9 kilomètres, la plus longue du monde, isolant de la mer Jaune l'immense domaine de Saemangum, y a été achevée en 2010, malgré une vigoureuse opposition des défenseurs de la nature (voir la figure 2).

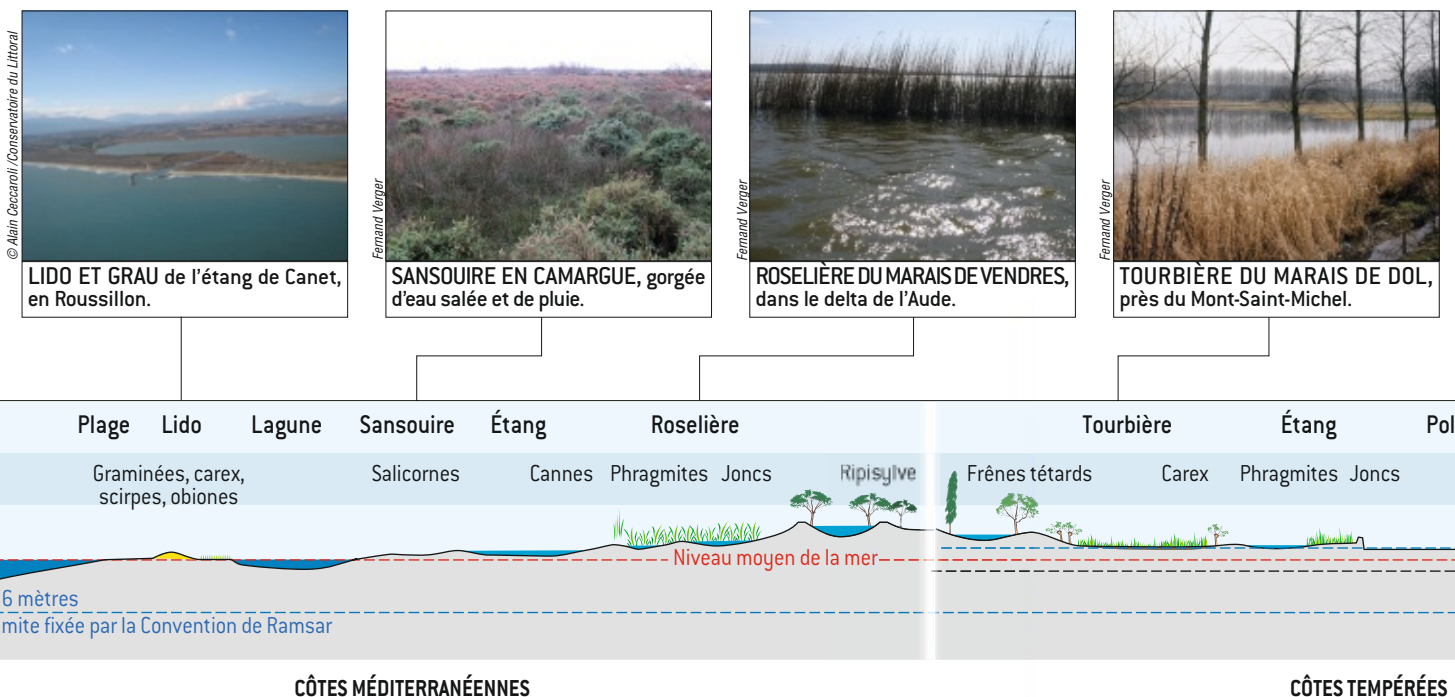
De façon générale, en France, jusqu'à la fin des Trente Glorieuses, une politique d'intensification agricole sans retenue a privilégié les labours aux dépens des prairies naturelles. La culture des céréales

s'est développée sur des terres drainées dans une gestion hydraulique visant exclusivement à augmenter la production. C'est ainsi que dans le marais Poitevin, les champs cultivés se sont substitués le plus souvent aux prairies naturelles.

Dans les grands estuaires, tel celui de la Seine, des aménagements portuaires ont détruit les zones humides intermédiaires entre la terre ferme et l'eau, séparant d'un côté un domaine fluvio-maritime profond et, de l'autre, un domaine terrestre devenu non inondable. Les marais riverains ont souvent été remblayés avec les produits de dragage du chenal navigable. Des quais portuaires ont fixé de façon rigide le contact entre la terre et l'eau. La pulsation liée à la marée s'y exprime désormais plus par une simple variation du niveau de l'eau le long des quais que par une variation périodique des étendues submergées.

Par ailleurs, des industries ont empiété sur des zones humides, comme à Hambourg, en Allemagne, où les rives de l'Elbe ont accueilli usines et installations portuaires. L'extension urbaine des villes littorales se fait aussi souvent aux dépens des zones humides longtemps laissées inhabitées, et la construction de réseaux routiers et ferroviaires a encore morcelé les zones humides restantes. Depuis une quarantaine d'années, par exemple, l'étalement de la Nouvelle-Orléans, aux États-Unis, est sans commune mesure avec l'accroissement très limité de sa population. Cet étalement

2. LES DIFFÉRENTS TYPES de zones humides littorales définis par la Convention internationale de Ramsar, datant de 1971, ont été rassemblés sur cette frise. Trois littoraux sont distingués : les côtes méditerranéennes, les côtes tempérées à marées et les côtes à mangroves.



s'est fait sur les marais du delta du Mississippi, qui ont été endigués et drainés pour permettre l'extension de l'agglomération. Cette politique urbaine a d'ailleurs contribué à accroître les dommages provoqués, en août 2005, par la tempête Katrina.

Avec les progrès de la déoustication, les terres littorales sont aussi devenues le nouvel eldorado du secteur touristique. Les lotissements balnéaires et le terrain de camping de La Faute, en Vendée, ont été construits sur une zone humide constituée d'anciens prés salés submersibles, qui étaient inhabités avant qu'une digue ne les protège, assez mal d'ailleurs comme l'a montré la tempête Xynthia.

Dans les régions tropicales, enfin, nombre de mangroves ont été dégradées par l'exploitation de leur bois comme combustible ou matériau. Elles ont aussi disparu sous l'effet des défrichements liés au développement des bassins d'élevage des crevettes et des poissons, notamment en Extrême-Orient, et reculé devant l'essor des villes et des installations touristiques. Selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, la superficie des mangroves dans le monde est passée de 19,8 millions d'hectares en 1980 à 15,2 millions en 2005.

Cette dégradation s'est accélérée au cours des 50 dernières années, en particulier aux États-Unis et en Europe : on estime par exemple que de 1960 à 1990, la superficie des zones humides françaises a été

divisée par deux. La destruction accélérée de ces milieux a provoqué une prise de conscience du désastre écologique qu'elle engendrait.

Des écosystèmes riches et fragiles

On a mis en évidence des interactions entre milieux terrestres et aquatiques, et constaté par exemple que les prés salés, dont la productivité biologique est l'une des plus élevées sur notre planète, sont une des sources capitales de la richesse des eaux littorales. Leur destruction brise les chaînes alimentaires complexes de ces milieux amphibies. Elle entrave le déroulement des cycles biologiques de nombreuses espèces de batraciens, de poissons, de crustacés, de mollusques et d'oiseaux. Ces cycles exigent en effet, pour la plupart, des passages dans des sites différents, mais associés : zones de nourricerie, zones de croissance, zones de reproduction, zones de préparation physiologique à la migration.

La biodiversité des zones humides littorales a d'abord été reconnue pour leur richesse ornithologique. D'innombrables oiseaux sédentaires occupent ces milieux privilégiés, et beaucoup d'oiseaux migrants s'y arrêtent dans leurs parcours. On s'est vite aperçu que l'avifaune n'était qu'un maillon d'écosystèmes complexes faisant intervenir nombres d'autres embranchements du monde vivant.

L'AUTEUR



Fernand VERGER est professeur émérite à l'École normale supérieure, à Paris, et conseiller scientifique du Conservatoire du littoral.

✓ À ÉCOUTER

Jeudi 8 décembre 2011, Fernand Verger sera l'invité de la partie « Actualités » de l'émission **La marche des sciences**, sur France Culture de 14h à 15h.
www.franceculture.com

✓ BIBLIOGRAPHIE

G. M. E. Perillo *et al.*, **Coastal Wetlands, An Integrated Ecosystem Approach**, Elsevier, 2009.

F. Verger, **Zones humides du littoral français**, Belin, 2009.

É. Fustec, J.-Cl. Lefeuvre *et al.*, **Fonctions et valeurs des zones humides**, Dunod, 2000.



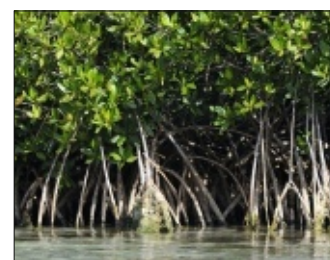
SALICORNE ET OBIONE de la pointe d'Arçay, en Vendée.



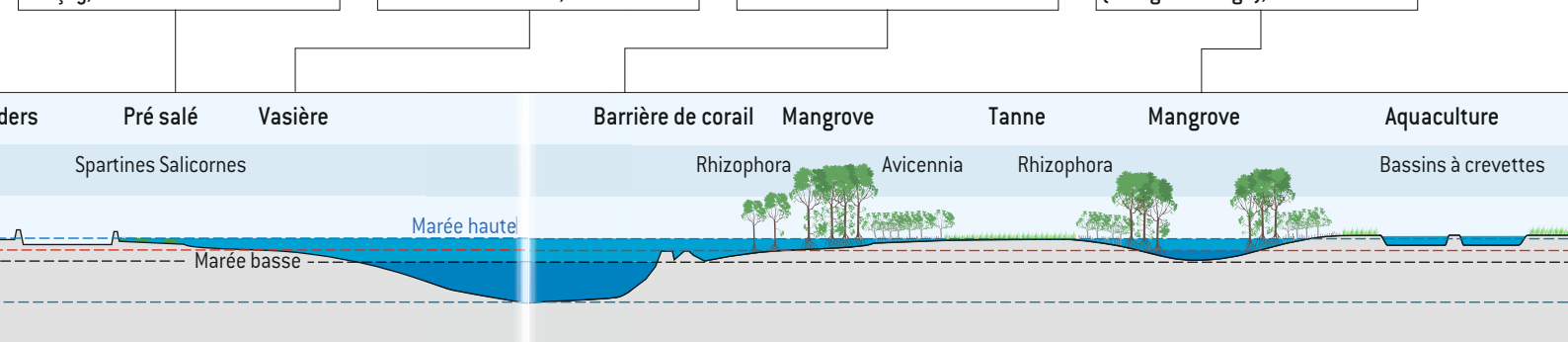
VASIÈRE de l'anse de l'Aiguillon, en Charente-Maritime, à marée basse.



GRANDE BARRIÈRE DE CORAIL, en Australie.



MANGROVE RHIZOPHORA (mangrove rouge), en Floride.



Les zones humides présentant une gamme étendue de salinité, le règne végétal y est varié et original; les différentes salinités attirent aussi les poissons amphidromes tels les anguilles ou les saumons, qui doivent associer eaux douces et eaux salées afin d'accomplir leur cycle vital. Les zones humides offrent aux amphibiens un lieu où développer un stade métamorphosé terrestre après un stade larvaire aquatique. Les insectes y trouvent aussi un milieu propice (voire favorable à l'apiculture, dans les mangroves). Même certains mammifères y trouvent leur compte, tel le tigre du Bengale, repéré dans les fouillis inextricables des mangroves du delta du Gange.

La valeur économique des zones humides

Cette biodiversité des zones humides littorales nourrit des chaînes alimentaires très productives dans toutes les zones climatiques de la Terre. La productivité de la mangrove et celle des prés salés à Obione sont parmi les plus élevées de la planète: un hectare de mangrove représente 300 tonnes de matière organique sèche et en produit environ 15 par an. Exportée dans les eaux littorales, cette matière organique entretient la fertilité de ces milieux. La disparition des zones humides finit ainsi par nuire à l'économie en diminuant la richesse des eaux littorales, avec de lourdes conséquences sur la pêche côtière et la conchyliculture.

On a par exemple constaté que la séparation des cours fluviaux d'eau douce et des eaux marines par des barrages, qui a encore été très pratiquée après la Seconde Guerre mondiale, est préjudiciable à la biodiversité et à la productivité des estuaires. L'exemple du grand barrage du Brouwersdam sur l'Escaut oriental, aux Pays-Bas, est le plus représentatif d'une reconversion réussie.

Le barrage fut achevé en 1972 conformément au plan initial. Mais la séparation de l'hydrographie entre un domaine d'eaux douces et un domaine d'eaux salées provoqua l'appauvrissement de la biodiversité et la chute de l'économie des zones humides de l'estuaire. La prise de conscience de cette dégradation conduisit le gouvernement néerlandais à modifier dès 1974 le barrage primitif pour restaurer le libre mouvement des marées et donc la pénétration de l'eau salée dans

l'estuaire. Le barrage primitif a été transformé en un barrage antitempête comportant 62 vannes. Ouvertes en temps normal, ces vannes peuvent être temporairement fermées pour des raisons de sécurité, lorsque des tempêtes s'approchent des côtes de la Zélande. Des prés salés ont ainsi été préservés et la faune des estuaires a été conservée, à la satisfaction des pêcheurs, ostréiculteurs, écologistes et touristes.

Pendant longtemps, on s'est contenté de montrer l'intérêt qualitatif des zones humides en signalant leur rôle dans l'épuration des eaux, dans la sauvegarde des amphibiens, ou leur valeur paysagère. Depuis quelques années, on tente d'évaluer la valeur économique des services rendus par les écosystèmes des zones humides, afin de permettre une confrontation concrète avec les autres options d'utilisation de leurs sols, de leurs eaux et de leur biodiversité. On s'efforce même d'exprimer cette valeur en unités monétaires par hectare et par an.

Une des valeurs reconnues, bien que difficile à évaluer, est la valeur paysagère de ces zones humides littorales, qui associent l'attrait des surfaces immergées et émergées à la proximité du littoral. Cet attrait se manifeste en particulier chez les peintres, mais aussi dans la littérature. Parmi les écrivains, on peut citer la sensibilité particulière de Guy de Maupassant à ces paysages, quand il décrit les marais du delta de l'Argens, ou celle du poète américain Sidney Lanier, dans ses hymnes aux marais de Glynn, en Géorgie.

Cette valeur paysagère est un des éléments qui justifient la valeur touristique de ces zones humides. D'autres sont plus faciles à évaluer, comme les promenades en bateau dans la Venise Verte du fond du marais Poitevin, un dédale de canaux reliés à la Sèvre Niortaise, ou la visite du parc américain des Everglades, en Floride, ou encore les activités de chasse, de pêche professionnelle ou de loisirs pratiquées en ces lieux.

L'apport économique de la biodiversité peut aussi donner lieu à une évaluation monétaire. En estimant la productivité de diverses zones humides littorales, des écologues leur ont attribué une valeur économique et sociale. Par exemple, un hectare de mangrove dans le golfe de Californie rapporterait quelque 27 000 euros par an, essentiellement sous forme de prises de poissons et de crabes, des espèces commer-

ciales dont le cycle de vie est lié à la présence des palétuviers.

On essaie aussi d'évaluer la valeur économique que représentent ces zones face au changement climatique et à l'élévation du niveau des mers associée. Les prés salés comme les mangroves atténuent les effets les plus dramatiques de ce phénomène. Même si les mangroves occupent en général des littoraux que ne battent pas les houles les plus violentes, et même si elles ne font que ralentir la progression de la houle sans pouvoir l'arrêter, on a reconnu, d'une part, leur rôle protecteur là où elles ont été préservées et, d'autre part, les dégâts liés à leur dégradation, aussi bien lors du tsunami de 2004 en Indonésie que lors du cyclone Nargis de 2008,

Chaque zone humide est un écosystème propre dont le fonctionnement dépend de nombreux paramètres (géomorphologie, hydrologie, sédiments, communautés biologiques, activités anthropiques...). Voici un aperçu de celui de l'anse de l'Aiguillon, à cheval sur la Vendée et la Charente-Maritime, tel qu'il a été décrit en 2006 par Delphine Degré au Centre de recherche sur les écosystèmes marins anthropisés de L'Houmeau (CNRS/IFREMER/Université de La Rochelle). L'anse de l'Aiguillon forme la partie résiduelle de l'ancien golfe marin des Pictons aujourd'hui occupé par le marais Poitevin. C'est une vasière soumise aux marées, où se déversent plusieurs cours d'eau, dont la Sèvre Niortaise.

Ces caractéristiques en font un milieu estuarien avec peu d'espèces, mais généralement très abondantes. L'anse constitue notamment un lieu de passage et de nourrissage pour les poissons (mulets), d'hivernage pour les oiseaux (bécasseaux variables), une nurserie pour les jeunes poissons (soles) et un habitat à l'année pour tous les invertébrés comme les crustacés (*Carcinus maenas*, *Corophium volutator*, voir ci-contre). Profitant des apports estuariens réguliers en nutriments, elle est particulièrement riche en microalgues (ou microphytobenthos, tel *Rhaphoneis amphiceros*) et en phytoplancton (*Chaetoceros decipiens*), qui alimentent à la fois les chaînes alimentaires de l'eau (pélagiques) – mésozooplankton (copépodes), poissons – et celles du fond (benthiques) – microfaune (foraminifères), bivalves (*Scrobicularia plana*), gastéropodes (*Hydrobia ulvae*) et annélides (*Hediste diversicolor*).

L'anse reçoit aussi beaucoup de détritus organiques des océans (et un peu des rivières) qui constituent, avec les détritus produits par tous les organismes vivants du milieu, un autre aliment de base de nombreuses chaînes alimentaires. Notamment, les mollusques cultivés sur place (huîtres *Crassostrea gigas* et moules *Mytilus edulis*) et les poissons comme les mulets se nourrissent de ces détritus.

notamment dans le delta de l'Irrawaddi, en Birmanie. Les racines échasses des palétuviers rouges (*Rhizophora*) et les pneumatophores des palétuviers blancs (*Avicennia*), par leur densité et leur profonde insertion dans la vase, amortissent fortement les vagues, notamment les plus violentes qui peuvent atteindre ces côtes en cas de tempête. La végétation des prés salés des latitudes moyennes (salicornes, spartines, obiones, puccinellies...) a un effet comparable, bien que beaucoup plus faible. Par leur présence, ces formations végétales – prés salés ou mangroves –, en favorisant la sédimentation, provoquent une élévation du niveau du sol, ce qui est aussi propice à une meilleure défense contre la mer. La man-

grove joue en outre un rôle important dans le stockage du dioxyde de carbone, que l'on cherche aussi à évaluer.

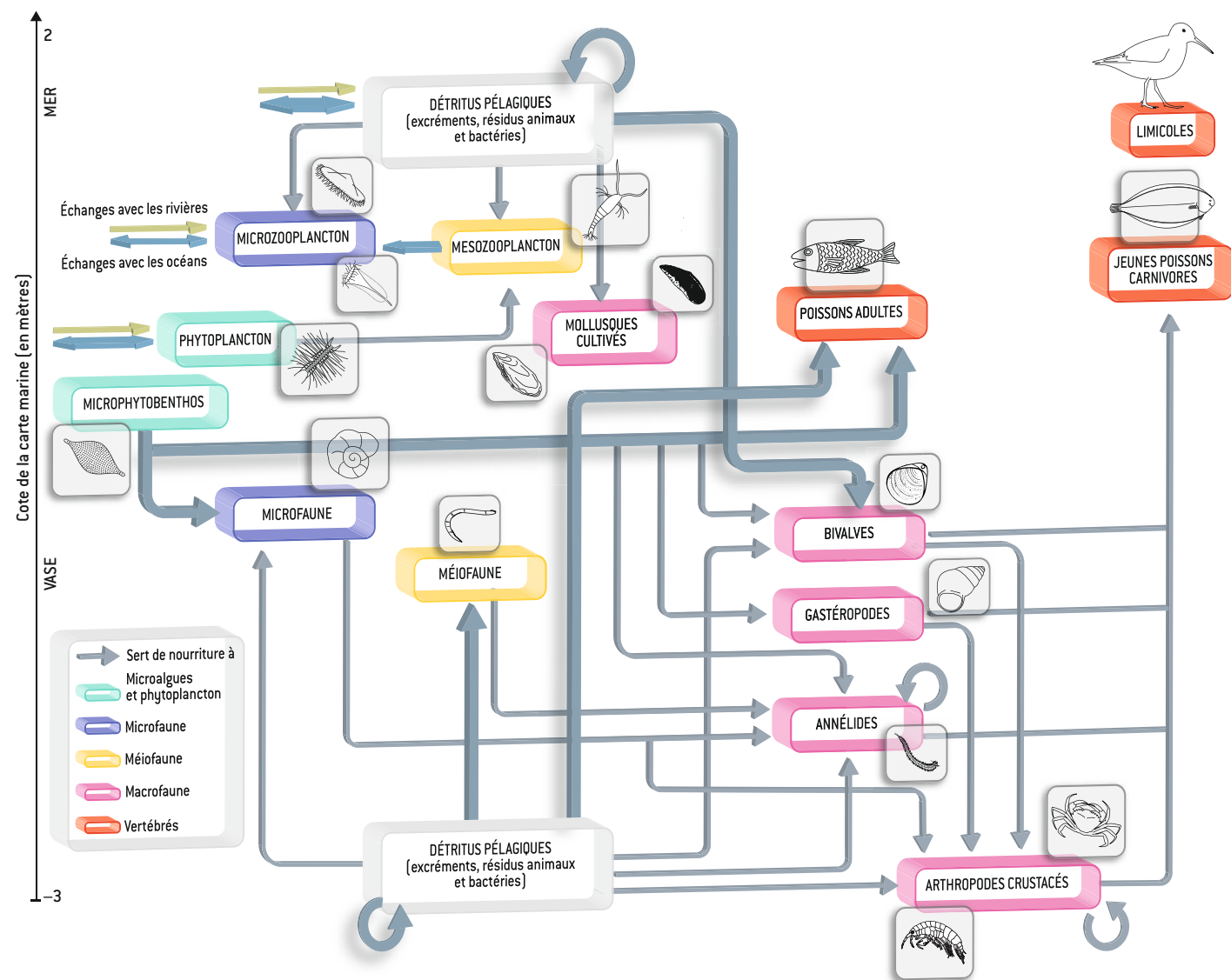
La prise de conscience de cette dégradation a suscité dans le monde une série d'acquisitions, de recommandations, de mesures législatives et réglementaires, destinées à protéger les zones humides restantes, voire à restaurer celles qui avaient disparu. Ces mesures concernent les unes, les zones humides, les autres, le littoral ; estuaires, deltas, lagunes, marais et mangroves se trouvent à l'intersection des deux domaines.

Les protecteurs de l'avifaune ont joué un rôle pionnier dans cette action. En France, la Ligue de protection des oiseaux, créée dès 1912, s'intéressa très tôt à la sau-

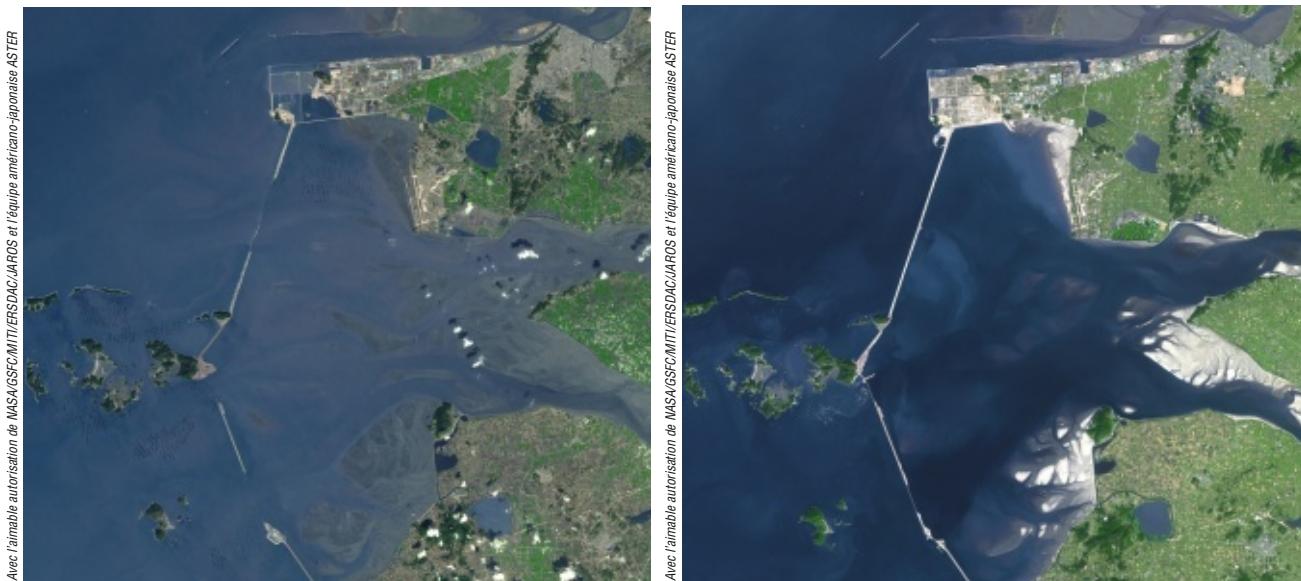
vegarde des zones humides par l'acquisition et la gestion de parcelles fréquentées par les oiseaux migrateurs. Ainsi, c'est à partir de l'action de Luc Hoffmann, un passionné d'ornithologie qui acheta en 1947 le domaine de la Tour du Valat, en Camargue, et entreprit des opérations de baguage des oiseaux migrateurs, que se développèrent des actions de protection des zones humides du delta du Rhône, puis de l'ensemble du monde méditerranéen.

Aux États-Unis, l'organisation privée *Ducks Unlimited*, créée à l'origine pour préserver l'habitat de la sauvagine, a entrepris ensuite de sauvegarder les zones humides. Au Royaume-Uni, l'organisation *International Wildfowl Inquiry*, fondée

L'ÉCOSYSTÈME DES VASIÈRES DE L'ANSE DE L'AIGUILLON



D'après D. Dagré, Réseau trophique de l'anse de l'Aiguillon : dynamique et structure spatiale de la macrofaune et des limicoles hivernants, thèse de doctorat sous la direction de Pierre-Guy Sauriau, 2006



Avec l'aimable autorisation de NASA/GSFC/MITI/ERSDAC/JAROS et l'équipe américano-japonaise ASTER

Avec l'aimable autorisation de NASA/GSFC/MITI/ERSDAC/JAROS et l'équipe américano-japonaise ASTER

3. EN CORÉE DU SUD, la plus longue digue du monde – 33,9 kilomètres – a été achevée en 2010 dans la baie de Saemangum (à gauche, la baie en mars 2001, à droite en octobre 2006). Cette digue devrait soustraire à la

mer plus de 400 kilomètres carrés de terres en asséchant ses zones humides. Elle voue leur écosystème à disparaître d'ici quelques années, privant des milliers d'oiseaux migrateurs d'une étape majeure.

en 1954, avait pour objectif la protection des oiseaux aquatiques. En 1995, elle s'est regroupée avec d'autres associations pour constituer *Wetlands International*, une organisation à but non lucratif qui s'intéresse à la protection et à la gestion durable des zones humides.

On assiste à partir des années 1960 à une modification radicale de la perception sociale des zones humides littorales sous l'effet de l'augmentation des préoccupations écologistes et de la prise de conscience de la valeur biologique, patrimoniale, paysagère et économique de ces milieux. Devant la dégradation des zones humides qui servaient d'habitats aux oiseaux d'eau migrateurs, un traité intergouvernemental, nommé Convention de Ramsar du nom de la ville iranienne où il a été signé en 1971, sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

Protéger les zones humides

Entrée en vigueur en 1975, cette convention est le seul traité mondial environnemental qui porte sur un écosystème particulier. Elle adopte une définition large des zones humides, qui débordent le domaine littoral, et préconise leur inventaire dans tous les pays. Elle s'efforce aussi d'en faire connaître les services écosystémiques et d'y promouvoir un tourisme durable.

Dans le sillage de cette convention, diverses mesures de protection ont été prises. En Europe, par exemple, la directive *Oiseaux* de 1979 vise à protéger et à conserver à long terme les espèces d'oiseaux vivant à l'état sauvage sur le territoire des États membres. Ceux-ci s'engagent à préserver, maintenir ou rétablir les biotopes et les habitats de ces oiseaux – habitats qui, pour beaucoup, sont dans les zones humides littorales. La directive *Habitats Faune Flore* de 1992, quant à elle, promet, au sein des États européens, la protection et la gestion raisonnée des espaces naturels et des espèces de faune et de flore à valeur patrimoniale. Les zones humides occupent une large place parmi les sites protégés, rassemblés sous le nom de réseau *Natura 2000*. Le pâturage sur prairies humides a ainsi pu être encouragé par des mesures fiscales et des aides aux agriculteurs.

Plusieurs mesures ont aussi été prises à l'échelle nationale, telle la loi sur la protection de la nature du 10 juillet 1976. Et depuis 1975, le Conservatoire du littoral achète des terrains dont il confie la gestion à des associations, à des collectivités ou à des exploitants selon des plans de gestion durable qui ont notamment permis sur plusieurs zones de substituer, à la culture céréalière sur sols drainés, un élevage sur prairies humides.

Aujourd'hui, l'importance des zones humides littorales n'est plus à démontrer. Nombre d'entre elles figurent sur la liste du patrimoine naturel mondial de l'UNESCO,

telles que la mer des Wadden en Allemagne et aux Pays-Bas, le Parc national de Doñana en Espagne, le Delta du Danube en Roumanie, la baie du Mont-Saint-Michel, les Sundarbans dans le delta du Gange et du Brahmapoutre en Inde et au Bangladesh, la Grande Barrière de Corail en Australie, le Parc national des oiseaux du Djoudj, au Sénégal, ou encore le Parc national du banc d'Arguin, en Mauritanie. Les zones humides littorales constituent le lieu d'une respiration entre la terre et la mer que l'artificialisation accélérée des côtes a contribué à entraver. De l'excès même de ce mouvement sont nées des préoccupations écologiques qui, soulignant la valeur des zones humides, ont suscité un intérêt scientifique et provoqué des dispositions législatives tendant à les protéger.

Ces dispositions sont particulièrement opportunes alors que le changement climatique rend capital le rôle des zones humides littorales pour le stockage du carbone, pour le maintien de la biodiversité et pour l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer. Reste à savoir si elles seront suffisantes. Depuis quelques années, la Grande-Bretagne conduit une politique délibérée de « réalignement », qui consiste à conforter des digues de second rang avant d'ouvrir les digues de mer, comme à Freiston, sur les rives de la baie du Wash, en 2000-2002. Rendre des terres à la mer peut apparaître, dans certains cas, comme la façon la plus heureuse de s'adapter au changement climatique. ■

VOS PRIVILÈGES AU SOMMET

1 an • 12 numéros

56 € seulement
au lieu de ~~74,70 €~~



Recevez chaque mois votre magazine en version papier
et consultez sa version numérique en format PDF sur www.pourlascience.fr

POUR LA
SCIENCE

BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner accompagné de votre règlement à :
Service Abonnements • Pour la Science
8, rue Férou • 75278 Paris cedex 06

☐ **Oui, je m'abonne à *Pour la Science* seul** (12 n°s et leur version numérique)

1 an • **56 €** au lieu de ~~74,70 €~~ Tarif valable en France métropolitaine et d'Outre mer. Participation aux frais de port à ajouter au prix de l'abonnement : Europe 12 € - autres pays 25 €.

☐ **Oui, je m'abonne à *Pour la Science* version web** (12 n°s)

1 an • **48 €**

☐ **Oui, je m'abonne à *Pour la Science*** (12 n°s et leur version numérique) + **les *Dossiers Pour la Science*** (4 n°s et leur version numérique)

1 an • **76 €** au lieu de ~~102,50 €~~ Tarif valable en France métropolitaine et d'Outre mer. Participation aux frais de port à ajouter au prix de l'abonnement : Europe 16 € - autres pays 35 €.

☐ Je souhaite recevoir la newsletter *Pour la Science* à l'adresse e-mail suivante :

_____ @ _____

Mes coordonnées (à remplir) :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél.* : _____

Je règle par :

☐ Chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Carte bancaire

Numéro de la carte

Date d'expiration

Signature obligatoire

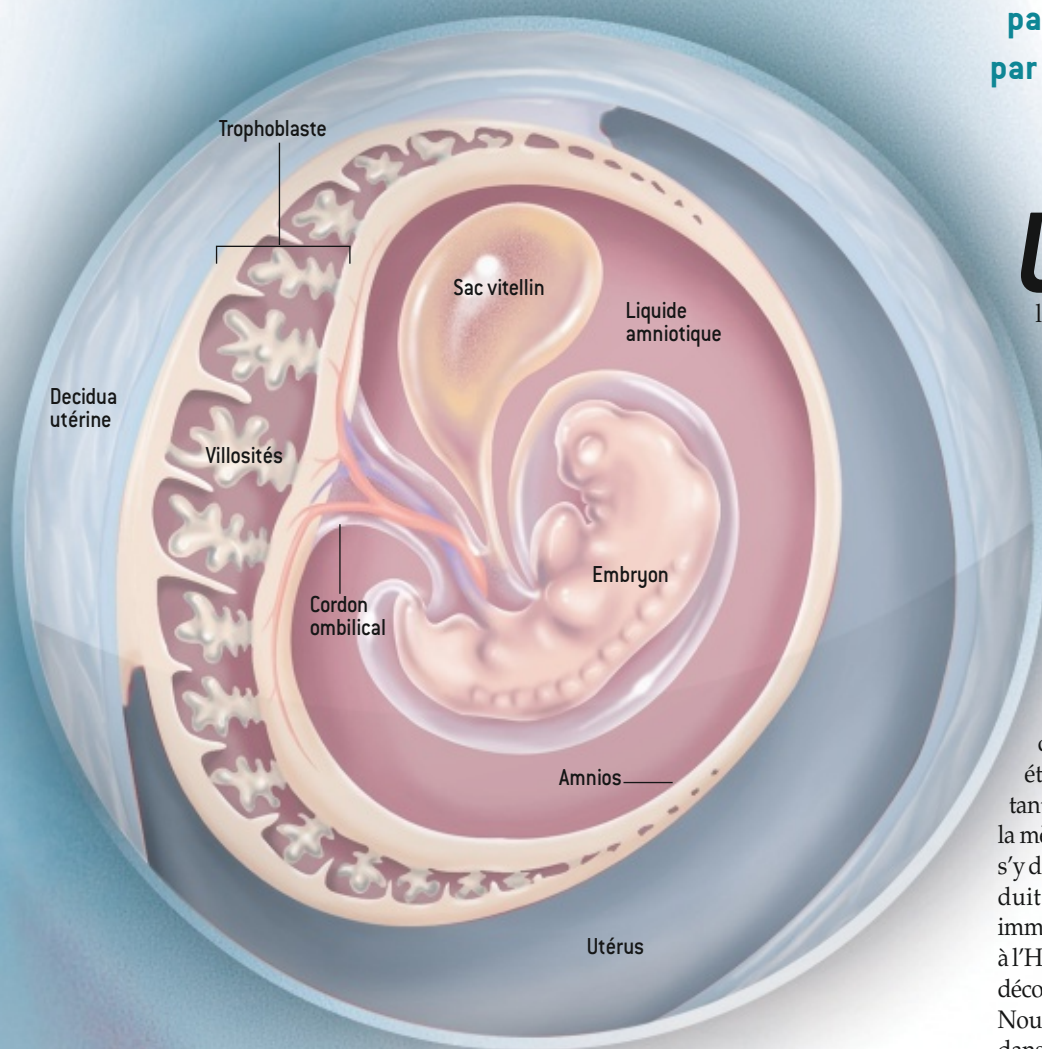


En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-contre sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres organismes. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case ☐.
* prix en kiosque ** facultatif

Comment la MÈRE

Edgardo D. Carosella et Nathalie Rouas-Freiss

Le système immunitaire détruit tout ce qui est étranger à l'organisme. Sauf celui d'une femme enceinte, qui est inhibé par des molécules produites par le fœtus, nommées HLA-G.



Un bon mariage est celui où chacun des époux a la chance de pouvoir tolérer l'intolérable. En 1939, dans les *Pensées d'un biologiste*, l'écrivain et biologiste français Jean Rostand (1894-1977) étudie les relations de l'homme et du monde qui l'entoure. Cette phrase de Rostand, légèrement modifiée, pourrait s'appliquer à la grossesse : « Une bonne grossesse est celle où chacun des protagonistes – la mère et le fœtus – a la chance de pouvoir tolérer l'intolérable. » En effet, les cellules d'un individu portent une carte d'identité, que le système de défense (ou immunitaire) d'un autre individu reconnaît comme étranger, de sorte qu'il les détruit. Pourtant, lors d'une grossesse, l'organisme de la mère tolère pendant neuf mois l'être qui s'y développe. C'est parce que le fœtus produit des molécules inhibant le système immunitaire maternel. Avec notre équipe à l'Hôpital Saint-Louis de Paris, nous avons découvert ces molécules, nommées HLA-G. Nous allons mettre en évidence leur rôle dans la tolérance fœto-maternelle.

La plupart des cellules d'un organisme présentent à leur surface des molécules du « complexe majeur d'histocompatibilité »,