

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

Guy JACQUES

La belle histoire des « paradoxes » de l'océan Austral

Le choix de l'océan Austral, une bonne inspiration

En 1976, Jacques Soyer, alors directeur du Laboratoire Arago, était bien introduit auprès des Taaf dont le Chef de la mission de recherche était Jean-Paul Bloch. Il avait déjà à son actif plusieurs missions d'été aux îles Kerguelen. Lors de ma seconde campagne dans la cadre des Taaf en 1980, Bernard Morlet, radioastronome, lui avait succédé. Il réorganisa complètement ce département, créant un comité scientifique et un comité de l'environnement et entreprenant quelques années plus tard la réorganisation des Expéditions polaires françaises.

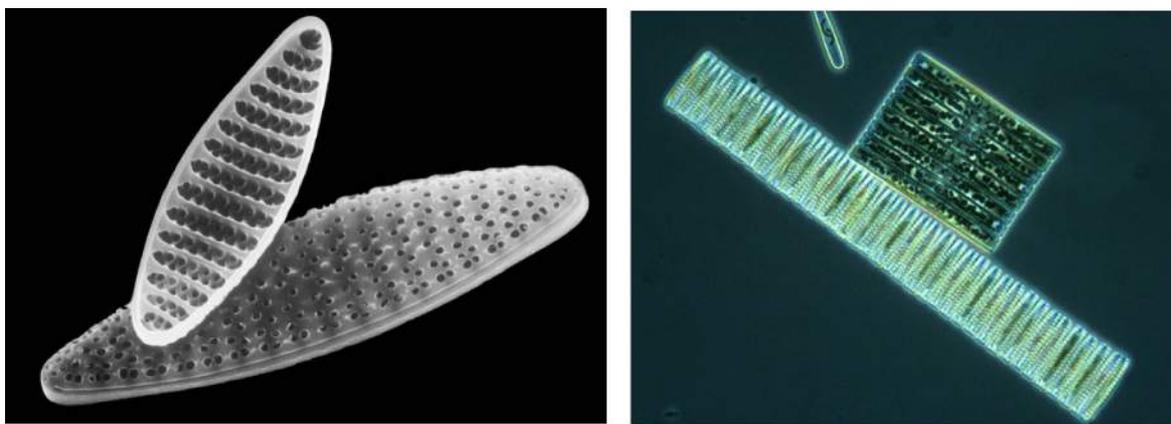
Soyer me suggéra de proposer aux Taaf un programme de recherche sur le milieu pélagique encore inexploré par la France. Du milieu tropical ou méditerranéen, je dus alors aïe des recherches bibliographiques pour découvrir l'océan Austral qui présentait apparemment un premier mystère mis en lumière dans les années 1970 notamment par Sayed Z. El-Sayed, Égyptien travaillant à la *Scripps Institution of Oceanography* à San Diego, l'autre laboratoire majeur de cette discipline, avec *Woods Hole* dans le Massachussetts que nous avons cité à plusieurs reprises. Ce scientifique avait montré que, dans les eaux du large de l'océan Antarctique, on rencontrait des teneurs élevées en sels nutritifs, les « engrais » de la mer et peu de plancton végétal même en période estivale de fort éclaircissement. Avec mon collègue Paul Tréguer, chimiste à l'Université de Bretagne occidentale à Brest, nous allions donc partir à la chasse aux « paradoxes » de l'océan Austral, terme que nous avons régulièrement utilisés dans nos publications, conférences et articles de vulgarisation. Il s'agit d'un vocable accrocheur, stimulant mais qui révèle obligatoirement une méconnaissance scientifique passagère ou bien une généralisation outrancière. Les premiers paradoxes énoncés comme tels, apparaissent dans l'antiquité grecque et sont l'œuvre de Zénon d'Elée avec le paradoxe d'Achille et de la tortue. Un jour, le héros grec Achille dispute une course à pied avec le lent reptile. Comme Achille est réputé très rapide, il accorde gracieusement à la tortue une avance de cent mètres. Si la tortue a de l'avance sur Achille, celui-ci ne peut jamais la rattraper, quelle que soit sa vitesse ; car pendant qu'Achille court jusqu'au point d'où a démarré la tortue, cette dernière avance, de telle sorte qu'Achille ne pourra jamais annuler l'avance de l'animal. À l'époque, les paradoxes sont seulement abordés d'un point de vue rhétorique mais par la suite, le paradoxe deviendra un élément moteur de la science en devenir. Puissants stimulants pour la réflexion, les paradoxes révèlent soit les faiblesses de l'esprit humain et son manque de discernement, soit les limites de tel ou tel outil conceptuel. Souvent, des paradoxes basés sur des concepts simples ont amené à de grands progrès en science. Des paradoxes surgissent donc dans tous les domaines scientifiques, de la biologie à la physique quantique en passant par les mathématiques.

Admettons donc que les paradoxes de l'océan Austral nous ont stimulés, Tréguer et moi, d'autant que nous en avons énoncé quatre ! Le premier, déjà avancé par El Sayed, était donc la faible production biologique dans des eaux riches en nitrates et en phosphates. Ce mystère sera levé, comme nous le détaillons un peu plus loin, par la découverte du facteur limitant la production primaire, le fer. Une deuxième anomalie nous apparut rapidement : pourquoi, en dépit de la rareté du phytoplancton, l'océan Antarctique était-il présenté comme riche en ressources vivantes : euphausiacées formant le krill, oiseaux et mammifères marins ? Deux raisons expliquent ce deuxième paradoxe :

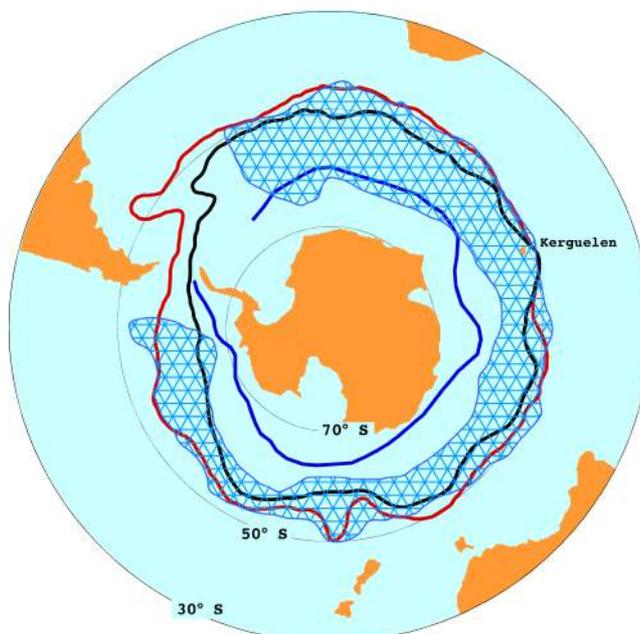
1) il existe, près des côtes antarctiques et, ce qui sera connu bien plus tard, dans quelques aires du large comme le plateau des Kerguelen, des aires de haute production primaire ;

2) l'abondance de certains niveaux trophiques est accentuée par leur concentration sur des aires limitées. Le krill forme des essaims, les oiseaux se concentrent près des terres émergées.

Le troisième paradoxe, assez proche du précédent, tenait à l'importance du dépôt annuel dans les sédiments antarctiques d'algues siliceuses, les diatomées, dont une espèce dominante, *Fragilariopsis kerguelensis*, que j'ai qualifiée dans une publication de 1979 « d'espèce-reine » de l'océan Antarctique (Figure 48) ; ce fait est avéré, le site de l'Alfred Wegener Institute indiquant « *Fragilariopsis kerguelensis* – a key species for the global silicate cycle ». Cette apparente anomalie tient aussi à l'existence de certaines aires productives mais également à un autre processus. L'épaisseur du frustule siliceux de cette diatomée, la formation fréquente de longues chaînes (Figure 48, gauche) favorise sa sédimentation. J'ai effectué des mesures expérimentales montrant que ces algues peuvent traverser la colonne d'eau de plusieurs milliers de mètres et gagner ainsi le sédiment en une dizaine de jours. Les abysses de l'océan Austral constituent d'ailleurs des dépôts siliceux exceptionnels (Figure 49), la diatomée *Fragilariopsis kerguelensis* étant dominante dans ces couches fossilisées.



48 La diatomée *Fragilariopsis kerguelensis*, espèce-clef du cycle de la silice dans l'océan Antarctique.



49 Dépôts siliceux dans les sédiments de l'océan Austral.

L'essentiel des dépôts abyssaux se situe entre le Front polaire (noir) et la divergence antarctique (bleu).

La dernière singularité de l'écosystème pélagique antarctique caractérise le cycle de la silice que nous venons d'aborder avec la diatomée *Fragilariopsis kerguelensis*. Pour élaborer leur squelette externe, ces diatomées ont besoin de beaucoup de silice. Alors que dans la plu-

part des océans, phosphates, nitrates et silicates évoluent relativement parallèlement, il n'en est rien dans l'Antarctique où au fur et à mesure que l'on s'éloigne du continent, la teneur en silicates diminue fortement alors que les concentrations en phosphates et nitrates s'abaissent peu. Lors des campagnes que j'ai menées, les silicates devenaient un facteur limitant pour la croissance des diatomées au sud-ouest des Kerguelen. Il n'en ait évidemment pas de même pour les eaux superficielles à l'est de Kerguelen, l'enrichissement en fer par les eaux de remontée au contact du plateau continental se doublant d'un enrichissement en silicates.

Un intermède et un plaisir : un estivage à Kerguelen

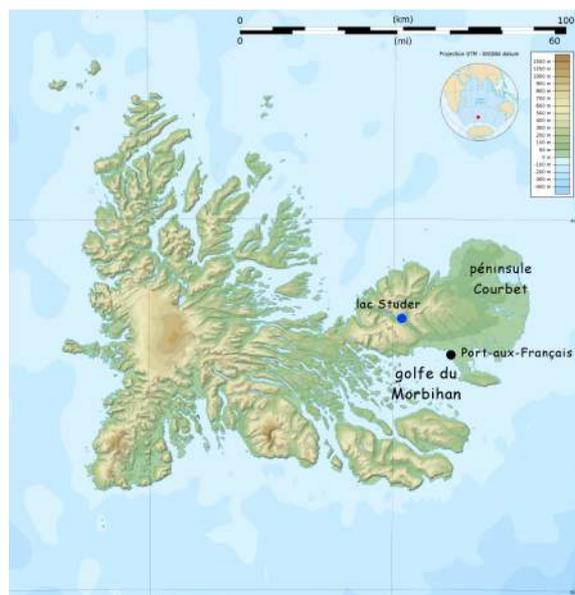
Deux passages à Kerguelen lors des missions *Antiprod* de 1977 et 1980 ne pouvaient que nous donner envie de venir « estiver » dans cet archipel. Nous déposâmes donc un projet d'étude de la production primaire et du phytoplancton dans la baie du Morbihan à partir de sorties du de la vedette côtière *La Japonaise*, une ancienne baleinière. Fin décembre 1982, voila donc toute une équipe de planctonologistes du laboratoire Arago (Michel Fiala, Michel Panouse, Suzanne Razouls et moi-même) reprenant le *Marion* à La Réunion mais cette fois pour un séjour à terre de deux mois en janvier-février 1983.

La vie de ceux qui vont ou viennent d'hiverner sur la base surprend. Un bon nombre des personnels n'ont rien à voir avec les aventuriers que l'on pourrait imaginer. Bon nombre d'habitues chaussent dès leur arrivée leurs pantoufles et mènent une vie des plus routinières. Leurs journées se déroulent probablement plus tranquillement même qu'à la maison ; ils laissent le temps passer et l'argent s'accumuler avant leur retour en métropole ou à la Réunion.

Quant à nous nous avons installés nos appareils dans le laboratoire de biologie, Biomar et avons pris place dans nos phyllodes d'habitation (Figure 50). Notre programme comportait à la fois une étude du milieu pélagique de la baie du Morbihan mais aussi d'un lac d'eau douce, le Studer situé à 68 mètres d'altitude, dans un val de la péninsule Courbet au nord-est de l'île (Figure 51). Nous avons donc navigué sur la *Japonaise* dans le golfe et sur un pneumatique sur le lac (Figure 52).



50 La base de Port-aux-Français avec (gauche) le laboratoire de biologie Biomar et une phyllode enneigée en hiver (droite, photo D. Delille).



51 L'île de Kerguelen avec la base de Port-aux-Français et les deux lieux de notre étude : le golfe du Morbihan et le lac Studer.

À noter le côté déchiqueté de l'île qui, avec une superficie égale à celle de la Corse, présente une longueur de côte équivalente à celle de la France.



52 La Japonaise dans le golfe du Morbihan (gauche). Michel Panouse et moi-même à bord d'un canot pneumatique sur le lac Studer à Kerguelen en janvier-février 1983 lors de la mission Proker.

Si l'on s'intéresse aux résultats, cette mission fut décevante car nous ne trouvâmes pas, ni dans la baie ni dans le lac, de faits suffisamment intéressants pour justifier une publication. Le lac Studer (Figure 53), d'une profondeur moyenne de 23 mètres, est apparu très pauvre en phytoplancton à la base du réseau trophique. Comme ces mesures ont été effectuées durant l'été austral, il est à craindre que cette situation d'oligotrophie soit pérenne. Or les lacs de Kerguelen ont étéensemencés à la fin des années 1950 en salmonidés : des truites communes, *Salmo trutta*, et des ombles de fontaine, *Salvenilus fontinalis*. Ces espèces se sont acclimatées à l'environnement subantarctique et naturalisées avec plus ou moins de succès en fonction de leurs stratégies adaptatives respectives. La vaste superficie de Kerguelen et les caractéristiques de ses réseaux hydrographiques permettent d'envisager de continuer à tirer parti positivement des introductions de salmonidé...si la production du réseau trophique suffit à supporter cette population piscicole.

Cette mission d'été m'a montré que finalement, vingt ans ai auparavant, j'avais peut-être été bien inspiré de renoncer à hiverner en Terre Adélie. En effet, au lendemain même de mon anniversaire qui se situait à peu près au milieu du séjour, j'ai ressenti un sérieux coup de cafard qui contrastait avec ma forme parfaite du début de séjour. J'ai cru ressentir une douleur abdominale que j'ai aussitôt pris pour une irritation de l'appendice. Plusieurs visites chez le

médecin de la base auraient du me rassurer mais rien n'y fit ; je n'imaginai plus que je pourrais reprendre le *Marion* dans quelques semaines pour un retour chez moi ! Mon travail perdit de son intensité, le seul remède efficace à cet état dépressif étant de marcher et de marcher encore dans les environs de la base et, ce, quel que fut le temps.



53 *Vue artistique du Val Studer* (photo D. Delille).

La campagne Epos à bord du Polarstern : passionnante et surréaliste



54 *La campagne européenne Epos en mer de Weddell a nécessité des réunions de préparation à l'Alfred Wegener Institute de Bremerhaven (Allemagne), dirigées d'une main de fer par son directeur, Gotthilf Hempel.*

À la fin des années 1980, la Fondation européenne pour la science décida de promouvoir la connaissance scientifique des régions arctique et antarctique par les nations européennes. Ainsi est née EPOS, *European POLarstern Study* 1988-89. En effet, seul le navire allemand brise-glace *Polarstern* de l'*Alfred Wegener Institute* de Bremerhaven offrait des capacités d'accueil suffisantes et il était le seul de cette taille à pouvoir naviguer dans la banquise grâce à sa double coque. Cent trente-et-un scientifiques appartenant à quatorze nations de l'Europe centrale et de l'ouest et d'Amérique du Sud participèrent à l'une des trois parties d'*Epos* en mer de Weddell pour explorer les communautés de la glace de mer et le rôle de cette glace sur l'écosystème pélagique, le benthos et les poissons. Les deux réunions préparatoires à Bremer-

haven (Figure 54) bénéficièrent d'un accueil plutôt froid et très technique du directeur de cette station et responsable d'*Epos*, Gotthilf Hempel. Je me souviens plus de ses consignes concernant la manière de se conduire à bord que d'envolées scientifiques. Mais avoir réussi à transformer les quarante propositions retenues en un programme cohérent et à faire travailler ensemble des personnes qui se connaissaient peu ne fut pas une mince affaire. Punta Arenas, le port de départ était encore loin (Figure 55).



55 Punta Arenas sur le détroit de Magellan. Ce port chilien, où j'ai embarqué pour la campagne *Epos* en mer de Weddell, s'est fait, en France, « voler la vedette » par le port argentin Ushuaia, la ville la plus australe du monde, popularisée par les émissions de Nicolas Hulot.



56 Le brise-glace océanographique allemand Polarstern.

Lancé en 1982, long de 118 mètres, avec un tirant d'eau de plus de 11 mètres il peut briser une glace de 1,5 mètre. Propulsé par quatre moteurs de 14 000 kW, il peut naviguer à plus de 15 nœuds.

Ce programme comportait trois legs¹ à bord du brise-glace océanographique *Polarstern* (Figure 56). Le premier fut consacré à la glace de mer, à ses communautés et à son influence sur le système pélagique. J'ai participé au second leg avec mes collègues français (Jeanine Cuzin-Rudy Annick Masson, Michel Panouse, Paul Tréguer) et belges (Sylvie Becquevort, Frank Dehairs, Leo Goyens, Christiane Lancelot et Sylvie Mathot)...et trente-quatre autres scientifiques puisque nous étions quarante-quatre à bord ! (Figure 57) Cette mission avait pour objectif d'analyser le fonctionnement de l'écosystème pélagique dans l'aire de confluence Weddell/Scotia au moment et à la fin du retrait de la banquise. La troisième partie était consacrée à l'étude du benthos et des poissons en relation avec l'environnement biotique et abiotique le long de la plateforme sud-est de la mer de Weddell.

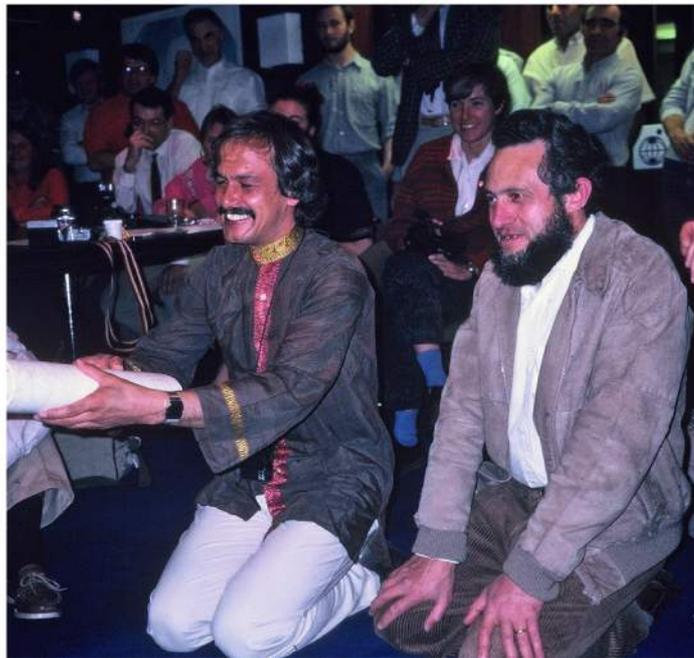


57 L'équipe scientifique du deuxième leg de la campagne dirigée par Victor Smetacek, originaire d'Inde (couché devant la mission).

Smetacek, spécialiste du réseau trophique pélagique, était convaincu de l'efficacité d'une fertilisation en fer de l'océan Austral qui permettrait, d'après ses calculs, de soustraire à l'atmosphère un milliard de tonnes de CO₂ par an ! À discuter...

Détaillons un peu notre aventure dans cette partie qui se déroula de 22 novembre 1988 au 9 janvier 1989) avec trois fêtes majeures : Santa Klaus le 6 décembre, Noël et le Jour de l'an (Figure 58) ...sans la moindre goutte de vin, rigueur allemande exige, même s'il me semble bien avoir vu des bouteilles d'alcool circuler discrètement de cabine en cabine. Mais passons sur ces détails désagréables qui voyaient également le maître d'hôtel enlever prestement votre assiette dès que vous marquiez le moindre temps d'arrêt et qui se retrouvait quelques secondes plus tard dans le lave-vaisselle.

¹ Leg, qui signifie étape en anglais, est souvent utilisé en français pour désigner une partie d'une campagne, quand celle-ci est divisée en parties séparées par des escales.



58 Fêtes typiques à bord du Polarstern. En haut, chorale des francophones déguisés en manchots (vous remarquerez à l'extrême gauche votre serviteur) et, en bas, Victor Smetacek et Paul Tréguer recevant une sorte de diplôme honoris causa.

Il est toujours délicat de choisir dans ses souvenirs les plus beaux paysages, la plus belle émotion. Mais voir le *Polarstern* progresser lentement dans le pack avec le bruit de la glace brisée et les manchots courant de part et d'autre de l'étrave en fait sans conteste partie. Mais nous n'avions guère le temps d'aller sur le pont car une telle mission nécessite une vigilance constante. Michel Panouse et moi étions chargés du dosage de la chlorophylle *a* dont nous affichions immédiatement les résultats tant il s'agit d'une donnée-clef. Nous eûmes ainsi le plaisir d'intituler un graphique que nous affichâmes « la mort du bloom ». Quelle signification donner à ce titre qui a toutes les raisons de vous laisser froid ? Dans pas mal de régions de l'océan Antarctique, et c'est le cas en mer de Weddell, le réseau trophique est plutôt une chaîne alimentaire simple diatomées → krill² → baleines. En arrivant un matin en station, nous constatâmes, grâce aux mesures de chlorophylle, que nous étions en présence d'une concentration importante de phytoplancton, en l'occurrence des diatomées. Cette floraison de

² Nom générique d'origine norvégienne de petits crustacés d'eaux froides appartenant à l'ordre des Euphausiacés. Vivant en essaims pouvant s'étendre sur 450 kilomètres carrés, il s'agirait des animaux présentant, après les crustacés copépodes, eux aussi planctoniques, la plus forte biomasse de la planète.

microalgues (on utilise fréquemment le terme anglais de *bloom*) allait s'évanouir en quelques heures, consommée par un essaim de krill, de petits euphausiacées portant le doux nom de *Euphausia superba*.

Une ultime satisfaction : la campagne Keops2 de 2011

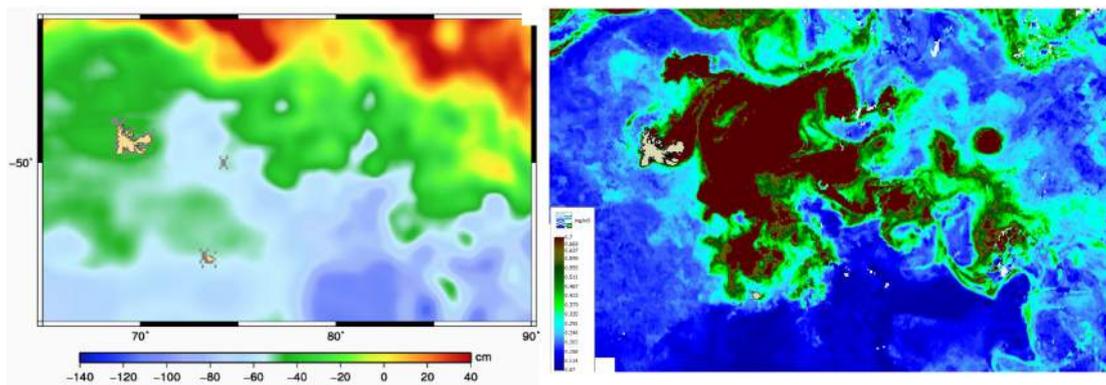
Sur la lancée des deux premières campagnes *Antiprod* dans le secteur indien de l'océan Austral, deux questions restaient en suspens. La première était de déterminer le « chaînon manquant » pour expliquer la faible production des eaux entre Kerguelen et le continent antarctique. La seconde était d'examiner si, dans cette même aire géographique, il y avait, à certaines périodes de l'année et dans certains sites, des floraisons planctoniques. La mission *Apsara II/Antiprod III* en 1984, dirigée par mon élève Michel Fiala fut suivie de quatre campagnes *Antares* en 1993, 1994, 1995 et 1999 visant toutes cette double quête.

Manque de chance ? Mauvaise intuition ? Faiblesse de l'approche par télédétection ? Difficulté d'obtenir des campagnes à d'autres époques de l'année qu'en plein été austral ? Toujours est-il qu'il fallut attendre l'amélioration de la qualité des images satellitaires dans les hautes latitudes pour la détermination des teneurs en chlorophylle *a* avant d'observer enfin une vaste zone de haute production au sud-est de Kerguelen, là où nous n'étions jamais allé. Dans les années 2000, les chercheurs qui lanceront le programme *Keops* (Kerguelen : Étude comparée de l'Océan et du Plateau dans les eaux de Surface), la plupart de nos anciens collègues ou élèves, à force d'analyser les images couleur de la mer découvrirent l'existence de floraisons au sud-est de Kerguelen. Ce panache avait pourtant été prospecté pour la première fois lors de la campagne *Antares 3* qui se déroulait, enfin pourrait-on dire, durant le printemps austral, période classiquement favorable aux floraisons dans toutes les mers du globe. Avec *Keops 1*, en 2005, preuve était faite de l'existence d'une floraison au sud-est de Kerguelen grâce à un apport continu et naturel de fer aux eaux de surface. Ce fer, l'élément manquant au puzzle de la production primaire, provient des eaux profondes qui s'enrichissent en fer au contact du plateau des Kerguelen. Cette fertilisation qui enrichit aussi les eaux en silicium est très favorable aux diatomées à qui ce dernier élément est indispensable pour construire leur squelette.



59 *Le Marion Dufresne 2, lancé en 1995, est long de 120 mètres.*

Appartenant aux Taaf, avec comme port d'attache La Réunion, il assure la logistique des bases australes françaises ainsi que des campagnes océanographiques pour l'Institut Paul Émile Victor principalement dans le sud de l'océan Indien.



44

60 Zone océanique au large de Kerguelen le 15 novembre 2011 sur deux vues satellitaires de la topographie dynamique (gauche) et de la couleur de l'océan (droite).

L'image générale est très similaire entre la hauteur de l'océan et la teneur en chlorophylle distribuée en de nombreux tourbillons à l'est de Kerguelen. Il y a une trentaine d'années, les océanographes, pour approcher une telle stratégie, réalisaient au préalable au prix de précieux jours de mer, une laborieuse couverture géographique multiparamétrique de surface de manière à choisir les sites d'étude : toute une époque !

La campagne *Keops 2*, du 8 octobre au 30 novembre 2011 à bord du nouveau *Marion Dufresne* (Figure 59), a encore été plus loin car elle s'est appuyée sur des données altimétriques (mesure de la hauteur de la mer par rapport à un référentiel) pour prédire l'évolution de la floraison et positionner ainsi, au jour le jour, les stations d'étude (Figure 60). L'avantage du radar altimétrique est d'être insensible à la couverture nuageuse alors que celle-ci nuit aux mesures de la couleur de la mer. En faisant du phytoplancton ou de la productivité primaire des variables au même titre que la température ou la salinité, les modèles utilisés devraient permettre de prédire les floraisons planctoniques dans n'importe quelle zone de l'océan. Je ne peux que me réjouir de ce fil invisible qui relie *Antiprod I* en 1977 à *Keops 2* en 2011 car cela valide totalement le choix du secteur indien de l'océan austral et l'approche pluridisciplinaire que j'avais alors faits. Un regret cependant. N'eut-il pas été logique que le Laboratoire Arago, maître d'œuvre de *Keops*, m'invite à quelques réunions préparatoires en raison de ma compétence dans ce domaine et...de ma proximité géographique ? Mais la vie est ainsi faite et l'oubli des anciens très rapide.