

ÉDITORIAL

Ce numéro de SCIENCES est pratiquement exclusivement consacré à la publication des actes des 6^e entretiens de Brest, qui ont eu lieu les 21 et 22 novembre 2002. Cette série d'entretiens a pour titre général «Science et éthique, ou le devoir de parole». Placée sous l'égide du Conseil régional de Bretagne et organisée par l'agence 3B Conseils¹, ces colloques réunissent autour d'un thème commun des scientifiques, des journalistes, des personnalités de la vie civile et le grand public, qui peut ainsi se faire une opinion plus fondée sur le thème abordé. Cette démarche est exactement celle de l'AFAS, et c'est pourquoi l'AFAS est l'un des partenaires des Entretiens de Brest, certains de ses membres éminents y intervenant régulièrement.

Le thème des 6^e Entretiens était «Les milieux extrêmes, d'un monde à l'autre». Après une session inaugurale, où les intervenants ont rappelé les motivations humaines dans l'exploration des milieux extrêmes et d'autres points historiques, qui éclairent la situation actuelle, le colloque s'est organisé autour de six tables rondes, évoquant la responsabilité des centres de recherche, l'usage du vivant, la biodiversité et la compatibilité entre éthique et droit. Trois types de milieux extrêmes ont été abordés en priorité : les milieux polaires, les grands fonds et l'espace. D'autres milieux, qui passaient pour extrêmes il n'y

a pas si longtemps, comme les déserts ou même la frange côtière, n'ont cependant pas été ignorés.

Pour ne pas trop alourdir ce numéro, nous nous sommes limités à la publication des exposés liminaires faits par chacun des intervenants. Nous n'avons pas repris la transcription des débats qui ont suivis : bien qu'intéressants, il est difficile de les restituer correctement, d'autant plus qu'ils sont souvent limités à la région Bretagne. Le lecteur intéressé pourra se reporter au site Internet spécialisé, <http://science-ethique.enst-bretagne.fr/>.

A l'issue de ces entretiens, l'impression dominante est que les scientifiques, dans leur très grande majorité, ont parfaitement compris que l'on ne pouvait pas faire n'importe quoi n'importe où et n'importe comment, mais que la connaissance, et donc la recherche, étaient plus que jamais indispensables pour bien comprendre ce qu'on faisait. Le grand public présent à Brest semble lui aussi avoir bien conscience de cette nécessité. Il ne reste plus qu'à convaincre tous les acteurs de la vie économique, jusqu'aux firmes multinationales et aux gouvernements, d'en être aussi conscients et d'agir en conséquence. Puisse cette publication, comme toute l'action de l'AFAS d'ailleurs, y contribuer un tant soit peu.

*Paul Faugeras
Rédacteur en chef de SCIENCES*

¹ Brigitte Bornemann-Blanc, 3B Conseils
<http://www.troisbconseils.com>

Prologue

Les explorations scientifiques, d'hier à aujourd'hui

Rappel historique : Brest, du port de guerre au pôle d'excellence scientifique

Président : **Michel Glémarec**, professeur honoraire d'océanographie biologique à l'université de Bretagne occidentale, président du colloque

Intervenants : **Alain Boulaire**, historien

Vincent Jullien, professeur d'histoire et philosophie des sciences à l'université de Bretagne occidentale

Jean-Louis Bouet-Leboeuf, chef du centre d'hydrographie de l'établissement principal du Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM)

Michel Glémarec :

Le thème de ces 6^e Entretiens scientifiques, sur lequel nous travaillons depuis un an et demi, est les milieux extrêmes. Ce matin, j'aimerais que nous ayons auparavant une pensée pour nos frères galiciens qui subissent la marée noire du *Prestige*. Il y a deux ans, nous avons traité de l'impact des pollutions maritimes à la suite du naufrage de l'*Erika*. Ce qu'on a constaté, notamment avec l'*Erika*, est l'impact économique avant qu'on ait la première trace du moindre impact écologique. Nous sommes très clairs là-dessus. Nous connaissons bien les Galiciens, nous avons travaillé avec eux sur d'autres marées noires, et j'ai cette pensée émue vers nos frères «*Gaiegos*» dont tout le développement économique et toute la culture sont fondés sur l'exploitation des richesses marines. C'est vraiment un énorme problème, qui sera sans doute d'ordre écologique, mais qui est, pour l'instant, surtout d'ordre psychologique, avec la crainte que le pétrole rentre dans la fameuse ria de Arosa, où l'essentiel des cultures sont rassemblées. Je tenais à partager ce moment d'émotion avec vous.

Pour les entretiens 2002 nous avons choisi un thème que nous avons réellement découvert en travaillant, avec l'idée que Brest constitue une très forte base océanographique ouverte vers tout le milieu océanique. On réalise aussi bien entendu que l'Institut polaire de Brest, devenu l'Institut Paul-Emile Victor, est une nouvelle chance considérable.

On a découvert aussi à Brest des personnes travaillant sur l'espace, sur la conquête future de Mars, et ce sont tous ces experts, scientifiques, universitaires qu'on a voulu rassembler. Les Entretiens se veulent être le rendez-vous annuel des scientifiques et des politiques, et j'espère qu'avec les citoyens présents ici, nous aurons l'occasion de partager beaucoup de choses.

Alain Boulaire :

L'Académie de marine et les grandes expéditions de découverte

2002 est l'année du 250^e anniversaire de la fondation, à Brest, de l'Académie de marine qui a été fêtée la semaine dernière encore par un remarquable colloque sur le livre maritime. Il est donc particulièrement intéressant de rappeler que cette Académie de marine, créée à l'initiative de quelques jeunes officiers de Marine, accompagnés d'ingénieurs constructeurs, de médecins, de dessinateurs, etc., a été l'instigatrice de grandes expéditions de découverte du XVIII^e siècle, et je voudrais commencer par une citation de l'un des membres de cette Académie, qui n'est pas l'un des moindres de ces découvreurs : «Je suis voyageur et marin, c'est-à-dire un menteur et un imbécile aux yeux de cette classe d'écrivains paresseux et superbes qui, dans l'ombre de leur cabinet, philosophent à perte de vue sur le monde et ses habitants et soumettent impérieusement la nature à leurs imaginations. Procédés bien singuliers, bien inconcevables de la part de gens qui n'ayant rien observé par eux-mêmes, n'écrivent, ne dogmatisent que d'après les observations empruntées de ces mêmes voyageurs auxquels ils refusent la faculté de voir et de penser.»¹

Les trois grandes vagues de voyages de découverte dans l'histoire de l'humanité

La première, au Léolithique et au Néolithique, a vu l'homme peupler la planète essentiellement par voie terrestre même si, de cette époque, on peut retenir le fait incroyable que des hommes, arrivés par voie maritime, ont peuplé l'Australie ; au Néolithique, il est aussi inté-

¹ Bougainville dans l'introduction de son récit de voyage.

ressant de voir que les indigènes du boomerang et de la sagaie étaient capables de communiquer en permanence avec d'autres indigènes qui se trouvaient dans les îles de l'Amirauté, au-delà de la Nouvelle-Guinée, à plus de 2 000 km. Ceci est une interrogation extraordinaire sur laquelle nous n'avons que des réponses extrêmement partielles, étant donné que nous sommes encore à la période préhistorique.

A la période historique, hormis l'Antiquité qui progresse essentiellement par voie terrestre ou par la Méditerranée, et la période Viking dont on sait aujourd'hui qu'elle a colonisé en partie ou du moins découvert l'Amérique, les deux grandes périodes qui nous intéressent sont les voyages de grandes découvertes des XV^e et XVI^e siècles, dont les représentants les plus superbes sont des hommes comme Christophe Colomb ou Magellan. Et ensuite, ceux de la période qui nous intéresse aujourd'hui, le XVIII^e siècle. Nous pouvons remarquer à ce sujet qu'après la grande vague de découvertes du XVI^e siècle suivra une période de calme du point de vue des explorations, marquée par la colonisation des espaces découverts. Ce sera en particulier le cas de ce Nouveau Monde que Christophe Colomb avait redécouvert un peu par hasard.

Ainsi donc, une fois passée cette grande période de découvertes et de colonisations, au XVIII^e siècle, va de nouveau apparaître un esprit de volonté de rechercher de nouveaux mondes. A quoi cela est-il dû ? Nous sommes dans ce siècle des Lumières marqué par une recherche scientifique «tous azimuts».

Or, en cette période, que connaît-on du globe ? En plus du vieux Monde : l'ensemble Asie-Afrique-Europe, on a donc, depuis la fin du XV^e siècle, découvert le Nouveau Monde : l'ensemble américain. Mais il faut bien voir que dans ces mondes, on ne connaît vraiment que les franges littorales - c'est tout à la gloire des marins ; jusqu'à une période très récente, peut-être même encore aujourd'hui, de vastes étendues de notre globe demeurent très peu fréquentées par l'homme, telles l'Amazonie, des îles de l'Insulinde ou autres, où l'on prétend découvrir parfois des choses un peu étonnantes si l'on croit notre terre aujourd'hui parfaitement maîtrisée.

Donc ce sont ces mondes qu'on connaît en ce XVIII^e siècle qui voit l'avènement de toutes les recherches possibles. L'«honnête homme» de ce temps - et cela éclatera à travers l'*Encyclopédie* - rêve d'un savoir universel : c'est dans ce cadre que va naître par exemple l'Académie de marine, mais que vont apparaître surtout ces désirs de découverte.

Quels sont les motifs des voyages de découverte ?

Le premier est l'aventure. J'aime beaucoup faire l'étymologie des mots, car l'une des faiblesses de notre siècle, c'est d'oublier le sens des mots. Qu'on crée des mots nouveaux pour des concepts nouveaux est une évidence et une nécessité afin que la langue vive. Le mot *aventurier* signifie, à l'origine, celui qui est tourné vers l'avenir, qui

va vers l'avenir - c'est la racine même du mot - et assez curieusement, le terme de *manant*, plutôt péjoratif, désigne celui qui reste, celui qui s'ancre sur sa terre, tandis que l'autre, quelque part, est un semeur d'avenir. Donc, le premier intérêt est le goût de l'aventure.

Le deuxième intérêt - et c'est le ressort essentiel - est l'économie. A l'époque, l'économie, c'est avant tout de planter son drapeau sur des terres qu'on découvre, et la prise de possession de ces terres est un phénomène tout à fait fondamental. Je vous rappellerai l'anecdote que je trouve toujours très perfide, mais très symbolique, dans la relation de voyage de Cook ; elle n'est pas de lui puisqu'il était déjà mort, mais celui qui rédige le compte rendu officiel de l'expédition écrit : «J'aurais dû appeler cette île de la désolation, mais je n'ai pas voulu enlever à monsieur de Kerguelen l'honneur de l'avoir découverte.» Ce sont nos îles Kerguelen d'aujourd'hui, dont de Kerguelen a pris possession officiellement au nom de Louis XV.

Le troisième est l'intérêt géographique, c'est-à-dire connaître le monde. A cette époque, il y a deux zones totalement inconnues, la *Terra Australis incognita* et les pôles, qu'on oublie souvent : au Nord, dans cet Arctique qu'on pourrait penser sans grand intérêt parce qu'on le connaît depuis longtemps, c'est la recherche du passage entre l'Atlantique et le Pacifique qui est l'objet de toutes les sollicitations, et, au Sud, l'autre extrême qui, lui, est totalement inconnu, ce qui constitue un autre grand intérêt. L'intérêt scientifique est de mieux connaître le monde, et les expéditions sont chargées de faire une moisson botanique et zoologique.

Le dernier élément fort, majeur sans nul doute est la volonté politique. A cette époque, les politiques sont surtout les souverains et ministres britanniques et français, parce que les autres (Hollandais ou Espagnols) sont alors assez absents. Les Russes, quant à eux, sont très présents, mais plutôt pour l'exploration terrestre, afin de connaître leur vaste empire qui s'étend du Pacifique jusqu'à la mer Blanche.

Ces conjonctions d'intérêts vont susciter des expéditions et de nouveaux tours du monde : Bougainville qui accomplit la circumnavigation, entre 1766 et 1769, part de Nantes sur la *Boudeuse*, mais, après ce faux départ, une «infortune de mer» va l'obliger à réparer à Brest, d'où a lieu le vrai départ, le 5 décembre 1766 ; les voyages de Kerguelen et celui de La Pérouse, qui suscitera d'autres expéditions, dont celle de Bruni d'Entrecasteaux, qui part à sa recherche en 1791 ; et enfin, le dernier voyage du XVIII^e siècle, celui de Nicolas Bodin en 1800, dont, il y a peu de temps, le Dr Steven Smith, un chercheur australien venu ici pour resserrer les liens qui unissaient la Tasmanie à la France, nous rappelait l'importance, également ravivée par le livre qui vient de sortir sur Louis de Saint-Aloüarn², l'un de ces marins qui ont pris posses-

² *Louis de Saint-Aloüarn*, T. de Kerros et P. Goddard, Ed. Les Portes du Large, Rennes, 2002.

sion de l'Australie au nom du roi de France - c'était l'un des compagnons de Kerguelen. Il y a donc tout un mouvement de voyages de découverte, accompagné par l'Académie de marine, par l'Académie des sciences, dont il est intéressant de voir qu'elles fonctionnent en même temps, souvent même avec des académies étrangères. Mais il ne faudrait pas non plus cacher les limites de cette curiosité universelle. En effet, ces limites arrivent très vite. Tout d'abord, ce sont les mythes. Celui du «bon sauvage» est l'un des plus prégnants de cette époque ; en effet, on est persuadé, à la suite de Rousseau, qu'il y a des «bons sauvages», et Bougainville va accréditer cette idée en découvrant la nouvelle Cythère, dont on découvrira un peu plus tard grâce à Aotourou, le prince indigène ramené à Versailles, que ses habitants l'appellent Tahiti. Cette nouvelle Cythère va nourrir le mythe du paradis terrestre, avant qu'on ne se rende compte que les habitants de ces îles sont malheureusement des humains - on ne peut que s'interroger sur le fait qu'on n'ait pas été plus attentif au fait, par exemple, qu'il y avait de l'anthropophagie. De ce côté-là, Cook sera beaucoup plus lucide et plus cynique, à la manière des Anglais, puisqu'il demandera à assister au sacrifice d'un jeune garçon, qu'on présentera aux dieux, accompagné de quelques cochons et d'un chien, et le récit qu'il en brosse est assez épouvantable. On ne peut qu'être surpris lorsque Diderot écrit *Le supplément au voyage de Bougainville*, qui continue à nourrir les illusions sur la bonté de l'homme, dont on découvrira très vite les limites. En revanche, il y a évidemment un volontarisme dans le domaine, et c'est ce que manifeste le prince de Nassau Siegen lorsqu'il écrit : «Ces nouveaux Colomb et Cortes ont d'aussi vastes champs de gloire à parcourir, mais c'est le siècle de l'Humanité, et il faut du moins espérer que les Européens ne veulent plus faire connaissance avec leurs frères de l'hémisphère austral que pour leur enseigner la vérité et les rendre heureux par la vertu.» Ceci nous ouvre une perspective sur ce qui nous attend.

En conclusion, je voudrais dire la permanence et l'actualité des soucis de cette époque. Aujourd'hui, nous avons de nouveaux mondes à conquérir, de nouveaux mondes à parcourir, y compris sur notre planète qui n'est pas aussi connue qu'on le croit. Il n'y a qu'à songer aux océans, mais également à ces morceaux de notre terre qui sont très peu explorés et sur lesquels nous avons certainement encore beaucoup à découvrir.

Pour cela, il faut, je crois, des veilleurs - ceux qu'on appelle les philosophes des Lumières voulaient l'être, même s'ils n'y sont pas vraiment parvenus. Il faut de ces gens, contrairement à ce que pouvait dire Bougainville, qui réfléchissent en «chambre», non pas pour prétendre faire le travail des chercheurs, mais pour relativiser les choses.

Jean Rostand écrivait - et je pense que c'est d'une actualité absolument redoutable : «Si né d'un germe modifié par un biologiste, un homme commettait un crime, qui serait le coupable ? Cet homme ou ce biologiste ?» C'est ici donc la question de l'éthique, qui est au

cœur de ces Entretiens. C'est aussi la question, je crois et profondément, de la rigueur scientifique. Jean Rostand écrivait encore : «Il est des problèmes qui nous tourmentent au point que nous les aimerions voir résolus, même par quelqu'un d'autre.» Cette modestie du savant, il la faut en permanence.

Je voudrais enfin conclure par une chose que je trouve personnellement admirable, et qui est peut-être aussi dans l'esprit de ces Entretiens : il s'agit d'une citation de l'astrophysicien Trinh Xuan Thuan, qui donne à l'université de Virginie un cours d'astronomie consacré aux poètes. Il écrit dans *Le Destin de l'Univers* : «Le jour où enfin le silence inquiétant du cosmos sera rompu marquera un grand tournant dans l'histoire de l'Humanité. Même si l'homme ne parvenait jamais à décrypter ce message d'un autre monde, l'événement aurait d'énormes répercussions. La certitude de n'être plus seul dans le cosmos nous permettrait certainement de mieux appréhender ce qui fait la spécificité de l'espèce humaine. L'Univers serait moins angoissant car nous saurions alors qu'il y a quelque part d'autres êtres capables de s'émerveiller comme nous sur la beauté du monde.»

Vincent Jullien :

La Terre : citron cartésien ou pomme newtonienne ?³

Je vais vous raconter une histoire qui concerne la forme de la Terre. Si l'on considère une sphère du point de vue de sa forme, elle est complètement hors sujet par rapport à un des thèmes de ces Entretiens, c'est-à-dire les «Mondes extrêmes», car s'il y a un objet, une figure qui en tant que figure n'a pas d'extrême, c'est précisément la sphère. C'est d'ailleurs pour cela qu'elle a été tant valorisée par les Anciens, et les débuts de l'astronomie se sont appuyés sur cette idée que justement il y avait bien une forme qui n'avait pas d'irrégularité, d'extrémité.

Cette histoire se passe à la fin du premier tiers du XVIII^e siècle (1730-1740). Peu avant le début de cette aventure, une expédition scientifique, il y avait eu des découvertes, notamment astronomiques et des découvertes dans la mesure du temps, qui avaient bouleversé les conditions mêmes de la géographie.

Galilée, Huygens, Newton

Les découvertes astronomiques étaient notamment dues à Galilée puis à Huygens. Avec la bonne connaissance des satellites de Jupiter et de leur régularité, on en venait à disposer d'une magnifique horloge dans le ciel, donc d'un garde-temps admirable, avec des tables d'apparition, de disparition de mouvement des satellites. Cette horloge permettait, de n'importe endroit de la terre,

³ *Le destin de l'Univers. le big-bang et après*, Ed. Découvertes Gallimard, 1992, p 127.

de pouvoir savoir comment et à quel rythme était passé le temps - le temps astronomique en tout cas. Cela avait permis de formidables précisions dans le calcul des longitudes sur terre, et bouleversé la géographie à tel point que dans un compte rendu de l'Académie des sciences de 1681, il est écrit : «La longitude par le moyen des éclipses des satellites de Jupiter s'est trouvée si exacte qu'on jugera que par ce moyen, on pourrait entreprendre la correction de toute la géographie.» L'Académie des sciences a envoyé des expéditions pour calculer les longitudes des extrémités du Royaume de France ; en quelques mois, avant 1693 et après les mesures, la carte de France se trouve absolument bouleversée, proche de celle que nous avons. Brest se retrouve rapprochée de Paris de plus 100 km, ce qui désole Louis XIV. D'ailleurs, Napoléon dit à ses savants : «Mes académiciens m'ont fait perdre plus de territoires que toute une alliance européenne et des guerres européennes.» Tout cela pour vous dire que la précision de l'astronomie était une condition afin que mon histoire puisse avoir lieu.

Justement, des doutes qui apparaissent à travers des expéditions scientifiques, notamment celle de Jean Richer, vers l'Équateur, sur la sphéricité précise de la Terre. Jean-Dominique Cassini (patron de l'Observatoire de Paris), dit, en 1701 : «Il y a des mathématiciens très célèbres qui doutent de l'égalité des longueurs d'angle du méridien.» On a pensé que la terre était ovale. MM. Huygens et Newton ont tenté d'expliquer ce phénomène par une hypothèse, de sorte que sa figure serait aplatie aux pôles. L'affaire est lancée : est-ce que la Terre est vraiment sphérique ? On a un cadre de discussion en «chambre» entre philosophes, et deux cadres théoriques possibles.

D'un côté, Newton et Huygens, pour lesquels le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même, autour de l'axe des pôles, crée la force centrifuge, donc normalement une espèce d'aplatissement vers les pôles, et par conséquent un élargissement vers l'Équateur. Cet argument est renforcé par la théorie newtonienne de l'attraction qui considère que, par une espèce d'effet de marée sur un bloc malléable tel que la Terre, il serait normal que l'équilibre dynamique soit atteint par un sphéroïde aplati aux pôles. Il y a eu à cette époque (d'Alembert, etc.) des calculs mathématiques passionnants et intéressants. Ce sphéroïde est homogène ? N'y a-t-il pas des couches ? etc. En conclusion, théoriquement, la terre devrait être plus aplatie aux pôles.

De l'autre côté, il y a les Cassini et sans doute l'ombre du grand Descartes. Les Cassini, ainsi que la majorité de l'Académie des sciences, sont très influencés par le cartésianisme. La théorie, la doctrine de Descartes qui, par un certain côté peut paraître plus moderne, car moins mystérieuse, que l'attraction newtonienne, défend ou donne un cadre pour le contraire, c'est-à-dire une Terre qui serait aussi un sphéroïde, mais allongé aux pôles, parce que la Terre tournerait sous l'effet d'un vaste tourbillon de «matière subtile», qui est la matière du ciel. On peut très bien imaginer que cela joue plutôt comme une forme de

pression, et on peut concevoir que cette pression s'exerce plus sur l'Équateur et allonge donc la forme de la Terre. D'où l'intitulé de mon intervention : la Terre : citron cartésien ou pomme newtonienne ?

La mesure du méridien

Les débats sont tels, en France, sur la forme de la Terre que l'Académie des sciences décide raisonnablement d'en faire une question de fait. Puisque les théories n'arrivent pas à se départager, il va falloir aller y voir, donc envoyer des expéditions aux extrêmes de la question, vers le pôle et l'Équateur. On envoie une expédition pour mesurer un arc de méridien vers le pôle Nord, en Laponie (cercle polaire) et une autre vers le Pérou. Les méridiens sont ces grands cercles qui partent d'un pôle à l'autre. Si l'on a une sphère, la verticale du lieu est toujours dirigée vers le centre de la sphère et un degré de modification de la verticale correspond toujours à une même longueur d'arc, tout le long du méridien. En revanche, si l'on a un ellipsoïde (allongé vers le haut ou aplati) la distance ne sera pas la même au Nord et au Sud ; la solution était donc d'envoyer mesurer un degré d'arc de méridien (c'est-à-dire la modification de la verticale d'un degré) pour savoir. On a les mesures de l'arc de méridien des Cassini (méridienne de France) qui vont servir de base. La première expédition partira de La Rochelle vers Quito le 16 mai 1735, dirigée par Godin, La Condamine et Bouguaire (trois académiciens), avec du matériel formidable. La deuxième expédition partira de Dunkerque vers la Laponie le 2 mai 1736 avec Maupertuis, Lemonnier, Alexis Cléreaux (un des plus brillants mathématiciens de son temps), Camus, Celsius, etc. Le travail est absolument énorme.

Cette seconde équipe va travailler très vite, très bien, efficacement (16 mois) et va effectuer et calculer la mesure en 1737 : le degré est plus grand que le degré de Cassini d'environ 1 000 toises, soit 1 950 m. Le degré mesure 57 437 toises, et c'est un grand succès pour la thèse newtonienne, puisque le degré est plus grand vers le pôle que vers le Sud. Maupertuis, contrairement à ses espérances, est très mal accueilli à son retour par les cassiniens, les cartésiens qui trouvent des contre-arguments, critiquent la condition des mesures. Bref, Maupertuis s'aperçoit qu'une expérience, aussi belle soit-elle, ne tranche pas entre deux théories, ce qui lui fait dire : «Ce sont les partisans des tourbillons et des idées innées (les cartésiens) qui me suscitent la persécution. Cartésiens, malebranchistes, jansénistes, tout se déchaîne contre moi.» Heureusement, il aura le soutien de Voltaire et de M^{me} Du Châtelet.

Alors, qu'en est-il des «Péruviens» ? Ils arrivent à Quito en mai 1736, mais les difficultés vont être monstrueuses et il va se passer neuf années avant qu'ils puissent rentrer.

Bien que Maupertuis n'ait pas tranché l'affaire, petit à petit, la vérité se fait jour, parce que les mesures, y compris de la méridienne de France entre Rodez et Dun-

kerque (extrêmes du Royaume de France), sont faites, refaites et confirment l'aplatissement au pôle, et la «réargumentation» de la mesure de l'expédition en Laponie fait que la thèse newtonienne va l'emporter. On pourrait dire que ce sont neuf années perdues pour l'expédition laponienne, mais heureusement, elle a permis beaucoup d'observations, d'études en botanique, de considérations sur la question de la verticalité du point de vue du rôle de la masse (par exemple des montagnes) et de l'altitude, sur la verticalité du fil à plomb.

On a constaté, depuis lors, que les mesures faites par Maupertuis étaient appuyées sur un appareillage précis, notamment un appareillage anglais ; et l'on s'est aperçu que le cadran de Graham n'était pas extrêmement précis et qu'il engageait une erreur non négligeable sur la mesure de l'arc du degré de méridien qui, heureusement, a joué en faveur de la thèse newtonienne.

Jean-Louis Bouet-Lebœuf :

La cartographie : science de la marine

Une des missions fondamentales du Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) est de fournir aux navigateurs une description aussi précise que possible des océans et mers du globe, afin de leur assurer la meilleure sécurité de navigation possible. Pour cela, le SHOM met en œuvre les techniques les plus modernes pour, avant tout, recueillir les données et les présenter aux navigateurs. Je vais essayer de vous donner un aperçu de cette modernité.

Il est toujours utile de rappeler que les océans et les mers représentent deux tiers de la surface du globe, que ce milieu n'est pas d'un accès facile, qu'il est parfois hostile, et surtout, que son exploration et sa connaissance sont relativement complexes et difficiles. De plus, c'est un milieu instable et en mouvement permanent.

En revanche, ce milieu est fondamental pour les activités humaines, et de nombreuses activités sont en relation étroite avec lui : la connaissance des climats ; le transport et le commerce maritime ; la pêche. Il faut aussi noter que la majeure partie de la population du globe vit près des côtes ou à proximité immédiate des côtes.

Son exploration et sa connaissance passent par la mise en œuvre de techniques et moyens sophistiqués et modernes. Pour le faire connaître, il faut le représenter sur des projections planes : c'est l'objet de la cartographie, qui va permettre à la fois sa description physique (cartes géomorphologiques) et des descriptions thématiques à usage spécifique (cartes marines de navigation par exemple).

Les techniques de mesure jusqu'à nos jours

Examinons d'abord par quelles techniques son exploration va être conduite : le recueil des données.

La première méthode, et sans doute la plus ancienne, consiste en la réalisation de levés hydrographiques qui va mettre en œuvre des techniques diverses. Toutefois, il

fallait avant tout résoudre plusieurs problèmes : le premier est de déterminer sa position en mer et, en particulier, hors de vue des côtes. La détermination de la position en mer a bénéficié de toutes les découvertes successives, notamment celle de la boussole, celle du chronomètre, l'utilisation de l'astronomie, des appareils optiques (sextant, théodolite...) et, enfin et surtout, de la mise en service de satellites de positionnement (le GPS) qui permettent des précisions de l'ordre du mètre, quel que soit l'endroit du globe.

L'autre problème à résoudre est de déterminer les mesures annexes (observations de la marée, mesures de courants...) et de définir une référence pour cette profondeur, sachant que la première application à satisfaire est la sécurité de navigation. Pour cela, on sera amené à faire des mesures pour déterminer cette référence. Traditionnellement, dans le milieu marin, la référence des profondeurs (le zéro hydrographique) a toujours été choisie dans le but d'assurer la sécurité de navigation en indiquant la profondeur minimale (hors variation due aux marées).

Ces observations sont aujourd'hui utilisées en parallèle avec des méthodes mathématiques de modélisation qui permettent de déterminer la propagation de la marée, à tout instant et en tout lieu, les prédictions de hauteurs d'eau qu'il faut rajouter aux profondeurs indiquées sur les cartes pour déterminer la hauteur d'eau en un point donné, à un instant donné. Pour réaliser des modèles, il faut disposer au préalable d'une très bonne connaissance de la bathymétrie (profondeurs).

Une fois que nous avons déterminé toutes ces références, résolu tous ces problèmes annexes, il faut mesurer la profondeur. Historiquement, la mesure des profondeurs a été réalisée très longtemps à l'aide du plomb de sonde. Il a été supplanté dans le premier tiers du XX^e siècle par l'utilisation de méthodes acoustiques plus efficaces et plus aisées à mettre en œuvre : le sondeur vertical.

C'était alors un énorme bond en avant, mais l'avènement des sondeurs multi-faisceaux (SMF) va de nouveau révolutionner ces méthodes dans les années soixante-dix, et, aujourd'hui, on assiste à une généralisation de l'emploi de ces systèmes très performants, véritables scanners des fonds marins.

Je ne ferai qu'évoquer ici les difficultés de traitement des données acquises avec ces SMF en raison du très grand volume de données acquises dans un très court laps de temps. Ces traitements nécessitent l'utilisation de méthodes mathématiques très pointues et font l'objet de recherches permanentes d'amélioration des performances en temps de traitement pour assurer une très grande qualité aux résultats, en particulier dans les petits fonds (garantie de la sécurité maritime).

Le sondeur latéral permet aussi, en complément des sondeurs verticaux, de rechercher avec plus de certitude les diverses épaves ou obstructions sur les fonds des mers.

D'autres méthodes de recueil font appel à des systèmes embarqués sur des plates-formes aéroportées, comme

les avions ou les satellites. Ces méthodes ont le très grand avantage de la rapidité de recueil sur des grandes surfaces, mais, malheureusement, les capteurs ne peuvent pénétrer très profondément dans l'eau, et ces systèmes sont réservés aux petits fonds, dans les zones côtières en particulier. On peut y associer de nouveaux systèmes, comme les caméras lasers ou des lidars qui sont des systèmes un peu plus performants que la caméra optique et qui donnent des résultats très intéressants. L'avantage de ces systèmes réside dans la très grande rapidité à recueillir de l'information sur une très grande surface. En revanche, les images des satellites comme *Spot 4* sont très intéressantes dans les eaux claires, par exemple sur les atolls de Polynésie, et cela nous permet, en faisant des traitements adéquats, d'obtenir des cartographies expédiées de ces atolls pour les vingt premiers mètres, zone où les informations sont les plus utiles, car elles permettent d'avoir une idée globale, très rapide, de la géomorphologie de la zone et de déterminer les zones à hydrographier pour la navigation.

Concevoir une carte marine aux normes

Quant à la représentation des espaces maritimes, l'une des premières représentations de ces espaces a été réalisée à des fins de navigation, c'est la carte marine. Je ne remonterai ici qu'au XVII^e siècle avec la publication du fameux *Neptune François*, publié en 1693.

La représentation complète des mers et océans nécessite l'établissement de plus de 3 000 cartes marines. Le SHOM, pour sa part, entretient une collection de 1 120 cartes couvrant en particulier les territoires français, les pays d'Afrique francophone et la Méditerranée.

Aujourd'hui, les cartes marines sont faites selon un standard international qui a été promulgué par l'Organisation hydrographique internationale qui regroupe environ 70 pays aujourd'hui. Ce standard permet à chaque pays de réaliser une carte marine qui est utilisable par n'importe quel usager (le seul problème étant l'alphabet). La conception d'une carte marine est un processus complexe qui nécessite un travail de longue haleine (plus de 1 000 heures de cartographe). Il met en œuvre les techniques graphiques les plus modernes, en particulier pour le traitement et la présentation des données hydrographiques numériques permettant d'assurer la sécurité de navigation (profondeurs, obstructions et épaves, balisage et amers, réglementation...).

La diminution du nombre de personnes sur les passerelles en dépit d'une augmentation du trafic maritime, l'apparition de cargaisons dangereuses, une augmentation des tirants d'eau des navires, l'apparition de navires rapides,

ont incité les divers Services hydrographiques à étudier de nouvelles présentations des données de navigation pour augmenter la sécurité : c'est ainsi que sont nées les cartes électroniques de navigation (ENC) et, en parallèle, les systèmes de visualisation (ECDIS), véritable système expert de navigation assistant les commandants de navire dans leur préparation des voyages et dans leur navigation, leur permettant d'avoir un suivi permanent de leur navigation grâce aux systèmes de positionnement en temps réel, déclenchant par exemple des alarmes s'ils s'écartent de la route ou s'ils arrivent sur un danger, etc. Ces systèmes ont vocation à remplacer progressivement, en fonction de la disponibilité des ENC, les cartes traditionnelles sur papier.

La responsabilité des pays

Aujourd'hui, il y a environ 90 cartes qui ont été réalisées par la France sur la métropole. La particularité de cette cartographie est qu'elle est divisée en zones de responsabilité nationale, c'est-à-dire que, typiquement, la France fera des cartes électroniques dans les zones de responsabilité nationale, mais également dans des zones où elle assume une responsabilité cartographique comme l'Afrique francophone. De leur côté, par exemple, les Britanniques, comme tous les autres pays, ne font théoriquement des cartes que dans leur zone de responsabilité ou dans des zones où ils assument une responsabilité cartographique. Cette cartographie numérique change complètement la donne par rapport à aujourd'hui, où, par exemple, les Britanniques ont un portefeuille mondial de cartes marines, où nous-mêmes avons un portefeuille semi-mondial, etc. On assiste à un véritable partage de la cartographie marine du globe, ce qui peut sans doute bénéficier à une meilleure connaissance, pourvu que chacun se concentre sur ses zones d'intérêt et n'aille pas refaire le travail qui a déjà été fait dans d'autres zones.

Enfin, en parallèle, et pour une description plus complète des fonds, il est possible d'éditer des cartes géomorphologiques qui permettent de mieux rendre compte de la topographie des fonds marins et de ses reliefs, sous réserve qu'ils aient fait l'objet de relevés selon les méthodes explicitées plus tôt. Le SHOM participe à de tels projets sous l'égide de la Commission océanographique intergouvernementale et dans le cadre de programmes de la GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Ocean*, qui va fêter son centenaire à Monaco en avril 2003).

Bien entendu, le SHOM intervient aussi bien dans les zones proches de la métropole que dans les milieux extrêmes comme la terre Adélie récemment. Pour en savoir davantage sur tous ces sujets, je vous invite à vous reporter au site Web du SHOM : www.shom.fr.

Table ronde 1

Ethique et centres de recherche**Responsabilité scientifique, sociale et environnementale**

Quelle philosophie scientifique recouvre les expéditions ?

Quels sont les nouveaux métiers et les nouveaux outils pour explorer les milieux «dits» extrêmes ?

Quel avenir pour les découvertes faites lors des expéditions ?

Président : **Michel Glémarec**, professeur honoraire d'océanographie biologique à l'université de Bretagne occidentale, président du colloque

Intervenants : **Jean Francheteau**, professeur de géophysique à l'université de Bretagne occidentale (UBO), directeur de l'école doctorale des sciences de la mer (IUEM-UBO)

Gérard Jugie, directeur de recherche au CNRS, directeur de l'Institut Paul-Emile Victor, Brest

Jacqueline Lagrée, titulaire de la chaire d'histoire de la philosophie classique, université de Rennes 1

Lucien Laubier, directeur de l'Institut océanographique de Paris, membre de l'Académie des sciences

François Le Verge, directeur du centre IFREMER à Brest

Michel Glémarec :

Je souhaite intervenir surtout afin de bien faire le lien avec les historiens qui ont présenté ce qu'était l'histoire aux XVII^e et XVIII^e siècles. Au XIX^e siècle, nous assistons à un débat très fort, né essentiellement en France, sur l'origine de la vie, entre transformistes (Lamarck) et fixistes (Cuvier). Les circonstances politiques sont très favorables. Ce XIX^e siècle est secoué à la suite de la période napoléonienne par les événements de juillet 1830, 1848 et 1870, et nous allons prendre beaucoup de retard par rapport aux expéditions des Anglais, à un moment de stabilité très forte incarnée par la reine Victoria. De notre côté, nous n'aurons que les tentatives de Milne-Edwards, professeur à la Sorbonne et au Muséum. Il s'était fait offrir par la Marine un bateau afin de mener ses premières expéditions et, à Paris, la curiosité scientifique est alors très forte pour les échantillons recueillis par Milne-Edwards. C'est l'Exposition universelle de 1889 qui va montrer ce qu'a fait la France dans ce domaine de la vie en profondeur.

Nous commençons le XX^e siècle avec le prince Albert 1^{er} de Monaco et Charcot, deux figures emblématiques. Beaucoup de nos maîtres, géologues, biologistes ont été formés sur le *Pourquoi-Pas* de Charcot. Mais il n'y a pas eu, dans ce XX^e siècle, de réelle volonté politique au niveau de la France afin de faire de la France une nation maritime. Il n'y a que l'Institut des pêches qui sera délocalisé à Nantes en 1962, avec un seul bateau océanographique basé à Brest dans les années trente, le *Président Théodore Tissier* qui finira sa carrière en 1960 et sera remplacé par la *Thalassa*. Pour Brest, c'est en 1959, avec

l'arrivée de De Gaulle, qu'il y a création d'un Comexo qui va travailler relativement vite et mettre tout de suite en chantier un bateau océanographique (17 décembre 1965), le *Jean Charcot*. Il est basé à Brest pour différentes raisons, politiques bien entendu, techniques - la Marine est là -, mais surtout à cause de la présence des câblers qui étaient les seuls marins capables de faire les manœuvres qu'impose une recherche océanographique moderne. La présence avec nous aujourd'hui du commandant Priser est une excellente façon de leur rendre hommage à tous. Nous, océanographes, nous avons enfin un réel navire océanographique. En 1966, le CNEXO est créé. En décembre 1968, la première pierre du centre océanographique de Bretagne est posée à Brest à la suite d'une réelle volonté politique et c'est là que va commencer une grande aventure moderne à partir de Brest.

Depuis, il y a eu d'autres navires, la base des navires côtiers du CNRS... Le développement du CNEXO (aujourd'hui IFREMER) a stimulé parallèlement les recherches marines à l'université et d'autres instituts viendront se greffer sur l'embryon d'alors, notamment l'IRD et l'Institut Paul-Emile Victor...

Lucien Laubier :**La recherche océanographique au début du XX^e siècle. Le rôle du prince Albert 1^{er} de Monaco**

Aujourd'hui, j'ai le plaisir de vous parler de la carrière océanographique du Prince Albert 1^{er} de Monaco. Michel Glémarec vient d'évoquer la croisière du *Challen-*

ger, entre 1872 et 1876. Le prince Albert 1^{er} de Monaco est né en 1848, de sorte qu'il avait vingt-cinq ans au moment où la croisière du *Challenger* se déroulait autour du monde. Il est mort en 1922.

L'équipage de son premier navire, baptisé l'*Hirondelle*, était constitué pour l'essentiel de Bretons, notamment de Finistériens, et le Prince a connu avec ses marins des problèmes qu'on rencontrait fréquemment à cette époque : dans les ports, des recruteurs essayaient de trouver des marins, le capitaine les choisissait, on leur versait un petit pécule pour qu'ils puissent s'acheter un minimum d'équipement. Leur première idée, ainsi dotés, était d'aller faire la fête dans les bars du port... Il fallait ensuite les retrouver au moment du départ, et c'était souvent une difficulté. Le prince Albert a rencontré ce problème en 1888, au moment où il se disposait à partir vers les Açores à bord de l'*Hirondelle*. Heureusement pour lui, il savait que deux de ses marins allaient assister à ce qu'on appelait, à l'époque, une double noce dans la région de Lorient, où il s'est rendu pour récupérer son équipage. Puis il appareilla vers l'ouest. C'est sans doute le moment de sa vie où il a été le plus proche de Brest. Son bateau à voiles fut drossé vers les Pierres vertes, passant à 100 m des roches avant de pouvoir faire virer son navire au vent toutes voiles dehors, manœuvre qui lui valut de casser ses mâts de flèche, ses voiles hautes s'effondrant sur le navire, et même de perdre son beaupré. Il eut beaucoup de chance de pouvoir regagner la haute mer et de poursuivre sa route jusqu'à Madère, où le navire put être réparé.

Michel Glémarec a évoqué tout à l'heure le nom du professeur Henri Milne-Edwards, qui dirigeait le Muséum national d'histoire naturelle à cette époque ; c'est lui qui avait suscité l'intérêt du Prince, alors âgé d'une trentaine d'années, pour dépasser les joies de la navigation et se consacrer à la science, en suivant l'exemple anglais et celui d'autres campagnes océanographiques. Le Prince va donc s'intéresser à l'océanographie naissante. La première série de campagnes est consacrée à l'océanographie physique.

Ce qui préoccupe le prince Albert à cette époque est de savoir ce que devient le puissant Gulf Stream, ce courant qu'on comparait à un véritable fleuve, après qu'il ait quitté les côtes américaines et qu'il infléchisse légèrement sa route vers le nord-est en diminuant de vitesse pour donner lieu à ce qu'on appelle aujourd'hui la dérive nord-est Atlantique. Le Prince décide de larguer une série de flotteurs, de toutes dimensions (anciens barils de bière, bouteilles de verre, etc.), contenant des papiers dans lesquels il est demandé aux personnes qui les récupéreront de bien vouloir noter le lieu, la date, les circonstances de cette récupération et de les transmettre à Monaco. Le prince Albert a fait larguer ces flotteurs sur une radiale qui va *grosso modo* de Terre-Neuve aux Açores - plus d'un millier de flotteurs au cours de trois campagnes successives (entre 1883 et 1887). Plus d'une centaine de flotteurs ont été retrouvés, et avec ses collaborateurs scientifiques, le prince Albert a été l'un des premiers à apporter des élé-

ments relativement précis sur la dérive du Gulf Stream jusqu'aux côtes de Norvège d'un côté, et jusqu'aux côtes du Portugal et même des Canaries de l'autre - il mettait ainsi en évidence la grande circulation tourbillonnaire à l'échelle du bassin nord-atlantique qui, à l'époque, était encore mal connue et, en tout cas, parfaitement inexplicquée. Il faudra attendre bien longtemps pour qu'elle le soit. C'est à la suite de ces premières campagnes, en 1888, après l'incident des Pierres vertes qui aurait pu se terminer en drame, qu'il s'oriente délibérément vers la biologie des profondeurs.

Ce qui caractérise son œuvre par la suite, c'est d'abord d'avoir fait évoluer énormément les technologies utilisées à bord de ses navires, car le Prince a fait construire successivement quatre navires, dont les tonnages ont crû régulièrement d'un navire à l'autre. Les équipements se sont perfectionnés, avec l'introduction de la machine à vapeur dès le deuxième navire baptisé *Princesse Alice* qui sera suivi d'une *Princesse Alice 2* lancé en 1898 ; le Prince terminera sa vie en habitant presque en permanence sur le quatrième et dernier de ces navires qui reprend le nom d'hirondelle, l'*Hirondelle 2*, et qui sera basé essentiellement en Méditerranée et très souvent au mouillage dans le port de Monaco.

Les calmars géants

De ces nombreuses campagnes consacrées à la biologie des profondeurs marines, nous pouvons extraire quelques images scientifiques intéressantes. Tout à l'heure, j'ai parlé du Gulf Stream et je voudrais parler d'une des découvertes que fit le Prince un peu par hasard à bord de la première *Princesse Alice*, entre 1893 et 1894, dans la région des Açores. À cette époque, les Açoréens avaient pour habitude de chasser les cétacés qui passaient en vue des îles, en particulier autour d'une des îles situées à l'ouest, l'île de Pico. Cet ancien volcan dont les flancs permettent d'observer la mer depuis 500 ou 600 m d'altitude, constitue donc un observatoire naturel d'où les guetteurs voient de très loin le souffle unique des cachalots (événement unique). Rapidement alertés, les pêcheurs embarquent sur des pirogues dont la légèreté et la fragilité étonnent encore quand on les admire au musée de la Marine de Lisbonne ou au petit musée des pêches baleinières de Pico. Six hommes embarquent dans la pirogue : un harponneur, un homme de barre, quatre hommes aux avirons. La pirogue se dirige dans la direction du souffle indiquée par le veilleur. Le prince Albert, chasseur dans l'âme, est intéressé par ce spectacle et ordonne à son navire de suivre, mais de loin pour ne pas gêner les manœuvres, les piroguiers. Le prince Albert aime la chasse, mais il voudrait que le combat ait toujours lieu à armes égales. Il a horreur des chasseurs de «salon» qui se font rabattre les bêtes pour les tuer. Pour lui, le chasseur doit s'exposer, ses armes doivent porter les traces de la bataille avec la bête et c'est de cette noblesse du combat de l'homme et de la bête sauvage qu'il retire une forme de morale qui lui permet de justifier ce qui sera toute sa vie une passion

extrêmement vivante. Il suit donc ces courses des Portugais dans leur baleinière, approche à quelques dizaines de mètres au moment précis où le harponneur, à l'avant de la pirogue, va harponner le cachalot, en s'efforçant d'atteindre les poumons de façon à provoquer une hémorragie telle que l'agonie de l'animal s'en trouvera aussi brève que possible. Tout cela est décrit avec une certaine cruauté, évidemment, et, en même temps, beaucoup de précisions, dans un très beau livre qui s'appelle *La carrière d'un navigateur*, publié en 1905. Au moment de l'agonie, le cachalot a souvent des rejets, des vomissements et le Prince qui les observe s'aperçoit que ces débris qui flottent entre deux eaux semblent avoir une consistance, une forme ; il fait mettre immédiatement à l'eau une baleinière pour récupérer ces morceaux qui sont en réalité les restes des calmars dont se nourrissent les cachalots. C'est de cette façon qu'on a découvert toute une faune de grands calmars. Le plus grand des échantillons récoltés, le fameux calmar à écailles, ou *Lepidoteuthis*, atteint néanmoins sans la tête environ un mètre et on peut penser qu'avec la tête et les tentacules, il devait mesurer 5 à 6 m de longueur. On sait que, dans cette région, vit le grand calmar géant dont on a récemment pêché plusieurs spécimens, sur les côtes d'Asturies, *Architeuthis*, en Espagne - il peut atteindre une quinzaine de mètres de longueur. Voilà une très belle découverte océanographique du prince Albert ; elle a été valorisée scientifiquement par le professeur Louis Joubin qui a décrit toute une série de calmars, notamment le calmar à griffes *Onychoteuthis* qui possède au cœur de chaque ventouse une griffe comme une griffe d'ours.

L'œuvre océanographique du prince Albert ne se limite pas à cela. Il a aussi été celui qui a permis aux biologistes français qui s'intéressaient aux organismes marins de devenir de véritables océanographes. C'est au prince Albert que les océanographes français doivent d'avoir pu naviguer jusqu'en 1915. À l'époque, les nations étaient assez regardantes sur la «propriété scientifique» des échantillons. Il suffit d'ailleurs de regarder les auteurs des travaux publiés sur les collections recueillies par le *Challenger* pour constater qu'à quelques exceptions près, tous les auteurs sont anglo-saxons ; de même, dans les séries des *Résultats des campagnes du prince Albert 1^{er} de Monaco*, presque tous les auteurs sont français. À l'époque, on ne partageait pas facilement les échantillons ; c'est parfois vrai encore de nos jours. Je dis cela en regardant Jean Francheteau, qui évoquera peut-être un incident que nous avons eu au début des découvertes sur l'hydrothermalisme sous-marin avec nos collègues et amis américains.

Le prince Albert a su enfin dépasser l'organisation de campagnes de recherche, le dépouillement des données recueillies et l'exploitation des collections zoologiques réunies, pour se lancer dans une autre aventure. L'Organisation hydrographique internationale (OHI) est née d'une volonté du prince Albert 1^{er} qui, en 1899, a proposé lors d'un congrès international de géographie (l'océanogra-

phie n'était pas encore explicitement reconnue) d'établir une carte mondiale des océans ; il a su réunir autour de lui une quinzaine d'excellents hydrographes, de cartographes, de dessinateurs et, en 1903, il démarrait le travail. En 1905 était éditée cette première carte mondiale des océans, qui comporte seize feuilles pour la partie en projection de Mercator qui s'étend de 70° Sud à 70° Nord environ et huit feuilles en projection centrale pour les deux zones polaires. À l'époque, on n'avait pas beaucoup d'éléments pour le faire, je crois me souvenir que cette carte était fondée sur 18 000 sondages au plomb de sonde. La carte bathymétrique mondiale, après quelques vicissitudes, en est aujourd'hui à sa cinquième édition et continue d'être extrêmement utilisée à différentes fins.

Une autre action du prince Albert, au niveau international, est la constitution d'une Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée, commission toujours vivante, active, qui réunit la quasi-totalité des pays riverains de la Méditerranée.

Je voudrais également parler de l'homme que fut le prince Albert 1^{er}. Au plan politique, c'était un souverain en avance sur son temps. Dans le grand conflit qui a agité les milieux politiques et militaires français de la fin du XIX^e et du début du XX^e siècle, l'affaire Dreyfus, il s'est clairement engagé comme dreyfusard et il est allé jusqu'à témoigner devant le tribunal en faveur de Dreyfus, jusqu'à solliciter de son ami, l'empereur Guillaume II, que l'Allemagne reconnaisse officiellement, ce qu'elle fit, qu'elle n'avait jamais eu de contact avec le capitaine Dreyfus et que le dossier reposait sur une série de mensonges du capitaine Esterhazy. Le prince Albert 1^{er} tenta même une démarche auprès du président de la République, Félix Faure, demandant la grâce pour le capitaine Dreyfus, démarche qui eut lieu, dit-on, moins d'une heure avant la mort du Président dans les circonstances galantes que l'on sait... Le prince Albert était avant tout un passionné de la mer, un passionné de la connaissance technologique et scientifique ; je souligne volontairement l'aspect technologique, parce que l'évolution des équipements des navires du Prince en témoigne largement, de même que l'intérêt qu'il a porté à un moment à un savant qui avait inventé un hélicoptère soutenu par deux hélices en rotation opposée (pour éviter le problème du couple de rotation). L'engin a été essayé au sein même du Musée océanographie en construction. Plus généralement, sur le plan scientifique, le prince Albert s'est également beaucoup intéressé à la découverte de squelettes humains, accompagnés de restes d'animaux, dans des grottes situées près de la Principauté de Monaco, en territoire français, les grottes de Grimaldi ; il y a découvert l'homme de Grimaldi, un Néanderthalien - encore une preuve de son intérêt extraordinaire pour la science.

Je voudrais enfin parler de la vie privée du Prince Albert 1^{er}, de ses relations humaines. Le Prince a vécu une vraie vie de marin, acceptant le choix qu'aura toujours un marin : la mer ou le foyer. Le premier mariage du Prince, en 1869, alors qu'il avait 21 ans, avec une duchesse d'ori-

gine germano-anglaise, a été un échec ; deux ans après, les jeunes époux se séparaient et le divorce fut prononcé quelques années plus tard. De 1870 à 1885, le Prince est resté seul, vivant le plus souvent en mer. Puis, il a rencontré à Paris Alice Heine, jeune veuve du duc de Richelieu. Il y a un parallèle à faire entre les lettres personnelles que le prince Albert écrivait à Alice alors qu'il dirigeait ses campagnes entre 1885 et 1889 sur l'*Hirondelle* et la description officielle qu'il en fait dans *La Carrière d'un navigateur*. Dans son livre, le prince Albert souligne la responsabilité morale d'un prince souverain vis-à-vis des populations sur lesquelles il règne, alors qu'il se livre, dans ses lettres personnelles, à une description plus simple, beaucoup plus directe et plus passionnée à l'intention d'Alice. Après leur mariage, Alice a su accompagner trois années de suite (1893-1895) le prince Albert aux Açores, embarquant avec lui sur la première *Princesse Alice* ; elle supportait mal la mer et cessa d'embarquer pour se consacrer à la vie mondaine de la Principauté, où elle réussit parfaitement. Comme le précédent, ce mariage s'est également terminé par une rupture de fait et un abandon. La princesse Alice s'est retirée à Londres et n'a plus jamais rencontré le prince Albert qui a achevé sa vie avec sa véritable passion, la mer.

Jean Francheteau va nous parler de très belles découvertes auxquelles les géophysiciens et les géologues, puis les biologistes, ont été associés, ces fameux phénomènes hydrothermaux sous-marins et leurs conséquences vis-à-vis de la biologie. On y a découvert des systèmes nouveaux fondés sur la chimiosynthèse et non sur la photosynthèse. Pendant longtemps, on a considéré que, dans l'océan Atlantique et en particulier dans la région des Açores, on ne trouverait rien de comparable aux découvertes faites dans le Pacifique oriental parce que, disait-on, la vitesse d'écartement de la dorsale Atlantique est trop faible. Un géophysicien américain, Peter Rona, qui n'était pas de cet avis, s'est enthousiasmé pour l'Atlantique et, pendant des années, a organisé des campagnes dans cet océan ; en 1986, il a été couronné de succès. Ce que je voulais vous dire, un peu en forme de transition, c'est que le prince Albert 1^{er} de Monaco est passé à une vingtaine de milles nautiques à peine de sites hydrothermaux de la région des Açores ; il aurait fort bien pu poser l'une de ses dragues ou l'un de ses sondeurs sur les bancs de modioles (grandes moules) qui abondent dans les sites hydrothermaux de cette région. Il n'a pas eu cette chance, et c'est vraiment dommage ; cela aurait été une lettre de noblesse supplémentaire à ajouter à l'apport considérable qu'il a fait à l'océanographie moderne.

Jean Francheteau :

Tectonique des plaques. Le projet FAMOUS

FAMOUS signifie *French-American Mid-Ocean Undersea Study*. C'est un projet qui a été conçu initialement, plus ou moins simultanément, des deux côtés

de l'Atlantique. Côté français, c'est Xavier Le Pichon qui, à l'époque, dirigeait le groupe de géologues et de géophysiciens au COB (Centre océanologique de Bretagne) du CNEXO, à Brest, et qui souhaitait marquer un grand coup dans la recherche océanographique mondiale. Xavier Le Pichon, ainsi que certains d'entre nous qui étions ses collègues, venait d'un laboratoire américain et connaissait très bien la puissance de « feu » scientifique des Américains. Il s'est dit qu'on ne pourrait jamais combattre les Américains sur leur terrain, c'est-à-dire « couvrir » tous les espaces océaniques mais, qu'en revanche, il y avait un lieu où nous pouvions apporter une contribution majeure et à égalité avec eux : les frontières des plaques. La tectonique des plaques est née en 1967 avec l'article du géophysicien britannique, Dan McKenzie, qui a été le premier à publier, mais l'antériorité scientifique revient sans doute à un géophysicien américain de Princeton, Jason Morgan, qui avait présenté, au printemps 1967, une communication très importante mais ignorée pratiquement par tout le monde. En 1968, il finit par publier après que son manuscrit ait été accepté avec un retard considérable dû principalement aux rapporteurs. La tectonique des plaques est donc née en 1967-1968.

Dans la théorie de la tectonique des plaques, il existe des frontières extrêmement longues, en particulier les frontières de rifts, environ 60 000 km à l'échelle du globe sur les zones où les plaques se séparent et où se fabriquent les nouvelles plaques océaniques. Il y a aussi environ 35 000 km de grandes fosses à l'endroit où plongent les plaques anciennes. La quasi-totalité de ces frontières de plaques est immergée, mais les rifts, heureusement, sont les frontières les plus hautes, les plus proches de la surface. Elles sont en moyenne à une profondeur d'environ 2 500-3 000 m. Les fosses, quant à elles, ont une profondeur qui excède souvent 6 000 m.

Pourquoi pouvions-nous être à armes égales avec nos collègues américains ? Parce que ces frontières de plaques sont des zones très étroites et qu'on peut y cibler une opération très précise. Les zones de rift sont affectées de séismes très nombreux, elles sont très fortement déformées, et si l'on fait une analyse fine de leurs structures, on peut espérer comprendre les processus actifs, ce qu'il est impossible de réaliser à partir de navires de surface.

La France avait la chance d'avoir des submersibles, en particulier le submersible *Archimède*, lancé en 1961 et la *Cyana* dont les essais ont débuté en avril 1970. La gestation du projet a consisté à conduire une réflexion sur l'intérêt de travailler directement sur une frontière de plaque immergée, le rift, où se fabrique l'essentiel des océans. On peut en effet comparer le rift à une gigantesque raffinerie où se fabrique la croûte océanique et donc où se fabrique tout le fond des océans. Beaucoup de questions étaient posées, qui nécessitaient de voir et de pouvoir connaître, avec une haute résolution, ce qui se passait dans cette zone extrêmement étroite, dans cette zone de frontière de plaques.

Il est assez intéressant de voir quelle est l'origine du projet lui-même. Les idées d'explorer une dorsale avec des sous-marins, en tout cas les premiers témoignages écrits qu'on en a, datent de 1968 à l'Institut océanographique américain, Woods Hole ; c'est là où Naomi Oreskes, historienne des sciences, actuellement à l'université de Californie à San Diego, date avec des preuves très précises, des archives écrites, des réflexions sur l'intérêt de pouvoir utiliser des sous-marins pour l'étude des dorsales. C'était pour Woods Hole qui avait la maîtrise opérationnelle d'un sous-marin, l'*Alvin*, l'occasion de damer le pion ou en tout cas d'offrir une contrepartie à des travaux de l'institut concurrent, la Scripps Institution of Oceanography, en Californie qui, avec un système remorqué, le Deep-Tow, avait déjà obtenu des données haute résolution sur le rift de Gorda dans le Pacifique en tractant cet engin très proche du fond. C'est pourquoi les scientifiques géophysiciens de Woods Hole avaient proposé que l'on consacre une partie du temps de ce sous-marin *Alvin* à l'étude des dorsales.

Sur le plan français, on peut donner une date de naissance très précise au projet qui découle initialement d'une rencontre, en 1970, de Georges Pompidou avec Richard Nixon pour signer ou pour initier un accord global en océanographie entre la CNEXO et l'agence américaine NOAA. L'année suivante, à l'occasion d'un grand congrès, Océanexpo, à Bordeaux, Claude Riffaud (chef du projet FAMOUS côté français) et Xavier Le Pichon (responsable scientifique), dans leur ouvrage sur FAMOUS, témoignent des premières discussions, le 12 mars 1971, au premier étage de l'*Aquitania*, au cours d'une réunion entre un géophysicien américain très connu, Brackett Hersey et quatre Français (Claude Riffaud, Xavier Le Pichon, le commandant du Groupe des bathyscaphes, Gérard de Froverville, et un géophysicien venant de l'industrie pétrolière et travaillant au siège du CNEXO, Jacques Debyser). C'est apparemment pendant cette rencontre qu'a été proposée aux Américains l'idée de faire quelque chose ensemble sur l'axe de la dorsale Atlantique. Ensuite, il y eut toute une série de réunions pour concrétiser le projet. Pour la France, dès décembre 1971, le CNEXO s'engage officiellement parce que, côté français, cet organisme n'a de comptes à rendre à personne et peut décider de lui-même par son directeur général. Côté américain, c'est beaucoup plus difficile puisqu'ils sont obligés d'avoir l'aval de leurs tutelles scientifiques. C'est au cours d'un *workshop* initié par l'Académie des sciences américaine, qui se tient à Princeton, en janvier 1972, qu'est présenté le projet devant le Comité des sciences océaniques de l'Académie des sciences américaine. Curieusement, le but du *workshop* n'est pas de présenter ce projet particulier, ni de faire la promotion des sous-marins, mais d'évaluer ce qu'on peut faire d'utile avec les moyens scientifiques dont on dispose, pour l'étude de la dorsale médio-atlantique. Côté français, l'arme que Xavier Le Pichon et le CNEXO veulent mettre en avant, ce sont les sous-marins, l'*Archimède* et la *Cyana*, et il y a une

agressivité extrêmement forte qui vient des géophysiciens américains pendant ce congrès et en particulier du directeur du grand centre océanographique américain du Lamont, Maurice «Doc» Ewing, ainsi que celle de Frank Press, géophysicien et directeur des sciences géologiques au MIT (futur président de l'Académie des sciences). Maurice Ewing s'oppose très violemment à ce projet en disant que les sous-marins ne servent à rien, qu'ils n'ont jamais fait de science, ce qui était à peu près la vérité mais ne voulait pas dire que les sous-marins ne pouvaient pas faire de science. Au terme du colloque qui penche tout de même en faveur de l'utilisation de sous-marins, Doc Ewing dira à l'un des participants et principal promoteur des sous-marins Bob Ballard (célèbre pour sa découverte du *Titanic*) : «Tu peux jouer avec ton sous-marin, avec sa coque en acier, mais si tu échoues, je me ferai le plaisir de transformer l'acier de cette coque en trombones que je mettrai sur mon bureau. Au moins cela servira à quelque chose...»

L'histoire lui a donné tort, puisque FAMOUS a été un succès très important. La première plongée a été française, le 2 août 1973, avec l'*Archimède*. Il y a eu toute une préparation extrêmement soignée pour cartographier le terrain, contrairement aux expéditions précédentes où le sous-marin partait à l'aveuglette. Cette fois, il y a eu une armada de navires et une foule de travaux, tant du côté américain que du côté français, avec même le concours d'expéditions britanniques. Je vous citerai ce que Xavier Le Pichon a dit de cette plongée : «C'est fabuleux. Je ne donnerais pas ma place pour un empire. Je ressentais au-delà de mon excitation une profonde émotion religieuse. Je rencontrais la terre à peine sortie de la genèse.» Il y a une certaine hyperbole qu'on peut comprendre dans cette première rencontre avec le fond de l'océan, le fond du rift, là où la croûte se crée, à 2 539 m de profondeur. L'année suivante, l'*Archimède* revient avec l'*Alvin* et *Cyana*. Sept plongées ont été faites par l'*Archimède* en 1973 ; 44 plongées seront faites en 1974 avec les deux sous-marins français et le sous-marin américain (*Archimède* ne fera plus jamais de plongée après FAMOUS) malgré quelques émois, quelques tracas, en particulier sur la sécurité, avec l'*Alvin* qui se coince dans une fissure, sous un surplomb, et au cours de la dernière plongée du projet, le 3 septembre 1974, la dernière de l'*Archimède*, qui coince également son carénage avant sous des roches.

Une cartographie de détail a pu être faite, malgré la méfiance de la communauté scientifique ou parascientifique, en particulier des personnes, en France, comme Haroun Tazieff qui, après avoir demandé à Xavier Le Pichon de participer à l'opération - offre que celui-ci a refusée -, se répand ensuite pour dire que cela ne sert à rien, en oubliant de dire qu'il était lui-même candidat pour participer à ce projet... Ce fut un succès incontestable et, malgré cela, paradoxalement, le succès entraîne une réaction de rejet extrêmement forte de la communauté scientifique, aussi bien en France qu'aux États-Unis. Il faudra attendre plus de deux ans avant que les

plongées scientifiques avec des submersibles continuent et c'est seulement pendant l'été 1976 que *Cyana* fera une plongée sur la marge provençale et, qu'au cours de l'hiver 1976, *Alvin*, plongera dans le fossé des Caïmans au sud d'Hispaniola.

Dès la fin de FAMOUS, sur le pont du *Marcel Le Bihan* (gabare de la Marine nationale, bateau accompagnateur de l'*Archimède*), ancien *Greif* des Allemands (ravitailleur d'hydravions dans l'Atlantique Sud), je parlais avec mon collègue et ami Paul Taponnier de l'intérêt de poursuivre : nous avons vu une dorsale avec une ouverture lente, et il était évident qu'il fallait qu'on fasse tout pour aller voir quelque chose de beaucoup plus rapide, une dorsale où l'ouverture est beaucoup plus rapide entre les plaques. Ce fut la dorsale du Pacifique Est sur laquelle on a pu, au niveau français, réaliser des plongées en février 1978. Côté américain, ils ont été un peu plus rapides que nous puisque, dès février 1977, ils ont pu faire replonger l'*Alvin* sur la dorsale des Galápagos qui est relativement rapide dans le Pacifique. C'est pendant cette expédition en 1978, et en particulier au cours de l'expédition Cyamex, campagne française du projet Rita que les Américains ont appelé «Rise», que nous aussi, comme Albert 1^{er} de Monaco, sommes passés très près des fameux fumeurs noirs. Nous étions passés à deux reprises, avec la *Cyana*, au travers d'une ligne, que l'on considère aujourd'hui comme quasi continue, de fumeurs noirs. La première fois, nous avons vu des *Calyptogena* (grands bivalves) qui sont le signe des dépôts hydrothermaux, mais ces bivalves étaient morts ; à la seconde plongée, nous avons essayé de les retrouver, mais nous n'avons pas réussi. L'année suivante, à bord de l'*Alvin*, guidé par le robot Angus qui précédait les plongées et avait détecté une anomalie de température, on a pu découvrir les fameux fumeurs noirs. Pendant cette campagne, j'ai gardé un souvenir : un annélide polychète, et me suis souvenu que Lucien Laubier était spécialiste de ces «vers à poils». À mon retour je le lui ai montré et, quelque temps après, il m'a dit que c'était fabuleux et qu'il voulait publier sa description. Comme j'avais rapporté un «souvenir», nul n'était censé en faire une publication et je ne savais pas s'il était possible d'utiliser ce matériel, si bien que je lui ai demandé de se rapprocher des Américains pour voir s'il n'y avait pas d'objection à cette publication. C'est comme cela que, côté français, a été initiée l'étude biologique des systèmes hydrothermaux.

Pour conclure, je voudrais dire que FAMOUS a été d'abord la mise au point d'un outil d'investigation absolument incomparable. Cet outil a renouvelé profondément la méthode d'exploration des fonds marins : nous avons pu aller voir sur le terrain, ce qui a apporté une dimension nouvelle. Nous avons d'ailleurs pu faire venir des géologues de terrain sur le terrain et préparer, d'une certaine manière, ces découvertes que les biologistes ont saisies au vol et sur lesquelles ils sont toujours en train de travailler. La deuxième observation est qu'il a fallu développer des technologies extrêmement pointues. Le projet

FAMOUS, qui est crédité d'un grand nombre de résultats scientifiques, est né de la conjonction de deux percées, à la fois une percée scientifique, la tectonique des plaques, et une percée technologique. Il est intéressant de lire à cet effet la conclusion qu'en tire Bob Ballard dans un livre, *Explorations*, qu'il a signé en 1995 : «Les Français étaient très impressionnés par la qualité de la technologie américaine pendant cette campagne. En fait, le projet FAMOUS a été un véritable transfert technologique des Etats-Unis vers la France qui n'avait pas une technologie avancée sur le plan industrio-militaire comparable à celle de l'Amérique.» Je crois qu'il a raison, mais aussi qu'il exagère un peu parce que, sur le plan de la technologie de plongée elle-même, nous faisons jeu égal avec les Américains. Malgré tout, il faut leur rendre hommage, et c'est pour cette raison que Xavier Le Pichon s'était rapproché des Américains : on ne pouvait pas faire ce genre d'expédition sans l'appui logistique et de préparation scientifique et cartographique des Américains. À cette époque, la France n'avait pas accès aux sondeurs multi-faisceaux. Dans le prolongement de cette campagne FAMOUS, il y a eu donc ces premières plongées dans le Pacifique, ces découvertes extraordinaires de sources hydrothermales, qui ont permis de convaincre nos tutelles de lancer la construction du *Nautilus* et de se doter de moyens de sondage multi-faisceaux, que la France a été la première à mettre en œuvre à bord du navire océanographique Jean Charcot.

François Le Verge :

Le Comité d'éthique et de précaution INRA/IFREMER

Je vais faire la transition entre ce que vous ont dit Lucien Laubier et Jean Francheteau, que je considère un peu comme les pionniers de l'océanographie moderne de la deuxième partie du XX^e siècle, et ce qui se fait actuellement, et surtout ce qui se prépare pour le XXI^e siècle en matière d'océanographie. Effectivement, il y a un peu plus de trente ans, j'ai connu Lucien Laubier et Jean Francheteau, dans les premières années du fameux Cob. Les choses ont beaucoup évolué depuis, mais, au niveau des découvertes, on est encore loin d'avoir exploré tous les fonds océaniques ; seule une très petite partie a été explorée et il y a encore beaucoup de travail à faire. Néanmoins, nous avons fait de grands progrès dans le domaine de la connaissance des mécanismes de base. Maintenant, il s'agit de consolider toutes ces informations et de peut-être arriver progressivement à ce qu'on appelle une océanographie opérationnelle.

Le centre IFREMER de Brest a remplacé le Centre océanologique de Bretagne des années soixante-dix. C'est le centre de recherche pluridisciplinaire de la recherche océanologique française, et même européenne dans la mesure où, par sa pluridisciplinarité, c'est certainement le centre qui a l'éventail le plus large d'activités sur le plan

océanographique. On est entré dans une ère d'instrumentation massive de l'océan. On met dans l'océan de plus en plus d'appareils de mesure, divers et variés, pour mesurer les différents paramètres physico-chimiques de la masse d'eau de l'océan, ce qui a trait aux différents flotteurs, mais aussi à d'autres appareils du même type qui permettent de mesurer surtout la température, la salinité, etc., tous les paramètres de base. Maintenant, on sème littéralement ces appareils dans l'océan en très grand nombre et ensuite, dans des centres comme le centre de Brest, on récupère les informations correspondantes des capteurs en temps réel, via satellite, en très grande quantité. Les données vont être préparées afin d'être injectées dans des modèles numériques de simulation, qui vont permettre de faire de la prévision des courants d'une façon très fine, alors que précédemment, on avait une idée des mécanismes de base et on a appris à bien les comprendre à la fin du XX^e siècle. Il s'agit de faire des prévisions très fines des courants, sachant que cela va avoir sans doute une influence très importante sur l'évolution du climat pour les prochaines décennies. Le centre de Brest est engagé à fond dans ces applications, dans la mesure où l'on développe les capteurs de mesure, tous les systèmes de transmission d'information et tous les systèmes de traitement de ces données, afin de les préparer pour les faire entrer dans des modèles. Le mot *pluridisciplinarité* prend tout son sens sur cet exemple.

Mais il n'y a pas que la masse d'eau de l'océan, il y a aussi le sous-sol de l'océan ; il faut aussi savoir qu'actuellement, ce qui accapare beaucoup les communautés scientifiques, c'est probablement tout ce qui est lié à l'exploitation du pétrole profond parce que, pour des pays comme le nôtre, c'est une nécessité d'avoir toujours une certaine indépendance au niveau de l'énergie. Cela fait qu'on travaille beaucoup dans ce domaine et l'on se prépare à exploiter des puits de pétrole par moins 1 500 m de profondeur. Il faut donc être effectivement sûr que les appareils mis au fond pour récupérer ce pétrole ne seront pas abîmés ou dévastés par des avalanches sous-marines, par exemple. Il faut aussi voir si l'on ne touche pas trop à la vie sous-marine et si l'on ne risque pas, en cas d'accident grave, d'abîmer la faune ou la flore sous-marines dans ces zones.

Actuellement, il y a une autre zone sur laquelle s'exerce une très grande pression : la zone littorale. Nous constatons que nous sommes confrontés au problème des conflits d'usage au niveau du littoral, qui sont de plus en plus forts, entre les activités industrielles, agricoles, portuaires, de cultures marines et le tourisme. Nous mettons en place beaucoup d'instruments de mesure pour surveiller un certain nombre de paramètres. Nous sommes entrés dans une phase d'instrumentation massive de l'océan sous toutes ses formes.

On continue également à surveiller les ressources vivantes de l'océan, qu'il s'agisse des ressources traditionnelles comme la pêche, l'aquaculture, ou la conchyliculture, etc., parce que là, on arrive à un certain nombre

de limites, en particulier en ce qui concerne l'exploitation de certaines espèces qu'on pêche. Depuis les années quatre-vingt/quatre-vingt-dix, certaines espèces se raréfient dans l'océan et posent de gros problèmes aux politiques, mais aussi aux scientifiques. Si l'on continue à maintenir une pression sur la pêche, il y aura des espèces qui risqueront de disparaître complètement, d'où les débats très importants que vous avez dû voir à travers la presse entre les scientifiques qui, d'un côté, disent : «attention, ne continuez pas comme ça», et les pêcheurs, de l'autre, qui minimisent les choses.

Par ailleurs, une autre caractéristique importante de l'évolution actuelle d'un centre de recherche comme le nôtre, est qu'il y a 30-40 ans, on faisait souvent la distinction entre recherche fondamentale et recherche appliquée, et plus ça va, plus on constate que les deux sont très intimement liées et qu'il est difficile de les séparer. Il est clair que l'acquisition des connaissances de base reste une priorité pour un organisme national public comme le nôtre, mais il n'empêche qu'en permanence, à chaque coin de canyon ou de fonds sous-marin, nous pouvons trouver des découvertes assez fantastiques qui nous amènent quelquefois dans un autre monde, même sur le plan économique.

On rentre vraiment dans ce qu'on appelle l'exploitation, au sens noble, j'espère, de la mer.

Un organisme de recherche comme le nôtre est confronté à des problèmes d'éthique comme tous les organismes de recherche actuellement. Lorsqu'on aborde ces problèmes dans les organismes de recherche, il faut d'abord séparer ce qu'on appelle l'éthique, d'un côté, et la déontologie, de l'autre. L'éthique correspond aux liens entre la recherche et la société, alors que la déontologie représente plus les devoirs des chercheurs vis-à-vis de la société, vis-à-vis d'eux-mêmes et vis-à-vis de leurs collègues. Je peux également ajouter le mot *précaution*, c'est-à-dire ce qu'on appelle en particulier les politiques de précaution, qu'on se doit désormais de mener lorsqu'on traite des problèmes de recherche.

Depuis de nombreuses années, en particulier dans le domaine de la recherche médicale, des comités d'éthique existent. En revanche, au plus haut niveau de l'Etat, on a commencé à se soucier de ce genre de choses, depuis quelques années seulement, et en particulier en 1998, lorsqu'un comité interministériel de la recherche scientifique et technique, présidé par Claude Allègre, a incité fortement les organismes à se lancer dans une démarche d'éthique. Un certain nombre d'organismes qui n'avaient pas encore beaucoup réfléchi aux problèmes d'éthique ont commencé à y réfléchir sérieusement. Dans les expériences menées dans ce domaine, on oscille souvent entre la notion de comité d'éthique à mettre en place dans les organismes, c'est-à-dire une démarche *top down*, où l'on demande à l'organisme de constituer un comité d'éthique avec un certain nombre de sages, etc., et une démarche *bottom up*, c'est-à-dire où l'on demande au contraire aux équipes de s'investir dans ces réflexions et de faire

monter leurs problèmes vers ce comité d'éthique. Dans les différents organismes, il y a eu ces démarches simultanément ; par exemple, l'Assistance publique des hôpitaux de Paris avait déjà lancé des démarches éthiques dès les années quatre-vingt, et finalement, vers 1995, ils se sont dirigés plutôt vers la création d'un espace éthique, c'est-à-dire à une mise en place des réflexions à tous les niveaux sur ces problèmes d'éthique. Le CNRS publie des cahiers, *Les Comets*, dans lesquels il publie des documents très intéressants sur l'éthique dans le domaine de la recherche. D'autres organismes n'ont créé que des comités de déontologie, comme l'INRIA (recherche technologique).

Présentons un exemple : le Comepra de l'INRA. Les chercheurs ont été beaucoup secoués depuis 10-15 ans dans le domaine des farines animales, dans la crise de la vache folle, etc. Il y a eu par conséquent beaucoup de réflexions, et des comités d'éthique se sont mis en place et ont produit des documents très intéressants, qui peuvent être considérés comme des références du moment.

L'IFREMER avait le choix entre créer son propre comité d'éthique et la possibilité de se rapprocher de l'INRA - et c'est ce qui a été fait. En 2001, on a créé un comité d'éthique et de précaution, le même que celui de l'INRA, auquel on a ajouté deux spécialistes du milieu marin : l'un est le président du Comité national des pêches et élevage marin (M. Parès) et l'autre est un scientifique (Jean-Paul Troadec). Il faut noter le fait que les personnes du comité appartiennent à de nombreuses disciplines, y compris la philosophie. Le suivi de ce comité est assuré par la direction scientifique de l'IFREMER.

Pourquoi «comité d'éthique et de précaution» ? Parce que, tout simplement, certaines recherches débouchent automatiquement sur des précautions à prendre au niveau de la mise en application de ces recherches. On a constaté qu'il y avait un déphasage important entre le rythme de l'innovation technique, qui est toujours poussée par l'économie et par la recherche privée, et le rythme d'obtention des savoirs qui sont nécessaires pour évaluer l'impact de ces innovations sur la société et sur l'environnement ; si l'on n'y prête pas attention, on risque d'avoir un décalage ou un déphasage de plus en plus important entre les deux. En d'autres termes, si l'on veut faire en sorte qu'on ne prenne pas trop de risques dans les décennies et les années qui viennent, il faut faire en sorte de développer également des programmes de recherche pour évaluer l'impact de ces innovations sur la société ; ce sera certainement de plus en plus le rôle des établissements publics de recherche, ainsi que des institutions académiques, alors que les programmes de recherche eux-mêmes, les programmes d'innovation, seront toujours partagés entre le public et le privé. Par exemple, pour les problèmes de pêche, nous sommes tout à fait dans une démarche de politique de précaution. Dans le domaine de la santé, de l'agriculture, ce sont des choses qui sont maintenant monnaie courante.

Gérard Jugie :

Les forages glaciaires en zone polaire ou la logistique/logistique/technologie/science

Je vais essayer de faire une transition entre le monde océanographique et un autre monde, celui des zones extrêmes que sont les pôles et essayer de vous les faire découvrir. Brest est une des rares métropoles provinciales à disposer de la présence d'un organisme national original, l'Institut polaire français Paul Emile Victor (IPEV). Par ailleurs, je souhaiterais également vous exposer comment s'est effectué le passage de l'ère des explorations en milieux extrêmes, à une phase plus professionnelle, en quelque sorte le passage d'une forme d'aventure à une forme scientifique très encadrée, qui repose sur le triptyque de la coexistence entre la science, la technologie et la logistique. En effet, il n'est pas concevable, dans ces zones, de mener des programmes scientifiques sans avoir des assurances formelles sur les technologies employées et sur la logistique qui supporte toutes ces expéditions. Au long de toute cette chaîne, qui conduit bien entendu, dans le stade ultime, à l'obtention de résultats scientifiques, se posent également des questions d'éthique, non seulement sur le plan des questions scientifiques mais également sur le plan de la conduite des opérations dans un contexte complètement international.

En préalable, il est sans doute intéressant de rappeler les grandes données de l'Antarctique (14 millions de km², 28 fois la surface de la France, le cinquième des terres émergées, les deux tiers des réserves d'eau douce...), sixième continent, au pourtour duquel sont installées 44 stations scientifiques, dont trois à l'intérieur même. Pour mener à bien des travaux, qu'ils soient scientifiques ou logistiques, il faut bien entendu utiliser des techniques spéciales et développer des technologies spécifiques. La France est fortement concernée en ce moment par la construction d'une station au sein du continent antarctique, qui pose non seulement des problèmes technologiques mais également des problèmes éthiques puisqu'il faut assurer la protection d'un site absolument inviolé jusqu'alors, sur lequel il faut mettre en œuvre des techniques de construction les plus propres possibles pour répondre aux contraintes environnementales et nécessitant donc de nombreuses précautions.

Image emblématique de la présence de l'homme dans un milieu extrême : la station française «Dumont d'Urville», site découvert par Dumont d'Urville au début du XIX^e siècle. La station française est située près du site de découverte avec une installation proche, dans sa conception, de celle d'un campus universitaire, à 5 km du continent antarctique. Ce campus comporte tout ce qu'il faut pour vivre (dortoirs, restaurant, source d'énergie...) et pour mener des expériences scientifiques (laboratoires, appareillages particuliers...) dans des conditions de constructions répondant aux exigences de ces zones polaires.

Un autre degré de difficultés est atteint pour la construction de la station Concordia, station permanente partagée avec nos collègues italiens, sur le plateau antarctique, à l'équivalent d'une altitude proche de 4 000 m et par des températures extrêmes. Le site du Dôme C a été choisi pour des objectifs scientifiques, c'est-à-dire des carottes glaciaires qui cherchent à obtenir la reconstitution des climats du passé pour prévoir ses évolutions futures, avec bien entendu toutes une série de problèmes à résoudre : politiques, éthiques, technologiques et scientifiques afférents. Ce Dôme C est par ailleurs situé à plus de 1 100 km à l'intérieur des terres, et, à l'heure qu'il est, nos équipes viennent de démarrer du bord de côte et essaient de rejoindre le site à bord de tracteurs et de remorques portées par des skis. C'est un lieu qui possède la particularité d'être un véritable désert sans faune ni flore et qui doit être absolument protégé.

Les semaines sont rythmées par les conditions météorologiques. La construction, au cours de fenêtres annuelles très courtes durant l'été austral, a évolué en trois saisons (démarrage en 1999) et progresse dans des conditions météorologiques assez délicates.

L'aventure glisse petit à petit vers une organisation professionnelle, plus lourde mais qui répond elle-même à des exigences de sécurité, d'efficacité et d'éthique.

Jacqueline Lagrée :

Colloque ENS Lyon. La représentation du vivant

J'ai été invitée à vous rendre compte d'un colloque qui s'est tenu du 14 au 17 novembre 2002, à l'École normale supérieure de lettres et sciences humaines de Lyon sur l'organisation du vivant et sous-titré «Du cerveau au comportement». Ce colloque avait la particularité de faire travailler ensemble des biologistes, des neurologues, des épistémologues, des psychologues et des psychanalystes, des linguistes, des sociologues, des juristes et des philosophes. Cette grande diversité de la palette des intervenants, outre qu'elle offrait l'avantage de forcer chacun à sortir de sa spécialité pour s'instruire des acquis et des méthodes d'autres disciplines ou d'autres approches, a permis aussi de complexifier encore, par la diversité des points de vue, des problèmes déjà fort complexes. Si j'ai accepté de participer à cette table ronde pour dire en quelques mots, ce que furent selon moi, les acquis principaux de cette rencontre, c'est pour deux raisons principalement : tout d'abord l'amour que j'ai gardé pour Brest, cette terre lointaine, ma «Thulé» des années quatre-vingt-dix, qui sait si bien innover dans de multiples terrains, mais surtout parce que je crois qu'une réflexion citoyenne, seule capable en définitive de trancher sur les domaines à explorer et sur les garde-fous juridiques qui s'imposent, se doit d'être une réflexion éclairée, instruite et qui s'appuie donc sur des réseaux universitaires de chercheurs, d'inventeurs et de passeurs d'information adéquate et confirmée. Je ne prétendrai pas résumer en

deux minutes des communications dont chacune rendait compte d'années de recherche : cela serait ennuyeux, inepte et vain. Je m'attacherai donc aux thèmes qui m'ont paru être les points saillants de ces débats : complexité, singularité, continuité, solidarité.

La *complexité* d'abord : ce fut le principal résultat des travaux en linguistique, montrant l'énorme complexité d'une fonction simple, la comitativité, qui s'exprime dans une préposition qui nous paraît aussi élémentaire que «avec». On constate que l'algorithme logique qui peut rendre compte d'une formule comme : «Jean marche avec Marie», ne fonctionne plus du tout si l'on veut rendre compte d'une fonction linguistique fort semblable comme : «Jean dort avec Marie» pour ne rien dire de : «Jean couche avec Marie», évidemment. L'organisation complexe du vivant doit, quant à elle, s'analyser dans les termes complémentaires et opposés de l'émergence et de la survenance, brouillant les frontières qu'on croyait bien acquises entre physique et biologie. Ce qui fait que la biologie est la seule science de la nature qui réintroduise en son sein un principe de contingence, qui est aussi un principe d'existence, à savoir le principe fondateur en biologie de la sélection naturelle. Cette complexité se manifeste encore dans l'étude du cerveau qui, loin d'être une «âme matérielle», doit articuler une base biologique (des circuits électriques des métabolismes) et un niveau symbolique. Comme le dit Alain Ehrenberg, sociologue : «Quand on aura découvert les mécanismes de la honte ou de la culpabilité, il y aura toujours des raisons de se sentir coupable, honteux ou angoissé, de bonnes et de mauvaises raisons qui ne se réduisent pas aux mécanismes dans lesquels elles s'expriment, pas plus que ma pensée ne se réduit aux lettres tracées sur la feuille ou aux ondes sonores qui vont de ma bouche à vos oreilles».

La *continuité* et la *solidarité* des espèces vivantes : cela vaut pour la recherche génétique, qui montre à la fois que la souris n'est plus guère un bon modèle explicatif du fonctionnement du cerveau, que la similitude génétique est très grande (98 %) entre le chimpanzé et l'homme, alors que les mêmes gènes sont exprimés très différemment dans le temps (beaucoup plus tôt chez l'homme) et conduisent à une proportion de processus descendants (entre aires corticales), ceux qui dépendent de l'environnement post-natal, proportionnellement très fort. Cette continuité vaut aussi pour le statut de l'animal que la zootechnie prétend réduire à une machine chargée d'atteindre à une productivité maximale, mais qui manifeste l'inadéquation de cette réduction en devenant «folle» ; la machine, elle, ne devient jamais folle. La prise de conscience de cette continuité et de cette solidarité écologique n'implique pas de nier les différences spécifiques, mais elle exige sans doute de réfléchir à un nouveau «contrat domestique» avec ces animaux qui ne sont plus sauvages.

La force de la *singularité* au sein même de la profonde unité du monde vivant : alors que la diversité d'ADN entre deux êtres humains est environ de 1 pour mille (de 0,4

à 0,8 pour mille entre deux gorilles), il y a lieu de s'étonner de la singularité des individus, de la singularité des expériences et des apprentissages grâce à la plasticité des circuits synaptiques jouant notamment dans la mémoire. Singularité de la biographie, irréductible à la biologie, et du retour de l'inconscient qui revient en force dans la thérapie des patients cérébro-lésés, avec l'apparition de «prothèses de représentation» censées suppléer l'incapacité à dire «je», à se reconnaître en première personne. Singularité qui peut aussi être vécue comme insupportable sous le poids de la pression sociale, comme on le voit dans la demande de traitement des patients de petite taille.

La solidarité et la dimension internationale des questions : il ne sert à rien de disposer d'une législation exemplaire en France ou en Europe si les interdits européens sont violés sans conséquence aux Etats-Unis ou ailleurs et si les chercheurs français doivent s'exiler pour poursuivre des recherches (thérapie génique, cellules souches...) dans lesquelles ils ne voient pas pourquoi ils iraient y perdre leur âme. En même temps, le cadre juridique est la façon dont chaque pays, suivant ses traditions propres, marque ce qu'il juge acceptable, désirable ou inacceptable de faire et de vivre. Après le siècle du gène (le XX^e siècle) est venu le siècle de l'esprit, le nôtre désormais, à savoir le siècle qui se fixe pour tâche non seulement d'élucider les mécanismes biologiques et logi-

ques (informatiques) du fonctionnement de la pensée, mais aussi de ses dimensions sociales et psychologiques, également constitutives. Les progrès de la connaissance génétique, et notamment le séquençage du génome humain, montrent une influence génétique partielle, multifactorielle et qui se traduit, le plus souvent, par une vulnérabilité plutôt que par une destinée nécessitante. Ce n'est donc pas seulement la question de notre liberté qui est ici posée ou celle de notre dignité, mais bien celle de notre solidarité : solidarité ou collaboration de la recherche dans les disciplines diverses, mais pas aussi étrangères qu'elles le croient, des sciences de la nature vivante et des sciences de l'esprit, solidarité des soignants, du patient et des proches dans la relation thérapeutique, solidarité des chercheurs et des citoyens. Pour finir, avec Henri Atlan, la science nous présente un monde de plus en plus déterminé, mais aussi de plus en plus complexe, fonctionnant en réseaux et en boucles et non linéairement. Dans ce monde déterminé de part en part, mais à des plans différents, de vieilles et toujours renaissantes philosophies, par exemple Spinoza et les stoïciens, nous rappellent que c'est au sein même de la détermination que se forge la liberté comme nécessité comprise et que se vit le bonheur comme accomplissement de ce grand mouvement vital, le *conatus* ou puissance indéfinie de vivre, d'agir, de penser, d'aimer.

Table ronde 2

Ethique et usage du vivant

Quelle éthique pour les explorations dans les milieux extrêmes ?

Enjeux technologiques, scientifiques et humains

Modérateur : **Jean-Paul Natali**, responsable de la mission de recherche en muséologie des sciences et des techniques, Délégation aux affaires scientifiques de la Cité des sciences et de l'industrie

Intervenants : **Jacques Arnould**, o.p., chargé de mission au Centre national d'études spatiales (CNES) sur la dimension éthique, sociale et culturelle des activités spatiales

Gérard Jugie, directeur de recherche au CNRS, directeur de l'Institut Paul-Emile Victor, Brest

Eric Lesueur, directeur des affaires environnementales et président du Centre de recherches pour l'environnement, l'énergie et le déchet (CREED), Vivendi Environnement

Pascal Lièvre, maître de conférences en sciences de gestion, université Blaise Pascal, chercheur au Centre de recherche sur le transport et la logistique (CRET-LOG), Aix-en-Provence

Daniel Prieur, professeur de microbiologie à l'université de Bretagne occidentale

Vladimir Sokolov, chercheur à l'Arctic Antarctic Research Institute (AARI), Saint-Pétersbourg

Jean-Paul Natali :

Pour situer en quelques mots les recherches menées avec mes collègues du Centre d'étude du débat public de l'université de Tours, je dirai que nous essayons de voir comment il est possible de créer une relation forte et une dynamique délibérative, entre des profanes, des experts et des décideurs, au niveau de problèmes de sciences et de société. Pour cela nous travaillons sur des protocoles adaptés de pratiques fonctionnant dans certains pays, comme les conférences de consensus au Danemark.

Cet après-midi, nous allons continuer d'avancer sur les problématiques abordées ce matin. Les milieux extrêmes ont été la porte ouverte sur l'aventure ; ces aventures ont été poursuivies par des démarches d'exploration qui, aujourd'hui, se développent avec tout un contexte de moyens techniques nécessitant une logistique et une organisation adaptées à ces milieux extrêmes. Finalement, se pose alors le problème des retombées ou, en tout cas, des implications que toute cette dynamique, liée au progrès, va induire. Et, toujours en liaison avec ces milieux extrêmes, se génère toute une réflexion sur l'éthique qui concerne le rapport entre le citoyen et ceux qui sont les acteurs de ces explorations.

Je demanderai aux intervenants de développer quel peu les divers contextes dans lesquels se posent les problèmes éthiques par rapport à leur activité et à la manière dont ils fonctionnent dans cette dynamique, afin de recentrer ensuite nos réflexions sur une discussion plus générale.

Gérard Jugie :

Station Concordia en Antarctique et le programme du forage glaciaire

J'ai pensé qu'il serait judicieux de présenter un exemple pratique pouvant illustrer les problèmes d'éthique qui se posent, de même que les problèmes de déontologie, au cours de la mise en œuvre d'un grand programme de travaux en Antarctique.

Le continent antarctique, d'une superficie de plusieurs centaines de milliers de km², est recouvert en moyenne d'une couche de 2 000 m de glace, pouvant aller jusqu'à plus de 4 000 m. C'est la plus grande réserve d'eau du monde (30 millions de km³ d'eau douce). Le continent antarctique est à l'heure actuelle recouvert par 98 % de glace, donc peu de surface rocheuse émerge.

Le sujet qui nous intéresse est une découverte sous cette calotte de glace, entre la calotte de glace et le socle rocheux, de lacs subglaciaires. Le continent antarctique faisait partie du Gondwana, dont un des fragments est venu se ficher au pôle Sud géographique et, petit à petit, a accumulé les glaces dans des conditions de températures très basses. Je suis très sensible à la présence d'un de nos collègues russes, M. Sokolov, puisque c'est sur le site de la station russe, dite de Vostok, qu'a eu lieu un des forages glaciaires les plus importants, destiné à repérer puis récupérer des glaces qui sont très anciennes (les plus anciennes du monde), il y a 4-5 ans. Depuis, nous-mêmes, au Dôme C, sommes descendus jusqu'à une pro-

fondeur de forage de moins 2 800 m, et pensons avoir obtenu des glaces qui ont plus de 530 000 ans d'âge ! Ces glaces sont récupérées et analysées. Les précipitations neigeuses se transforment en névé, puis en glace, et, en passant de l'état de neige à l'état de glace, à la formation du solide compact, des bulles d'air sont emprisonnées, laissant le témoignage de l'atmosphère qui régnait il y a plusieurs milliers d'années. En faisant fondre la glace, on récupère ces petites bulles d'air et on reconstitue la composition de l'atmosphère qui régnait alors, et, par extrapolation, les climats du passé. C'était un des objectifs des travaux à la station russe de Vostok, travaux qui ont été effectués lors d'une collaboration tripartite : Russes, Américains et Français. C'est l'un des endroits les plus froids de la planète (moins 90 °C pendant l'hiver et moins 50 °C l'été), d'où des conditions de logistique et de sécurité relativement sévères.

Sous cette glace, au cours du forage, par un faisceau d'observations tout à fait différentes, à la fois par des images satellites et des images radars obtenues par avion (couverture radar destinée à mieux connaître l'état des couches de glace), on a découvert (les collègues italiens en particulier) une aberration dans ces enregistrements : en effet, l'image radar ne donnait plus la traduction de couches de neige soigneusement empilées, mais une image complètement plane. En fait, sous cette couche de glace très importante (plus de 3 700 m), il existe un lac, d'une superficie à peu près égale à celle du lac Ontario, qui est situé entre le socle et la couche de glace, donc des eaux fossiles, qui datent, nous pensons, d'au moins un à deux millions d'années. Ce lac existait avant la glaciation et a été recouvert ensuite par cette dernière.

Ce glacier a évolué au cours du temps et, petit à petit, a recouvert le lac ; comme il recouvre quand il forme la banquise autour du continent, il a encapsulé le lac, c'est-à-dire qu'il y a de l'eau fossile qui a plusieurs millions d'années et qui a été absolument isolée du monde extérieur. À partir de 3 538 m, les analyses des glaces qui étaient remontées à la station de Vostok ne correspondaient plus du tout aux paramètres obtenus précédemment. Les scientifiques en ont déduit qu'il s'agissait de la glace d'évaporation puis de recristallisation du lac. Le grand débat actuel, qui débouche sur un problème d'éthique, est de savoir jusqu'où on doit aller dans le forage et surtout jusqu'où on ne doit pas aller. On a laissé un bouchon de l'ordre de 150 m d'épaisseur entre le trou de forage et l'eau du lac, de façon à conserver une sécurité. La question, maintenant, se pose de savoir comment poursuivre, par quels moyens technologiques sûrs, pour suivre le forage dans le lac à deux fins : être sûr de récupérer l'eau du lac dans des conditions de sécurité, c'est-à-dire d'obtenir des échantillons sans polluer le lac, et, inversement, une fois que le lac sera perforé, qu'il n'y ait pas de sources de pollution potentielle en provenance du lac vers la surface.

J'expose plutôt des problèmes que des solutions, mais c'est pour montrer que la résolution de thématiques scien-

tifiques est parfois conditionnée par des questions purement technologiques et par des questions de logistique. Pour progresser dans l'approche scientifique il est nécessaire d'envisager très sérieusement la combinaison triple d'un volet science, logistique et technologie.

Bernard Buigues :

La venue de Vladimir Sokolov à Brest est à la fois un peu inattendue, mais en même temps plutôt logique, puisqu'il travaille depuis 28 ans à l'AARI (Arctic and Antarctic Research Institute) dans les domaines de l'océanographie polaire, avec un terrain de jeu, ou un terrain d'expertise, situé dans l'hémisphère Nord. Sa présence ici s'inscrit dans le champ des débats qui sont ouverts par ces journées d'entretiens, mais elle est aussi motivée par le fait de sortir un peu d'un certain isolement : en effet, si beaucoup de laboratoires étrangers travaillent avec l'AARI, c'est généralement sur la zone antarctique. Jusqu'à un passé récent, les Russes entretenaient de nombreuses bases en Antarctique, et les Français connaissent bien la station de Vostok pour y avoir mené un programme de carottage en partenariat avec les Russes. En revanche, dans le domaine de l'exploration arctique, les personnes qui travaillent à l'AARI de Saint-Pétersbourg sont un petit peu isolées. Au-delà de la présentation que va faire Vladimir Sokolov aujourd'hui, c'est aussi une occasion de tisser des liens, d'échanger des idées et, pourquoi pas, d'envisager certains programmes ou certains développements.

Vladimir Sokolov :

Evolution et indépendance : un apprentissage ?

Le bassin Arctique ainsi que les mers adjacentes constituent l'une des régions les plus importantes de la planète, car le régime qui les caractérise influe sur le climat de tout l'hémisphère Nord.

Aujourd'hui, l'état de l'atmosphère au-dessus de l'océan Arctique de même que certains paramètres de la couverture de glace peuvent être contrôlés à l'aide de satellites en orbite polaire. En revanche, les caractéristiques des masses d'eau sous la banquise, notamment les couches profondes, ne semblent pas, même dans un avenir lointain, à la portée des satellites.

Avant 1991, ces données étaient essentiellement recueillies par les Soviétiques à partir d'observations effectuées sur les stations dérivantes «Pôle Nord», lors d'expéditions aériennes de hautes latitudes, d'expéditions maritimes, ou depuis des stations polaires terrestres. Depuis juin 1991, on a cessé, en Russie, les observations permanentes de l'état de l'océan dans le bassin Arctique et les mers adjacentes, après la fermeture de la 31^e station dérivante, mettant fin à 40 ans de travaux ininterrompus sur le bassin Arctique.

Ce manque crucial de données pour la région arctique s'est avéré encore plus dramatique quand, à la fin des

années quatre-vingt/début des années quatre-vingt-dix, on a constaté une importante arrivée d'eaux plus chaudes de l'Atlantique qui, selon les données fragmentaires de plusieurs expéditions, a provoqué des modifications considérables dans la structure des eaux intermédiaires et de surface du bassin Arctique, ce phénomène ayant même des répercussions sur la calotte groenlandaise. Cette dernière décennie, les Etats-Unis, le Canada, l'Allemagne et le Japon ont conduit des programmes d'envergure dans l'Arctique grâce à des balises dérivantes, des sous-marins nucléaires, des plates-formes aéroportées ainsi que la réalisation de toute une série d'expéditions aériennes et maritimes.

Cependant, malgré toutes les données obtenues au cours de ces missions, auxquelles il faut ajouter celles obtenues à partir des satellites, il n'y a pas actuellement, pour nombre de paramètres, de vision réelle sur les processus et phénomènes qui déterminent la circulation dans l'océan Arctique. Nous en avons des visions fragmentaires, résultats de simulations.

Nous plaidons ici pour la réhabilitation des bases dérivantes qui offrent la possibilité de travailler toute l'année, de pouvoir modifier les expériences en fonction des données obtenues et surtout d'être présents au cours des deux périodes transitoires : la fonte printemps/été et le gel automne/hiver, qui sont cruciales pour comprendre la dynamique de l'océan Arctique.

Jean-Paul Natali :

On voit bien comment l'existence de milieux extrêmes a conduit à l'aventure, puis à l'exploration scientifique. Tout cela se fait effectivement avec des technologies de plus en plus sophistiquées et demande un support important de moyens logistiques. Nous allons voir maintenant comment les modèles générés par ces moyens logistiques peuvent être exploités actuellement et dans les années à venir dans les organisations industrielles et commerciales.

Pascal Lièvre :

De la logistique polaire aux organisations industrielles et commerciales du XX^e siècle

On a parlé ce matin de logistique. Les deux instituts polaires français et russe, IPEV et AARI, qui sont intervenus, sont des agences de moyens dédiées à la logistique polaire. Dans cette acception, la logistique est un moyen pour réaliser des expéditions scientifiques, et il est vrai que les instituts polaires ont un savoir-faire indéniable en la matière.

Je suis chercheur en logistique. Je prends comme objet de recherche cette pratique logistique. Ce qui m'intéresse, en fait, c'est de développer la logistique comme une manière particulière de s'organiser en se centrant sur le problème de la mise en œuvre. Dans cette perspective, nous sommes tous des logisticiens puisque, dès qu'on a à

mettre en œuvre quelque chose, on est obligé de faire de la logistique. Dans le laboratoire où je suis, le CRET-LOG, à l'université de la Méditerranée, basé à Aix-en-Provence, depuis 20 ans, on travaille d'un point de vue théorique et pratique sur ce que signifie s'organiser, ce qu'est une organisation vivante, une organisation en action, une organisation qui intègre le problème de la mise en œuvre. Au travers des recherches que je conduis aujourd'hui sur le thème de la logistique en milieu polaire, j'émet l'hypothèse qu'il est pertinent d'investir les savoir-faire de la logistique polaire ; de partir de ces savoir-faire pour en dégager des principes d'organisation spécifique aux milieux extrêmes de façon à éclairer les modes de fonctionnement de nos organisations industrielles et commerciales du XXI^e siècle. Il peut paraître assez surprenant de dire qu'on peut faire une analogie entre un milieu polaire et le contexte économique de nos organisations du XXI^e siècle. Dès qu'on essaie de définir un milieu extrême, principalement à partir des travaux des éthologues et des psychologues, on définit un milieu extrême comme un milieu à l'écart d'un espace de vie ordinaire pour un agent donné. Il y a donc une rupture, qui suppose pour l'agent en question : apprentissage, gestion du stress, de l'incertitude et du risque. Or, lorsque les économistes caractérisent le nouveau contexte organisationnel de nos entreprises en ce début du XXI^e siècle, ils parlent de changement organisationnel, de flexibilité, de créativité, d'économie de l'innovation, de risque et d'incertitude. Il y a une analogie profonde entre les caractéristiques d'un milieu extrême et le contexte dans lequel sont plongées nos organisations.

Et là, déjà, il y a des travaux, des réflexions autour de ces notions. Pour les opérateurs, ces mots renvoient à des réalités concrètes. Les instituts polaires ont mis en place des pratiques qui répondent à ce contexte depuis de nombreuses années. Les gestionnaires, eux aussi, ont dû faire face à cette nouvelle situation : le passage d'une économie de masse à une économie de l'innovation.

En revanche, en matière de savoir-faire, de pratique, on n'est pas dans les mêmes configurations en ce qui concerne, d'une part, les expéditeurs polaires ou les gens qui ont le savoir-faire des instituts polaires, et, d'autre part, les gestionnaires de ces entreprises du XXI^e siècle parce que, d'un côté, le milieu polaire est un milieu extrême qui est voulu par des acteurs, et parce que, de l'autre, les acteurs sont en situation de contrainte. Le milieu polaire est également un milieu où l'évaluation des actions est simple. Dans un milieu économique, aujourd'hui, c'est très complexe et, lorsqu'on veut évaluer des actions, il faut mettre en place des protocoles très élaborés, construits, pour savoir si elles sont efficaces ou non. On est là dans des situations différentes du point de vue de l'observation du chercheur parce que, d'un côté, on a un milieu où il est facile de faire l'évaluation des actions et parce que, de l'autre côté, c'est compliqué. Ce qui en découle, c'est que, d'un côté, on peut acquérir rapidement les savoir-faire adaptés - s'ils ne le sont pas en effet, on le saura de suite et il faudra réagir - et, de l'autre côté,

on va avoir des difficultés à acquérir des principes d'organisation parce que, justement, le retour à la réalité est plus compliqué à analyser. Mon idée est qu'on peut réaliser un transfert entre les principes d'organisation, pointés, mis en place par les expéditeurs, les praticiens du milieu polaire, pour essayer de voir comment ces principes peuvent enrichir nos pratiques des organisations du XXI^e siècle.

Depuis deux ans, je travaille sur les expéditions polaires à ski, dont je suis praticien, et il est clair que, si l'on veut travailler sur les milieux extrêmes en termes d'organisation, il faut avoir des gens qui soient intégrés dans le milieu et qu'il y ait des relations entre les savoir-faire et les positions de recherche, qui sont assez combinatoires. On a mis tout d'abord en place un colloque : une confrontation entre des experts et des chercheurs autour de ces problèmes d'organisation d'expéditions polaires. Les actes de ce colloque ont fait l'objet d'un ouvrage chez Hermès en 2001, sous ma direction : *Logistique en milieux extrêmes, principes d'organisation des expéditions polaires à ski*. On a mis également en place une enquête par questionnaire pour demander à des expéditeurs polaires quels étaient leurs problèmes. Effectivement, lorsqu'on monte une expédition polaire, même une petite expédition à ski au Groenland, il y a beaucoup de problèmes à résoudre. Deuxièmement, on constitue une base de données sur les expéditeurs et les expéditions polaires ; à partir d'interviews où l'on rencontre des expéditeurs et où l'on travaille avec eux sur leur motivation - ce qui fait qu'un jour, dans leur vie, leur trajectoire sociale, ils sont passés à l'expédition polaire -, et aussi sur leur manière de s'organiser : comment les organisent-ils, avec qui, pourquoi, pendant combien de temps, avec ou sans sponsor... ?

On a voulu aller un peu plus loin par rapport à ce programme de recherche au niveau de l'action. J'ai conçu et mis en place une expédition qui part le 15 mars 2003, une traversée de la calotte du Groenland (1 200 km à ski à voile), où j'essaie de faire une espèce d'autoanalyse de ce qui s'est passé, en termes de logistique, d'organisation, aussi bien en amont que pendant et après le déroulement de l'expédition. Enfin, le dernier maillon de la chaîne de ce programme de recherche est le suivi anthropologique d'une expédition dont je ne suis pas le responsable. Le chef de l'expédition est Patrick Toulouse et j'ai ainsi une position d'observateur participant. En tant que chercheur, je suis acteur dans l'expédition, mais j'ai aussi une position de recul et j'essaie de constituer des traces relativement multiples de cette expédition. Cela fait six mois que nous la préparons. Il y a quelques mois, un week-end de recrutement, cohésion, validation a été organisé entre les différents participants. On a construit des traces tout au long de celui-ci, mais aussi en amont et en aval. L'expédition Pôle Nord magnétique 2004 est un peu particulière parce que, sur le plan logistique, c'est une étude de cas qui va durer trois ans (2002-2005) et qui constitue un travail extrêmement fin d'explicitation des savoir-faire, ce

qui n'est pas une chose facile. Il y a des travaux en psychologie, depuis Piaget, qui montrent qu'on peut réussir à faire quelque chose, mais qu'on ne comprend peut-être pas exactement ce qu'on fait, quelle que soit la pratique. Nous avons donc mis en place une méthodologie innovante qui est une caméra embarquée au plus près du point de vue de l'acteur, qui permet de suivre le déroulement du vécu de l'acteur, et, ensuite, de pouvoir confronter l'acteur dans une situation d'entretien pour rendre compte de sa pratique (Géraldine Rix est l'inventeur de cette méthodologie).

Dans un premier temps, l'idée est d'investir les expéditions polaires à ski, d'aller très loin dans l'investigation *in vivo* en action, en actes de ce qui se passe effectivement, de façon à dégager dans un deuxième temps, des principes d'organisation à vocation générale sur lesquels on peut essayer de réfléchir à la manière dont, à partir de ces savoir-faire éprouvés, on peut, aujourd'hui, penser autrement les principes d'organisation de nos entreprises au cours du XXI^e siècle.

Eric Lesueur :

Entreprise, recherche et extrême

Vivendi Environnement n'est pas une entreprise de communication, elle est intégralement dédiée à l'environnement, avec quatre activités principales : la distribution d'eau potable et l'assainissement, la gestion des déchets, les services énergétiques (gestion de réseaux de chaleur, etc.) et toute une activité de transport de voyageurs et par conséquent une implication forte dans les problèmes de logistique. Vivendi Environnement, c'est 30 milliards d'euro, 300 000 personnes dans le monde, une présence sur plus d'une centaine de pays. Dans notre vocation environnement, il y a une forte implication, de manière concrète, sur les problématiques de développement durable, tant auprès de notre personnel qu'auprès des clients que nous servons.

La responsabilité, c'est avant tout la responsabilité d'une entreprise comme la nôtre qui est sous le regard des médias comme tant d'autres, mais qui est directement impliquée dans la qualité de vie de beaucoup d'habitants sur la planète.

Pourquoi nous intéressons-nous aux milieux extrêmes ? La première raison est d'accompagner de manière concrète, pragmatique, très «terrain», les activités des chercheurs qui, eux-mêmes, s'intéressent à nous éclairer sur les problèmes d'environnement, sur l'histoire de la planète, sur son avenir. Il est par conséquent logique que nous accompagnions cette démarche de manière très concrète.

La deuxième raison est qu'il est important de parler de transfert technologique et d'essayer d'être rompus à des exercices difficiles et de tester des démarches de gestion de l'environnement, par exemple de gestion d'effluents humains ou industriels, de décontamination de

sols, de gestion des déchets, de gestion d'un service intégré environnemental dans ces conditions difficiles.

La troisième raison, qui revient d'une certaine manière à prendre les chercheurs à leur propre piège, est que le milieu des chercheurs dans des conditions extrêmes qui ont été décrites, est un formidable lieu d'expérimentation sur les activités humaines. La société des chercheurs dans les milieux isolés, chercheurs qui sont par ailleurs des populations naturellement évoluées, conscientes des enjeux environnementaux auxquels ils participent, permet d'établir des programmes de protection de l'environnement, de gestion de la vie et de minimisation des impacts environnementaux d'une microsociété humaine, de manière extrêmement intéressante. Pour ceux qui s'intéressent de près à l'environnement, vous savez sans doute qu'il y a eu beaucoup d'initiatives, en Europe du Nord, de créations de villages environnementaux modèles ; par exemple on essaie, sur un milieu qu'on isole le plus possible du reste de la société, de générer de l'énergie renouvelable et, avec cette énergie, d'alimenter des modes d'assainissement qui soient particulièrement modèles, de valoriser les déchets intégralement, etc. Dans le futur, peut-être, on pourra essayer d'appliquer une démarche environnementale totale dans les bases et stations scientifiques en milieux extrêmes.

Une autre raison est celle de la pédagogie environnementale. Si nous-mêmes sommes sous les feux des médias, nous préférons l'être pour montrer des actions intéressantes, constructives et vertueuses en matière d'environnement. Quand on participe, comme on s'apprête à le faire, avec des organismes polaires, australiens, chiliens ou français, à la protection de l'Antarctique, et qu'on s'implique dans de telles opérations, pour nous, la vocation de ces actions est de montrer comment, concrètement, une entreprise s'implique dans un cas difficile de préservation des ressources naturelles, ce qui est le cas de l'Antarctique, dans la problématique générale de la minimisation des impacts environnementaux ; cela doit avoir une valeur d'exemple, que nous essayons de décliner sur l'ensemble de nos activités dans le monde.

Enfin, les milieux extrêmes sont des champs particulièrement sensibles au niveau de la perception qu'en a l'opinion publique dans le monde aujourd'hui, surtout dans nos sociétés développées, en particulier en Europe. Et lutter contre l'indifférence, c'est probablement lutter contre un problème majeur, celui de la pollution de la planète. Je crois que toutes les activités que peuvent avoir sur ce thème tous les acteurs, qu'ils soient des ONG, des entreprises, etc., sont enrichissantes.

On a beaucoup parlé de froid, d'isolement, de glace, des milieux extrêmes qui sont hostiles. N'oublions tout de même pas qu'un des grands chantiers de l'humanité, de manière générale, a consisté à rendre ces milieux moins hostiles pour pouvoir les habiter et, à ce titre-là, nous avons des actions très concrètes pour essayer de réalimenter en eau potable des zones désertiques, par exemple au Moyen-Orient : un des projets est de remplir la mer

Morte avec de l'eau moins salée par des principes d'énergie solaire. Donc on peut aussi essayer à s'employer à rendre les milieux extrêmes moins extrêmes, plus vivables pour l'humanité. Je crois que cela fait partie des enjeux auxquels on doit aussi s'attacher dans le débat d'aujourd'hui.

Jean-Paul Natali :

Le vivant reste donc au centre de nos préoccupations et ce vivant génère lui aussi ses extrêmes. Nous allons demander à Daniel Prieur de nous en indiquer les limites, à la fois géographiques et physico-chimiques.

Daniel Prieur :

Limites géographiques et physico-chimiques de la vie sur Terre : leçons pour l'exobiologie, science qui étudie les possibilités d'existence de la vie dans l'Univers

L'exobiologie est un terme qui a été inventé par un certain Joshua Lederberg, prix Nobel de chimie dans les années cinquante. L'exobiologie est l'étude de la vie et de son évolution dans l'Univers. De ce point de vue, nous, modestes Terriens, ne connaissons la vie que sur la planète où nous vivons, à savoir la Terre, et c'est la seule référence dont nous disposons actuellement pour éventuellement rechercher des traces de vie passées ou présentes dans d'autres objets du Système solaire.

Etudier les limites de la vie sur Terre, c'est en définir d'une part les limites physico-chimiques, d'autre part les limites géographiques. Depuis environ 20-30 ans, on s'est aperçu que des organismes pouvaient vivre de manière optimale, et non pas s'adapter comme le fait l'homme, à des températures dépassant les 100 °C (maximum connu : 110 °C pour une bactérie des fonds de l'océan). Si l'on prend cet autre paramètre qu'est la salinité - par exemple pour les organismes vivant dans la mer Morte -, il existe des organismes assez extraordinaires qui peuvent supporter de manière optimale des salinités dix fois supérieures à celle de l'eau de mer. Si l'on prend un autre paramètre, le pH - l'acidité ou l'alcalinité -, il existe des organismes qui vivent très bien à un pH d'environ 0, c'est-à-dire dans l'acide sulfurique pur. Les biologistes ont donc repoussé les limites physico-chimiques permettant la vie.

Concernant les limites de la géographie, on pensait aussi, il y a encore quelques années, que la vie était limitée aux enveloppes superficielles de la terre, sur les continents, les couches relativement superficielles de l'océan ou, en tout cas, les couches superficielles du sédiment qui est au fond des océans. On s'est aperçu qu'on trouvait de la vie tout à fait active dans des puits de pétrole, non seulement dans les continents, mais aussi sous les océans, à 500-600 m d'épaisseur de sédiments marins qui sont déjà sous 3 000-5 000 m d'eau. On est donc en train de repousser considérablement les limites géographiques de la vie

sur terre, et l'exploration de notre planète, de ce point de vue, n'est pas encore terminée.

Peut-on se permettre de sortir un organisme de son environnement originel, de le mettre dans le laboratoire ? Peut-il y avoir éventuellement des risques pour les chercheurs ou le public autour de ces laboratoires ? Lorsqu'on sort un organisme de son système, qu'on le met ailleurs, il peut se montrer totalement indifférent aux nouvelles conditions et être noyé dans la masse. Il peut être détruit par les nouvelles conditions proposées, et c'est un peu ce qui passe lorsqu'on remonte des bactéries dites hyperthermophiles qui vivent à 90 °C au fond de la mer : quand on sait qu'elles commencent à se développer à 70 °C, il faudrait déjà qu'on ait une belle fièvre, avant qu'elles ne nous provoquent une maladie ! Les risques sont relativement modérés. Enfin, ces organismes peuvent se montrer envahissants. Par exemple, nous avons tous dans notre tube digestif lorsque nous sommes en bonne santé un certain nombre de microbes, de bactéries, dont la plus connue est la fameuse *Escherichia coli*, modèle pour l'étude de la biologie cellulaire. Cette bactérie se retrouve par millions dans le tube digestif, et nous sommes en pleine forme. S'il arrive que des stations d'épuration débordent - lorsque l'environnement n'a pas été bien maîtrisé, que l'assainissement est imparfait ou en l'absence de station d'épuration -, ces bactéries se retrouvent en mer. C'est un milieu qu'elles n'aiment pas (froid, peu de nourriture, rayons ultraviolets), mais elles survivent néanmoins quelque temps. Si elles se trouvent être absorbées - ingérées mais pas nécessairement digérées - par une huître, qui est totalement indifférente à ce genre de bactérie, elles vont être concentrées, et si vous mangez cette huître, vous pouvez être malade. Il y a donc effectivement des risques à transplanter des organismes d'un environnement à l'autre.

Je reviens à la question de savoir s'il faut adoucir les lacs salés ou refroidir les sources chaudes ? Il y a des effets bénéfiques. Dans les années soixante, un microbiologiste américain, Tom Brooke a eu l'idée, un peu farfelue peut-être à l'époque, de se poser la question : «Y a-t-il des organismes qui vivent dans les sources chaudes du parc de Yellowstone, aux Etats-Unis ?». Il fallait oser le faire et il surtout être capable d'échantillonner et d'apporter une réponse. Il a trouvé une bactérie qui vit de manière optimale à 70 °C (premier cas), puis il a découvert d'autres organismes. Ses élèves ont multiplié ce genre de découvertes dans plusieurs pays. Une vingtaine d'années plus tard, d'autres biologistes se sont souvenus des travaux de Tom Brooke, et - c'est là que cela devient intéressant parce que c'est l'effet positif de la découverte - ils ont mis au point une technique, la PCR. Tous les jours, dans les médias, on nous parle de cette technique : analyses d'ADN, empreintes génétiques... On utilise cette technique pour amplifier, multiplier la quantité d'ADN disponible, et on l'utilise en biologie, en diagnostic médical, en agroalimentaire, en criminologie. Pour amplifier de l'ADN, il faut de l'ADN au départ, et il faut une enzyme qui va fonctionner à haute température - or cette

enzyme vient du fameux *Thermus* isolé par Tom Brooke. Si l'on avait eu la possibilité ou l'idée de refroidir toutes les sources chaudes il y a trente ans, on n'aurait jamais trouvé *Thermus aquaticus*, et l'on n'aurait jamais de diagnostic biologique par cette méthode.

A partir du moment où les biologistes repoussent sur terre les limites des connaissances en termes de limites physico-chimiques ou géographiques de la vie, certains se disent que dans d'autres planètes, du Système solaire notamment, les conditions sont ou ont été identiques à celles qu'on trouve sur terre dans ces milieux les plus extrêmes. Pourquoi donc la vie ne serait-elle pas apparue, voire se serait maintenue, dans ces systèmes ? Les cibles favorites des exobiologistes et des astronomes sont au nombre de deux : Mars, sept mois de voyage, présence d'eau dans le passé ; Europe, cinq ans de voyage, satellite de Jupiter couvert de glace d'eau (épaisseur de 10-15 km) sous laquelle il y aurait un océan d'une centaine de kilomètres de profondeur, de l'eau liquide, peut-être par suite de l'effet de marée provoquée par l'énorme masse de Jupiter, ou peut-être par des phénomènes de nature hydrothermale au centre de ce satellite. S'il y a un jour exploration de ces systèmes, un problème d'éthique se pose : «Peut-on aller contaminer une planète du Système solaire avec nos microbes terriens ?». Des règles draconiennes ont été édictées par la NASA, l'Agence spatiale européenne, le CNES et nos collègues russes, pour essayer de faire en sorte que les satellites et tous les engins spatiaux soient parfaitement décontaminés avant de partir afin de ne pas contaminer la planète et de risquer de donner de faux résultats si l'on fait des expériences de détection de vie. Encore plus ambitieux, il est prévu par la NASA, le CNES et l'Agence spatiale européenne de ramener des échantillons de Mars sur Terre. S'il contiennent quelque chose, ce quelque chose peut-il être éventuellement néfastes à notre environnement ? Le problème n'est pas tranché parce que, si l'on trouve quelque chose qui ressemble à ce qu'on connaît sur Terre, la question se pose de savoir si c'est un contaminant ou quelque chose qui vient de Mars. Et si cela ne ressemble pas à ce qu'on connaît sur Terre, la question qui se pose est la suivante : «Est-on sûr, par les méthodes dont nous disposons actuellement (stérilisation, chaleur, rayons gamma, etc.), de pouvoir vraiment le détruire et de rendre les échantillons inoffensifs afin de les distribuer à la communauté scientifique ?». Le problème n'est encore tout à fait réglé.

Jacques Arnould :

Pour une éthique de l'exploit accompli

Ce matin, nous avons entendu parler des différentes démarches éthiques des organismes de recherche français et l'orateur a oublié (et je comprends très bien pourquoi) de mentionner la démarche actuelle du CNES, qui est sans aucun doute plus modeste que ces démarches, en particulier celles de l'IFREMER ou encore du CNRS,

puisqu'en, par exemple, le CNES n'a pas pour l'heure de comité d'éthique. L'agence spatiale française a seulement créé un poste à mi-temps pour un chargé de mission, poste que j'occupe. Nous sommes très loin à l'arrière du peloton des organismes de recherche français, mais l'important c'est sans doute de participer ! Mon propos peut très facilement s'articuler à ce que vous venez de nous dire au sujet de Mars. Ce thème fait effectivement partie des questions éthiques que nous essayons d'introduire dans notre quotidien.

Je me permettrai simplement d'élargir ou de vous proposer davantage de questions à partir de ce que nous venons d'entendre et de ma petite expérience au sein du CNES et au contact d'ingénieurs, de scientifiques et parfois aussi d'astronautes.

Il existe effectivement des milieux extrêmes (mer, espaces polaires, étoiles), mais il importe de rappeler qu'il existe aussi toutes sortes d'hôtes dans ces milieux. Parmi ces hôtes, il y a des aventuriers, qui peuvent être aussi parfois des savants, des guerriers ou des militaires, des industriels, des touristes qui, de plus en plus, fréquentent ces milieux extrêmes, sans oublier des indigènes humains ou non humains. Les enjeux éthiques qui sont soulevés relèvent de l'articulation de ces différents éléments, et tout d'abord des milieux entre eux. Pensons aux milieux extrêmes par rapport au nôtre : le cas de la mer, de l'Antarctique ou de l'espace, qui correspondent aux trois milieux extrêmes choisis pour ces Entretiens scientifiques, sont assez voisins du point de vue du droit et du statut qu'on leur confère. Quel statut donnons-nous à ces milieux extrêmes ? Sur ce point, les débats sont loin d'être achevés. Lors d'une discussion aujourd'hui à propos de l'Antarctique, on disait que dans une zone qui est quasi internationale, une certaine communauté se fait au-delà de la langue, des cultures et des frontières. Un milieu aussi original mérite qu'on lui donne un statut particulier. C'est la même chose dans l'espace où se trouve un endroit qui peut faire penser à une base polaire, je veux parler de la station internationale orbitale.

On vient d'évoquer la planète Mars et ses éventuels indigènes. On parle aussi d'y entreprendre des projets, plus ou moins utopiques, par exemple la «terraformation» qui consisterait à transformer la planète Mars en une autre Terre ou en une planète vivante. Se pose alors une question : «Avons-nous le droit de procéder à une telle opération sur une planète qui n'est pas la Terre ?».

Je parlais de l'articulation des hôtes entre eux. Nous avons volontiers en tête l'image de l'aventurier hors-la-

loi. Mais est-il possible d'imaginer vivre dans de tels milieux extrêmes sans loi pour les hôtes, de manière temporaire ou de manière prolongée ? Cela paraît difficile. D'ailleurs, l'astronaute ou le cosmonaute n'est pas sans loi, il n'est pas un hors-la-loi ; le droit de l'Espace lui donne dès à présent un statut, qui le qualifie d'«envoyé de l'humanité» et établit un minimum de règles de convivialité entre les membres de l'équipage. Ajoutons qu'aujourd'hui apparaissent de nouveaux aventuriers, grâce au tourisme spatial. Comment articuler la démarche d'un astronaute professionnel, entraîné pendant des mois et des années, et qui doit mener un programme technologique et scientifique dans un temps souvent très régulier, avec celle d'un touriste qui est là pour son plaisir et a payé son billet très cher ? Comment se passe alors la convivialité entre ces deux hôtes d'une station orbitale... ou leur non-convivialité ? Il s'agit d'une des premières questions posées par le tourisme spatial.

Une société américaine a un projet qui consisterait, l'an prochain, à déposer sur la Lune des objets personnels (tourisme par procuration) : a-t-elle le droit de le faire ? Pouvons-nous lui donner l'autorisation de le faire ?

Hier, on m'a posé la question : «Définissez l'extrême». En fait, ces Entretiens ont choisi trois milieux extrêmes parmi bien d'autres. Je crois même que nous avons nos propres milieux extrêmes. Soit que nous nous les proposons - j'ai décidé d'aller vivre quelque chose dans un milieu particulier pour moi -, soit que nous les découvrons à posteriori.

Il y a une histoire que j'aime beaucoup, celle de Jacob, ce patriarche de la Bible qui est, dans son genre, une sorte d'aventurier. Il s'endort un soir dans un milieu quelconque et, dans son songe, à côté de lui, il y a une échelle, et sur cette échelle, des anges qui montent et descendent. Quel est le symbole de «l'échelle de Jacob» ? Jacob découvre ainsi qu'il se trouve, en quelque sorte, sur un sommet de la Terre, un de ces lieux où la terre rejoint le ciel, c'est-à-dire le lieu des dieux ou de Dieu. Jacob se trouve pour ainsi dire à une extrémité du monde, si bien qu'à son réveil il dit : «Ce lieu est habité par Dieu et je ne le savais pas». Autrement dit, il a fait une expérience de l'extrême sans le vouloir, sans le savoir et il ne s'en rend compte qu'à posteriori. Peut-être enfin faut-il aussi dire, même si cela paraît évident, que partir vers l'extrême, vers l'extraordinaire, c'est aller à la découverte d'un autre monde, à la découverte d'autres êtres, d'autres hommes, parfois simplement à la découverte de soi-même.

Table ronde 3

Ethique et droit, quelle compatibilité ?

Exemples de l'Antarctique, de l'espace et de l'extension des zones économiques exclusives (ZEE) aux marges continentales (200 à 300 milles)

Président : **Jean-Loup Chrétien**, astronaute, Ecole de l'air, NASA

Intervenants : **Anne Choquet**, chercheur au Centre d'études et du droit de la mer (CEDEM), université de Bretagne occidentale

Gérald Hussenot, secrétaire général du Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins (CRPMEM) de Bretagne

Armel Kerrest, professeur aux universités de Bretagne occidentale (CEDEM), de Paris XI et d'Aix-Marseille III, membre de la délégation française au Comité des Nations unies sur l'espace

Alain Morash, chargé de la thématique «Grands fonds Géosciences» à TotalFinaElf

Jean-Loup Chrétien :

Vous ne serez certainement pas surpris si un astronaute vous dit qu'éthique et droit sont deux domaines dans lesquels on intervient rarement. Nos domaines d'activité sont plus techniques, hélas médiatiques, mais nous intervenons rarement dans des domaines aussi délicats. Je suis confronté à l'éthique depuis vingt-deux ans. Je suis ravi de passer la parole à mes voisins et voisines. Si vous voulez vraiment me pousser dans mes retranchements sur des questions d'éthique propres à notre métier, j'aurai certainement quelques réponses à donner, quelques commentaires à faire.

Alain Morash :**Recherche et les limites économiques**

Dans la société TotalFinaElf, j'ai pour charge de m'occuper de tout ce qui est recherche, développement et nouvelles technologies dans le *deep offshore* et de mener les réflexions sur la prospectivité actuelle ou future des grands fonds. Il m'est apparu intéressant de vous dire quelques mots sur ce qu'est le *deep offshore* (grands fonds). Pour un industriel, pour les pétroliers, la question se pose de savoir ce que c'est, et la raison pour laquelle on y va, alors que, globalement, c'est un milieu hostile ; la question se pose ensuite de savoir comment y aller et, finalement, si l'on y va, de savoir ce qu'on doit respecter et comment on doit s'y comporter.

L'ensemble des bassins sédimentaires qui sont identifiés sur la planète et qui ont des épaisseurs suffisamment importantes pour que l'industrie pétrolière s'y intéresse représentent une superficie d'environ 35 millions de km². Il y en a à peu près à l'aplomb de toutes les marges con-

tinental. Seule une partie de ces bassins sédimentaires nous intéresse, les autres ont des caractéristiques géologiques qui font qu'on n'a pas ou très peu de chances d'y trouver des hydrocarbures.

Ce qu'on va chercher dans les grands fonds, ce sont les dépôts sédimentaires semblables aux exploitations actuelles, mais sous 1 500-2 000 m de sédiments. Sur la plate-forme congolaise, on est en gros dans un univers qui fait 200 m d'eau et l'on arrive à un endroit, Salt Trees, à 150-200 miles des côtes. Quand on parle de l'extension de la zone d'exclusivité économique, on s'intéresse en général à un domaine qui est beaucoup plus profond et qui est situé sous une profondeur d'eau entre 2 500 et 4 000 m.

Pourquoi aller dans les grands fonds ? Depuis 1970, toutes les compagnies ont mené une exploration avec succès dans le domaine actuel : c'est ce qu'on trouve en mer du Nord, le long des côtes américaines dans le golfe du Mexique ou le long des côtes africaines. Là, on est en général à moins de 30 km des côtes, et l'on s'intéresse à comprendre les séries géologiques, à identifier des formes qui peuvent être des pièges, puis à les forer et à les mettre en production. Cela fait 30 ans que nous le faisons. Il se produit deux phénomènes : d'une part, nous sommes de plus en plus nombreux et, d'autre part, nous avons trouvé une bonne partie des hydrocarbures qui y étaient présents. Donc, on s'est intéressé progressivement à aller de plus en plus vers le large, et la technologie nous a permis de faire des forages de plus en plus profonds et de produire. Plus récemment, Total a mis en production un gisement par 1 200 m d'eau et, depuis quelques mois, Total produit, tout comme un certain nombre d'autres compagnies dans des contextes comparables. C'est une zone mal connue et en cours d'exploration. Nous avons dû mener un cer-

tain nombre de travaux avec l'IFREMER dans plusieurs domaines : l'environnement, la stabilité des fonds marins et la géologie en général. La difficulté est de trouver du pétrole, et surtout, dans cet environnement, d'assurer la sécurité des hommes et des installations. Ce n'est pas un vain mot car les conditions de travail sont difficiles, mais on a peu ou pas d'accidents. La sécurité des hommes ne se limite pas à celle des hommes de la compagnie, mais concerne également les hommes qui sont sur les installations, ceux qui vivent autour, sur les côtes. On a évidemment des progrès à faire, mais les compagnies occidentales sont de plus en plus contraintes par des directives. Dans notre compagnie, nous avons des directives propres, qui obligent à travailler dans de bonnes conditions et à respecter l'environnement, ce que je vis tous les jours. De plus, il y a un critère qui doit intégrer tous les aspects précédents (trouver des hydrocarbures, travailler dans des conditions de sécurité en respectant l'environnement), c'est le coût. Au bout de la chaîne, tout ce qui est fait doit être économique, c'est une contrainte essentielle.

Pour conclure, j'ai observé que les jeunes ingénieurs qui arrivent maintenant, ont une approche de la manière de travailler, de la manière de se comporter vis-à-vis de la société, de l'environnement, qui a évolué. Il s'est passé quelque chose. La société civile, au sens large, est représentée de manière à peu près proportionnelle dans l'entreprise et hors de l'entreprise, donc les gens qui travaillent sont les mêmes que ceux qui sont à l'extérieur, et je suis surpris qu'on n'ait pas évoqué le fait que si l'on veut progresser en termes d'environnement, il faut former. Nous avons un rôle fondamental à jouer au niveau de l'éducation afin de préparer les jeunes à respecter l'environnement et à participer à son évolution correcte. C'est un aspect important et les cadres contractuels devront y être préparés.

Brigitte Bornemann-Blanc :

Pour les pêcheurs, que signifie l'extension de la zone économique exclusive (ZEE), que veut dire l'éthique, et comment protégez-vous les océans et leur exploitation ?

Gérald Hussenot :

Impact sur le monde de la pêche

L'activité majeure du Comité régional des pêches de Bretagne est essentiellement de mettre en place des mesures de gestion dans la bande des 12 milles, et c'est une activité qui nous occupe à plein temps. La concentration de notre effort se fait essentiellement sur les pêches côtières, plus que sur les pêches hauturières, encore qu'on puisse mettre en place des dispositifs touchant les navires hauturiers. En effet la compétence du Comité régional s'étend à l'ensemble des navires immatriculés dans la région Bretagne. Cependant, autant nous avons la possibilité d'imposer les dispositifs réglementaires à l'intérieur des 12 milles envers tous les navires qui fréquentent le

secteur, autant nous ne pouvons pas le faire pour les navires hauturiers qui fréquentent le large et à fortiori pour les bateaux qui fréquentent les eaux lointaines.

Pour en revenir au cadre de ce débat, la notion d'éthique et usage du vivant, il est évident que le patron pêcheur (bateau de pêche et entreprise de pêche) se trouve à son centre, puisque c'est lui l'acteur principal. Sa conduite doit s'inscrire dans un cadre de gestion durable de l'activité et dans un cadre de préservation de la ressource. Il est certain que tous les patrons pêcheurs ne partagent pas tout à fait ce point de vue, mais il y a néanmoins une évolution très nette depuis quelques années, notamment chez un certain nombre de jeunes patrons qui, contrairement à bon nombre d'anciens, ont une conscience très sérieuse et très importante de leur impact sur leur environnement et sur la ressource. Dans le cadre de la nouvelle politique commune des pêches, qui doit entrer en vigueur au 1^{er} janvier 2003, un des arguments fondamentaux est justement de mettre en place une gestion pérenne de la ressource, et l'objectif, pour simplifier, est de faire coïncider les ressources disponibles et les flottilles. La principale récrimination que formulent les pêcheurs français, c'est de se trouver brutalement devant l'obligation de casser des navires pour rendre la situation de la flotte française, bretonne en particulier, adéquate avec les objectifs fixés par la Commission européenne, alors qu'ils ont des solutions alternatives à faire valoir. Cependant, ce problème d'éthique n'est pas nécessairement éloigné de la pensée de nos opérateurs de terrain. En effet, avec nous, ils contribuent tous les jours à essayer de mettre en place une gestion des ressources, qui se traduit par la mise en place de dispositifs réglementaires rendus exécutoires par les arrêtés du préfet de région. Par exemple, la mise en place d'une licence de pêche pour l'ensemble des navires qui pratiquent la pêche du poisson au filet dans les eaux territoriales bretonnes est un dispositif que nous avons mis en place, il y a un an, avec une certaine inquiétude, car brider brutalement l'enthousiasme de certains patrons pêcheurs et de certains armateurs était difficile. On a travaillé en symbiose avec l'ensemble des comités locaux (chaque marin est obligatoirement adhérent d'un comité local) pour essayer de mettre en place un dispositif qui permette dans un premier temps de figer les choses, d'éviter la course à l'armement. Autrement dit, nous avons mis en place un dispositif très contraignant, mais cela nous a permis de faire un bilan précis des marins et des armements qui souhaitaient exploiter la ressource avec cette licence filet, parce qu'effectivement, pour faire la demande de licence, chacun devait s'identifier et nous donner les statistiques de production de la campagne précédente. Au travers de ce système, nous avons réussi à déterminer la population concernée par cette activité majeure (gamme très importante de produits) pour la région Bretagne, et il y a eu un accord. Bien sûr, on s'est heurté à des oppositions locales, à l'opposition des régions périphériques, mais finalement tout le monde a fini par se ranger à l'idée qu'il n'était pas inutile de mettre

en place un dispositif qui, en définitive, protégeait la ressource pour le futur. Ce sujet est au centre des préoccupations quotidiennes du Comité régional.

Pour ce qui concerne l'extension de la ZEE, il n'est pas question pour nous d'étendre la zone économique exclusive des 200 à 300, voire 400 milles et, pour l'instant, on se contente des 200 milles. Néanmoins, le dispositif prévu, qui s'inscrit d'ailleurs dans le cadre des nombreuses conventions internationales qui ont été signées ces dernières années, est d'amener progressivement la population maritime à réfléchir et à s'inscrire dans le cadre d'une pêche durable, que ce soit à partir de la convention de Montego Bay, ou des accords qui ont suivi, notamment les accords sur les grands migrateurs et les stocks chevauchants.

Leur objectif principal est de promouvoir une pêche responsable qui respecte le principe de précaution. Cette notion pose déjà le cadre général des accords et demande à modifier un certain nombre d'habitudes et d'appréhension de l'exploitation maritime telle qu'on pouvait la concevoir jusqu'à maintenant. Elle implique aussi l'obligation de coopération entre les Etats côtiers et les Etats pêcheurs, avec des échanges de données. Elle se traduit également par la nécessité d'apporter une aide aux Etats en développement, ce qui constitue une dimension nouvelle. Cette coopération existe déjà d'ailleurs par l'intermédiaire des armements français qui travaillent notamment dans l'océan Indien, mais elle doit pouvoir certainement s'améliorer.

Au travers de ces dispositifs, il s'agit d'appréhender un peu mieux l'ensemble des espèces qui ne sont pas sédentaires dans la bande côtière, puisque cela concerne essentiellement les grands migrateurs (thon, espadon, requins, cétaqués...). L'objectif est donc d'arriver à faire rentrer progressivement dans les mœurs l'approche dite de précaution, qui, encore une fois, paraît assez lointaine en théorie, mais qui est tout de même au cœur de nos réflexions. Parmi les arguments principaux des propositions de la Commission pour la future politique commune des pêches, cet argument figure en première ligne.

Anne Choquet :

Traité sur l'Antarctique : un modèle de coopération pour la protection de l'environnement ?

Nous avons vu que l'Antarctique présentait un intérêt considérable pour les scientifiques. On sait aussi que l'Antarctique est fragile et qu'il faut donc essayer de le protéger afin que non seulement les scientifiques puissent pouvoir y développer leurs activités et bénéficier ainsi d'un continent quasi vierge, mais aussi afin que d'autres personnes puissent le découvrir. Comment peut-on protéger l'environnement en Antarctique, même si l'on sait que, de plus en plus, l'Antarctique est ouvert, notamment aux touristes ?

Les scientifiques ont permis de construire un système juridique qui fonctionne sur la base d'un traité adopté

en 1959. Ce système a évolué avec la société civile. Les ONG, l'opinion publique, ont permis d'aller plus loin et de protéger l'environnement, tout au moins d'établir un traité en 1991, qui complète celui de 1959.

Différents Etats se sont partagés le continent antarctique. En 1940, sept Etats avaient déclaré des prétentions territoriales en Antarctique : la France (terre Adélie), l'Angleterre, la Nouvelle-Zélande, l'Australie, le Chili, l'Argentine et la Norvège. Ces prétentions territoriales se sont fondées essentiellement sur la découverte : les terres découvertes étaient attribuées au premier arrivé. En fait, on constate que ni la Russie, ni les Etats-Unis n'ont revendiqué de terres sur le continent. Pourtant ces Etats s'y sont intéressés et ont organisé également des expéditions en Antarctique. On remarque aussi qu'on a des chevauchements de prétentions territoriales. En fait, la péninsule Antarctique (à l'accès plus facile) est un secteur revendiqué par trois Etats (Chili, Argentine, Royaume-Uni). La question se pose donc de savoir comment faire pour organiser des expéditions scientifiques en Antarctique, qu'on sait d'accès difficile, et qui seraient menées sur des territoires qui ont été revendiqués ?

En 1957-1958, l'Année géophysique internationale est le point de départ de la collaboration entre les pays intéressés (onze Etats participant à ces recherches). A la fin de cette année, le bilan est positif. Les Etats ont pu travailler ensemble, il y a eu des échanges de données scientifiques, des échanges de scientifiques et également la construction de stations scientifiques. La question est donc : comment faire pour que cela dure ? Nous avons trois Etats qui ont des prétentions territoriales qui se chevauchent, sept Etats qui ont des prétentions territoriales, deux Etats qui n'ont pas émis de prétentions territoriales, et il existe en Antarctique certains espaces non revendiqués - donc comment faire pour qu'on puisse coopérer ?

En 1959, Les Etats-Unis vont inviter à se rencontrer les dix autres Etats qui avaient participé à l'Année géophysique internationale, ainsi que l'Afrique du Sud. Ils ont établi un système très intéressant du point de vue juridique qui s'est concrétisé par le traité sur l'Antarctique en 1959. Ce traité va permettre de geler les prétentions territoriales. On va accepter que les Etats qui n'ont pas de prétentions territoriales puissent venir sur les territoires revendiqués. C'est sur cette base que la France, avec l'Italie, a pu envisager de construire la station Concordia qui est établie sur un secteur australien. Cela va permettre de développer la coopération entre Etats, bien qu'il y ait des confrontations. En outre, en 1959, on a fait de l'Antarctique un territoire non militarisé, non nucléarisé, avec interdiction de déposer les déchets nucléaires. Un système d'inspection a été mis en place.

De plus, on a donné la possibilité aux Etats qui avaient adopté le traité de prendre des mesures en matière de protection de la faune et de la flore, ce qui a permis de développer cette protection de l'environnement. En 1964, il y a les premières mesures en matière de protection de l'environnement et on fait le constat que tout n'est pas

protégé. En 1972, on va s'intéresser à la protection des phoques. L'autre préoccupation est la pêche, et notamment celle du krill. En effet, le krill est à la base de la chaîne alimentaire, et s'il est pêché, mais surtout surexploité, il y aura des conséquences sur toute la faune locale et notamment, en fin de compte, sur les baleines. On décide alors de protéger en priorité le krill. En 1980, on décide de ne pas limiter la convention au krill, mais de l'étendre à la faune et à la flore de l'Antarctique.

Dans les années quatre-vingt, apparaît une autre préoccupation. En effet, en raison de la théorie de la tectonique des plaques, on sait que les continents proches de l'Antarctique sont riches en ressources minérales ; on en déduit alors que l'Antarctique est également riche en ressources minérales. Se pose le problème des permis d'exploiter ces ressources, problème qui se complique d'ailleurs là où il y a chevauchement des prétentions territoriales. Cela conduit, en 1988, à la convention de Wellington sur la réglementation des activités relatives aux ressources minérales qui va essayer de concilier les activités liées aux ressources minérales à la protection de l'environnement. En 1989, des marées noires ont lieu aussi bien dans l'Antarctique que dans l'Arctique. On se rend compte que les milieux polaires sont extrêmement fragiles. La France et l'Australie vont refuser de ratifier la convention de Wellington, si bien que cette convention ne peut entrer en vigueur. Les Etats vont alors décider d'interdire les activités relatives aux ressources minérales autres que celles menées à des fins scientifiques, en signant le traité de 1991, le protocole de Madrid sur la protection de l'environnement en Antarctique. Ce dernier traité protège donc l'environnement. On va faire en sorte que toutes les activités menées en Antarctique puissent être réglementées par un traité.

Le traité fait de l'Antarctique une réserve naturelle consacrée à la paix et à la science. On va essayer de prendre des mesures qui permettront de protéger l'environnement, mais qui permettront également aux scientifiques de continuer à mener leurs activités et d'ouvrir l'Antarctique à d'autres personnes. On va prendre des mesures importantes en matière de gestion des déchets, pour la prévention de la pollution marine... Depuis le protocole de Madrid, toutes les activités menées en Antarctique doivent au préalable faire l'objet d'une évaluation d'impact sur l'environnement : plus l'impact risque d'être important, plus l'évaluation sera développée. Différentes évaluations sont envisageables. Il y a l'évaluation très simple, comme une expédition à pied qui requiert l'autorisation de l'Etat qui l'organise. Il y a l'évaluation pour les activités qui présentent des impacts mineurs ou transitoires, telles que l'établissement d'un camp, d'où l'obligation d'établir un rapport plus étoffé. Il y a également l'évaluation globale sur l'environnement lorsque l'impact envisagé est encore plus important, telle l'établissement d'une station scientifique : il y aura un échange avec les autres Etats, une étude de la part du Comité de l'environnement polaire, des discussions dans le cadre des réunions des

parties consultatives. Une des faiblesses du protocole est que la décision finale revient à l'Etat qui mène l'évaluation.

Si les richesses du protocole de Madrid peuvent être relevées, il ne faut pas négliger le fait qu'il n'est pas sans reproche. On peut déplorer une lacune qui est l'absence totale de régime relatif à la responsabilité en cas de dommages à l'environnement. Depuis, les Etats se réunissent chaque année afin de discuter du régime relatif à l'environnement. Reste encore la question des conséquences des activités touristiques sur l'environnement en Antarctique.

Armel Kerrest :

L'espace, droit à part ?

Je ferai quelques remarques sur les règles générales du droit de l'espace, puis quelques remarques sur l'évolution qui se fait jour ces dernières années, du fait de l'augmentation considérable de l'activité commerciale.

La mise en place du droit de l'espace date de 1967, période pionnière de l'espace. Dès ce moment-là, un traité a été mis en place, proposé par l'URSS et les Etats-Unis et accepté par la Communauté internationale dans le cadre du Comité des Nations unies sur l'utilisation pacifique de l'espace.

Le premier point concernait le problème de l'utilisation pacifique de l'espace. Dès le début, l'espace était un lieu important d'activités stratégique-militaires. Des règles ont été adoptées. Autour de la Terre, les Etats ont le droit d'avoir des activités pacifiques, éventuellement militaires. Pour la Lune et les corps célestes et les orbites qui se trouvent autour, les activités militaires sont interdites. Pour les orbites autour de la Terre, on a seulement interdit les dépôts d'armes de destruction massive, c'est-à-dire nucléaires, bactériologiques et chimiques.

Le deuxième problème évoqué était important parce qu'il conditionne les autres, c'est celui de la liberté d'exploration et d'utilisation, ce qui n'était pas évident au départ. Le traité de 1967 fixe donc cette liberté d'exploration et d'utilisation pour les Etats.

Le troisième problème est lié à cette liberté. Quand on est libre, on est responsable, du moins, en principe, c'est ainsi que cela devrait être. Très logiquement, quand on a établi le traité de 1967, on a mis en place une responsabilité des Etats du fait des activités spatiales. En matière spatiale, la responsabilité qui a été fixée dans le traité de 1967, précisée par la convention de 1972, est une responsabilité très forte de tous les Etats qui participent de près ou de loin à l'activité spatiale. Quand on lance un satellite, tous les Etats participant à ce lancement sont «Etats de lancement» et sont tous responsables financièrement des dégâts qui pourraient advenir. Cela permet à la victime d'aller demander l'indemnisation à l'un quelconque de ces Etats, ce qui permet d'envisager, plus sérieusement qu'en matière pétrolière, une indemnisation. Pour l'instant, fort heureusement, il n'y a eu aucun cas d'indemni-

sation parce qu'il n'y a eu aucun cas d'accident véritable, en dehors d'un problème pour lequel la convention a été laissée un peu de côté, l'affaire du Cosmos 954. Ce satellite soviétique, qui est tombé sur le Canada, avait la particularité de transporter une source d'énergie nucléaire pour fabriquer de l'électricité, ce qui a provoqué la pollution par le plutonium d'une partie du territoire.

Le dernier problème que je vais évoquer est le problème de la non-appropriation. Est-ce que les Américains, posant le pied sur la Lune les premiers, pouvaient faire comme Christophe Colomb et revendiquer le territoire de la Lune ? Le traité de 1967 interdisait cette appropriation et il continue à le faire.

Les évolutions actuelles, en particulier des évolutions dues à la privatisation de l'activité spatiale, feront l'objet de mon deuxième point. A l'heure actuelle, les activités des Etats continuent, avec des problèmes de financement. Ils ne sont pas mécontents que des activités privées puissent prendre place, ne serait-ce que pour pouvoir maintenir certains projets. Ces activités évoluent dans de nombreux domaines : télécommunication (satellites), télédétection (satellites à but commercial). De même, la société Transorbital a le projet d'aller sur la Lune : elle veut d'abord faire des photos du paysage, puis aller déposer des objets, à but commercial, ce qui commence à poser des problèmes sérieux. Avant-hier, à un colloque à La Haye, j'ai rencontré le responsable du droit de l'espace américain au département d'Etat (ministère des Affaires étrangères), à qui j'ai demandé s'ils avaient bien autorisé cette société Transorbital. Ils ont autorisé la prise de vues, mais ont aussi autorisé l'alunissage du module sur la Lune. Au vu de mon étonnement, il était un peu gêné et a admis que cela pouvait éventuellement poser quelques problèmes, qu'il s'était renseigné auprès de la NASA pour savoir s'il y avait des effets sur l'environnement, et qu'en fait, ce n'était peut-être pas une très bonne idée mais que, poussé par les besoins de l'industrie spatiale, il n'avait pas osé refuser cette autorisation.

De manière plus générale, la commercialisation pose des problèmes importants parce qu'au fond beaucoup

mettent en cause les règles fixées en 1967, qui sont des règles très strictes en matière de responsabilité. Evidemment, cela gêne plus d'un Etat. L'obligation d'indemnisation est très large. Contrairement à ce qui se passe en mer, il n'y a pas de plafond, il y a une responsabilité sans faute, conjointe, c'est-à-dire concernant tous les opérateurs, ce qui est aussi un avantage par rapport à la situation maritime. Tout cela gêne certains qui commencent de plus en plus à secouer le système pour essayer de voir s'il ne va pas s'effondrer.

J'espère que le système ne s'effondrera pas, que les tentatives de «commercialisation explosive» ne vont pas conduire à modifier le système. Des activités privées dans l'espace, pourquoi pas, à condition qu'elles soient respectueuses de l'environnement, de la non-appropriation. Je pense que, dans ce cas, il faudra maintenir un contrôle et, que, s'il est maintenu, on pourra avoir des activités qui pourront être honorablement et efficacement poursuivies.

Jean-Loup Chrétien :

Vous avez tous vu l'intérêt de cette juxtaposition des divers domaines et des intervenants, spécialistes pour nous amener en finale sur le milieu interplanétaire, et les questions qui se posent vont être de plus en plus critiques et sérieuses dans les décennies qui viennent. En effet, lorsque l'exploration planétaire reprendra, si l'on envoie mille personnes sur une autre planète et si elles sont du même pays, il est clair que ce sera une colonie de ce pays ; si ces personnes sont des représentants issus de diverses spécialités de divers pays de la planète, ce sera un échantillon représentatif de la population terrienne. Encore faudrait-il qu'il soit très diversifié, et l'on arrivera peut-être à transposer les questions qui se posent ici dans ce milieu spatial. Sans doute cela arrivera-t-il. On est loin d'imaginer toutes les règles, tous les textes, tous les décrets et tout ce qu'il faudra établir, préétablir, pour faire en sorte qu'il ne se passe pas là-haut ce qui se passe parfois ici dans certaines zones et contre quoi on ne peut strictement rien.

Table ronde 4

Biodiversité et usage du vivant

Les risques des invasions selon les espèces

Modérateur : **Jean-Paul Natali**, responsable de la mission de recherche en muséologie des sciences et des techniques, Délégation aux affaires scientifiques de la Cité des sciences et de l'industrie

Intervenants : **Jean-Yves Le Souef**, directeur scientifique, conservateur du Conservatoire national botanique de Brest

Bernard Stequert, directeur du centre IRD (Institut de recherche pour le développement) de Brest, directeur du laboratoire de sclérochronologie des animaux squelettiques (IRD-IFREMER)

Gérard Thouzeau, chargé de recherche au CNRS, Institut universitaire européen de la mer (IUEM)-Université de Bretagne occidentale

Jean-Paul Natali :

Lors de cette table ronde, nous allons aborder les notions d'équilibre entre diverses espèces biologiques, soit terrestres, soit aquatiques. Nous savons que les équilibres entre les espèces sont assez fragiles et qu'ils peuvent être profondément modifiés, notamment par les activités humaines qui introduisent des espèces dans des environnements qui ne sont pas ceux de leur origine. Déplacées de leur cadre et introduites dans de nouveaux contextes, certaines de ces espèces envahissent leur nouvel environnement et provoquent des déséquilibres sur le plan écologique. C'est le cas de la crépidule et d'autres organismes qui vont maintenant nous être présentés.

Gérard Thouzeau :

Biologie marine

Je suis chercheur au CNRS, dans l'enceinte de l'Institut universitaire européen de la mer (IUEM), et je vais faire une présentation qui, dans un premier temps, sera une présentation très générale sur les introductions d'espèces en milieu marin, focalisée sur la façade Manche-Atlantique ; dans un deuxième temps, on verra un cas très concret, la crépidule en rade de Brest, et je vous présenterai des résultats d'un groupe de chercheurs de l'IUEM. Ce sont des études pluridisciplinaires qui rassemblent une bonne quinzaine de chercheurs et d'enseignants-chercheurs de l'université et du CNRS.

Lorsqu'on parle d'introduction d'espèces dans le domaine marin, combien d'espèces cela représente-t-il ? L'ensemble, par décennie, des espèces introduites sur la façade Manche-Atlantique française et espagnole représente en tout 104 espèces avec des introductions qui sont essentiellement importantes à partir des années soixante,

maximales dans les années soixante-dix et des introductions encore notables dans les années quatre-vingt-dix, malgré la mise en place de textes, aussi bien au niveau français qu'europpéen, limitant ces introductions d'espèces exotiques. On a des introductions primaires, c'est-à-dire des espèces signalées pour la première fois sur la façade, et des introductions secondaires, qui résultent de foyers d'introduction ailleurs sur les côtes européennes, avec une importation secondaire sur la façade Manche-Atlantique française.

Essentiellement, des invertébrés sont introduits sur cette façade, 68 espèces sur 104, puis, secondairement, des macro-algues avec 21 espèces. Ce sont des espèces originaires du Pacifique en grande majorité (60 %) et de la côte Est des Etats-Unis (16 %). Le taux d'invasion a augmenté fortement à partir des années soixante, en particulier en relation avec l'augmentation du trafic maritime et du développement de pratiques aquacoles. Cela se traduit par la zone ou les zones principales d'introduction entre les côtes normandes et le bassin d'Arcachon, notamment parce que ce sont des zones fortement développées en matière d'ostréiculture.

Parmi les mécanismes d'introduction, pour notre façade, on distingue des introductions volontaires résultant de la mise en culture d'espèces - que ce soit de macro-algues, de poisson, de mollusques, etc. - et des introductions accidentelles qui se font soit via les transferts d'huîtres (c'est-à-dire qu'on a des espèces qui vont être fixées sur les coquilles d'huîtres, c'est le cas de 25 espèces), soit via les eaux de ballast et les salissures des coques de navire, donc par voie maritime (38 espèces) ; il y a aussi des parasites introduits avec des espèces cultivées, telles que les moules, les anguilles, les huîtres, ainsi que des espèces pour lesquelles on ne connaît pas les modes de prolifération. En l'occurrence, sur le recen-

sement qui vient d'être effectué en 2002, on a 11 espèces sur le mode d'introduction desquelles, sur nos façades, on ignore tout. Sur ces 104 espèces, il y en a 70 qui sont établies, c'est-à-dire qui sont installées, qui se reproduisent, donc qui sont pérennes, et seulement 14 pour lesquelles l'implantation semble ne pas avoir réussi. Certaines espèces ont donc tendance à coloniser les milieux, et même à bien les coloniser pour certaines d'entre elles.

Concernant les macro-algues, la France fait partie, au niveau européen, des pays très fortement colonisés par les espèces introduites : 22 espèces de macro-algues en première signalisation au niveau des côtes françaises (Angleterre : 9 ; Italie : 6). Je vais illustrer mon propos par deux exemples : la sargasse (algue brune) et la *Gratupia doryphora* (algue rouge).

La sargasse est une algue originaire du Pacifique qui a été introduite en France via les transferts d'huîtres, avec deux foyers d'introduction : un premier en Manche orientale (fin des années soixante) et un deuxième à l'étang de Thau (1980). La distribution s'étend maintenant de la Norvège aux côtes du Portugal et en mer Adriatique. Au début de l'introduction de l'espèce, il y a eu, en Angleterre et en France, des essais d'éradication, des essais mécaniques essentiellement, qui ont tous été voués à l'échec. C'est une algue fortement implantée et proliférante sur la façade Manche-Atlantique.

Gratupia est une algue rouge de très grande taille (la plus grande algue répertoriée : 3 m de long). C'est une espèce qui, sur les côtes de Bretagne, présente deux foyers d'introduction : un foyer lié aux pratiques ostréicoles en région de Carantec, à l'île Calo, et un foyer, à côté de Lorient, où il n'a pas d'aquaculture mais, en revanche, une activité maritime très forte. On a donc affaire à une voie d'introduction via les bateaux, le *fouling* ou les eaux de ballast. C'est une algue également originaire du Japon qui était présente à l'étang de Thau dès 1982.

Premier exemple d'espèce introduite parmi la faune, un bigorneau perceur : c'est une espèce un peu plus grande que celle de la communauté indigène native de la côte Ouest du Pacifique qui, dans un premier temps, a envahi l'autre côté du Pacifique et qui est arrivée en France dans le bassin de Marennes-Oléron en 1995 - transfert probablement encore une fois lié aux importations d'huîtres. C'est une espèce qui est très localisée pour le moment (Marennes-Oléron) - on ne la trouve pas à l'île de Ré par exemple -, et cela s'est traduit par des essais de lutte. Le bigorneau perceur est un prédateur de bivalves, qui entraîne des effets actuellement étudiés par le Crema-Loumo et l'université de Bordeaux I. Y a-t-il un effet en termes de prédation sur les huîtres cultivées dans le bassin de Marennes-Oléron ? Y a-t-il aussi une compétition entre les deux espèces de bigorneaux perceurs, dans la mesure où ils occupent la même niche écologique ? Des mesures ont été mises en place pour essayer de lutter contre la prolifération ou l'implantation de cette espèce et deux types de moyens ont été entrepris, essentiellement via la section régionale conchylicole, soit la destruc-

tion des œufs, qui est une méthode assez brutale (brûleur propane), soit des campagnes de ramassage incitatives dans la zone de balancement des marées, ou des pêches de l'animal via des casiers en utilisant de la chair d'huître comme appât.

Je vais aborder maintenant la crépidule. C'est une espèce originaire de la côte Est des Etats-Unis dont l'introduction est très ancienne, puisqu'elle a été signalée en baie de Liverpool dès 1872. Elle a été importée accidentellement avec l'huître américaine. Les premières signalisations sur le continent datent de 1911, en Belgique et, sur la côte française, dans le Calvados et en rade de Brest, en 1949, avec une propagation ultérieure vers la Manche orientale ou la Manche occidentale et le golfe de Gascogne. Aujourd'hui, c'est une espèce qui couvre globalement toute la façade Manche-Atlantique.

On a diverses hypothèses sur les mécanismes d'introduction : des premières introductions seraient liées à des importations sauvages de coquillages en provenance d'Angleterre ou de Hollande ; il y aurait surtout l'arrivée massive de ces coquillages fixés sur les coques des navires du débarquement pendant la Deuxième Guerre mondiale, arrivés sur les plages du Calvados et dans les ports de Cherbourg et de Brest ; il y aurait, dans un troisième temps, de nouvelles introductions de crépidules liées à l'aquaculture de l'huître, dans les années soixante-dix.

Parmi les recherches actuelles, on cherche à retracer l'histoire de la colonisation de ces envahisseurs. Cela se fait à l'aide d'analyses génétiques, à la fois sur des populations d'origine de la côte Est des Etats-Unis et sur différentes populations européennes. On cherche à caractériser génétiquement ces différentes populations afin d'essayer de retracer l'histoire de la colonisation, de voir si plusieurs étapes de colonisation se sont enchaînées. Ce sont des résultats préliminaires. Les principales conclusions obtenues par les chercheurs de la station biologique de Roscoff sont que les populations d'origine sont très diversifiées génétiquement, que les populations européennes le sont également, et tout est imbriqué, c'est-à-dire qu'on ne peut pas, par exemple, dire que telle population de la façade Atlantique provient de telle population de la côte nord-américaine.

En rade de Brest, la prolifération de la crépidule s'est faite progressivement. Cela correspond à une modification des équilibres au niveau de l'écosystème et, finalement, elle est devenue une espèce jouant un rôle majeur dans l'écosystème en rade de Brest. Ce rôle majeur, bien évidemment, pose un problème ensuite lorsqu'on cherche, éventuellement, à regagner des milieux qui ont été colonisés par la crépidule.

La crépidule est arrivée en 1949 en rade de Brest ; les premiers recensements datent de 1979 ; elle est essentiellement localisée dans le bassin Sud de la rade. On a une estimation quantitative de sa biomasse en 1995 : un peu moins de 20 000 tonnes en poids frais. C'est un animal qui produit beaucoup de matières organiques via ses excréments (bio-dépôts), ce qui correspond à 850 000 tonnes

par an produites par l'animal ; en poids sec, c'est de l'ordre de 11 000 tonnes de matières organiques. Si l'on regarde ce qui se passe en l'an 2000, on voit clairement que l'animal est en phase de prolifération : la biomasse a augmenté.

Le premier impact de cette prolifération est une modification de la nature sédimentaire des fonds. Cette matière organique, produite en très grande quantité, se traduit par un envasement des fonds, sur des zones très petites de la rade de Brest, avec un gradient de densité de l'animal ; l'envasement va augmenter de 70 % si l'on raisonne en pourcentage de matières organiques. De la même façon, on observe un piégeage de cette matière organique au niveau du sédiment : des pigments, les phéopigments, qui sont des produits de dégradation des cellules phytoplanctoniques produites dans la colonne d'eau, sont multipliés par un facteur 9 sur ces zones à forte densité de crépidules par rapport à celles qui ne sont pas colonisées.

Le deuxième impact est une modification sur les peuplements qui touche les différents stades de développement des organismes, ce qu'on appelle les post-larves, c'est-à-dire des animaux tout petits qui font quelques centaines de microns, des juvéniles et des adultes. En ce qui concerne l'installation des espèces de la faune benthique sur les fonds de la rade de Brest, les stades post-larvaires, le premier type de résultats obtenus, en 1994-1995, où l'on a eu de la chance d'avoir une année normale, sans *bloom* toxique (1994), et une année avec des *blooms* toxiques (1995), montrent que les espèces réagissent à ces *blooms* toxiques au moment de la reproduction de trois manières différentes. Il y a des espèces qui y sont sensibles, c'est-à-dire qu'il n'y a aucun recrutement dans les collecteurs artificiels lors de ces *blooms* comparativement à une année normale. Il y a des espèces qui y sont indifférentes : autant d'individus dans une année normale que dans une année à *bloom* toxique. Puis il y a des espèces qui semblent profiter de la place laissée libre sur les supports par les espèces sensibles. La crépidule, apparemment - c'est une hypothèse qu'on essaie de valider actuellement - fait partie des espèces indifférentes. La coquille Saint-Jacques, le pétoncle blanc, le pétoncle noir font partie des espèces sensibles : 100 % de mortalité larvaire ou post-larvaire pendant les *blooms* toxiques en rade de Brest.

En ce qui concerne l'impact de la crépidule au niveau des peuplements dans leur globalité, ce n'est pas simple : dans un premier temps, on a un effet positif de l'implantation de la crépidule sur les fonds, de par la présence de microhabitats liés aux chaînes de crépidules qui vont constituer soit des supports pour des espèces qui vont venir se fixer sur elles, soit des abris par rapport aux courants. Au niveau des valeurs de densité de crépidules au m², on voit que, dans un premier temps, le nombre total d'espèces de la macro-faune va avoir tendance à augmenter, ainsi que la diversité spécifique, avec l'augmentation de la densité de crépidules ; puis il y a un moment où le système bascule et où l'on a une diminution de cette

diversité spécifique, et, cette fois, l'effet est négatif. Cela va conduire globalement à ce qu'on appelle «un peuplement à crépidules» (là où la crépidule est abondante, on a des espèces associées, un peuplement qui est relativement riche), et aussi, en revanche, à une banalisation des fonds, à une diminution de la biodiversité à l'échelle de la rade de Brest. On a estimé qu'à terme ce sont entre 70 et 80 espèces qui sont menacées de disparition, du fait de cette banalisation des fonds liée à l'envasement.

En ce qui concerne la coquille Saint-Jacques, on a un impact très net sur l'installation et la survie des jeunes individus d'un an en fonction de la densité des crépidules : pour des types sédimentaires sur lesquels la coquille Saint-Jacques a l'habitude d'être recrutée, on s'aperçoit qu'en fonction de l'augmentation de la densité de crépidules, les jeunes coquilles Saint-Jacques ne peuvent plus s'implanter sur les fonds de la rade. Il existe un autre type d'impact, lié à la phorésie des crépidules sur les coquilles Saint-Jacques. On va avoir non seulement l'animal qui colonise les fonds de la rade de la Brest, mais qui va venir se fixer soit sur la valve supérieure, soit également sur la valve inférieure de la coquille. Ces fixations de crépidule vont avoir un impact direct, à la fois sur la hauteur de la coquille, sur le poids de la coquille et sur la teneur en eau du muscle. C'est un impact négatif, c'est-à-dire que les individus crépidulés sont systématiquement, pour un âge donné, plus petits, et présentent un poids inférieur aux individus non crépidulés.

Le dernier rôle joué par l'animal, probablement le plus important, est un rôle de filtre biologique dans le fonctionnement de l'écosystème. Au départ, les observations que nous avions étaient une diminution au cours du temps de l'importance des premières efflorescences de micro-algues dans la colonne d'eau, au printemps. Cette diminution a été mise en relation avec l'augmentation de la biomasse de la quantité de crépidules dans la rade de Brest. On a cherché à mettre en évidence une relation de cause à effet entre les deux, et l'on est arrivé à une hypothèse de fonctionnement de l'écosystème qui est relativement complexe. Ce qu'il faut retenir globalement, c'est que plus la crépidule va s'alimenter au printemps, plus l'abondance de ses proies va être grande en été. Le principe de l'hypothèse de fonctionnement qui est émise sur le fonctionnement de l'écosystème, c'est que lorsque la crépidule s'alimente, elle va piéger, au niveau du sédiment, le squelette de micro-algues bien particulières, des diatomées (micro-algues siliceuses), et ce squelette siliceux va être dégradé par les bactéries au niveau du sédiment. Ensuite, on va avoir du silicium, des silicates, qui vont être relargués dans la colonne d'eau et qui vont permettre à d'autres diatomées, d'autres micro-algues siliceuses, de se développer pendant la période estivale. Les années où la crépidule ne se nourrit pas normalement parce qu'il y a trop de nourriture dans la colonne d'eau, ce piégeage ne peut pas s'effectuer au niveau du sédiment et le squelette des diatomées est évacué en dehors de la rade de Brest par les courants. Ces années sont des années où l'on a

observé des *blooms* toxiques en rade de Brest. On cherche actuellement à savoir s'il y a une relation de cause à effet entre les deux phénomènes. On essaie de le valider par des approches expérimentales, soit dans le milieu naturel, soit en laboratoire par incubation de carotte. En gros, ce qu'on mesure, ce sont des flux de nutriments à l'interface aux sédiments ou à la surface de la carotte, on cherche à mesurer la quantité de silicate qui est relarguée par le sédiment, en fonction de la densité de crépidules présentes sur les fonds. On obtient des bilans saisonniers où l'on montre que les zones crépidulées, quelle que soit la saison, présentent systématiquement des flux de silicates relargués très supérieurs à ceux obtenus pour les zones non crépidulées. Ce sont des expérimentations qui se font dans le bassin Sud de la rade de Brest, le long d'un gradient de densité de crépidules, qui est très limité géographiquement ; on passe, en quelques centaines de mètres, de zéro crépidule au m² à 1 800 à 2 000 individus au m². Non seulement, il y a une différence en termes de relarguage de nutriments liée au gradient de densité, mais elle est proportionnelle : on a une relation linéaire entre le flux de silicates relargués et la biomasse de crépidules, donc un impact direct, quantifiable de l'animal sur ce qui passe en termes de reminéralisation.

Le dernier impact, pour nous, plus récent dans nos approches de la prolifération des organismes carbonatés, est l'impact sur les changements globaux en termes de source de carbone.

Je vais vous donner l'exemple d'une étude que nous avons réalisée en collaboration avec des chercheurs de l'UEJS, à San Francisco, sur la prolifération d'un bivalve, un clam exotique, le *Potamo corbula*. C'est une espèce qui s'est développée très rapidement dans les années quatre-vingt en baie de San Francisco : on est passé de zéro individu au m² au début de 1986 à, un an plus tard, une prolifération atteignant 12 000 individus au m². Comment cela se traduit-il en termes de bilan de carbone ? L'animal, lorsqu'il sécrète sa coquille, lorsqu'il y a un dépôt de carbonate de calcium à la surface de la coquille, lorsqu'il grandit, va également produire dans le même temps du gaz carbonique sous forme gazeuse, émis dans le milieu naturel ; cette production de gaz carbonique liée à la calcification de la coquille est équivalente en gros à 25 g de carbone par m² et par an. Le *Potamo corbula*, et tous les organismes, respirent dans le milieu naturel, et la production de gaz carbonique liée à la respiration est de l'ordre de 38 g de carbone par m² et par an. Cette production totale de CO₂ dans le milieu correspond à la quantité de gaz carbonique produite chaque année par 51 000 véhicules standard américains. En fait, cette prolifération d'espèces à squelette calcaire intervient non seulement dans le fonctionnement des écosystèmes à l'échelle locale, mais sur des changements globaux, tels que la problématique du gaz carbonique à l'échelle mondiale.

Dans la rade de Brest, maintenant, que fait-on ? Est-on capable de trouver une solution de gestion de l'invasion de la crépidule qui réponde aux attentes des

professionnels, des pêcheurs qui souhaitent pouvoir continuer à exploiter la coquille Saint-Jacques, tout en conservant ce rôle de filtre biologique moteur dans le fonctionnement de l'écosystème ? C'est une expérimentation en vraie grandeur qui va être réalisée l'année prochaine : elle consiste, dans un premier temps, à fermer cent hectares à la pêche, dans une zone où l'impact de la crépidule est encore faible et qui est une zone de semis de juvéniles de coquilles Saint-Jacques produits à l'écloserie du Tinduff. Sur cette zone, 3 000 tonnes de crépidules seront draguées par les pêcheurs, et il y aura un suivi scientifique qui consistera à étudier par quoi ces dragages vont se traduire en termes de recolonisation des fonds, non seulement par la crépidule, mais aussi par les autres espèces associées, en termes de remise en suspension du sédiment dans la colonne d'eau, en termes de modification de la nature sédimentaire des fonds, en termes de modification des flux à l'interface aux sédiments... Les crépidules draguées sur cette zone de Roscanvel seront stockées temporairement le long de la digue Sud du port de Brest, avant que le navire de la Secma de Pontrieux ne vienne les récupérer, de manière à ce que les crépidules soient traitées ensuite et transformées en amendement calcaire notamment. Cette opération de nettoyage des fonds s'accompagne d'un semis de juvéniles de coquilles Saint-Jacques, à hauteur de trois millions d'individus de 3 cm, c'est-à-dire environ trois individus au m². Cela coûte relativement cher : 145 000 euro par an pour extraire 3 000 tonnes de crépidules. L'ensemble des opérations de dragage et du repeuplement en coquilles Saint-Jacques associé représente 3,6 millions d'euro pour les cinq années du programme. Cela suppose des montages financiers relativement complexes - des demandes sont en cours au niveau des collectivités territoriales. Cette opération doit démarrer au printemps 2003.

Les introductions d'espèces dans le milieu marin représentent un problème à l'échelle planétaire. Je vous ai parlé de la façade Manche-Atlantique, j'aurais pu vous parler de la baie de San Francisco où il y a deux cents espèces introduites, et, aujourd'hui, une espèce nouvelle toutes les douze semaines, de même que j'aurais pu vous parler de l'Afrique du Sud, de l'Australie. Ce qu'on appelle une pollution biologique, au sens de la Commission océanographique internationale de l'Unesco, ce sont : des effets sur le long terme, contrairement aux pollutions de type accidentel comme les pollutions par les hydrocarbures ; un impact sur la richesse patrimoniale, difficile à estimer dans la mesure où l'on manque très souvent d'états de référence, c'est-à-dire de données sur la composition originelle des peuplements ; des moyens de lutte rudimentaires, voire inexistantes, sans retour en arrière possible - il n'existe pas, dans la littérature, de cas d'espèces introduites qui ont proliféré et qu'on a pu, dans un second temps, éradiquer ; un impact sur les changements globaux, et un coût socio-économique qui peut être considérable. Il existe une commission du Congrès des

Etats-Unis, qui, en 1993, a fait le calcul depuis le début du siècle : des introductions d'espèces, à la fois dans les milieux d'eaux douces et marins, ont coûté au gouvernement américain 97 milliards de dollars dans la période du début du siècle à 1992.

Jim Cloern, biologiste américain représentatif de cette problématique de l'étude de ces invasions biologiques, dit : «Les conséquences écologiques complexes de ces contaminations biologiques ne peuvent être mises en évidence qu'à travers des programmes consistants, pluridisciplinaires, entrepris avant et après les introductions de ces nouvelles espèces.» Le problème, c'est qu'on a très peu d'états de référence avant les proliférations.

Jean-Paul Natali :

Nous passons maintenant la parole à Jean-Yves Le Souef pour d'autres exemples de végétaux invasifs dans des zones plus larges, sur l'Europe et l'Amérique du Nord. Quelles législations pour éviter l'introduction de certains végétaux qui mettent en péril la biodiversité ?

Jean-Yves Le Souef :

Végétaux

Je suis le fondateur et le conservateur du Conservatoire botanique national de Brest, établissement consacré à la conservation et au sauvetage des plantes menacées dans le monde.

J'ai été frappé par l'exposé de Gérard Thouzeau parce que nous avons la même problématique dans le monde terrestre, en ce qui concerne les plantes. On constate des invasions de plantes, par exemple, à Brest, sur le port de commerce, spécialement sur le polder. On voit des herbes des pampas, des *Cortaderia* du Chili, des *Buddleia* d'Asie, des plantes de Nouvelle-Zélande. Le polder est composé principalement de plantes qui viennent des jardins voisins et qui ont trouvé là un terrain neuf ; c'est le côté visible et pas le plus dramatique, mais nous avons des problèmes plus graves, en Bretagne, en Europe ou ailleurs dans le monde.

Les écosystèmes les plus menacés sont les écosystèmes les plus fragiles, ceux des îles océaniques qui avaient des ensembles de plantes et d'animaux peu agressifs. Ils n'avaient pas eu besoin de développer des défenses très importantes. Par exemple, beaucoup de plantes n'ont pas d'épines dans les îles, elles n'ont pas de composés qui leur permettent de repousser les prédateurs ou les herbivores, donc elles sont très vulnérables lors de l'arrivée d'herbivores. C'est dans les îles océaniques qu'on trouve les remplacements d'écosystèmes les plus importants. Pour prendre un exemple extrême, la flore de l'île de Sainte-Hélène est composée actuellement de 55 à 60 espèces de plantes à fleurs et fougères qui sont endémiques, et l'on peut estimer par extrapolation qu'il y avait à peu près une centaine d'espèces. Environ 40 sont éteintes et, au lieu des 100 espèces originelles, on a à peu près 700 à 800 espèces dans l'île.

C'est certes une augmentation du nombre d'espèces, mais c'est une très grande perte pour la biodiversité, puisque les espèces éliminées étaient des espèces qui n'existaient qu'à Sainte-Hélène et qu'on ne retrouvera nulle part ailleurs, qui pouvaient servir à différents usages et, en tout cas, qui servaient à la compréhension des phénomènes d'évolution. Elles ont été remplacées par des plantes banales dont nous avons la réplique un peu partout dans le monde. Ce sont souvent les mêmes espèces qui envahissent d'autres zones. C'est l'équivalent d'un grand musée dont les 3 000-4 000 tableaux auraient été remplacés par 50 000-100 000 gri-bouillis ; il y aurait un plus grand nombre d'objets, mais une grande perte dans la qualité.

Les écosystèmes continentaux sont beaucoup moins menacés. Il ne s'agit pas d'accuser toute implantation d'exotiques : on a dans les jardins entre 10 et 20 000 espèces qui sont principalement exotiques. En France, on considère qu'il y a à peu près 400 espèces exotiques qui fonctionnent toutes seules, se reproduisent toutes seules. Elles ont été examinées lors d'une enquête qui est en cours. Nous en avons les premiers résultats et nous pouvons penser qu'il n'y a pas plus de 40 à 60 espèces de plantes à fleurs qui soient vraiment très ennuyeuses. Ce sont des plantes qui rentrent dans les écosystèmes et qui peuvent les modifier gravement. Là, je ne parle pas, par exemple, du *Buddleia*, plante exotique qu'on voit un peu partout et qui a eu un moment de prolifération après la guerre sur les ruines de Brest et dans des villes en phase de reconstruction, mais qui occupe maintenant une position très marginale. L'herbe des pampas, pendant des décennies (60 à 80 ans), n'a posé aucun problème car l'espèce qui était dans les jardins était un clone stérile, qu'on pouvait multiplier par division de touffe, et cela ne posait aucun problème. En revanche, l'introduction d'un ou plusieurs autres clones lui a donné un dynamisme qui lui a permis de se reproduire par graines ; elle se propage maintenant le long des routes et l'on en voit beaucoup, notamment dans le polder. Néanmoins, ce n'est pas une invasion majeure, et elle n'ira pas plus loin que la façade Atlantique et la région méditerranéenne. De plus, elle occupe des milieux marginaux, secondaires, et ne rentre pas dans les écosystèmes naturels proprement dits.

Mais on a d'autres cas de plantes, en Europe, qui sont extrêmement dangereuses. L'herbe des pampas peut être éliminée - il suffit d'arracher les touffes. Ce n'est pas une plante annuelle qui va se reproduire en quelques mois. En revanche, il existe deux espèces de *Polygonum* qui sont extrêmement difficiles à éliminer. Pour l'instant, nous avons la chance de nous trouver en face de clones stériles, qui ne se répandent pas dans l'écosystème. Si l'on apportait un autre clone qui rende fertile ce clone, qui est déjà légèrement invasif, on se retrouverait alors non pas face à quelques foyers d'invasion, mais face à une invasion généralisée qui rentrerait dans les forêts et autres écosystèmes naturels. C'est un grand danger, et je ne sais pas comment on pourrait faire pour l'éviter. Dans ces cas, nous tirons la

sonnette d'alarme, et il y a une législation à trouver pour ce type de plantes.

Il y a des plantes extrêmement dangereuses pour certains écosystèmes, comme par exemple le mimosa, *Acacia dealbata* de Tasmanie. Ce mimosa provoque des catastrophes dans les Maures et l'Estérel parce qu'il est très proliférant et, lors des saisons sèches, il devient inflammable, ce qui donne des incendies très intenses. En Bretagne, en revanche, il ne pose pas problème. Tout dépend du milieu.

Au niveau de la biodiversité, en Bretagne, les principales invasions se produisent sur les côtes et en milieu aquatique (eau douce). On connaît la *Ludwigia*, qu'on appelle aussi *Jussieuia*, plante américaine en pleine période d'expansion qui envahit les marais, les rivières à cours lent ; on peut la voir dans l'Aber-Ildut, par exemple, depuis Saint-Renan jusqu'au contact avec l'eau saumâtre. Nous avons là un très gros problème, car l'espèce constitue des peuplements monospécifiques qui éliminent les autres plantes et sont impossibles à éradiquer. En Brière, on se trouve devant un problème économique extrêmement important. Actuellement, on opère des dragages afin que les canaux de Brière puissent rester navigables, mais cela coûte très cher car il faut recommencer sans arrêt.

La perte en biodiversité est évidente. La *Ludwigia* est complètement intolérante aux autres plantes et elle forme des peuplements pratiquement mono-spécifiques. On peut l'observer ici, mais également dans le sud des Landes où elle entre en compétition avec une autre espèce introduite, le *Myriophylle* du Brésil et un arbuste d'origine américaine. C'est un paysage complètement artificiel, avec la portion congrue laissée aux plantes et aux animaux indigènes qui ne peuvent pas vivre sur ces espèces introduites, ou vivre d'une manière très marginale.

Ces plantes viennent de climats similaires : Amérique du Nord, Californie, Est des Etats-Unis, Japon, Chili, et n'ont pratiquement pas de prédateurs. C'est pour cette raison qu'elles ne connaissent aucune limite d'implantation et de développement. Mais on a exactement la même chose en Amérique du Nord où une plante comme la *Lythrum salicaria*, la salicaire, qui, ici, est une plante habituelle des cours d'eau qui occupe sa place et a ses propres prédateurs, pose là-bas un problème majeur avec un remplacement énorme de flore spontanée et des extinctions de plantes indigènes. On observe le même phénomène aux îles Juan Fernandez où plusieurs dizaines d'espèces sont menacées, dont environ quinze sont éteintes. Même chose à Tahiti en ce qui concerne un *Miconia*, arbuste introduit qui a envahi toutes les pentes raides de la zone moyenne humide et qui pose également des problèmes en Nouvelle-Calédonie, en Australie... Nos plantes viennent de milieux tempérés. Les invasives de Tahiti viennent de milieux tropicaux similaires.

Il y aurait deux solutions. D'abord, à titre préventif, le législateur devrait interdire l'introduction de plantes qui sont réputées dangereuses, puisque nous les connaissons. Par exemple, on connaît des invasions au Chili de

plantes nord-américaines. Si des plantes sont invasives à l'île de Chiloé et dans la région de Valdivia, par exemple, régions similaires à celle de la Bretagne, elles sont potentiellement invasives ici. Ensuite, il y a l'éradication qui pose de très gros problèmes. Une des solutions serait d'introduire un parasite très spécifique qui soit en mesure de reconstituer un micro-écosystème. Par exemple, l'ajonc d'Europe : pourquoi n'est-il pas gênant ici, alors qu'il est très gênant à Sainte-Hélène, en Nouvelle-Zélande, à Madère, aux Canaries, etc. ? C'est parce qu'ici, il est limité par ses parasites et prédateurs. D'une manière générale, le danger vient de la perte de biodiversité et de l'extinction définitive d'espèces endémiques. Le scientifique le déplore pour des raisons évidentes, mais le simple voyageur peut déplorer, par exemple, en arrivant à Santiago du Chili, de se retrouver dans un milieu qui ressemble beaucoup à ce qu'il peut trouver à Madrid ou à Toulon. C'est également une perte culturelle et un nivellement par le bas.

Jean-Paul Natali :

Nous allons retrouver d'autres exemples, en particulier dans le milieu tropical au niveau de la faune aquatique. L'impact économique dû aux espèces invasives devient problématique.

Bernard Stequert :

Animaux aquatiques

L'IRD (anciennement ORSTOM) est un organisme de recherche. Nous avons un champ d'action vaste, c'est-à-dire toute la zone inter-tropicale mondiale. Notre activité scientifique touche toutes les disciplines. Nous avons une double tutelle, du ministère de la Recherche et du ministère de la Coopération, et nous agissons sur demande, en particulier des pays en voie de développement qui souhaitent notre présence. Je vais vous présenter quelques exemples en milieu tropical chaud et humide.

L'exemple du lac Victoria (Afrique centrale) est celui d'une introduction volontaire. Dans les années cinquante, le lac Victoria était exploité par une population de pêcheurs ; on s'est aperçu qu'il y avait diminution de la pêche, et des gens bien pensants ont introduit la perche du Nil, poisson qui peut atteindre 200 kg à l'âge adulte. Cette espèce a effectivement augmenté immédiatement les rendements, d'autant que la croissance était très rapide. Des populations qui ne pêchaient plus sont revenues au bord du lac et ont exploité cette perche. Mais la perche, pour grandir, a mangé tout ce qu'il y avait autour, d'où une disparition d'environ deux cents espèces. De plus, pour pouvoir conserver et faire circuler ce poisson, les techniques de conservation en Afrique étant différentes de celles de la France (il n'y a pas de congélateur), il fallait sécher les poissons. Comme ils étaient énormes, leur chair grasse séchait mal, si bien qu'on a coupé des arbres pour pouvoir les faire sécher. Il y a eu déforestation autour du

lac, pluie, ruissellement, sédiments qui tombent dans le lac. Non seulement des espèces de poisson avaient disparu, mais quantité d'espèces benthiques ont également disparu. Et l'on continue à exploiter de la perche du Nil !

L'exemple de la crevette au sud du Sénégal, entre la Casamance et la Guinée-Bissau, est également celui d'une introduction volontaire. Il existe une zone où l'on n'exploite que la crevette. Les chalutiers travaillaient dans cette zone où il y avait un poisson qui avait très peu d'intérêt, le baliste. Quand on traîne le chalut pour la pêche de la crevette, on ramène des quantités d'espèces, appelées espèces accessoires, qui sont généralement des petits poissons. Une fois les chaluts remontés sur le pont, la crevette est triée ; restent les petits poissons et le baliste, et le poisson mort est rejeté à la mer. Seul le baliste est vivant grâce à une espèce de mucus qui se fixe au niveau de ses branchies et qui conserve l'oxygène, lui permettant, lorsqu'il est rejeté à la mer trois quarts d'heure après, de repartir. Donc tous les compétiteurs avaient disparu, sauf ce baliste. Sa spécificité est de pondre et de faire des nids au fond de l'eau, donc il lui faut de la place, si bien qu'il a repoussé tout, et les stocks de crevettes ont diminué.

L'exemple de la rascasse, en Caroline du Sud est celui d'une prolifération accidentelle. L'an dernier, aux Etats-Unis, en Caroline du Sud, quelques exemplaires de rascasse (poisson volant) ont été signalés sur les côtes. On ignore d'où ils viennent. On pense qu'à la suite du cyclone Andrew (1990), qui a ravagé quelques aquariums dans le sud de la Floride, il y aurait eu fuite de ces rascasses, qu'on retrouve maintenant jusqu'en Caroline du Nord. On ne sait pas ce que cela va donner.

Autre exemple de prolifération accidentelle en milieu marin : il existait en Polynésie une industrie qui marchait très bien et faisait vivre beaucoup de monde, celle de l'huître perlière. Récemment, on a introduit des nacres pour essayer de varier les espèces. En même temps, on a introduit une petite anémone, pratiquement invisible, qui a trouvé un milieu favorable et prolifère ; elle se fixe sur la nacre, déforme la coquille, bloque la croissance. Dans certains atolls, la perliculture est en train de disparaître.

Encore un exemple de prolifération accidentelle, celui d'une plante originaire de Chine et du Japon, la *Pueraria montana*, plante parfaitement contrôlée, qui a une très belle fleur. En Chine, on en extrait un produit qui, mis en gélule, lutte contre l'alcoolisme. Or cette plante est arrivée par hasard dans le sud/sud-est des Etats-Unis, c'est-à-dire en zone chaude et humide, et s'est mise à proliférer. Elle envahit tout, a des racines de 2 m et une croissance de 300 m par an. Cette liane s'installe dans les forêts et les englobe, détruisant tout jusqu'à en interdire l'accès ; et, stupeur, elle a perdu ses vertus pharmaceutiques et n'est par conséquent plus exploitable, et ne sert à l'alimentation d'aucun bétail. Actuellement, il y a deux à trois millions d'hectares perdus, et les Américains estiment les

pertes à 500 millions de dollars par an, en moyens de lutte et en perte de productivité.

Un autre exemple, en Nouvelle-Calédonie, est celui d'une fourmi, appelée la fourmi électrique, qui a été introduite accidentellement avec du matériel et qui s'est mise à proliférer. Elle devait être facile à éliminer ; habituellement, les fourmis sont en colonie et les colonies, entre elles, sont en compétition et extermination. Dans le cas présent, elles se sont développées de telle sorte qu'on a l'impression que c'est une seule colonie, et il n'y a donc plus de rivalité entre les différents nids de fourmis. Elle s'est développée sur les caféiers, dans les prairies, où elle attaque le bétail (lui provoquant un problème oculaire), qu'il faut évacuer. Cette petite fourmi a développé des associations avec d'autres insectes au niveau des caféiers. Par exemple, elle protège la cochenille, parce qu'elle fournit le miellat et la nourrit. Nous avons essayé les insecticides : les ouvrières sont tuées, mais, les reines et le reste de la colonie n'étant pas accessibles, elles disparaissent, et réapparaissent presque immédiatement (prolifération rapide).

La teigne du Guatemala, qui affecte la pomme de terre, est un autre exemple de prolifération accidentelle. Ce sont des larves qui attaquent la pomme de terre, parvenant, en quatre semaines, à faire disparaître un stock. Cela a commencé au Guatemala puis s'est répandu. Compte tenu des crises économiques, le prix de la pomme de terre a chuté, d'où l'abandon des cultures sur place, ce qui fait que la population de vers a augmenté. On n'arrive pas à les combattre. L'autre problème est qu'ils ont expédié la semence un peu partout, et l'on commence à retrouver cette espèce aux Canaries. Il faut être vigilant. Nos collègues dans les pays d'Amérique du Sud et d'Amérique centrale essaient de suivre et de contrôler cette espèce, de manière à la stopper.

Encore un autre exemple de prolifération accidentelle, celui, cette fois, d'un petit serpent. Ce serpent, installé en Australie, Philippines, Salomon, a été accidentellement transporté à Guam par avion dans les années cinquante. Là, ils ont été dispersés et ont réussi à proliférer, de telle sorte que cela a abouti à une invasion complète, qui a fait disparaître toutes les populations d'oiseaux de Guam. Ils ont même réussi à mettre en panne, dans la centrale électrique, tout le système électrique de Guam. Là encore, ils n'arrivent pas à lutter parce qu'il n'y a pas de prédateur. Le problème est que ces serpents continuent, soit par cargo, soit par avion, à être disséminés dans les autres îles du Pacifique, et on en a signalé récemment en Espagne.

Je peux également vous citer les cas de mammifères, tels le lapin qui, en Australie, a tout mangé et, malgré cet exemple, on a continué à les introduire aux Kerguelen. De même des mangoustes d'Inde, introduites à l'île Maurice afin de décimer les rats, qui ont exterminé tout ce qui existait et dont n'arrive maintenant plus à se débarrasser.

Table ronde 5

«Vingt mille vies sous les mers», valorisation et usage du vivant en milieu marin, application à la région Bretagne

De nouvelles ressources vivantes au bénéfice de l'homme

Peut-on tout valoriser et à quel prix ?

Evaluation et responsabilité

Président : Jacques Berthelot, président de la commission Recherche, Conseil régional de Bretagne

Intervenants : Christine Bodeau, président-directeur général des laboratoires Science et Mer
 Bernard Kloareg, directeur de recherche au CNRS, UMR 1931 CNRS-Laboratoires Goëmar, Roscoff
 Gérald Hussenot, secrétaire général du Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins (CRPMEM) de Bretagne

Yves Le Gal, directeur adjoint de la station de biologie marine du Muséum national d'histoire naturelle et du Collège de France, Concarneau

Jacques Berthelot :

L'objet de cette table ronde est la valorisation du vivant en milieu marin, sous certains aspects : l'évaluation et la responsabilité scientifique. En fait, il est vrai qu'en tant que conseiller régional, donc en tant qu' élu, j'ai une conception de la recherche qui est un peu particulière ou paradoxale : d'un côté, la politique de recherche fait partie de la politique de développement économique, donc, bien entendu, si nous soutenons des équipes de recherche, si nous finançons des équipements, c'est aussi que nous en attendons des retombées économiques, régionales ou locales ; mais d'un autre côté, on ne peut pas et l'on ne saurait se satisfaire d'une recherche locale ou régionale à une époque où celle-ci devient européenne - on le voit bien au travers du 6^e PCRD qui s'annonce -, et surtout mondiale. Nous visons donc à la fois l'excellence au plan de la recherche, c'est-à-dire le niveau européen et mondial, et, simultanément, des retombées si possible locales et régionales, et il est extrêmement difficile de concilier les deux. Nous considérons que nous sommes au cœur de notre rôle d'aménageur du territoire et de développement économique de notre région en ayant une activité forte et importante dans le domaine de la recherche, de l'innovation et du transfert technologique.

Christine Bodeau :

La transformation des algues marines

J'ai une formation de chercheur et j'ai eu la chance de partir au Québec, il y a vingt-cinq ans, pour travailler sur un aspect fondamental des algues, notamment des

extraits actuellement très valorisés dans l'industrie pour leurs propriétés épaississantes et gélifiantes, les carraghénanes. J'ai créé mon entreprise, Science et Mer, il y a seize ans. J'ai maintenant la satisfaction, à partir de notre recherche, de notre effort de développement et de création de nouveaux produits, de pouvoir engendrer du chiffre d'affaires et de faire en sorte que l'entreprise se porte correctement.

Si Science et Mer existe, c'est parce qu'il y a dans cette région une tradition de récolte des algues et de valorisation des produits de la mer qui date de Louis XIV. En effet, à cette époque, nos grands champs de laminaires étaient déjà exploités, les algues séchées sur la dune et brûlées pour en faire des pains de soude qui ont servi à la fabrication du verre des palais de Louis XIV.

Au début du XX^e siècle, ces pains de soude ont été utilisés, après dissolution et distillation, pour l'extraction de l'iode. Ce marché de l'iode a disparu aujourd'hui pour des raisons économiques (sources d'iode dans le monde moins chères).

Puis, on a envisagé des applications vers l'agriculture : on a réalisé que là où les algues séchaient sur la dune, l'herbe était verte et les champignons poussaient. Dans les années quarante, on a vu apparaître la valorisation d'autres molécules extraites d'algues qui sont des produits épaississants et gélifiants : les carraghénanes (épaississants) extraits d'algues rouges, et les alginates (gélifiants) extraits d'algues brunes. Ces produits sont valorisés et consommés chaque jour, puisque ce sont maintenant des multinationales qui se chargent de leur extraction. En parallèle à cette tradition de récolte d'algues tout à fait locale, qui vise bien sûr l'extraction des

carraghénanes et des alginates, il y a d'autres traditions qui existent depuis longtemps comme l'amendement calcaire (extraction de *Lithothamnium calcareum*), et des petites entreprises sont apparues, comme Science et Mer, qui valorisent les algues dans le domaine de la cosmétique et de la thalassothérapie. Il y a également plusieurs petites entreprises qui se sont créées dans le domaine de l'algue alimentaire, grande tradition en Asie, qui a un peu de mal à percer ici.

Il faut ensuite approfondir les espèces qui sont plus favorisées que les autres et entrer dans le débat lié aux problèmes d'exploitation d'une ressource, sans bien sûr perturber l'écosystème.

Jacques Berthelot :

Bernard Kloareg a aussi consacré une bonne partie de sa vie aux algues. Il nous intéresse particulièrement parce que c'est un chercheur, et qu'il a créé une unité mixte de recherche CNRS entre un laboratoire et une PME - je crois que c'est la seule en France, et cela s'est fait en Bretagne.

Bernard Kloareg :

Algues et ressources, précaution et exploitation

Mon équipe du CNRS à Roscoff est associée avec une entreprise, les laboratoires Goëmar, basée à Saint-Malo. Le but de ce laboratoire mixte est de développer des produits de substitution aux pesticides, fondés sur la stimulation des défenses naturelles chez les plantes. Nous venons d'avoir une homologation pour une molécule extraite des algues brunes, et cela commence à faire un peu de bruit (cf. *Le Monde* du 22/11/02) dans la mesure où il est clair que nous sommes en train d'ouvrir une voie de protection phytosanitaire qui, pour l'instant, a été très peu explorée.

Par ailleurs, mon équipe, et tous les collègues de la Station biologique à Roscoff, se sont unis à nos collègues de l'UBO et d'IFREMER pour essayer d'aller un peu plus loin dans l'exploitation des ressources marines, et nous sommes en train d'essayer de mettre en place un réseau d'excellence autour de la génomique marine. L'enjeu est réellement d'inscrire le nom de la Bretagne, tout du moins le nom du Finistère, sur la carte de l'Europe en termes de recherche scientifique.

Enfin, le dernier point qu'on pourrait éventuellement évoquer concerne les ressources marines, précieuses, qu'il faut préserver. Dans le domaine des algues, jusqu'à présent, on a toujours considéré que tout irait bien tout seul (puisque c'était des végétaux photosynthétiques), et qu'il n'y aurait jamais de problème, à la différence des ressources d'un niveau trophique plus élevé. Mais on s'aperçoit aujourd'hui que les choses ne sont pas aussi simples et qu'il faut également apprendre à gérer cette ressource, d'autant qu'à moyen terme la pression sur cette ressource sera plus importante. Il faut donc que nous, les scientifiques, apprenions, au même titre que les différents res-

ponsables comme les chefs d'entreprise, les instances de régulation tel le Comité des pêches, à travailler ensemble pour inscrire cette ressource dans la durée - ce qu'on appelle le développement durable.

Jacques Berthelot :

M. Le Gal, pouvez-vous nous dresser un panorama du type de valorisation qu'on peut trouver à partir des produits de la mer, de la ressource vivante ?

Yves Le Gal :

Valorisation de certaines ressources biologiques

Je m'occupe depuis quelques années de la Station biologie marine du Muséum national d'histoire naturelle et du Collège de France, à Concarneau. Cette station marine a été fondée en 1859. Ce fut le premier établissement scientifique créé dans le Finistère, et le but de son fondateur, Victor Costes, était d'y faire de l'aquaculture. En fait, il y a eu peu de succès pratiques, même s'il y a eu des succès techniques. Par exemple, grâce aux travaux réalisés dans ce laboratoire, il y a près de cent cinquante ans, les huîtres ne sont plus aujourd'hui draguées mais cultivées. La sole (poisson plat) a été élevée à Concarneau vers 1880, réussite technique, mais dépourvue de suite pratique. On s'est aperçu qu'avant d'essayer d'élever, de construire, de produire, il fallait savoir de quoi on parlait, donc faire de la recherche fondamentale. Beaucoup de choses restaient à découvrir sur les organismes marins. Ce laboratoire est devenu ainsi un laboratoire de physiologie et de biochimie, et a été pendant longtemps la seule station de biologie marine à développer la biochimie des organismes marins.

La première vocation de ce type de laboratoire est la recherche fondamentale, ce qui n'exclut pas qu'on s'intéresse à l'utilité de cette recherche. La recherche fondamentale est utile pour un avenir plus ou moins lointain. C'est pourquoi il nous est demandé d'avoir aussi une utilité plus directe, plus locale et à court terme. Pour simplifier, une partie des recherches réalisées à la station de biologie marine de Concarneau portent sur la valorisation du «cinquième quartier» poissons. La Bretagne est un pays de production de porc, pour lequel, on le sait, tout est bon. La question est de savoir si l'on peut raisonner de la même façon pour les poissons. On pêche en France environ 700 000 tonnes de poisson par an, dont on ne mange que la moitié. Que peut-on faire des 50 % restants d'une manière moderne ? On sait faire des farines de poisson pour nourrir les porcs, des aliments pour les chiens, les chats et... les bébés. On savait également faire, à Douarnenez, en l'an 50 av. J.-C., du garum, sauce de poisson, des hydrolysats. Ce domaine a beaucoup évolué et la recherche porte aujourd'hui sur de nouvelles valorisations des sous-produits de la pêche au moyen d'hydrolysats respectant les fonctions biologiques des molécules ou en engendrant de nouvelles (applications nutraceuti-

ques) par la recherche d'enzymes capables d'être utilisées en agroalimentaire, en tannerie, etc. C'est ce qu'on appelle une utilisation de la biomasse, c'est-à-dire des tonnages de poissons capturés. Comme il y a une biomasse d'algues, il y a une biomasse de poissons, crustacés, etc. Il existe aussi une ligne de recherche concernant l'utilisation des ressources marines où l'on considère non plus les biomasses mais la biodiversité. On s'intéresse moins aux tonnages qu'on peut capturer, exploiter ou cultiver, qu'aux spécificités de certains organismes marins qui, par exemple, produisent une molécule particulière pouvant être ensuite développée industriellement. Actuellement, dans ce domaine précis, notre travail est tourné vers la recherche de substances à activité *antifouling*, puisque les peintures toxiques, actuellement en usage, vont être bientôt totalement interdites. Au niveau mondial, il y a des recherches pour trouver des substances qui soient «gentilles» pour l'environnement et qui aient également des capacités anti-salissures pour les coques de bateau. Tout cela se fait dans un domaine souvent européen.

Notre démarche est de partir de la recherche fondamentale pour essayer d'en développer des applications pratiques car il faut toujours garder à l'esprit ce que disait Pasteur : «La recherche appliquée n'existe pas, il n'y a que des applications de la recherche.» En effet, toute velléité d'aller au plus vite et d'essayer d'appliquer très rapidement des choses qu'on ne connaît pas bien est souvent vouée à l'échec. Il existe toujours une phase indispensable, qui semble trop coûteuse pour les payeurs mais qui est absolument obligatoire, celle de la recherche fondamentale, sans laquelle, en effet, il n'y a pas d'application possible. Cette démarche est un peu oubliée. Autrefois, on parlait de recherche et développement, puis on a dit «recherche-développement» et aujourd'hui, on dit «RD». C'est une erreur.

Gérald Hussenot :

Les océans, responsabilité sociale et économique

Le rôle du Comité régional des pêches, créé par la loi de 1991 et le décret de 1992, est non pas de «préserver» la ressource, mais de tenter de participer à sa gestion équilibrée, et également de mettre en œuvre les mesures d'ordre et de précaution qui permettent d'harmoniser les intérêts des différents professionnels, essentiellement dans la bande côtière (bande des 12 milles) mais également au-delà quand il y a possibilité de le faire. L'objet du débat d'aujourd'hui est la valorisation et l'usage du vivant, et nous, nous sommes en bout de chaîne, car nous sommes les «producteurs», ceux qui puisent dans la ressource. Cependant, on constate qu'il y a, petit à petit, une prise en compte des problèmes environnementaux et des problèmes de ressource par la profession elle-même, qui, progressivement, accepte de «s'autolimiter», ce qui n'était pas évident car la logique

d'une entreprise de pêche n'est pas une logique de scientifique mais une logique de production, soumise à des obligations de résultats. Il apparaît, d'une façon globale, une volonté certaine de participer à cette gestion équilibrée des ressources. Enfin, ces ressources deviennent globalement de plus en plus rares, constat que reprend à son compte la Commission de Bruxelles, ce qui, d'ailleurs, ne nous empêche pas d'apporter un éclairage un peu différent sur les préconisations de Bruxelles en ce qui concerne la future politique commune des pêches. Il est vrai que le concept de gestion durable des ressources devant des biens rares, et donc qu'il faut valoriser au mieux, est soutenu par de plus en plus de professionnels, et c'est pourquoi la collaboration entre pêcheurs et scientifiques est si importante. Le rôle des permanents du Comité régional est de faire passer ce message : il y a une valorisation à faire des produits en face d'une demande forte, mais les produits deviendront de plus en plus rares. Comment faire ? Toute la question est là.

Jacques Berthelot :

Nous commençons à cerner notre sujet qui est un problème d'éthique sur la liaison entre l'exploitation, la ressource, la meilleure façon d'exploiter. Peut-être, afin de conclure ces exposés, pourrait-on demander à Joël Quérellou de nous parler de ce qui l'a toujours passionné, c'est-à-dire de la vie qui se trouve dans les grands fonds et, peut-être aussi, d'apporter son point de vue sur les aspects européens, et en particulier sur la réglementation européenne.

Joël Quérellou :

Les nouvelles formes de vie découvertes

J'aborderai pour commencer ce que vient d'évoquer M. Hussenot, à savoir l'articulation entre la recherche et la gestion des ressources au mieux des intérêts des usagers. Quand on parle des usagers, la plupart du temps, ce sont les communautés de marins pêcheurs qui sont les premières visées, parce que leur avenir économique immédiat en dépend ; mais, au fur et à mesure que les préoccupations environnementales se renforcent, de plus en plus d'autres usagers apparaissent dans ce domaine et, en particulier, un certain nombre de groupes de pression, au rang desquels les écologistes, qu'on rencontre surtout au niveau européen et au niveau international dès lors qu'il est question d'exploitation des ressources halieutiques.

Dans la chaîne permettant d'évaluer les ressources halieutiques, les attributions des uns et des autres sont relativement claires, même si le dispositif est compliqué. En Bretagne, ce sont, dans la plupart des cas, des équipes d'IFREMER qui sont chargées d'effectuer une évaluation des ressources halieutiques, que ce soit celle des algues ou celle de tel ou tel stock de crustacés ou de poissons, et de fournir, avec les qualités et les limites des outils dont ils disposent à un moment donné, la meilleure estimation pos-

sible. Pour faire une comparaison souvent utilisée, c'est la valeur que fournit le thermomètre le plus précis à un moment donné. Ces estimations sont fournies aux autorités, à la fois régionales, nationales et européennes, pour établir un diagnostic sur l'état des ressources, et font ensuite l'objet de décisions qui redescendent ensuite, après l'étape bruxelloise, pour application soit au niveau national, soit au niveau régional. Ce sont évidemment les autorisations de capture (TACs et quotas) que, bien souvent, les usagers (pêcheurs) ne peuvent pas assumer pour des raisons économiques, en dépit des décisions qui sont affichées au niveau bruxellois. Entre l'estimation des stocks et ce qui peut être réellement pêché, on peut débattre de «l'erreur stock». Mais, en aucun cas, l'IFREMER et ses équipes ne sont les décideurs de la politique de la pêche qui doit être mise en œuvre. Il y a là un point, assez souvent critique, qui est celui du partage des responsabilités.

Concernant les ressources issues des grands fonds marins, la préoccupation qui est la nôtre, à l'IFREMER, a été d'explorer et d'exploiter la diversité microbienne récupérée à la suite des campagnes océanographiques sur les sources hydrothermales des dorsales médio-océaniques. A partir de ces environnements, nous avons constitué une collection de microorganismes. Pour des ressources qui exigent des campagnes océanographiques coûteuses (200 000-300 000 F par jour), est-il suffisant de conserver les échantillons ainsi que les microorganismes isolés dans

des congélateurs et d'en faire des publications ? Est-il possible d'aller plus loin, comment et avec quels partenaires industriels, pour quel type de cible ? Les principales activités de valorisation ont porté sur la recherche d'enzymes, en particulier d'enzymes thermostables, avec des partenaires industriels. On arrive aujourd'hui, pour certains produits, au stade du développement et de la mise sur le marché. Cette collection a également été le support d'une recherche dans d'autres laboratoires, en particulier sur les exopolysaccharides, ayant des propriétés susceptibles d'intéresser les secteurs de la cosmétique, de l'agroalimentaire et de la santé. Signalons qu'il existe un domaine qui est en friche, celui du criblage des propriétés de ces collections pour des aspects directement liés à la santé : activités antitumorales, antibactériennes, antivirales.

Citons enfin un dernier problème qui pourrait faire l'objet d'une discussion : à qui appartiennent ces ressources ? Est-ce aux pays les plus riches, à ceux qui sont capables d'aller les chercher, ou au patrimoine mondial, et, dans ce cas, devraient-elles être mieux partagées ? Actuellement, il y a une tendance, avec le dossier de l'extension des droits de ZEE aux 350 milles, à rechercher une protection des ressources qui, aujourd'hui, sont dites libres et internationales. La question de la propriété et du patrimoine que représente cet ensemble de ressources à fort potentiel biotechnologique pour les différents pays est donc posée.

Table ronde 6

Respect des traités : comment réagir face au biopiratage ?

Quels sont les outils réglementaires ou les précautions à prendre (Natura 2000, convention de Bern, convention de Washington, conventions de Rio et de Johannesburg) pour éviter l'érosion de la biodiversité ?

Quelle éthique pour les découvertes ?

Comment concilier économie, politique et éthique

Modérateur : **Jean-Louis Le Corvoisier,**

Intervenants : **Eric Gall,** chargé de campagne Biotechnologies à Greenpeace France

Guy Le Fur, représentant de la Confédération paysanne au Conseil économique et social

Emmanuel Morucci, directeur d'étude, chargé de cours à l'université de Bretagne occidentale

Jean-Louis Le Corvoisier :

Pour commencer, je vais vous citer la devise de l'Exposition universelle de Chicago de 1993 : «La science découvre, l'industrie applique, l'homme suit». Nous allons voir aujourd'hui si l'homme est toujours condamné à suivre. Nous allons voir comment réagissent les politiques et les autres, les scientifiques, devant le biopiratage. Pour l'industriel, le biopiratage consiste à piller les ressources biologiques d'un pays (végétaux, animaux, gènes humains...), puis il dépose son brevet et devient, du coup, le seul à fabriquer, à exploiter cette ressource sans contrepartie pour le pays d'origine. Cela permet de verrouiller un marché, c'est ce que nous verrons tout à l'heure, avec des produits naturels qu'on transforme comme on veut dans l'agroalimentaire mais aussi dans la santé (médicaments, greffes d'organe...).

Emmanuel Morucci :**Valeurs européennes, valeurs scientifiques, un chemin éthique**

Les entretiens scientifiques de Brest posent la question des découvertes de nouvelles formes de vie, et imposent la nécessaire réflexion éthique : «Peut-on exploiter toutes les découvertes et comment ?» Il va sans dire que leur exploitation éventuelle soulève des questions juridiques et morales. C'est donc bien le rapport entre science et éthique qui reste fondamental. L'homme peut-il tout faire au nom de la science ? Son génie inventif est-il devenu aujourd'hui plus motivé par le rapport économique, par la puissance politique et financière de quelques oligopoles que par la recherche du bien commun ? L'éthi-

que, comme le dit Nietzsche, c'est «agir pour faire en sorte que tout ce qui est bien devienne bien commun, et que tout soit libre pour ceux qui sont libres.» Ce que je peux traduire par : les découvertes scientifiques, essence même du progrès, sont-elles partagées par tous sur la planète ou profitent-elles seulement aux populations des pays dominants ?

Voici des questions importantes auxquelles les Etats ou groupes d'Etats doivent apporter réponse. La politique a pour fonction de favoriser un débat serein autour du «vivre ensemble», englobant non seulement la cité, la région, la nation, mais aussi l'Europe, qu'il nous faut continuer à construire, et les pays les plus pauvres, qui ont besoin de notre solidarité. Quelles garanties le politique offre-t-il aux populations de la planète ? Autour de la notion d'éthique, les questions s'accumulent : quelle est la place véritable de l'Homme dans ce jeu de la découverte qui va plus vite que le droit ? La question du sens est ici essentielle.

Une des garanties possibles, à la fois pour l'homme et pour le politique, est la loi fondamentale, c'est-à-dire la constitution, le traité, l'accord international, la convention, la directive, la loi. Mais face à la compétition, face aux intérêts en jeu, ces textes, originellement contraignants, font-ils l'unanimité ? Sont-ils respectés et finalement tout simplement appliqués ? Par exemple, la directive européenne 98.44, dont mes collègues parleront tout à l'heure à cette tribune, en abordant la question des brevets, pose question.

Le thème de notre table ronde amène le sujet : comment les politiques et les scientifiques réagissent-ils devant le prélèvement en exclusivité d'une ressource biologique sans se soucier des conséquences écologiques et

humaines qu'est le biopiratage ? Autrement dit, comment concilier économie, politique et éthique ?

La question de l'éthique, me semble-t-il, prend une importance toute particulière au moment où l'Europe tente de se doter d'un nouveau texte fondateur, une constitution pour ses citoyens.

L'Europe, que les fondateurs ont voulu comme un espace de paix et de prospérité pour ceux qui y vivent, repose sur les valeurs qui proviennent de notre passé le plus lointain. Celles-ci se nomment : démocratie, justice, citoyenneté, solidarité et, surtout, liberté. L'Europe repose également, comme le précise la charte des droits sociaux fondamentaux, sur l'héritage d'un patrimoine religieux et spirituel commun, succession de constructions humaines qui marquent l'évolution de nos sociétés occidentales.

Vue sous ces perspectives, la science éthique, partie de la philosophie qui étudie la morale et ses fondements, la façon de se diriger, de se comporter, est une résultante de cette habile combinaison entre croyances et savoirs. La construction européenne est, elle-même, un défi éthique. Elle pose la question : «Comment voulons-nous vivre ensemble dans cet espace qu'est l'Europe ?». C'est une question originale, bien trop souvent absente des débats traditionnels sur l'Europe. C'est pourtant la question essentielle. Ici, parler de défi éthique exprime aussi clairement que possible le fait que les institutions économiques et sociales ne peuvent être le seul horizon de l'union.

L'Europe n'est donc souvent évoquée que sous son aspect économique ou réglementaire, dont les valeurs sont plutôt celles de l'argent ou du profit, de la compétition, de la libre concurrence, et où la notion de service public est remise en cause. Même l'introduction d'une monnaie unique, geste symbolique fort, n'est justifiée que par des raisons de compétitivité dans une vision de globalisation économique. Mais elle ne l'est pas ou peu dans le cadre de l'émergence d'un modèle social européen, d'une citoyenneté européenne, c'est-à-dire comme symbole d'appartenance à une entité territoriale nouvelle.

La façon dont l'Europe est aujourd'hui gouvernée relève donc d'une éthique de gouvernement qui devrait prendre en compte, dans l'élaboration des propositions et des décisions, les éléments de ce travail de réflexion sur le partage de ce qui est bon, moins bon ou mauvais pour le citoyen, c'est-à-dire l'homme.

La science, de son côté, est un acteur fondamental et essentiel de l'évolution de la société. Si son rôle principal est d'expliquer comment les choses fonctionnent, le scientifique est, aujourd'hui, de plus en plus confronté à l'obligation de résultat. Sciences et scientifiques sont constamment sollicités, souvent avec des moyens en temps, financiers et humains, réduits, pour apporter aux secteurs économique et industriel des solutions permettant essentiellement une progression des profits.

Pour s'en convaincre - prise de conscience ou réaction face à la demande sociale -, l'Union européenne a récem-

ment éprouvé le besoin de lancer un programme d'études sur les relations entre éthique et sciences.

Le groupe d'étude et de recherche finistérien Aber Europe, présidé par M^{me} Colette Rivoal, et dont je suis, tout comme mon collègue sociologue et ami André Rousseau, le vice-président, est une association qui évolue dans le cadre de la Maison de l'Europe de Brest. Aber Europe a pour objet de faciliter l'expression dans l'espace public européen des «communautés de conviction» (religions, courants philosophiques et humanistes), sur tout ce qui concerne la citoyenneté au sens large et les questions éthiques en particulier. Il a organisé en décembre 2001 un colloque intitulé «Le sens de la construction européenne, un défi éthique». Il a aussi pour ambition de constituer progressivement un «observatoire» fonctionnant en réseau international, dont l'objet serait de suivre et d'analyser la façon dont les communautés de conviction s'expriment sur les questions du «vivre ensemble en Europe», de faciliter et enrichir ainsi le débat public, mais surtout d'aider les responsables européens à comprendre et à prendre en compte ces dimensions de la citoyenneté.

Dans cet esprit, Aber Europe vient de proposer à la Commission de Bruxelles un projet de recherche intitulé : «Les Communautés de conviction et la science en Europe : sujets limites». En parlant de «sujets limites», nous voulons indiquer que les développements scientifiques soulèvent de plus en plus de questions qui, sous leur forme la plus simple, s'expriment ainsi : si nous pouvons faire ce dont les sciences nous rendent capables, est-il raisonnable de le faire ?

Les exemples foisonnent qui illustrent ces questions-limites. Ce phénomène présente une double face. D'abord, ces questions prennent souvent la forme de tensions sociales (alimentation, santé, responsabilité des médecins, énergie nucléaire, manipulations génétiques, clonage, environnement...). Elles donnent lieu aussi à des débats entre savants, politiques et communautés de conviction, dont les interventions peuvent apparaître soit comme des crispations traditionalistes, soit comme des entorses au principe de laïcité. Certes, des procédures se sont fréquemment mises en place pour organiser ce débat, mais fonctionnent-elles de façon totalement satisfaisante ?

Ensuite, de leur côté, les chercheurs eux-mêmes ne travaillent pas dans la «science pure». S'ils sont soumis aux logiques autonomes de la démarche et du débat scientifiques, ils travaillent aussi sous la pression d'impératifs financiers, du souci de valorisation industrielle de leurs travaux. Mais comme citoyens ou personnes privées, ils s'interrogent en outre sur leur place dans la société et le sens de leur activité. Comment se posent-ils ces problèmes ? Est-il certain qu'ils se retrouvent dans les interrogations que leur adressent les «mouvements sociaux» et les communautés de conviction ?

La démarche proposée est la suivante : une première étape consiste à relever, par des entretiens, les éléments clarifiants : quelles sont les questions à propos desquelles des communautés de conviction ou des groupes d'opi-

nion pensent qu'il existe des «limites à ne pas franchir» et comment le justifient-ils ? Comment expriment-ils ces points de vue ou sous quelle forme ? L'espace national leur semble-t-il toujours pertinent ou suffisant pour engager ce débat et ont-ils le sentiment que les formes de la vie démocratique, notamment européenne, leur donnent les moyens de se faire entendre et comprendre ?

Une seconde étape concernerait la façon dont des réseaux de chercheurs s'interrogent sur les relations entre science et valeurs ou, inversement, les raisons pour lesquelles cette question leur semble soit purement «privée», soit hors de leur compétence.

Aber Europe est une association locale. Ceci n'exclut pas qu'elle travaille en réseau. Dans sa dimension locale et dans une région très majoritairement catholique, elle réunit néanmoins des représentants du protestantisme, de l'orthodoxie et de l'islam. Le prisme des communautés de conviction est donc ainsi élargi. La Bretagne compte trois universités, une infrastructure de recherche importante et un potentiel d'étudiants en sciences humaines mobilisable pour conduire l'exploration avec un encadrement compétent.

Par ailleurs, l'importance des activités agricoles et agroalimentaires dans la région donne un relief particulier aux questions de l'environnement.

Sur la seule place de Brest, outre l'université et sa faculté de médecine, nous avons des liens avec l'IFREMER (recherche sur les fonds marins), l'École des télécommunications et son laboratoire de sciences cognitives.

Au travers de mon intervention, vous sentez bien que la dimension locale est elle aussi, de mon point de vue, un échelon pertinent de la réflexion éthique et de la confrontation entre politiques, citoyens et scientifiques. C'est le lieu premier de l'exercice de la démocratie et de la liberté, de la création du lien social. C'est donc une des dimensions de proximité idéale de la recherche du bien commun.

Notre région est trop souvent confrontée à l'articulation complexe entre économie, politique et éthique. Elle peine parfois à trouver les solutions. La qualité de l'eau, l'implantation ou non d'usines de retraitement des lisiers, la création d'un parc marin en mer d'Iroise, l'agriculture et le développement local durable, le dialogue interculturel et la politique de la ville, sont autant de questions qui engagent la réflexion éthique.

Sur ces débats de société, je souffre d'un manque. C'est pourquoi, devant vous, je demande la mise en place d'un comité local d'éthique sinon à l'échelle du département, tout au moins du pays, au même titre qu'il existe des conseils économiques et sociaux locaux.

Eric Gall :

Les enjeux de la brevetabilité du vivant

La question des brevets sur le vivant est une question très vaste et très complexe. Je vais essayer de tracer un

portrait très général, mais il restera de nombreux points à clarifier et à débattre durant la discussion.

Tout d'abord, je définirai les problèmes posés par les brevets sur le vivant et ce qu'est un brevet. Ensuite, j'essaierai de montrer quels sont les enjeux dans le domaine de la santé, mais aussi dans le domaine des ressources alimentaires, à travers des exemples. Je présenterai la position des ONG, ce qu'on propose et la raison pour laquelle nous dénonçons ces brevets sur le vivant. En conclusion, je souhaiterais aborder le lien entre recherche publique et entreprise privée.

Quelle est la logique industrielle qui préside aux brevets sur le vivant et à l'industrialisation du vivant ? Je vais prendre pour exemple l'industrie des biotechnologies agricoles et évoquer le cas des plantes transgéniques utilisées dans l'agriculture, domaine contrôlé par cinq compagnies, dont la première, Monsanto, contrôle 90 % du marché. Les OGM sur le marché sont soit des plantes tolérantes à un herbicide qui est vendu par la même firme, soit, à 20 %, des plantes insecticides. La logique économique d'une compagnie agrochimique, qui est aujourd'hui en même temps une compagnie semencière, ne consiste pas dans l'idée que des plantes puissent se reproduire naturellement dans le champ du paysan ; elle consiste dans l'idée de pouvoir se créer un marché en suivant une stratégie de stérilisation, soit une stérilisation génétique (par exemple, le cas des semences Terminator), soit une stérilisation juridique - et c'est en ce point précis qu'on rentre de plain-pied dans la question des brevets sur le vivant.

A la base, un brevet est un instrument de politique publique qui permet d'accorder à un inventeur un privilège sous la forme d'un monopole d'exploitation de son invention pendant une durée limitée, en général pendant 20 ans. Le système des brevets a été mis en place à la fin du XVIII^e siècle pour garantir à un petit inventeur la possibilité de tirer profit de son invention.

Le premier terme important dans cette définition est «instrument de politique publique», c'est-à-dire que le brevet est une forme de protection de la propriété intellectuelle parmi d'autres. Il y a beaucoup d'autres formes possibles de protection de la propriété intellectuelle, et la question principale derrière cela est le fait que les brevets sont inadaptés au vivant. Donc c'est un instrument de politique publique qui est destiné à équilibrer l'intérêt d'un inventeur avec l'intérêt de la société.

Le deuxième terme important est «invention». Ici, on rentre dans le débat sur cette fameuse directive 98.44 qui porte sur «la protection des inventions biotechnologiques». Cette directive a été adoptée conformément à l'accord sur la propriété intellectuelle de l'OMC (accord ADPIC), mais va beaucoup loin que ce que stipule cet accord. Elle permet de déposer des brevets sur les inventions biotechnologiques et des brevets sur les séquences génétiques. Elle stipule, d'une part, qu'un gène ou une séquence génétique en tant que tel(le) ne constitue pas une invention brevetable (article 5) mais, à l'alinéa sui-

vant, elle dit qu'un gène ou une séquence génétique isolée de son contexte naturel constitue une invention brevetable. Il y a là un glissement de sens, qui n'est pas dû au fait que la séquence génétique est isolée mais qu'on fait d'une description du monde naturel, d'une découverte, une invention brevetable.

A la base, le brevet est fait pour protéger une invention et met en place les critères pour le déposer : nouveauté, inventivité et application industrielle. Or, à partir des années quatre-vingt, par des décisions de jurisprudence, on a progressivement appliqué ces brevets à des découvertes. Lorsqu'on caractérise, qu'on décrit un gène, ce n'est pas une invention. On se contente de décrire quelque chose qui préexiste dans le monde à l'état naturel. Breveter des gènes qui sont des découvertes, c'est un peu comme si l'on avait breveté les éléments chimiques au début du XX^e siècle quand ils ont été découverts. Donc, il y a ce premier glissement de sens entre « invention » et « découverte » qui intervient et qui permet d'accorder des brevets sur le vivant.

On entend souvent dire que les brevets sont indispensables, parce qu'ils favorisent le dynamisme de la recherche. Or, on s'aperçoit aujourd'hui qu'avec les brevets sur le vivant, en particulier, ce raisonnement n'est plus vrai parce qu'au contraire ces brevets constituent un blocage à la recherche. Ils ne sont pas seulement des brevets de procédé, mais aussi très souvent des brevets de produit dans lesquels la molécule elle-même, la protéine ou en l'occurrence le gène lui-même, est breveté, et ces brevets incluent la plupart du temps des demandes très larges qui couvrent toutes les applications possibles d'un gène breveté. Donc, ce n'est pas seulement le procédé qui permet d'identifier le gène, l'activité réellement active ou l'application de ce gène qui est breveté, c'est le gène lui-même. Quand une compagnie détient un brevet sur une séquence génétique, par exemple, elle est en position d'interdire à un tiers d'exploiter ce gène et toutes les applications que pourrait avoir ce gène, d'où un blocage de la recherche.

Aujourd'hui, que ce soit dans le domaine de l'informatique ou dans le domaine des biotechnologies, l'innovation est séquentielle, c'est-à-dire qu'une innovation est souvent le résultat de nombreuses autres innovations qui l'ont précédée. Par conséquent, pour pouvoir exploiter une invention, on doit acquérir un nombre de licences très important, ce qui a pour effet de concentrer les applications industrielles des innovations technologiques entre les mains des grandes entreprises qui ont les moyens de racheter des laboratoires détenant des brevets intéressants, de payer pour acquérir des licences, et qui ont les moyens de concentrer ces capacités de recherche. De plus, entretenir un brevet coûte très cher.

Au travers de quelques exemples, je vais vous montrer pourquoi, concrètement, ce système des brevets n'est adapté ni à la recherche ni au vivant. Il y a eu un cas contre lequel Greenpeace a déposé un recours à l'Office européen des brevets, celui du brevet détenu par une société américaine, Myriad Genetics, sur un gène impliqué dans

le cancer du sein et qui permet d'en faire le dépistage (gènes BRCA1, BRAC2). L'an dernier, cette société a obtenu un brevet en Europe sur ces gènes, et un autre sur la méthode de diagnostic de prédisposition au cancer du sein. Aujourd'hui, cette société est en position d'interdire à toute compagnie privée européenne ou à tout institut de recherche publique de mettre sur le marché et d'exploiter leurs propres tests de dépistage du cancer du sein, parce qu'ils ont un brevet sur ce gène. L'Institut Curie et l'Assistance publique ont également fait un recours contre ce brevet, avec le soutien du ministère de la Recherche, parce que l'Institut Curie propose également un test de dépistage du cancer du sein impliquant ces gènes et il est d'un coût nettement inférieur à celui de Myriad Genetics. De plus, cette société impose que tous les échantillons de ses patients soient envoyés pour analyses à Salt Lake City, leur siège aux Etats-Unis. Cet exemple montre comment les brevets sur le vivant peuvent non seulement bloquer la recherche, mais peuvent également avoir des conséquences dans le domaine de l'accès à la santé.

Je citerai un autre brevet contre lequel Greenpeace a déposé un recours, en 1999. Ce brevet a été accordé à la société StemCell Sciences et à l'université d'Édimbourg sur une méthode de clonage qui consiste à prendre un ovocyte de porc et à y introduire des cellules de mammifères pour les cloner. Or, le brevet inclut non seulement les embryons issus de mammifères, mais également les embryons humains ainsi que leur descendance. La compagnie prétend s'être livrée à cette manipulation et avoir procédé à plusieurs divisions cellulaires de cet ovocyte de porc avec des cellules humaines à l'intérieur. Je ne pose pas ici la question du bien-fondé de ces expériences, mais celle de la propriété intellectuelle détenue par une compagnie sur des embryons humains. Il se trouve que cette compagnie avait un brevet sur une chimère génétique (des cellules humaines dans un ovocyte de porc) non couverte par les exclusions concernant les embryons humains. Récemment, l'Office européen des brevets a admis avoir fait une erreur en accordant ce brevet et en a révoqué la partie incluant les humains.

Voici un exemple d'un cas de biopiraterie : Greenpeace Allemagne a déposé un recours contre une demande de brevet de la société Dupont couvrant un procédé permettant d'obtenir des variétés de maïs qui contiennent une certaine proportion d'acides oléiques. Cette demande de brevet couvre non seulement le procédé, mais aussi ce maïs lui-même, ainsi que tous les maïs qui contiennent cette proportion d'acides oléiques. Il couvre également toutes les utilisations ultérieures de ces maïs dans le domaine agroalimentaire (alimentation humaine ou animale). Or il se trouve que, d'après le centre de recherche mexicain sur le maïs (CIMMYT), de tels maïs existent déjà à l'état naturel, et d'autres variétés issues d'un travail de sélection répondent déjà à ces critères. Or le brevet de la société Dupont leur permettrait en théorie d'empêcher l'exploitation de ces variétés, d'utiliser ces plantes qui préexistent déjà à l'état naturel.

Quelle est la position des ONG par rapport à ces questions ? Ce qui est fondamental pour nous, ainsi que pour une grande partie de la communauté scientifique, c'est de garantir le libre accès de tous aux ressources génétiques, c'est-à-dire de mettre en place un système de protection de la propriété intellectuelle, d'une part, qui protège uniquement l'activité réellement inventive, mais surtout qui ne bloque pas l'accès à ces ressources génétiques qui sont des découvertes préexistant à l'état naturel, qui ne le subordonne pas au fait que quelqu'un ait été capable de les isoler, de les décrire et de leur trouver une application industrielle. C'est pour cette raison que nous sommes contre les brevets sur le vivant, contre les brevets sur les ressources génétiques et contre les brevets sur les séquences génétiques. Cela n'empêche pas qu'on puisse réfléchir à un moyen, au niveau international, qui essaie de concilier les contradictions entre les différents accords internationaux, afin de mettre en place un système qui garantirait le libre accès de tous aux ressources génétiques et qui ferait en sorte qu'une compagnie privée ne puisse pas bloquer l'accès d'autres compagnies ou d'instituts de recherche à des ressources génétiques pour effectuer des recherches et aussi mettre au point des applications.

Concernant le lien entre la recherche publique et l'industrie privée : dans les années quatre-vingt, il y a eu des coupes sombres aux Etats-Unis dans les budgets de la recherche publique, et, à partir de ce moment, les universités et les instituts de recherche ont été poussés à établir des partenariats avec le privé. Pour lever des fonds, ces instituts et ces universités ont fait miroiter à l'industrie une sorte de nouvel Eldorado technologique qui était la génomique. D'ailleurs, cela explique en partie la précipitation à mettre des plantes transgéniques sur le marché, car les compagnies étaient pressées d'avoir des retours sur investissements. Cela explique aussi pourquoi nous avons toujours affaire à des effets d'annonces grandiloquents dans le domaine de la génomique. Ce fait explique aussi comment la recherche publique oriente ses choix de recherche en fonction des intérêts de l'industrie privée plutôt qu'en fonction de l'intérêt général : les structures de recherche, les salaires, sont payés par le secteur public, l'industrie privée ne donnant souvent qu'une part minoritaire d'argent dans les programmes, mais cette part est suffisante pour leur permettre d'orienter les programmes de recherche.

A Greenpeace, nous n'avons pas d'opposition de principe aux biotechnologies, mais nous sommes opposés à la dissémination d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans l'environnement. Bien évidemment, les biotechnologies peuvent avoir des applications intéressantes, mais il y a deux manières d'utiliser ces nouvelles connaissances : soit on le fait d'une manière barbare, en mettant sur le marché des produits technologiques dont on est incapable de comprendre le fonctionnement et les effets sur l'environnement, dans une optique de profit à court terme ; soit on le fait de manière à ce que ces nouvelles connaissances soient utilisées au profit d'une

meilleure compréhension de la biodiversité. Or quand un institut de recherche publique a des partenariats avec l'industrie privée, il va bien falloir qu'il oriente ses programmes de recherche dans des voies qui sont intéressantes pour l'investisseur privé. Cela explique, en grande partie, pourquoi il y a tant de chercheurs aujourd'hui, même dans le public, qui travaillent sur la génomique ou la transgénèse, alors que d'autres voies de recherche mériteraient d'être explorées au niveau de l'agriculture durable ou de la sélection végétale, par exemple.

La question est : comment garantir aujourd'hui une recherche publique qui soit au service de l'intérêt commun et non pas seulement au service de l'intérêt privé ? Comment faire entrer les sciences en démocratie, comment établir ce dialogue entre la société civile et les chercheurs sur les choix scientifiques ?

Sur les applications éventuelles des biotechnologies à l'être humain, Jeremy Rifkin dit : «Un des grands clivages du XXI^e siècle se fera entre, d'une part, la valeur intrinsèque qu'on accorde à la vie et aux êtres vivants, et d'autre part, la valeur utilitaire qu'on accorde à ces êtres vivants.» Nous sommes déjà en plein dans cette question fondamentale.

Guy Le Fur :

Johannesburg et la société civile, trois mois après, qu'en reste-t-il ?

J'ai eu la chance, en 1992, de participer, à Rio, au premier forum planétaire sur le développement durable, et nous avons assisté, au travers des accords qui étaient intervenus entre les Etats, à la mise en place de la convention sur la biodiversité, qui consiste à reconnaître la souveraineté des Etats sur leurs ressources génétiques. L'application de cette décision sur le terrain et les nombreuses évolutions technologiques depuis cette date ont démontré la limite de cette convention. C'était beau au travers de la présentation qui en était faite : «Enfin, nous allons trouver un système qui évitera le piratage des molécules d'intérêt telles que nous les avons constatées.» C'était également une occasion pour les pays du Sud - 60 % de la variabilité des ressources génétiques se retrouvent dans ces pays - de valoriser leurs richesses en biodiversité.

Dans la foulée de cette convention, nous avons assisté à la deuxième convention, la convention climat, à Kyoto, qui n'a toujours pas été ratifiée. Nous espérons qu'elle le sera après le sommet de Johannesburg ; il faut qu'il y ait 55 % des pays et 55 % du taux de pollution qui soient signataires, qui ratifient cet accord, pour qu'il puisse s'appliquer. Jusqu'à présent, il manquait l'URSS, le Canada et la Chine qui s'étaient engagés à signer. Avec leur signature, il deviendra applicable, malgré la réticence absolue des Etats-Unis.

La troisième convention est la convention sur la bio-sécurité, signée à Carthagène, et qui permet à un pays de refuser des produits, sous réserve qu'ils puissent entraîner

ner un certain nombre de conséquences au niveau de la santé et de l'environnement, c'est-à-dire l'inverse de ce qui se passait précédemment. Dans l'accord précédent, en effet, si un pays qui importait un produit n'arrivait pas à démontrer que celui-ci était nocif pour la santé, il était condamné. Maintenant, c'est le pays qui exporte qui doit démontrer que le produit exporté n'a pas de nocivité pour l'environnement et la santé. Pour l'instant, cette convention n'est pas ratifiée mais elle pourrait constituer un événement important. Globalement, au niveau international, les conventions se font par consensus, c'est-à-dire que personne n'est véritablement contre. Il suffit qu'il y ait des gens fondamentalement pour. C'est seulement après la signature qu'une convention peut s'appliquer, lorsque les pays ratifient cette convention dans le cadre de leur législation nationale. Sur ces points, on pouvait considérer qu'il y avait des avancées, quoique la mise en place soit longue - pour preuve, la convention de Kyoto, qui n'est toujours pas ratifiée.

Parallèlement, il y a eu l'accord de l'OMC en 1994, où, pour la première fois, l'agriculture était concernée. Nous, agriculteurs à Ploumoguier et dans le Finistère, sommes concernés par les négociations internationales parce qu'elles influent directement sur les conditions de production et sur la valorisation du produit que nous mettons sur le marché. Dans le cadre de cet accord, il existe un organe de règlement des différends qui permet à ceux qui ne sont pas satisfaits de l'application de cet accord commercial de pouvoir engager une procédure au niveau de cet organe, le seul qui ait une structure juridique. Ce qui crée d'ailleurs une très grande distorsion entre ce qui est convention sur le droit du travail, sur l'environnement et sur tout ce qui est la biodiversité, comparé à la convention sur le commerce. Mais, dans le cadre de cet accord de l'OMC, il y a eu également un accord sur la protection intellectuelle, avec le problème des brevets.

Dans cet accord sur les végétaux ou animaux, les pays avaient le choix entre le système des brevets ou le système européen. Celui-ci est un certificat d'obtention végétale qui, dans sa version première en 1961, la rendait accessible à la recherche. Les chercheurs pouvaient la prendre pour l'améliorer, à l'inverse du brevet où il est absolument indispensable d'avoir l'accord de celui qui l'a déposé, et, très souvent, son détenteur exige que les résultats lui soient donnés. L'autre aspect au niveau de l'obtention végétale, c'est que le paysan a le droit de ressemer ses graines. Si effectivement il n'a pas ce droit de ressemer ses graines, il y aura fatalement une concentration et une dépendance totale des agriculteurs vis-à-vis des obtenteurs et notamment de ceux qui déposent le brevet. Au niveau de l'accord de l'OMC, il était convenu que l'ensemble des pays devait choisir l'un ou l'autre des systèmes de protection, que ce soit le brevet, le système européen ou un système intermédiaire, *sui generis*. Les pays en voie de développement avaient le choix de l'un ou l'autre système d'ici à cinq ans. La majorité des pays du Sud (PPD) ont refusé de choisir entre l'un ou l'autre

des systèmes. Les pays africains ont présenté un contre-projet ; c'était la première fois que les pays africains étaient d'accord sur un projet qu'ils ont appelé une «loi modèle type africaine» -, qui prévoyait notamment qu'on tienne compte de l'origine des plantes et du savoir-faire ancestral qui a permis de conserver cette biodiversité dans le cadre de la protection du vivant.

C'est dans ce cadre qu'à Johannesburg, j'ai soumis une initiative qui se proposait de créer une convention universelle sur le vivant et qui serait un compromis entre le système européen et le système africain, tenant compte de l'origine des plantes et du savoir-faire ancestral, tout en permettant l'accès à la recherche des découvertes et permettant aux paysans de ressemer leurs graines.

Le problème, au niveau de Johannesburg, c'est que, contrairement à Rio, il n'y avait pas d'objectif précis. Les États ne pouvaient pas se mettre d'accord sur un objectif à propos du développement durable. Au niveau du développement durable, il y a une définition qui me paraît assez bonne : c'est de répondre équitablement aux besoins du présent sans compromettre les possibilités de répondre aux besoins des générations à venir. Compte tenu des divergences entre les États, ceux-ci n'arrivaient pas à avoir un projet commun. Le seul compromis qu'ils avaient réussi à mettre en œuvre, à Monterrey, six mois avant Johannesburg, était d'établir la priorité du libre-échange et d'inciter les finances privées à investir dans les pays en développement. Les ONG ont réagi très durement. Les gouvernements ont voulu le camoufler en mettant comme objectif premier la lutte contre la pauvreté, et prendre les deux autres éléments comme des moyens pour atteindre cet objectif, en oubliant de constater que la mise en place du Gatt depuis huit ans, qui préconisait le libre-échange, n'avait cessé de faire augmenter les disparités entre les gens.

Dans le cadre du sommet de Johannesburg, du 26 août au 4 septembre 2002, il y a eu deux invités-surprises. Premier objectif : lutte contre la pauvreté.

Le premier invité-surprise a été le problème des subventions aux produits agricoles avec une accusation très claire de l'Europe, surtout par le groupe de CAIRNS (18 pays : Brésil, Argentine, Nouvelle-Zélande, Australie, les pays les plus libéraux). Si cet invité-surprise a été présenté, ce n'est pas un hasard : 3 milliards d'habitants vivent avec moins de deux dollars par jour, 850 millions ne peuvent pas se nourrir et, parmi ceux-ci, il y a 70 % de paysans qui, pour beaucoup, n'arrivent pas à produire suffisamment pour nourrir leur famille. Il est à noter que 50 % des actifs de la planète sont des paysans, ce qui peut expliquer le rôle que peut jouer l'agriculture dans le développement. Sur 1 milliard 350 millions d'exploitations, 50 millions sont motorisés, 300 millions font appel à la traction animale et, pour 1 milliard, c'est la force de labour de l'homme. En d'autres termes, cela signifie qu'il y a un écart de productivité de 1 à 1 000, et l'on peut difficilement imaginer que le libre-échange va régler le problème : les subventions des pays développés permettent

d'exporter nos crises dans les pays en développement et entraînent automatiquement l'asphyxie des PVD.

Deuxième invité-surprise : les OGM. En septembre 2001, il y avait une famine extraordinaire en Afrique australe. Les Américains ont voulu donner une aide alimentaire à base de maïs génétiquement modifié, et un certain nombre de pays ont refusé, ce qui a eu pour effet de créer une tension, avec la montée au créneau des Américains, mais également du directeur de la FAO (organisation internationale chargée de régler le problème de la faim dans le monde) et du commissaire européen, M. Burns, chargé de la santé. Ces pays ont été traités d'assassins, parce qu'ils ne donnaient pas à leur population la possibilité de se nourrir, alors qu'ils avaient à leur disposition un don des Etats-Unis.

Tout au long des négociations, les Etats-Unis se sont battus bec et ongles pour éviter que le principe de précaution figure dans les traités. Les autres aspects de Johannesburg ont été l'eau et l'assainissement, les biens essentiels, l'énergie, la santé, l'éducation, et l'on a pu constater par la même occasion que le développement durable commençait à s'inscrire dans l'ensemble des esprits.

Pour conclure, le développement durable doit reposer sur quatre piliers : l'économique, le social, l'environnement, ainsi que la culture et l'éducation. Ensuite, il faut faire en sorte que tous les habitants de la Terre puissent avoir accès aux biens essentiels pour pouvoir assurer leur survie.

Conclusions

par **Michel Glémarec**

Professeur honoraire d'océanographie biologique à l'Université de Bretagne occidentale (UBO)

Président des Entretiens «Science et Ethique»

Une année s'est écoulée depuis les Entretiens sur «Les milieux dits extrêmes». L'actualité remet en évidence les réflexions menées durant ces deux journées à l'occasion du 250^e anniversaire de la création de l'Académie de Marine.

En revisitant l'histoire des expéditions scientifiques, en abordant la responsabilité scientifique et sociale des chercheurs, en s'informant sur les recherches menées sur le climat en Antarctique, ces thèmes font l'actualité. Les préoccupations qui apparaissent à l'échelle mondiale sont très proches de nous. Sur le plan local, les recherches qui sont menées par l'UBO, l'IFREMER, et à la future base Concordia gérée par l'IPEV en partenariat avec de grands organismes européens, relèvent de la connaissance des océans, d'un nouveau climat qui se dessine avec comme conséquence éventuelle le risque d'acclimatation d'espèces invasives terrestres et marines et d'une diminution de la biodiversité.

Les quarante spécialistes qui ont participé aux tables rondes ont fait émerger de surprenantes convergences. Les explorations, qu'elles soient maritimes, terrestres ou spatiales, ont acquis une nouvelle dimension. Alors que les trois univers semblent se côtoyer, tant par leur approche scientifique et économique que par les problèmes de droit et d'éthique qu'ils soulèvent, de nombreux enjeux majeurs apparaissent dans les milieux extrêmes, qui sont la préservation de la biodiversité, la valorisation du vivant ou l'utilisation de technologies à adapter à ces milieux. Qu'il faille descendre dans les abysses, s'installer pour une longue durée au milieu de la calotte glaciaire antarctique ou prélever des échantillons sur Mars, les techniques utilisées mettent en œuvre les moyens les plus sophistiqués qui peuvent s'enrichir les uns les autres et nécessitent une éthique.

La conquête des milieux extrêmes, qui sont par définition inhospitaliers et peu connus, autorise le qualificatif d'aventurier pour ces hommes et ces femmes qui le conquièrent. On s'aperçoit en les écoutant, que leur préparation scientifique et psychologique intègre les questions d'éthique. Ces grandes expéditions scientifiques ne devront-elles pas s'envisager dorénavant en association avec des juristes, philosophes, politiques, industriels, éthiciens, citoyens, etc. ?

Alors, comment agir dans ce milieu international avec des cadres institutionnels nouveaux, tout en tenant compte des particularités juridiques, et comment répondre simultanément aux nouvelles questions que la recherche scientifique soulève sur les plans éthique, sociétal et économique ?

Le droit doit se préparer pour anticiper les dérives et les actions des «délinquants» dans ces milieux où rien ne devrait être à vendre. A cet égard, le droit de la mer montre toutes ses limites puisqu'il intervient également sous nos yeux à quelques encablures de nos côtes, ce qui est loin de représenter les milieux extrêmes. La meilleure parade n'est-elle pas de faire intervenir très tôt les considérations éthiques avant que les juristes ne soient amenés à régler les conflits engendrés par une exploitation indue ?

Si le Pays de Brest, dans le Finistère, possède un pôle important de chercheurs spécialistes des milieux extrêmes, l'opportunité a été saisie de les réunir pour la première fois avec une approche transversale et ainsi de favoriser des échanges.

Ces 6^e Entretiens, organisés par 3B Conseils, avec le soutien indispensable du Conseil régional de Bretagne, du Conseil général du Finistère, de la Communauté urbaine de Brest et de grands industriels comme Veolia Environnement, affirment la pertinence et la pérennité de ces rencontres en établissant un cadre exigeant qui est devenu habituel.

C'est ainsi que les 7^e Entretiens qui se sont déroulés en 2003 ont permis de prolonger la réflexion sur les exploitations minérales extraites des fonds marins avec l'IFREMER, Schlumberger et Total, en partenariat avec l'AFAS notamment. Les 8^e Entretiens intitulés «Et si les poissons pouvaient parler ?» se dérouleront les 5 et 6 novembre 2004 à Océanopolis à Brest. Ils seront consacrés, sous la présidence de Lucien Laubier de l'Académie des sciences et de l'Académie de Marine, aux ressources vivantes, communes et renouvelables, à l'océanographie opérationnelle côtière, au droit de la mer et à une consommation responsable. L'approche européenne et internationale permettra de poursuivre ce cycle au niveau international, en prenant comme point de réflexion le rapport de l'Académie des sciences sur la surexploitation des ressources biologiques, et le rapport du CESR Bretagne.