

De la vague à l'âme : un demi-siècle de la vie d'un océanographe

Guy JACQUES

De l'anchois du Pérou au changement climatique

Les zones d'upwelling, priorité des années 1970

Dans mon premier ouvrage, *Écosystèmes pélagiques marins*, publié avec Paul Tréguer en 1986, j'intitulais l'un des chapitres « Quelques larmes sur l'anchois du Pérou ». En effet, dans les années 1970, les spécialistes du milieu pélagique se focalisaient sur les aires les plus productives du monde, les régions d'upwelling. Dans les régions intertropicales, les alizés sont à l'origine de remontées côtières à la bordure orientale des océans. À la côte, ces vents permanents chassent vers le large les eaux de la couche de surface qui sont remplacées par des eaux profondes riches en éléments nutritifs. Cette fertilisation fait de ces zones (Pérou-Chili et Californie pour le Pacifique, Namibie et Afrique nord-ouest pour l'Atlantique), qui couvrent moins d'un centième de l'océan, les principales régions de pêche : environ le cinquième des captures mondiales. Le long de l'équateur, les alizés provoquent également une divergence des eaux profondes fertiles qui s'approchent de la couche éclairée. Fertilisées, ces régions sont particulièrement productives parce que leur écosystème pélagique, de faible maturité, présente des réseaux trophiques simples donc un haut rendement. En effet, tout nouvel échelon trophique supplémentaire représente une perte de matière organique de près de 90 %. L'homme le sait bien qui consomme soit des végétaux, producteurs primaires, soit des animaux herbivores. Dans un monde en croissance démographique, beaucoup conseillent de délaissier la viande alors que plus un pays s'enrichit plus il augmente cette consommation animale. Mais revenons aux écosystèmes marins avec deux exemples mythiques de chaînes courtes donc efficaces : la chaîne antarctique (diatomées → krill → baleines) et celle de la zone de remontée du Pérou (diatomées → zooplancton → anchois). Ce dernier cas est d'autant plus important qu'il s'agit de la région la plus productive du monde, tant pour le phytoplancton que pour la pêche.

Du vert au bleu violet ou de l'eutrophie à l'oligotrophie

Certains ont dit de Charles Darwin après son épopée à bord du *Beagle*, qu'il quitta Plymouth créationniste et qu'il revint à Falmouth darwinien. En singeant cette expression, on pourrait dire que le groupe *Mediprod* s'intéressa à ses débuts aux régions de haute production pour rechercher, à l'approche de la fin de son activité, aux régions les plus oligotrophes. *Mediprod* finit ses recherches avec l'appui satellitaire, l'emploi généralisé de la bathysonde, la cytométrie de flux, la mesure des pigments par HPLC, etc., les pièges à particules, équipements et méthodes qui n'ont guère évolué depuis. Il a souvent croisé la route d'océanographes étrangers, notamment des américains. Comment oublier la participation à plusieurs de nos missions de Richard Dugdale, après avoir formé Gerd Slawyk aux subtilités de la méthode à l'azote 15 ? Et, enfin, la rencontre, en février 1970 à Marseille, de l'équipe américaine qui allait participer à la campagne 47 du navire de recherches *TG Thompson* humoristiquement baptisée *Pastouzo* car elle rejoignait la capitale du pastis à celle de l'ouzo, Athènes.

Pour des raisons qui ne m'apparaissent pas totalement convaincantes, les programmes internationaux d'océanographie et d'étude du climat se sont focalisées depuis une bonne dizaine d'années sur les zones océaniques censées être des déserts marins. L'utilisation intensive de la cytométrie de flux et du séquençage des organismes unicellulaires (virus, bactéries, phytoplancton) constitue un des centres d'intérêt des aires oligotrophes moins étudiées et qui ont toutes les raisons de présenter une haute diversité biologique. En effet, une loi écologique veut que peu d'espèces assurent l'essentiel de la production dans les aires de haute fertilité (vous savez bien que pour obtenir de hauts rendements, l'homme choisit plutôt la monoculture)

alors que la diversité biologique s'élève dans les régions ou au moment de l'année où la production primaire est basse. Dans ce dernier cas, pour ne rien gaspiller du peu d'énergie et de sels minéraux disponible, le réseau trophique se complexifie et se spécialise. Mais dans l'optique qui domine toujours aujourd'hui de mieux comprendre le rôle de l'océan dans les principaux cycles biogéochimiques (celui de l'azote, du phosphore, du silicium et, bien sur, du carbone) et sur l'évolution du climat, les aires de production demeurent essentielles. Le rapport entre le taux d'exportation de carbone entre une aire océanique productive une région oligotrophe est encore plus élevé que celui entre leurs productions primaires respectives.



43 André Morel (1933-2012).

Mondialement connu pour ses travaux pionniers en optique marine et sur la couleur de l'océan, André Morel a été distingué par le *Jerlov Award* en 2000, la *Manley-Bendall Medal* de l'Institut océanographique en 2003 et l'*A.C. Redfield Lifetime Achievement Award* de l'*Association for the Sciences of Limnology and Oceanography* en 2005.

Quoiqu'il en soit, « même » le groupe *Medipro*d et ceux qui ont pris le relais ont un peu changé leur fusil d'épaule, s'intéressant de plus près à ces déserts marins. La dernière campagne du groupe *Medipro*d fut *Olipac* qui s'est déroulée à bord de *L'Atalante* dans le Pacifique sud-ouest, du 4 au 30 novembre 1994, Bernard Coste étant le chef de mission. Mais dans la lignée du groupe *Medipro*d et avec la participation de pas mal de chercheurs ayant déjà œuvré en son sein, s'est déroulée entre le 21 octobre et le 12 décembre 2004 à bord de *L'Atalante* la campagne *Biosope* (*Biogeochemistry and Optics South Pacific Experiment*) dirigée par Hervé Claustre et Antoine Sciandra. Il faut savoir qu'en dehors des zones littorales ou la couleur du fond et la densité en particules terrigènes interviennent, la couleur de l'océan dépend uniquement de la concentration (et de la nature) du plancton végétal pigmenté : une eau verte est une eau riche en plancton, une eau bleue indique l'oligotrophie. Comme ils s'y attendaient en ayant examiné les données satellites de la couleur de l'océan, les scientifiques ont trouvé au large de l'île de Pâques les eaux de mer les plus transparentes du monde, pratiquement vierges de phytoplancton. On trouve encore dans ces eaux un pour cent de la lumière de surface à 150 mètres de profondeur, ce qui est exceptionnel. Il faut dire que cette aire est à l'abri de toute influence continentale puisqu'elle se situe à quatre mille kilomètres de l'Amérique du Sud et à la même distance de la Polynésie française, au centre du grand tourbillon du Pacifique Sud (le terme anglais *gyre* est souvent utilisé pour désigner ce type de structure favorisant l'oligotrophie). Avec son âme d'artiste, André Morel, spécialiste mondial d'optique marine, a été tellement enthousiasmé qu'il en devint lyrique lors d'une interview par TF1 dans *La petite chronique de la terre* (Figure 43). Il dit en substance : « Mon impression en tant que peintre est qu'il s'agit d'une couleur qu'on a peu l'habitude de voir, à part chez quelques fleurs de montagne. Le violet se réalise en mélangeant du bleu et du rouge. Or, là, il s'agit d'un violet où le rouge aurait disparu. Ce bleu-violet, à la limite de l'ultra-violet,

est si rare que notre cerveau l'interprète avec difficulté. Se situant à la limite de l'invisible on pourrait penser qu'il s'agit d'une couleur sombre. Or ce bleu violet est très lumineux, ce qui s'explique aisément sur le plan physique puisqu'il s'agit de la lumière renvoyée vers l'espace par des eaux d'une incomparable transparence ». Cette vidéo teintée d'émotion où il rappelle qu'il a été peintre est particulièrement marquante pour ceux qui l'ont côtoyé et qui, peut-être, comme moi, ont un peu regretté qu'il s'investisse autant dans la recherche. Critique étrange de la part d'un chercheur direz vous ! Peut-être... Mais à vouloir être l'océanographe qui, dans le monde, aurait le meilleur indice de citations¹, surtout devant son collègue canadien Trevor Platt, il a peut-être trop délaissé ses nombreux talents en peinture, en musique, voire comme joueur de tennis.

L'après-Mediprod

Dresser l'état des connaissances sur le milieu pélagique aujourd'hui dépasse le cadre de cet ouvrage. Pour la Méditerranée, au cœur des travaux de *Mediprod*, nous nous limiterons à examiner le contenu d'un numéro spécial de *Biogeosciences* paru en 2011 sous la responsabilité de Thierry Moutin, Louis Prieur et Alberto Viera Borges et basé sur la campagne BOUM (*Biogeochemistry from the Oligotrophic to Ultraoligotrophic Mediterranean*) confirme la focalisation déjà signalée des recherches actuelles sur les milieux les moins fertiles de l'océan jusqu'à l'ultraoligotrophie. Les coordinateurs de cette mission à bord de *L'Atalante*, une section de 3 000 kilomètres du sud de Chypre à Marseille en 2008 (Moutin, Van Wambeke et Prieur, 2011) avancent que le changement climatique entraînant une oligotrophisation des océans et un ralentissement de la pompe biologique, il importe d'étudier les situations d'extrême oligotrophie que présente la Méditerranée en période estivale en dehors des zones d'apports fluviaux. L'idée est que « initialement considérés comme des déserts biologiques, il a été récemment démontré que les systèmes oligotrophes peuvent largement contribuer à l'exportation de carbone organique de la couche éclairée vers l'océan profond ». Le « récemment démontré » est vague et il est logique de se demander si l'on ne va pas trop loin. En effet, toutes les mesures passées démontrent au contraire qu'un écosystème présentant une production primaire basse, exporte encore moins de carbone qu'il le devrait car sa production est assurée par un réseau trophique microbien qui recycle l'essentiel de carbone organique dans la couche euphotique et dont les cellules, de très petite taille, sédimentent peu (cf. paragraphe suivant).

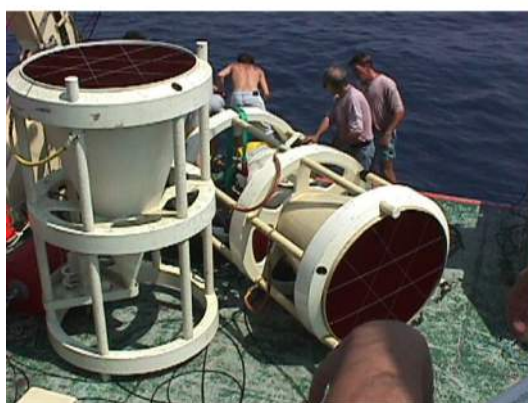
Les flux de carbone dans l'océan, au cœur des années 1990

Nous avons déjà fait du piège à particules (Figure 33, Figure 44), l'un des équipements emblématiques de nos campagnes à partir du programme *Eumeli* en 1989. La priorité des océanographes s'intéressant au milieu pélagique n'était plus alors d'estimer le potentiel de production primaire au bénéfice du réseau trophique mais la quantité de carbone photosynthétisée ou absorbée à partir de l'atmosphère susceptible de gagner les eaux profondes ou le fond. En filigrane, la question du rôle de l'océan dans la régulation du climat : calculer la quantité de carbone soustrait pour une longue durée aux échanges avec l'atmosphère.

En France, c'est l'équipe *Ecomarge* (ECOSystèmes de MARGE continentale) qui a développé avec la société Ratti à Cap d'Ail le premier piège à particules baptisé PPS 3 (Heussner *et al.*, 1990). Sa surface de capture de 0,125 mètres carrés était inférieure à celle du PPS 5 mis en place dans les campagnes *Eumeli* et *Antares*. Construit en matières plastiques de haute qualité et en composants métalliques non corrosifs, il comportait six godets permettant donc la collecte de six échantillons successifs. La question posée par l'utilisation de ces pièges (*sediment trap*), déployés un peu partout (34 et 48° N dans l'Atlantique, mer des Sargasses, cou-

¹ Le *Citation index* est une base de données bibliographiques indiquant le nombre de fois où un article donné est cité par d'autres auteurs. Il s'applique aussi bien aux revues qu'aux chercheurs eux-mêmes.

rant circumpolaire, mer de Weddell, mer d'Arabie, Pacifique Nord, Pacifique équatorial, Méditerranée) (Figure 44), est de savoir s'ils mesurent avec précision les flux verticaux. En utilisant des radionucléides, il a été démontré que l'efficacité de pièges déployés en zone bathypélagique ($> 1\ 500\text{ m}$) est presque totale, alors qu'à moindre profondeur, leur efficacité diminue. Les résultats d'une dizaine d'années de mesure montrent qu'en moyenne le cinquième du carbone photosynthétisé par le phytoplancton quitte la couche superficielle, ce qui abaisse la teneur en CO_2 de l'atmosphère de 150 à 200 parties par millions en dessous de ce qu'elle serait dans un monde sans microalgues, ce qui est considérable. La proportion de carbone photosynthétisé puis exportée vers les profondeurs est encore plus forte dans les régions de haute production. Une autre critique est faite à cette approche des flux en utilisant les pièges. C'est bien évidemment que cette technique ne prend pas en compte les flux de carbone organique sous forme dissoute qui demeurent une grande inconnue, même aujourd'hui.



44 Deux pièges à particule, l'un de fabrication française (PPS 5 à gauche. Voir aussi Figure 27) l'autre norvégienne (droite).

Sur le piège norvégien on voit le barillet à vingt-quatre godets qui permet donc de récolter vingt-quatre échantillons successifs de matériel sédimenté sur des périodes choisies (souvent le mois).

Tout, jusqu'à l'excès, pour comprendre le climat

Sans en avoir pleinement conscience, biologistes et chimistes sont passés d'une logique de compréhension du réseau trophique (et des cycles de l'azote et du phosphore qui limitaient la production primaire) à l'explication du cycle océanique du carbone, puis au rôle de l'océan sur le climat. Ces priorités, accompagnées des moyens nécessaires à leur réalisation, ont incité la grande majorité des chercheurs à s'engouffrer dans cette voie. L'intérêt majeur de cette évolution fut d'obliger des chercheurs évoluant souvent parallèlement à dialoguer puis à coopérer. Personne n'envisagerait aujourd'hui un modèle climatique n'incluant pas la production primaire océanique. Pour y avoir contribué, pour m'être précocement intéressé au climat, je suis convaincu que cette évolution a été et est encore profitable. De même que les chercheurs en écologie sont devenus des écologues, les océanographes biologistes sont presque devenus des biogéochimistes !

À l'occasion de la journée mondiale de l'océan le 8 juin 2008, la revue *Mer et Marine* traitait « Océanographie : étudier l'océan pour comprendre le climat ». Peut-être cependant avons-nous été trop loin car, tout en restant dans le domaine du réseau trophique pélagique, il reste des problèmes irrésolus qui ne s'inscrivent pas dans la perspective climatique. Les opérations du programme international JGOFS se sont intéressés principalement au phyto- et au

zooplancton sans traiter réellement de l'ensemble de l'écosystème pélagiques, le potentiel halieutique étant déduit des variations du zooplancton.

Aujourd'hui, la priorité paraît être donnée à la recherche de molécules nouvelles pour les industries pharmaceutiques et cosmétiques, filière où *Tara* s'avèrera très utile en collectant des échantillons de plancton dans le plus grand nombre de sites pour en extraire un inventaire complet des gènes présents, un métagénome. Les biologistes marins sont d'ailleurs partie prenante du Genopole créée en 1998. De même des campagnes à grand rayon d'action comme celles conduites par *Tara* permettent l'étude *in situ* de la composition floristique bactériologique et faunistique et leurs fonctionnalités. C'est une voie de recherche excitante mais qui laisse sur sa faim l'écologue que je suis.

L'actualité nous fournit un bon exemple de l'insuffisance de connaissances sur le plancton : la prolifération des méduses, un bon marronnier pour les journalistes à l'approche de la saison des baignades. Si l'ouvrage de Philippe Cury et de Daniel Pauly *Mange tes méduses !* (2013) est parfois outrancier, il corrobore une déclaration récente de l'Onu qui conseille de consommer des méduses, pratique déjà courante en Asie. Plusieurs raisons paraissent à l'origine des proliférations de ces cnidaires libres mais il est clair qu'un effort de recherche aurait permis de mieux connaître les différentes réponses des différentes espèces. Les causes les plus fréquemment avancées sont liées à l'action humaine, ce qui explique que ce phénomène soit beaucoup plus courant vers la fin du XX^e siècle : le réchauffement des eaux, la raréfaction de ses prédateurs, notamment en raison de la surpêche, et les pollutions. Parmi les espèces qui connaissent, ici ou là, des proliférations on peut citer :

- *Pelagia noctiluca* dont les œufs une fois fécondés deviennent directement de petits adultes, ce qui facilite la pullulation, notamment en Méditerranée ;
- *Nemopilema nomurai* ou méduse géante d'Echizen (préfecture de la côte est du Japon), devenue invasive au Japon depuis l'été 2005, déchirant les filets de pêche, écrasant et intoxiquant les poissons capturés. Ces dégâts ont incité les biologistes à réaliser en laboratoire son cycle de vie. Première constat : lors de sa capture, la méduse menacée libère des milliards de spermatozoïdes ou d'ovules, ce qui contribue à sa prolifération. Une fois la fécondation réalisée on obtient une cellule œuf puis une larve appelée planula. Ce petit disque de cellules ciliées se pose sur un substrat pour former le stade suivant, le scyphistome. Second constat : ce scyphistome se déplace de quelques centimètres laissant à chaque fois une portion de son pied : un podocyste. Ces podocystes sont remarquables car ils permettent une reproduction asexuée supplémentaire, chaque petit amas donnant en effet un nouveau scyphistome, clone génétique du scyphistome initial et ce parfois jusqu'à 18 podocystes ! Pour réaliser le potentiel de reproduction que cela représente, imaginez qu'en marchant 18 pas, vous laissez à chaque un clone de vous même ;
- *Cyanea capillata* que les pêcheurs de l'Atlantique Nord prennent par centaines dans leurs filets ;
- *Linuche unguiculata*, une petite espèce tropicale qui peut former des bancs de 300 kilomètres carrés causant des éruptions cutanées.