

L'eau douce du fond de la mer

L'eau douce circulant dans les réseaux souterrains jaillit parfois au fond des mers. On peut capter ces sources.



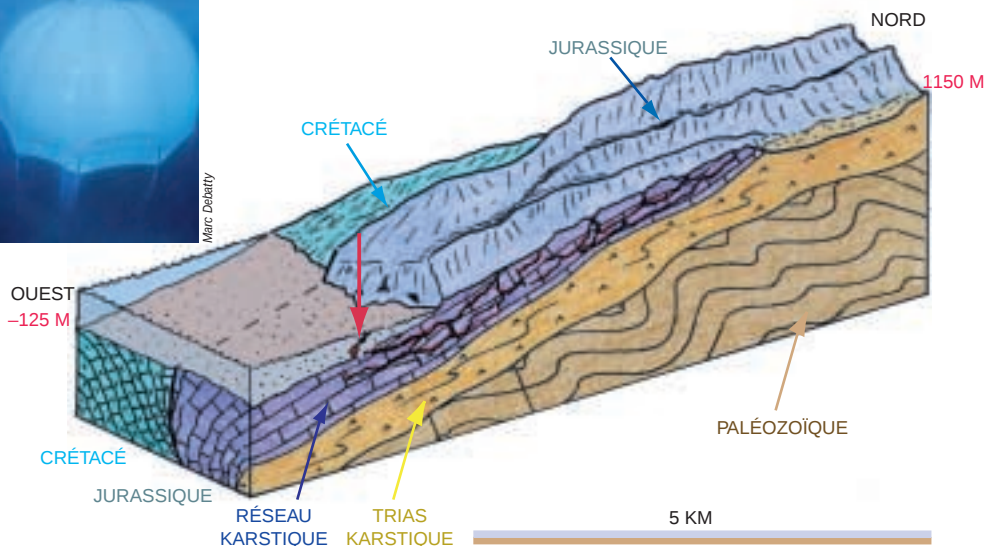
Dans l'Antiquité, les marins grecs se ravitaillaient en eau douce sans accoster, en immergeant une amphore retournée lestée qu'ils basculaient au-dessus de la source pour la remonter remplie d'eau potable. En Grèce moderne, près du port d'Itéa, les bergers font boire leurs troupeaux... sur le rivage d'une crique où jaillit, à quelques mètres du bord, l'eau douce d'une source au débit élevé.

Ces sources sous-marines émergent de massifs côtiers carbonatés, où ont été creusées des structures originales, les karsts, résultant de la dissolution du calcaire par les eaux de ruissellement : le gaz carbonique des eaux pluviales élargit les interstices de la roche calcaire et crée un réseau complexe de chenaux, de conduits souterrains et de grottes.

La circulation de l'eau dans ces réseaux s'effectue par gravité, en écoulement libre, ou sous pression dans des «conduites forcées» et des siphons, engendrant parfois des rivières souterraines, comme à Padirac, dans le Lot. Les eaux sont drainées jusqu'à un niveau de base, constitué par une couche imperméable ; elles ressurgissent sous forme de sources dites «vauclusiennes», qui se caractérisent par un débit important et de grandes variations de régime.

Ainsi, le réseau drainant, en bordure de mer, aboutit à des sources qui affluent et jaillissent à l'air libre ; elles sont souvent en relation directe avec des failles importantes qui jouent un rôle de conduit naturel. Comment ces résurgences peuvent-elles être sous-marines ? Deux phénomènes peuvent alors se produire : soit une subsidence du socle continental, affaiblement lent plus ou moins régulier ; soit une montée du niveau marin résultant d'une fonte des calottes glaciaires.

Dans les deux cas, la partie basse du réseau karstique est recouverte par la mer, et certaines sources sont progressivement submergées. Quand le conduit karstique est étanche et que la charge d'eau douce est supérieure à la pression de la colonne d'eau de mer à la profon-



Coupe géologique de la région au large du cap de Mortola, à proximité de Menton. Une partie du réseau karstique est immergée, et la résurgence d'eau douce est sous-marine. Cette résurgence à une profondeur de 36 mètres est captée à l'endroit désigné par la flèche rouge. En vignette, dispositif de captation de l'eau douce.

deur de l'émergence, l'eau douce continue à jaillir sur le fond marin. C'est le cas des rivières souterraines de Port Miou et de Bestouan (le plus vaste réseau immergé d'Europe) dans le massif des calanques, entre Marseille et Cassis.

Nous avons étudié l'émergence sous-marine située à 800 mètres au large du cap Mortola, à l'Est de Menton. La source émerge à 36 mètres de profondeur, au pied d'un dépôt de tuf calcaire. À la fin de l'été 1999, son débit atteignait 500 litres par seconde. Elle est alimentée par un massif datant du Jurassique (il y a quelque 170 millions d'années) formant un vaste ensemble karstifié entre Sospel et la mer. Vers le rivage, ce massif se réduit à une étroite bande que quelques failles relient aux roches du Crétacé supérieur, peu perméables, situées de part et d'autre : l'eau est ainsi canalisée entre ces deux accidents de terrain ; la source du cap Mortola se situe dans le prolongement de la faille orientale.

Quelle est la cause de la submersion de cette source ? La dernière glaciation du Würm, qui a duré 70 000 ans, a atteint son apogée il y a environ 21 000 ans, entraînant une baisse du niveau de la Méditerranée de 125 mètres et une réactivation des karsts, créant des grottes accessibles et habitées : ainsi, la grotte Cosquer s'orne de dessins qui datent de -18 000 à -27 000 ans.

À cette époque, la source de Mortola jaillissait à près de 90 mètres au-dessus du rivage. Lors du réchauffement, l'eau

a recouvert les vallées. On distingue plusieurs gradins d'érosion, dont l'un, à -36 mètres, date de -8500 environ (entre -8400 et -9000). Nos lointains ancêtres devaient s'y abreuver !

Aujourd'hui, on cherche à localiser les sources sous-marines d'eau douce lors de campagnes géophysiques et océanographiques qui précisent les paramètres physico-chimiques de l'eau. Grâce à des photos satellites, à des clichés aériens, et au positionnement fourni par le GPS (le système de positionnement global), et après une série de plongées, on estime le débit et les caractéristiques topographiques et structurales de l'émergence. Cette exploration scientifique permet d'évaluer le «gisement». Quand celui-ci paraît économiquement valable, on met en place un dispositif de récupération de l'eau douce qui respecte l'environnement naturel de la source.

Pour le captage de Mortola, le matériel mis en œuvre comprend une calotte sphérique souple de huit mètres de diamètre et de trois mètres de hauteur ancrée par des plots en béton, une cheminée haute de 12 mètres, et une pompe immergée disposée au pôle de la calotte sphérique. La souplesse de l'ensemble assure une excellente résistance à un courant supérieur à trois nœuds. Une filiale «Asie» de notre société vient d'être créée afin de mettre en production des champs aquifères *off-shore* en Indonésie.

P. BECKER, T. CARLIN et P. LEMPÉRIÈRE
NYPHEA-GÉOCCÉAN SOLMARINE

Sardines et anchois

Pour se protéger des prédateurs, certains poissons se dissimulent dans des bancs d'autres espèces, mais ils ne résistent pas aux nouvelles conditions de vie.

Les différentes espèces de poissons de pleine mer (sardines, anchois, maquereaux...) ne coexistent jamais en grand nombre dans une même région océanique. On constate que, lorsque la biomasse des anchois augmente, celle des sardines diminue, parfois pendant plusieurs décennies. Ainsi, le long des côtes californiennes, la population de sardines a diminué, à partir des années 1940 : à la fin des années 1960, on n'en trouvait plus que quelques-unes, dans des bancs de maquereaux. Le phénomène inverse existe aussi, les sardines se multipliant au détriment des anchois. Depuis longtemps, les océanographes s'interrogent sur l'origine de telles variations de population. Ces poissons ne sont pas en concurrence pour la nourriture, car ils n'ont pas le même régime alimentaire. D'autre part, ils mangent aussi bien leurs propres œufs que ceux des autres espèces : il n'y a pas de prédation préférentielle de l'une des espèces par l'autre. Philippe Cury et ses collègues de l'Institut de recherche pour le développement (IRD) ont découvert que les contraintes de la vie en banc sont responsables des variations de population.



Les bancs de poissons de pleine mer contiennent parfois plusieurs espèces. L'espèce minoritaire pâtit alors du mode de vie imposé par l'espèce majoritaire, de sorte que son nombre d'individus décroît.

En analysant les prises au filet au large du Sénégal, de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique du Sud, et les données acoustiques des campagnes de détection par sonar, ils ont montré que plus les membres d'une espèce sont rares, plus ils s'agrègent aux bancs d'une autre espèce : la proportion de l'espèce minoritaire est un indicateur de son abondance dans une région océanique donnée. Par exemple, en Afrique du Sud, lors de la pénurie de sardines, à la fin des années 1980, ces poissons représentaient dix pour cent de la biomasse des bancs où ils étaient pêchés.

N'étant pas assez nombreux pour former des bancs contenant leur seule espèce, ils rejoignent des bancs d'une autre espèce, de taille et de forme voisines. Les prédateurs ne les distinguent pas les uns des autres. En se camouflant dans un banc de poissons de même apparence, ils assurent leur survie. Toutefois, le mode de vie des sardines et celui des anchois diffèrent. Par exemple, les sardines migrent pour se reproduire. Les anchois qui les accompagnent, plus sédentaires, ne nagent pas aussi vite et peinent à les suivre. Les sardines filtrent l'eau pour se nourrir de particules en suspension. Les anchois aussi, mais ils ne récupèrent pas des particules aussi petites, si bien qu'ils ont des difficultés à survivre dans certains endroits où se rendent les sardines.

Similairement, les sardines subsistent mal dans des bancs de maquereaux. Ceux-ci sont des prédateurs : ils chassent des poissons plus petits, dans des zones où il n'y a pas toujours de nourriture en suspension pour les sardines. Enfin, pendant la période de reproduction, les anchois et les sardines mangent eux-mêmes une partie de leurs œufs : quand ils sont minoritaires dans un banc, presque tous leurs œufs sont mangés par l'espèce majoritaire (les périodes de ponte des deux espèces sont décalées). Ainsi, les poissons de l'espèce minoritaire se raréfient, car ils supportent mal les conditions de vie imposées par l'espèce majoritaire ; de plus, ils ne se reproduisent quasiment plus. On constate que les anchois prolifèrent au détriment des sardines, ou les sardines au détriment des anchois. La vie en banc, qui a un impact négatif sur l'espèce minoritaire, amplifie la perturbation initiale, due soit à un changement de l'environnement, soit à une pêche trop intensive.

BRÈVES

Caviar grand cru

Homogénéité, couleur de bronze, présence de taches blanches, grains collants, odeur d'anchois, de vinaigre, de bière... ces critères disparates ont été récemment définis par des biologistes de l'IFREMER pour caractériser le caviar. Grâce à cette «carte d'identité», les œufs d'esturgeons, qu'ils soient sauvages, élevés en bassin artificiel, en France, ou en étang, dans les pays d'Europe de l'Est, sont appréciés objectivement. Les premières comparaisons montrent que les propriétés organoleptiques du caviar dépendent principalement de l'alimentation de l'esturgeon, tandis que les conditions d'élevage n'ont guère d'influence. On évalue aujourd'hui le caviar comme un grand vin.



Observation directe

C'est l'arlésienne des chasseurs de planètes. Régulièrement, des astronomes annoncent avoir observé une planète hors du Système solaire. La dernière en date provient d'un groupe britannique qui prétend avoir observé directement la lumière réfléchie par une planète dans le spectre de l'étoile autour de laquelle elle orbite. L'effet statistique est marginal : il a fallu analyser près de 400 spectres de l'étoile Tau de la constellation du Bouvier pour déceler un léger effet. Ainsi la méthode est lourde à mettre en œuvre, mais elle donne des informations nouvelles, notamment l'albédo de la planète, c'est-à-dire la quantité de lumière qu'elle réfléchit.

Fille ou garçon ?

Quel sera le sexe de l'enfant à paraître ? Avant l'échographie qui permet de «voir» l'enfant dans le ventre de sa mère, diverses méthodes empiriques étaient utilisées pour cette prévision. Une équipe suédoise a étudié les femmes qui avaient été hospitalisées en raison de la gravité de leurs nausées et vomissements au début de leur grossesse. Plus ces désagréments sont marqués, plus l'enfant a de chances d'être une fille. Ces désagréments résulteraient d'une augmentation de la concentration en hormone HCG. Or, les concentrations maternelles en HCG sont supérieures, à la naissance, lorsqu'il s'agit d'une fille.

Martini glacé

Un secret d'agent secret a été dévoilé : les *Martinis* qui sont vigoureusement agités, mais non remués, comme les préfère James Bond (*shaken, not stirred*) ont des vertus qui expliquent sans doute l'excellente santé de l'espion de Sa

Gracieuse Majesté. Une équipe américaine a étudié les propriétés antioxydantes de la boisson préparée selon l'une ou l'autre façon. Agité, le *Martini* inactive plus efficacement le peroxyde d'oxygène, dont on connaît les propriétés délétères sur

les membranes cellulaires. L'équipe a également montré que, parmi les deux constituants de l'apéritif, le gin et le vermouth, le second a les propriétés antioxydantes les plus marquées. Toutefois James pourrait encore améliorer sa forme en buvant du whisky dont les propriétés anti-oxydantes sont supérieures.

Du bar au loup

Chez le poissonnier, que vous demandiez un loup ou un bar, vous pensez parler du même poisson que seule la provenance distingue : le loup est méditerranéen, tandis que le bar fréquente l'océan Atlantique. Pourtant, des études génétiques effectuées au laboratoire Génome, populations et interactions, de l'Université de Montpellier, montrent que le génome des deux populations diffère. La mer d'Alboran, située entre Almería en Espagne et Oran, au Maroc, constitue une frontière naturelle qui sépare les deux populations : le poisson pêché à Casablanca est plus proche d'un bar danois que d'un loup marseillais!

Nouvelles espèces en bouche

On connaissait plus de 500 types de bactéries – presque autant que dans la forêt tropicale – colonisant la bouche. La plupart assurent sécurité et confort ; seules quelques-unes abîment les dents ou donnent mauvaise haleine. David Relman et ses collègues de l'Université Stanford, qui s'intéressent aux bactéries de la plaque dentaire, ont été surpris d'y retrouver, à côté des espèces connues, des ADN inédits : 37 nouvelles espèces ont été identifiées. L'une d'elles est apparentée à des micro-organismes qui oxydent les métaux et que l'on trouve dans les sédiments lacustres. Que fait-elle dans la bouche ? Y séjourne-t-elle ou avait elle été apportée par l'eau de boisson ? La question reste ouverte.

Autocontrôle dans le ciel

Un système embarqué permettra aux avions de se croiser sans risque dans le ciel.

Cela n'aurait pas dû arriver. L'été dernier au-dessus de la Chine, deux *Boeing 747* volaient l'un vers l'autre dans le même couloir aérien séparés verticalement d'environ 700 mètres. Alors que les avions s'approchaient, le système anticollision de l'appareil le plus bas émit un message d'alerte sonore : «Grimpez, grimpez». Le pilote obtempéra et son avion se retrouva à quelques dizaines de mètres seulement sous le ventre de l'autre appareil. Les 422 passagers et membres d'équipage échappèrent de justesse à ce qui aurait été la pire des collisions de l'histoire de l'aviation.

Dans le monde, près de 10 000 systèmes anticollisions sont placés sur les avions de passagers et de fret. Mis au point dans les années 1980, après de nombreuses collisions en vol, ces instruments interrogent le radar d'altitude des avions voisins, puis affichent l'altitude du trafic jusqu'à 25 kilomètres alentour et, le cas échéant, émettent un message d'alerte audio. L'efficacité du système est avérée : après son adoption, le nombre de collisions évitées de justesse est passé de 20 à 4 par an, aux États-Unis. Son déploiement n'est pas terminé. Obligatoires pour les avions de passagers aux États-Unis depuis 1993, les instruments anticollisions le seront en Europe l'an prochain et dans le monde entier, en 2003 (pour les avions de plus de 15 tonnes ou qui transportent plus de 30 passagers).

Hormis cet incident en Chine, le système reste très sûr. Cependant, les ingénieurs réfléchissent à un nouvel instrument dont le rôle ne serait pas l'évitement des collisions. Aujourd'hui, les contrôleurs aériens sont chargés de maintenir l'écart entre deux avions. Ne pourrait-on imaginer transférer une partie de cette responsabilité aux pilotes eux mêmes ?

Un nouvel instrument, l'ADB-S, cofinancé par l'Association des compagnies aériennes de fret et par la Direction de l'aviation américaine, pourrait faire ce travail. Couplé à un récepteur GPS, il identifie et affiche en temps réel le trafic aérien à des centaines de kilomètres à la ronde. Non seulement il donne la position du trafic par rapport à l'avion hôte, mais il indique



également la vitesse du trafic et extrapole la position future des avions. Contrairement à la surveillance radar classique à bord des appareils de lignes, il n'a pas besoin d'interroger les appareils voisins pour avoir une réponse.

En juillet 1999, un test en vraie grandeur a réuni 24 appareils équipés de l'ADB-S. Les pilotes trouvèrent que l'affichage indiquait précisément l'accélération ou le ralentissement de l'avion qui les précédait, ce qui leur permettait d'ajuster facilement leur propre vitesse. Le plus souvent, par souci de sécurité, les pilotes restent plus éloignés des avions voisins que la distance minimale réglementaire, qui est égale à cinq kilomètres et demi lors des manœuvres d'atterrissage. Grâce à ce nouvel équipement, les avions pourront être séparés de cette distance, ce qui améliorera la cadence des atterrissages en toute sécurité. De surcroît, à l'inverse de l'ancien système et des radars embarqués classiques, le nouveau système fonctionne même au sol, ce qui réduira le risque d'accidents sur les pistes et dans les manœuvres d'approche.

Malgré le succès des essais, ces instruments restent très critiqués. Le déploiement des instruments anticollisions n'est pas terminé et chaque appareil coûte près d'un million de francs. Investir dans un nouvel appareillage serait onéreux. Toutefois, le système ADB-S pourrait avoir son utilité, notamment pour les vols océaniques où le positionnement des avions se fait encore par radio HF. L'ADB-S sera-t-il la pierre angulaire du contrôle aérien du futur ?



Les attentes sur les pistes d'aéroports seront réduites grâce au système ADB-S, qui affiche la position et la direction du trafic alentour sur un écran du poste de pilotage. Le triangle blanc est l'appareil-hôte, les autres avions sont en bleu et en jaune.