

Questions des enseignants sur la faune benthique.

Préambule

Le programme REVOLTA travaille sur fond d'inventaire de la faune marine benthique autour de l'Antarctique, et tout particulièrement ici en Terre Adélie. « Inventaire » signifie caractériser les espèces que l'on trouve, décrire de nouvelles espèces. C'est la toute première activité propre à l'Histoire naturelle (voir annexe 1). Il s'agit de caractériser ce qu'il y a, prérequis pour savoir comment cela a évolué, comment la faune se structure et comment elle est susceptible de changer. Cet inventaire sert donc ensuite à répondre à des questions scientifiques en systématique, en évolution, en physiologie, en écologie, en conservation de la biodiversité.

REVOLTA (voir annexe 2), en quelques mots, signifie : « Ressources Écologiques et Valorisation par un Observatoire à Long terme en Terre Adélie ». Le programme est dans sa quatrième année et se déploie en quatre points :

- inventaire de la faune marine benthique, en lien avec les collections nationales d'Histoire naturelle ;
- étude de l'évolution passée de cette faune ;
- à partir de l'inventaire, étude de la structuration des communautés d'espèces sur le fond ;
- production de données écologiques : réseau trophique, étude des recrutements, traits d'histoire de vie pour certaines espèces cibles.

Les volets 1 et 3 établissent un point de référence de l'état de la biodiversité qui sera requis lors de la mise en place d'un observatoire à long terme en Terre Adélie, et peut-être d'une aire marine protégée.

Un programme fondé sur un inventaire est forcément un travail de large spectre et de longue haleine, et il est généralement mal compris, à une époque où le financement de la recherche se pratique sur des délais de deux à quatre ans, surtout si les décideurs travaillent dans des sciences qui disposent de lois (questions résolues par le moyen des lois de la physique et de chimie), ou travaillent sur modèles (climatologie, une certaine écologie, par exemple). Cette difficulté est vraie pour l'histoire naturelle en général, qui comprend beaucoup de sciences à longue rémanence, comme la systématique ou l'anatomie (pour simplifier : les articles sortent longtemps après la phase de terrain, et sont cités longtemps).

Lorsqu'on déploie des moyens à la mer, et tout particulièrement des moyens de collecte à large spectre (chaluts, filets trémails, bennes, etc.), on ne rejette pas à la mer ce que l'on a remonté sous prétexte que tel ou tel échantillon ne répond pas à la question pointue du chercheur qui mène les opérations. Les prélèvements irriguent les besoins d'un réseau international de collègues qui posent des questions scientifiques diverses. En gros, tant que possible, on essaie de ne pas gâcher. Après exploitation scientifique, les spécimens collectés rejoindront les collections d'histoire naturelle. Les prélèvements par des plongeurs, en revanche, peuvent être plus ciblés, quoique la logique reste la même : équiper une plongée et en assurer la sécurité est une entreprise logistique lourde ; ce qui signifie que l'on tentera d'en maximiser les bénéfices. Ainsi le programme REVOLTA comporte un « patchwork » d'aspects dont le sens s'inscrit dans ses objectifs et dans les contraintes matérielles du terrain.

Question 1 : Peut-on disposer de photos d'animaux prélevés avec leur nom et leur groupe ?

Voir les fiches faunes. Ces fiches sont faites pour donner à voir des espèces, pour servir éventuellement une séance de classification, et signaler les groupes plus diversifiés en antarctique qu'ailleurs (bryozoaires, pycnogonides, pancrustacés isopodes, spongiaires, tuniciers), les groupes aussi diversifiés ici qu'ailleurs (annélides polychètes, pancrustacés amphipodes, échinodermes) et les groupes moins diversifiés ici qu'ailleurs (mollusques, pancrustacés décapodes, poissons téléostéens, oiseaux, mammifères).

Question 2 : Quels sont les types d'organismes suivis, et les paramètres mesurés en fonction des organismes ?

Cette année, compte tenu des possibilités laissées par la glace persistante et des moyens techniques mis à disposition, les suivis sont réalisés sur :

2.1. Les étoiles de mer, notamment celles des genres *Odontaster* et *Diplasterias*. Une équipe de collègues belges (Philippe Dubois) utilise les étoiles de mer comme organismes-clés des écosystèmes. Il existe des bases de données internationales qui cartographient la présence des espèces dans l'océan austral, et qui corrélient ces présences à des paramètres physico-chimiques. L'idée est de faire des cartes de répartition des espèces non seulement précises, mais aussi prédictives. Le but est de prédire non seulement les endroits où elles pourraient être, mais aussi les répartitions futures si l'environnement venait à changer. L'idée est que si l'on cartographie bien un certain nombre d'étoiles de mer, c'est à travers elles un écosystème qu'on cartographie. Pour que le modèle soit précis, il faut le contraindre par des paramètres physiologiques, ou plus exactement des traits d'histoire de vie (par exemple vitesse de croissance, cycle de reproduction) qu'il s'agit ici de caractériser.



Astérides du genre *Odontaster* (gauche, grand exemplaire de 22 cm) et *Diplasterias* (à droite, 7,5 cm)

Les prélèvements qui sont faits ici sont donc destinés à mieux connaître les traits d'histoire de vie de ces espèces. Les individus sont photographiés, pesés, mesurés, puis disséqués. On extrait les gonades qui sont pesées et mises en formol pour de futures études d'histologie (notamment pour caractériser leur stade de développement), on extrait le système digestif et son contenu, lesquels seront également pesés et conservés (congelés) pour analyse. On pèse l'animal à nouveau sans ces organes et sans l'eau de mer présente dans le système aquifère (réseau d'eau de mer qui active les pieds des échinodermes). Ces prélèvements se font ici pour la première fois, mais l'équipe concernée les a déjà faits ailleurs en Antarctique, notamment en mer de Ross. Marc, Anouchka et Mélyne mènent ces prélèvements à partir d'individus capturés grâce à la plongée.



Les podias (ici sur *Odontaster*) des échinodermes sont des petits pieds à ventouse activés par un réseau d'eau de mer, le système aquifère.

2.2. Les crinoïdes : c'est le groupe zoologique dont Marc Eléaume est spécialiste. Depuis dix ans, il prélève des individus de diverses espèces, notamment afin d'échantillonner des populations de *Promachocrinus kerguelensis*, espèce largement répartie autour de l'Antarctique mais qui pourrait recèler en réalité plusieurs espèces cachées. Il s'agit ici d'études de taxonomie et de biogéographie. Marc s'intéresse également aux unicellulaires ciliés susceptibles d'être présents dans l'estomac de ces crinoïdes. Découverts chez une autre espèce tempérée, *Antedon bifida*, Marc voudrait mettre en évidence leur présence chez *P. kerguelensis* et les caractériser. Pour ce faire il faut disséquer le tegmen du crinoïde, c'est-à-dire la partie qui contient le tractus intestinal, l'ouvrir et observer à la loupe le contenu du tractus. Si des ciliés y sont présents, il faudra les fixer à l'éthanol pour le séquençage et les fixer avec d'autres méthodes pour la description morphologique. Marc voudrait savoir si les ciliés des espèces tempérées et des espèces antarctiques, s'ils existent, appartiennent à des groupes taxonomiques proches ou non et s'il est possible de reconstruire l'histoire de cette symbiose. Pour le moment, aucune d'entre elles n'a été capturée.



Crinoïde du genre *Promachocrinus* (40 cm)

2.3. Les némerthes : L'équipe de Loïc Michel, en Belgique, étudie les réseaux trophiques depuis quatre années : qui mange qui ? Pour cela, les tissus des organismes sont prélevés et plus tard dans des laboratoires ce seront les rapports d'isotopes stables du carbone, du soufre et de l'azote qui traduiront ce qu'un individu a mangé. En gros, le rapport entre le carbone 12 et le carbone 13 indique le milieu de vie, et le rapport entre l'azote 14 et l'azote 15 indique le niveau dans le réseau trophique (pour simplifier, plus on est en bout de chaîne et plus on présente d'azote 15). Les prélèvements concerneront ici aussi les oursins *Sterechinus*, les étoiles de mer *Odontaster*, *Diplasterias* et *Perknaster*, les némerthes (notamment *Parborlasia*) et le mollusque bivalve *Adamusium*. L'idée est de faire des prélèvements lors d'une année sans glace de mer estivale, et de les comparer aux années avec glace estivale (comme cette année), afin de voir dans quelle mesure les consommateurs sont capables de changer de ressource.



Némerte du genre *Parborlasia* (70 cm), et coquille du mollusque bivalve du genre *Adamusium* (7 cm)

2.4. Si nous avions pu sortir le bateau de pêche au chalut (le *Seatruck*), nous aurions pu terminer le plan d'échantillonnage de la faune benthique à large spectre déjà entamé depuis 7 ans (il y a eu un *Revolta I* entre 2009 et 2013 et un *Revolta II* entre 2014 et 2017). Il restait quelques points à faire. Puis nous aurions pu terminer les transects du robot sous-marin (le ROV, Remotely Operated Vehicle) en plusieurs points précis. En nous fournissant des images sous-marines sur des lignes droites prédéfinies, l'exploitation ultérieure des images permet

des analyses statistiques fines des assemblages d'espèces. En effet, au fond de la mer les espèces ne sont pas toutes mélangées n'importe comment. Il existe des assemblages préférentiels appelés communautés benthiques. Enfin, et surtout, nous aurions pu affiner la carte bathymétrique du fond grâce à un sonar.



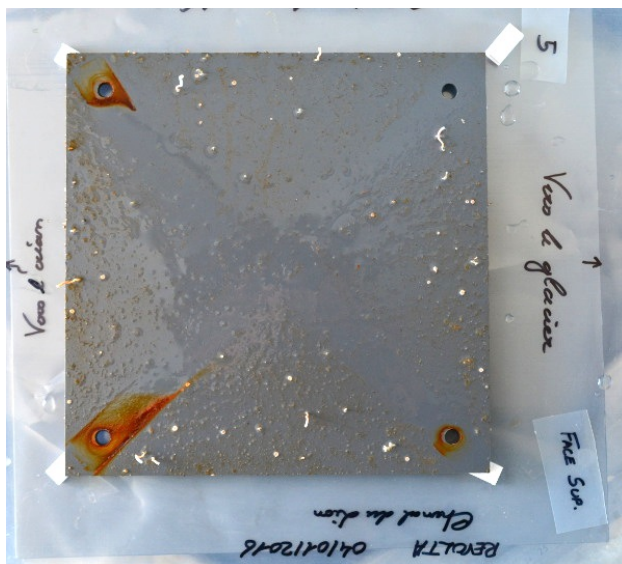
Le *Seatruck* est une barge à fond plat d'où divers engins de pêche peuvent être déployés.



Opérations de chalutage à bord du Seatruck en 2012

2.5. Les plaques de recrutement. Les plongeurs cette année vont tenter de récupérer les plaques qui ont été rivées au fond, entre l'île des pétrels et la piste du Lion, et de l'autre côté de la piste du Lion. Le but est d'étudier le « recrutement » des larves des organismes fixés : sur une surface libre, qui se fixe en premier ? Quelle est la succession des arrivées ? Y a-t-il

des remplacements ? Mais surtout, quelle est la dynamique de recrutement compte tenu de l'écosystème local ? Ce programme a démarré il y a quatre ans, et les plaques en sont actuellement à t + 3 ans et t + 4 ans. Une plaque similaire ayant déjà été ramenée à Paris, elle ne montrait pas grand-chose de visible à l'œil nu ; mais c'est par une approche moléculaire que les organismes, au début microscopiques ou infra-millimétriques, seront identifiés. Il s'agit alors de caractériser pour tous les organismes mélangés un gène (en général celui de la cytochrome oxydase I) ou plusieurs, qui sont choisis parce que leurs séquences sont répertoriées pour un très grand nombre d'espèces et de groupes zoologiques dans les bases de données internationales dont le but est de relier des séquences typiques des espèces à des noms d'espèces fiables. C'est le système du « *molecular barcoding* » (ou code barre moléculaire) par lequel on peut assigner des individus biologiques à des espèces par leur séquence d'ADN, ou seulement détecter leur présence.



Question 3 : Quels sont les paramètres sélectionnés pour une étude de l'impact éventuel du réchauffement climatique sur ces organismes ? Depuis quand ce suivi est-il réalisé ?

Une étude menée par des chercheurs belges vise à mesurer sur les oursins du genre *Sterechinus* l'équilibre acide-base du liquide coelomique (liquide dans l'une des principales cavités du corps). Cet équilibre est susceptible d'être modifié par l'acidification des océans et par le changement des températures. Les expériences consistent à maintenir les oursins dans des conditions de température et d'acidité contrôlées et d'étudier les réponses physiologiques des oursins ; en quelque sorte leur résilience. L'équipe belge est venue l'an passé faire ses expériences ici dans le cadre du programme REVOLTA ; cette année ce programme ne sera pas réalisé ici mais à Kerguelen.



Oursin du genre *Sterechinus* (face orale) pêché le 27 janvier 2017

Le programme REVOLTA aura contribué à caractériser la faune benthique présente à Dumont d'Urville, ainsi que sa structuration. Ces données sont requises pour la mise en place d'un observatoire à long terme de la biodiversité à Dumont d'Urville ; le suivi de la biodiversité d'une **aire marine protégée** prévue dans la région en sera d'autant facilité. On ne protège pas une aire de biodiversité sans savoir ce qu'il y a.

Annexe I : Qu'est-ce que l'histoire naturelle ?

L'histoire naturelle a été oubliée dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle. À tel point que peu de biologistes aujourd'hui sont capables de dire ce qu'elle est. Les décideurs, et les scientifiques eux-mêmes, ne lui donnent plus d'argent. REVOLTA est un programme d'Histoire naturelle. Pour obtenir de l'argent par l'Agence Nationale pour la Recherche, le programme n'a pas mis en avant son aspect « histoire naturelle », ni même son aspect « systématique » (science des classifications), car il n'aurait pas été financé. La stratégie a consisté à mettre en avant une question d'évolution (la question de la détection des « radiations évolutives » passées ayant donné lieu à des « bouquets d'espèces ») qui, pour être résolue, demandait une forte participation de naturalistes. L'Histoire naturelle est occultée dans les formations quel que soit le niveau scolaire, sauf sans doute à l'occasion du renouveau pédagogique sur les classifications au premier degré et au collège, puis dans les préparations à l'agrégation de SVT. Le plus souvent, on en fait alors sans même savoir qu'on en fait.

L'histoire naturelle a été – et est toujours – une méthode d'enquête, d'inventaire, de description et de classification du monde naturel, « tout ce qui est », humains compris. À ses débuts, il existait une histoire naturelle fixiste au siècle de Linné (XVIII^{ème} siècle). S'ajouteront progressivement à ces aspects initiaux la prise en compte de l'histoire (au sens moderne du terme) des objets dans le temps long : c'est aujourd'hui la science de l'organisation de la diversité du réel, faite d'objets résultant d'une histoire particulière. **L'histoire naturelle étudie les choses dans leur diversité, leur temporalité et leur historicité.** Elle s'intéresse aux lois, certes, mais surtout à la singularité des objets chargés d'histoire et aux régularités que donne à voir la moyenne des singularités. Elle s'intéresse au patrimoine naturel commun de l'humanité, celle-ci incluse.

L'histoire naturelle moderne sert une fédération de disciplines, et en cela elle relève d'une « méta-science » de la diversité et de l'histoire des objets, qui en fait une discipline au sens institutionnel du terme. Autrement dit, toute science (par exemple écologie, anatomie, géologie...) peut identifier en son sein un aspect « histoire naturelle ». Aujourd'hui elle s'applique à tous les niveaux d'organisation de la matière, de la minéralogie et des données génétiques jusqu'aux écosystèmes et aux planètes. Elle utilise pour cela les technologies les plus avancées et les plus innovantes.

Fait largement ignoré aujourd'hui, y compris par la majorité des biologistes, l'histoire naturelle procède d'une **méthode particulière** qu'on ne trouve pas ailleurs : l'histoire naturelle opère par **comparaison d'objets**, laquelle commence avec trois objets. Objets est ici à prendre au sens large : outils lithiques, spécimens, individus biologiques, espèces, météorites, crânes, artefacts humains, langues, symboles, séquences d'ADN, etc. Cette comparaison se distingue d'autres comparaisons utilisées ailleurs en science (par exemple la comparaison d'une situation expérimentale avec ses situations témoins). Dans une situation expérimentale classique, les réactions d'un système d'interactions dans une situation contrôlée testée sont comparées aux réactions d'un système équivalent dans une autre situation, et/ou à un système témoin. De ces comparaisons découleront des déductions. Dans une approche par modélisation, les prédictions du modèle sont comparées aux données issues du terrain. En recherche par immersion, l'observateur s'immerge au sein du phénomène à expliquer et contribue même à sa modification. Dans ce dernier cas, la

comparaison n'est pas vraiment convoquée, sauf à comparer un état antérieur à un état postérieur. En histoire naturelle, ce sont des *objets* qui sont comparés, en synchronie. Compte tenu du fait que c'est l'histoire qui va rendre compte des différences ou des ressemblances entre les objets, l'étiologie ne s'inscrit pas dans le temps de vie ou dans les processus qui rendent compte de la dynamique de l'objet lui-même, mais dans une trame historique d'objets semblables : il s'agit alors de paléo-étiologie, ou palétiologie. D'ailleurs, les objets peuvent également être comparés en diachronie, par exemple un organisme actuel et un fossile proche. Ce qui explique les objets ne sont donc pas les processus qui pourraient présider à leur changement, mais une rétro-diction des conditions historiques qui leur ont donné naissance.

Cette double caractéristique de comparaison d'objets tournée vers un régime d'explication historien nourrit et entretient aujourd'hui **un lien original entre le terrain, le laboratoire de recherche et les collections d'objets et de spécimens**. C'est pourquoi il existe des collections de référence dans les musées d'histoire naturelle. Chaque objet portant la trace d'une historicité propre, chaque objet n'ayant existé qu'une seule fois, il faut en référencer un certain nombre d'entre eux dans des collections de manière à ce que les noms utilisés pour désigner des classes d'objets (par exemple des espèces) puissent s'ancrer dans le réel grâce à un référentiel porte-nom. Sans quoi, très vite les usages langagiers divergent et on ne sait plus de quoi on parle. Ou bien les organismes évoluent (organismes à temps de génération court) ou disparaissent, et l'on ne sait plus de quoi parlait tel auteur d'il y a deux siècles.



Annexe II : REVOLTA, en plus de mots :

REVOLTA signifie : « Ressources Écologiques et Valorisation par un Observatoire à Long terme en Terre Adélie ». Depuis 2009, le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) s'implique fortement dans l'étude des assemblages d'espèces du plateau continental antarctique, qui vivent sur le fond (on parle d'assemblages benthiques) de la Terre-Adélie. À travers le programme REVOLTA co-financé par l'IPEV et le MNHN, les chercheurs du MNHN ont débuté la description exhaustive de la mégafaune benthique de l'archipel de Pointe Géologie. Cet archipel, découvert en 1840 par Jules Dumont d'Urville, est situé dans une zone qui produit 25% de l'eau de fond antarctique si essentielle au maintien de la circulation thermohaline. La partie est de l'Antarctique où se situe la station polaire française Dumont d'Urville demeure peu altérée par les changements climatiques qui, par ailleurs, ont profondément affecté la péninsule antarctique.

Le MNHN travaille sur l'inventaire de la faune et sur son évolution passée. Le cours de l'histoire des êtres vivants n'est pas un long fleuve tranquille. Il existe des extinctions rapides et massives mais il existe aussi des événements de diversifications généalogiques massives, les « radiations évolutives », produisant de nombreuses espèces qu'on ne trouve que là et très diversifiées sur le plan écologique. Ces événements reconstitués permettent de comprendre la mise en place des faunes marines sur le plateau continental au cours des dernières quarante millions d'années – c'est-à-dire leur évolution. En même temps, le programme contribue activement à la description d'un point de référence de l'état de la biodiversité littorale antarctique, prérequis pour la mise en place d'un observatoire de la biodiversité benthique. Grâce à un complément d'études écologiques en cours, il sera demain possible de comprendre les effets des variations inter-saisonniers et inter-annuelles sur ces faunes et de distinguer ces effets de ceux causés par les transformations du climat.

Ainsi, le programme REVOLTA a eu une première existence autour de l'étude des « bouffées » d'évolution rapide de la faune benthique sur le plateau continental antarctique depuis 40 millions d'années. Pour reconnaître de tels « bouquets » d'espèces (*species flocks*), de tels feux d'artifice de l'évolution, il faut cinq critères dont l'un exige de savoir exactement ce qu'il y a là, au fond. Un projet qui exige un savoir-faire naturaliste, de zoologiste systématicien. Ce projet continue, car suite aux séances d'identification des spécimens collectés à Dumont d'Urville réalisées à la station marine du muséum national d'histoire naturelle à Concarneau, les chercheurs de REVOLTA sont en mesure de conduire l'investigation sur les bouffées d'espèces sur d'autres groupes zoologiques non encore traités dans des articles de synthèse.

Le programme REVOLTA s'est ensuite poursuivi par une approche structurale de la répartition spatiale des communautés d'espèces benthiques, et par une approche fonctionnaliste des écosystèmes, avec étude de réseaux trophiques, de successions écologiques, et étude de traits d'histoire de vie pour des espèces cibles. Selon les collaborateurs et les espèces-cibles, le programme comprend :

- Inventaire systématique : caractériser ce qu'il y a ;
- Sur la base de ce dernier, phylogénie et phylogéographie péri-antarctique ;
- Génétique des populations péri-antarctique pour des espèces ciblées ;

- Caractérisation des assemblages benthiques d'espèces, sachant que les espèces ne se répartissent pas uniformément ;
- Caractérisation physique des habitats benthiques (carte des sédiments, bathymétrie précise, température, salinité), facteurs abiotiques qui influencent les assemblages précédents ;
- Succession écologique des assemblages benthiques ;
- Contribution à l'étude des réseaux trophiques benthiques ;
- Contribution à l'étude de traits d'histoire de vie pour des espèces ciblées ;
- Eco-régionalisation.

Ces aspects s'inscrivent dans un temps moins long, et s'attachent d'avantage au fonctionnement ici et maintenant, dans le but notamment de mettre en place les paramètres d'observation d'un observatoire de long terme en terre Adélie. L'ensemble de la démarche produit des données qui seront requises pour la gestion d'une future aire marine protégée, déjà définie.

Equipe REVOLTA en 2017 : Jérôme Fournier, Anouchka Krygelmans-Sato et Marc Eléaume :



Équipe REVOLTA (partielle) de 2013 (gauche) et de 2012 (droite).

