



# Acidification de l'océan, l'autre problème du CO<sub>2</sub> : jusqu'où la vie résistera-t-elle ?

## Kongsfjord 2010 - Plongée dans le futur de l'océan arctique

Ce récit de l'expédition EPOCA dans le Kongsfjord, au large de Ny-Ålesund à moins de 1200 km du pôle Nord, s'adresse à tous, élèves, enseignants et grand public désireux de partager l'aventure d'une exploration scientifique sans précédent vers le futur de l'océan Arctique.

### Le submersible à voyager dans le temps

Il y a un peu de Jules Verne, d'Amundsen et de Darwin dans l'incroyable expérience que nous venons de mettre en route à Ny-Ålesund, ces derniers jours de mai 2010.

Le soleil tourne à 360° sans plus jamais se coucher, la neige fond, l'été arctique approche. Le fjord se remplit d'oiseaux migrateurs, voyageurs inlassables traversant des milliers de kilomètres pour trouver ici une nourriture abondante, tant l'océan grouille de vie. Le fleuron revient sans nul doute aux sternes arctiques, qui vont se faire bronzer en Antarctique lorsque vient l'hiver et reviennent ici chaque été après un voyage aller-retour de près de 40000 km - sans émettre un seul gramme de CO<sub>2</sub> d'origine fossile !

Entourés de ces grands migrateurs, nous sommes une

quarantaine de chercheurs européens installés à Ny-Ålesund pour tenter un voyage d'une toute autre nature : une exploration du futur dans ce milieu à jamais hostile, fascinant et mystérieux qu'est l'océan pour nous humains terrestres. En apparence, le fjord est indemne de toute empreinte humaine, et pourtant, à des milliers de kilomètres plus au sud, les déchets de CO<sub>2</sub> produits par des milliards d'humains diffusent dans toute l'atmosphère et pénètrent ici l'océan plus rapidement qu'ailleurs, en raison du froid. Au cœur des eaux les plus riches du monde, nous cherchons des réponses à une question obsédante : comment tout ce foisonnement de vie va-t-il supporter l'intoxication brutale de CO<sub>2</sub> que nous lui infligeons ?

Pour y répondre, voilà plus de cinq ans que nous imaginons, protétypions, redessinons, testons l'une des machines à réaction biologique parmi les plus audacieuses de l'histoire de l'océanographie : neuf „mésocosmes<sup>1</sup>„,

neuf colonnes d'eau de mer directement emprisonnées à l'intérieur du fjord et manipulables à loisir. De prime abord, l'expérience est d'une grande simplicité : de grands cylindres en plastique (2m de diamètre pour 15m de profondeur soit environ 55 m<sup>3</sup>) permettent d'isoler des colonnes d'eau en plein fjord et d'y augmenter artificiellement la concentration en CO<sub>2</sub> pour



Ny Alesund, station de recherche et implantation humaine la plus septentrionale au monde



1) ou „mondes de taille moyenne“, d'un taille aisément manipulable par des humains, et malgré tout déjà immense à l'échelle des millions de petits habitants que l'on veut étudier.

observer les conséquences sur les organismes vivants comme les algues et le plancton. Pour simuler les conditions prévues à différentes époques et en comparer les effets, nous augmentons progressivement la concentration en CO<sub>2</sub> d'un mésocosme à l'autre : en quelque sorte un véritable submersible à voyager dans le temps marin !

## Ny-Ålesund, point de départ des grandes explorations arctiques

Mais ce voyage vers le futur est une aventure humaine et scientifique à haut risque, dans la lignée des grandes explorations polaires - à l'image de Roald Amundsen envolé ici-même à bord du dirigeable Norge pour atteindre le pôle nord en 1926. Risque matériel, en raison de la fragilité des membranes de plastique : un iceberg sur une mauvaise trajectoire risque à tout moment de les briser - le fjord est surveillé aux jumelles 24 h sur 24 h - sans parler de ce que pourrait faire un ours un peu joueur... Défi logistique, pour rassembler ici les lourdes structures métalliques des mésocosmes, les équipes venues de toute l'Europe et même de Chine, et les laboratoires mobiles nécessaires au traitement des prélèvements qui vont être effectués durant 6 semaines. Risque humain enfin, certes incomparable aux périls auxquels s'exposaient les explorateurs des siècles passés, mais qui reste néanmoins à la mesure des règles de sécurité draconiennes imposées sur la base : interdiction de sortir du périmètre sans fusil, obligatoire même en mer pour tenir à distance les ours



*Un iceberg pourrait écraser nos précieux mésocosmes et détruire des années de travail en quelques secondes... Heureusement, il est facile de les détourner (photo Ulf Riebesell)*

polaires qui traversent parfois la base, combinaisons de survie intégrales en cas de chute dans l'eau à 1°C, déclamation d'une heure de retour pour toute sortie etc.

Cette fragilité humaine face aux forces de la nature est l'essence même des régions polaires, qui frappe peut-être le plus le voyageur arrivant à Ny-Ålesund. Tout nous rappelle que nous ne sommes ici que de simples intrus tolérés par les véritables maîtres des lieux : rennes et renards se promènent nonchalamment entre les maisons, et les sternes arrivent comme chaque année le 1er juin, avec une précision horlogère sidérante, pour nicher jusque sur les chemins. Gare à qui les approche : loin de fuir, elles ripostent illico par des cris stridents et des coups de bec très agressifs !

Derrière nous, toutes ces années de préparatifs, plusieurs tests en grandeur nature dans la Baltique, des mois et des mois de préparatifs logistiques... puis de longues semaines d'emballage et de traversée, et enfin l'arrivée à Ny-Ålesund. Ce dimanche 30 mai, la grue de l'Esperanza, bateau de Greenpeace venu prêter main forte, soulève les immenses structures métalliques des mésocosmes et les dépose une à une soigneusement dans l'eau.

Les longs cylindres en plastiques au sein desquels l'océan va être isolé et manipulé sont lentement déployés sur toute leur profondeur, enfermant au passage les myriades de petits organismes en suspension dans l'eau - un filet équipé de mailles de 3 mm empêchant tout corps de taille supérieure d'y pénétrer : ils seraient en nombre insuffisant dans ce volume pour être étudiés de manière statistiquement significative. Puis nous plongeons à leur base pour les refermer : être océanographe signifie parfois travailler de longues heures sous l'eau ! Nous replongerons plusieurs fois pour contrôler l'étanchéité des mésocosmes, et malgré nos combinaisons ultra-épaisses, nous ressortons souvent frigorifiés de ces séjours dans l'eau glaciale. En ce début juin 2010, un mélange de fatigue, de tension et de jubilation se lit sur les visages - exactement comme le jour du lancement d'une fusée : sous le soleil de minuit, radieux, les mésocosmes mouillent paisiblement dans le Kongsfjord. Tout est enfin en place pour mettre la machine en route, manipuler l'eau pour simuler les concentrations en CO<sub>2</sub> tout au long du 21ème siècle, bref lancer l'expérience à remonter vers le futur !



28 mai 2010 - la grue de l'Esperanza immerge précautionneusement les mésocosmes dans le Kongsfjord (photo Martin Sperling)



Les longues membranes de plastique ont été déployées dans l'eau: l'expérience peut commencer (photo Yves Gladu © Georama TV)

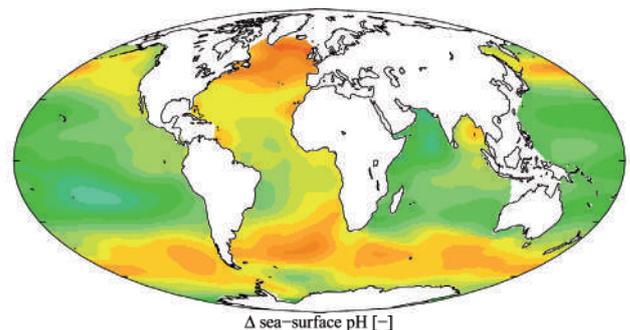
## Les mésocosmes, nos gigantesques „tubes à essai“ en plein fjord

Des „floraisons planctoniques“ de grande ampleur<sup>2</sup> sont à l'origine de la prolifération de vie dans l'océan arctique : au printemps, après de longs mois d'hiver dans l'obscurité, la banquise fond et c'est une véritable éruption biologique. Le plancton végétal (ou phytoplancton - algues microscopiques) se développe brutalement par photosynthèse, permettant au plancton animal (ou zooplancton) de se nourrir et se multiplier à son tour. Tout ce petit monde est à la base de la chaîne alimentaire dans l'océan : ils sont en quelque sorte la végétation et les insectes de l'océan, matière première dont se nourrissent coquillages, crustacés, poissons, coraux, mammifères marins, oiseaux etc.

Depuis 25 millions d'années, tous ces organismes sont habitués à vivre dans une eau de mer dont le pH est à peu près constant - autour de 8,2. On sait depuis longtemps que tout le CO<sub>2</sub> que nous rejetons dans l'atmosphère par la déforestation et la combustion du pétrole et du charbon, en plus d'augmenter l'effet de serre et de réchauffer le climat, entraîne également une baisse du pH de l'eau de mer : près de 30% des nos émissions de CO<sub>2</sub> sont absorbées par l'océan et réagissent immédiatement avec l'eau, entraînant inéluctablement son acidification ; ainsi 0,1 unités de pH ont déjà été perdues depuis le début de l'ère industrielle.

Mais cela ne fait qu'une quinzaine d'années que l'on s'est aperçu que cette acidification pouvait perturber les or-

ganismes vivant dans l'eau : la baisse du pH entraîne une baisse de la quantité de carbonates dont un grand nombre d'entre eux, les organismes „calcificateurs“, ont besoin pour construire leur structure corporelle (coquille, squelette, corail...). Et au-delà d'un certain seuil, l'eau devient corrosive et potentiellement capable de dissoudre leur coquille. Le problème, c'est que ce risque est imminent dans l'Arctique, où les eaux glacées accélèrent l'absorption du CO<sub>2</sub>: dès 2016, 10% de l'océan arctique deviendra corrosif pour l'aragonite, l'une des principales formes de carbonates en jeu. En 2050, si le rythme actuel des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> se poursuit, plus de la moitié de l'océan arctique sera corrosif pour l'aragonite.



En moyenne, le pH de l'eau de mer a diminué de 0.1 unités depuis le début de la révolution industrielle, ce qui correspond à une augmentation de 30% de l'acidité (l'échelle du pH est logarithmique, comme par exemple l'échelle de Richter pour les tremblements de terre). Cette acidification est plus intense dans les régions polaires où le froid accentue l'absorption du CO<sub>2</sub> par l'eau de mer (source Global Ocean Data Analysis Project).

2) Dans l'océan arctique, le cycle de floraison concentre sur à peine 3 ou 4 semaines une production de matière organique très importante et très rapide, comparable à ce que ferait une saison complète de croissance végétale sur la terre ferme. Déclenchée par la remontée des températures et l'arrivée de la lumière, cette floraison est liée à l'abondance en sels nutritifs issus de la décomposition et reminéralisation de la matière organique produite lors des saisons précédentes, ou apportée par les courants et les limons des fleuves.



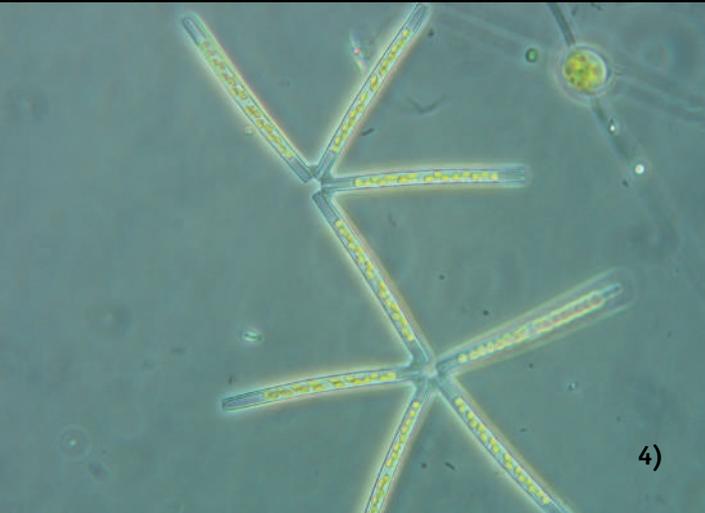
1)



2)



3)



4)

## ... quelques espèces de plancton

Y aura-t-il réellement dissolution donc fragilisation des organismes touchés, ou verra-t-on apparaître des stratégies d'adaptation? Comment les fonctions vitales des espèces concernées (reproduction, croissance, alimentation, respiration...) seront-elles affectées? Certaines espèces vont-elles disparaître, et quelles seront les conséquences sur le reste de la chaîne alimentaire?

Répondre à ces questions brûlantes est un défi colossal pour la science : impossible de reconstituer en laboratoire l'intégralité de l'écosystème marin et de tester ses capacités de résistance sur de telles échelles de temps. Notre quête permanente est donc de rechercher des conditions d'expérimentation se rapprochant le plus possible des conditions naturelles. Jusqu'à présent, les expériences menées en laboratoire, sur des espèces artificiellement isolées de leur milieu d'origine, montrent que l'augmentation du pH entraîne effectivement une baisse de la calcification et de la croissance sur la majorité des espèces étudiées.

Grâce à nos mésocosmes, nous allons à présent étudier in situ - et non pas dans une éprouvette - les conséquences de la baisse du pH à l'échelle de l'ensemble des espèces qui constituent la base de la chaîne alimentaire dans l'océan arctique : plancton, bactéries et virus. C'est donc un pas important vers une simulation de la nature, mais encore loin d'en refléter toute la complexité. Le plancton connaît une immense variété génétique, même à l'intérieur d'une même espèce, et il y a statistiquement toutes les chances pour que les groupes génétiques les plus abondants dans l'océan soient ceux que l'on enferme dans nos colonnes d'eau manipulée. D'autres groupes génétiques actuellement moins abondants sont-ils peut-être mieux armés face à un taux de  $\text{CO}_2$  élevé? De plus nous enrichissons l'air en quelques jours à peine alors qu'en réalité l'atmosphère prendra des décennies pour atteindre ces niveaux de  $\text{CO}_2$ . Malgré ces limites, et avec les réserves qu'elles imposeront, ce que les mésocosmes révéleront sur les espèces qui s'y trouvent piégées apportera des indications sans précédent sur leurs capacités de résistance à différents niveaux de  $\text{CO}_2$ .

### La manipulation

Pour enrichir l'eau en  $\text{CO}_2$ , nous rajoutons directement de l'eau saturée en  $\text{CO}_2$  à l'intérieur des mésocosmes. Pour la mélanger de manière homogène sur toute la hauteur de la colonne d'eau, nous l'injections lentement grâce à une

1) *Skeletonema costatum* 2) *Ciliat* 3) *Cavolinia longirostris* 4) *Thalassionema nitzschoides* 5) *Chaetoceros affinis* 6) *Limacina helicina* 7) *Ctenophora* 8) *Ditylum brightwellii* 9) *Polychaeta spionidae* 10) *Cavolinia inflexa*  
 Photos Annegret Stuhr (1, 2, 4, 5, 8) et Miriam Marquardt (7,9), IFM-GEO-MAR; Steeve Comeau (10), CNRS-LOV; Russ Hopcroft (3), Univ. Alaska

## piégées dans nos mésocosmes ...

« araignée » dont les pattes sont des dizaines de petits tuyaux de longueurs différentes, disposés en étoile, que l'on descend et remonte des dizaines de fois dans chaque mésocosme – un peu comme le hérisson d'un ramoneur à travers un conduit de cheminée !

Deux mésocosmes ne sont pas enrichis en CO<sub>2</sub><sup>3</sup>: ils vont servir de référence pour pouvoir rapporter aux évolutions naturelles les déviations observées à différentes concentrations dans les mésocosmes manipulés. Dans ces mésocosmes non enrichis au moment où commence l'expérience, la pression partielle de CO<sub>2</sub> est seulement de 170 µatm<sup>4</sup> - cela est bien inférieur à la concentration dans l'air (390) car la floraison planctonique naturelle a déjà eu lieu et a consommé une grande quantité du carbone disponible dans l'eau, fixé par photosynthèse (exactement comme le font les arbres en grandissant).

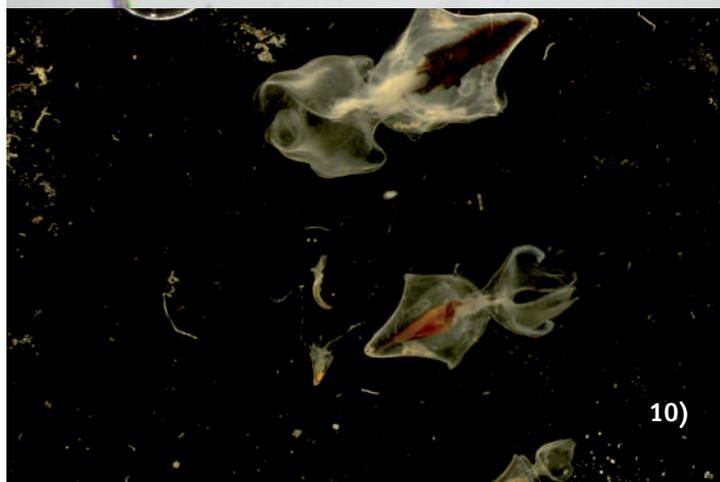
Le voyage en lui-même va donc comporter 7 étapes, correspondant aux différentes quantités de CO<sub>2</sub> ajoutées dans chacun des 7 autres mésocosmes:

- 280 µatm (niveau pré-industriel): ce mésocosme simulera la situation prédominante jusqu'au 18ème siècle
- 390: c'est le niveau actuel
- 560 (le double du niveau pré-industriel) correspond au niveau attendu entre 2025 et 2060 selon les scénarios d'émission de CO<sub>2</sub>
- 840 (triple du niveau pré-industriel) pourrait être atteint entre 2100 et 2120 si rien n'est fait pour renverser les tendances actuelles
- 1120 (quadruple) n'est en principe pas envisagé au cours du 21ème siècle
- les deux derniers mésocosmes seront portés à 1500 et 2000 µatm- des valeurs extrêmes que l'on ne devrait jamais atteindre, mais qui permettront de mieux comprendre certains processus physiologiques et de vérifier comment se poursuivent les tendances observées aux valeurs intermédiaires.

Pour pimenter le tout, on rajoute un petit espion dans la marmite : une larve de <sup>13</sup>C, 10 g par mésocosme. Cet isotope non radioactif du carbone, rare dans la nature, va se retrouver dans tous les organismes - un peu comme un colorant permettant de suivre dans toute la communauté

3) Ces mésocosmes de référence sont d'une importance cruciale pour l'interprétation des mesures qui seront faites dans les autres, c'est pourquoi ils sont dupliqués par sécurité, au cas où l'un d'eux soit perdu en cours de route.

4) L'unité µatm (micro-atmosphères), utilisée pour la pression partielle (la proportion) de CO<sub>2</sub> dans l'océan, est équivalente à l'unité ppm (parties par million) utilisées pour la concentration de ce même gaz dans l'atmosphère.



5)

6)

7)

8)

9)

10)

planctonique le parcours du CO<sub>2</sub> rajouté. Ce traceur permettra de distinguer, au sein des organismes prélevés dans les mésocosmes, leur croissance antérieure à la manipulation (non „colorée“ en <sup>13</sup>C) de celle intervenue sous l'effet de l'enrichissement en CO<sub>2</sub>.

Une fois l'enrichissement en CO<sub>2</sub> terminé, il ne nous reste plus qu'à fertiliser en versant un cocktail de sels nutritifs identique dans chaque mésocosme, et la machine est lancée : une nouvelle floraison planctonique est déclenchée, nous allons pouvoir analyser pendant 5 semaines les effets des différents niveaux d'enrichissements sur le plus grand nombre de paramètres possibles du métabolisme de nos petits cobayes piégés dans les mésocosmes: respiration, reproduction, croissance, calcification, décomposition...

## A terre : les laboratoires temporaires

Maintenant que la machine est lancée, les observations peuvent commencer.

Chaque jour, une armada de zodiacs défile autour des mésocosmes pour prélever des échantillons et les traiter aussitôt dans tout un fatras de laboratoires déployés quasiment sur chaque mètre carré disponible à Ny-Ålesund : c'est en quelque sorte le „QG à terre“ de notre submersible à voyager dans le futur !

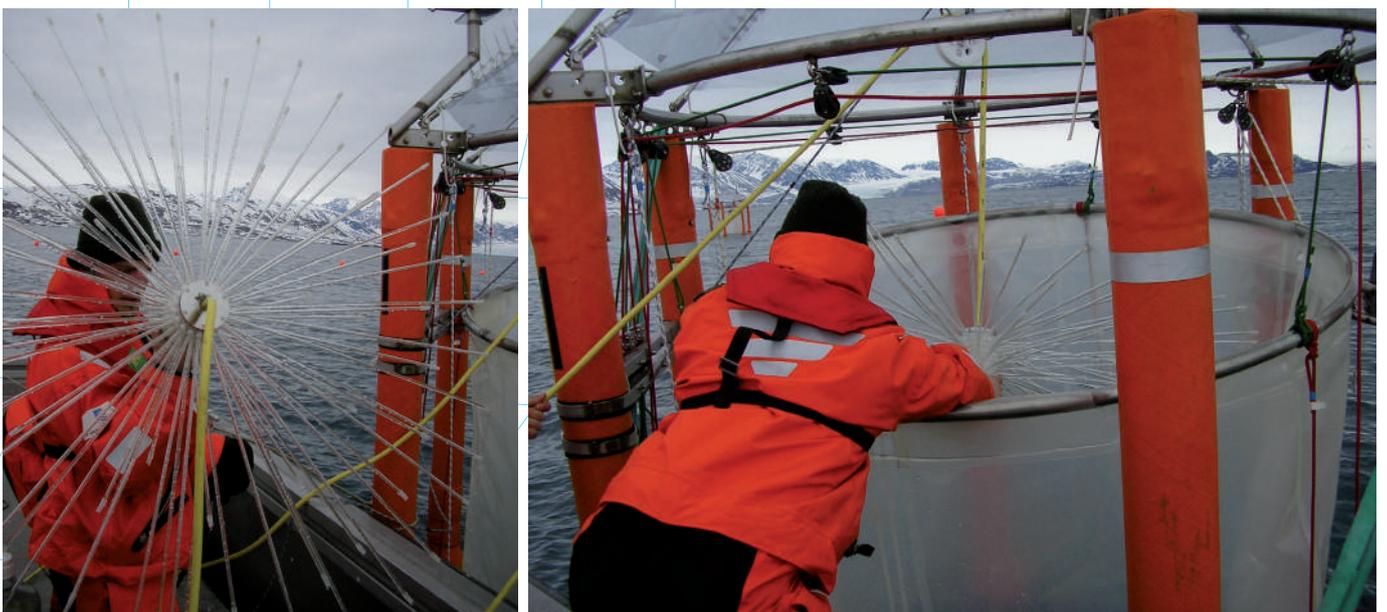
On s'intéresse essentiellement à deux grandes familles

d'observations:

1) l'évolution des « paramètres de base » physiques et biologiques, qui permettent de contrôler le bon déroulement de l'expérience et serviront de référence commune à toutes les autres observations :

- Volume de l'eau à l'intérieur des mésocosmes
- Température, salinité, oxygène
- CO<sub>2</sub>: dans l'eau + pertes dans l'air & à travers la membrane des mésocosmes
- pH et carbonates
- Sels nutritifs
- Composition, abondance et biomasse des organismes emprisonnés dans les mésocosmes
- Matière organique (carbone, azote, phosphore, silice... particulaire et dissous, en suspension ou tombés dans le piège à sédiments situés au fond des mésocosmes)
- Gaz liés à l'activité biologique

2) Les réactions spécifiques des espèces que nous voulons étudier. Pour les dénicher, nous passons patiemment des dizaines de litres d'échantillons à travers des filtres de plus en plus fins – des sortes de tamis qui retiennent les organismes en suspension dans l'eau en fonction de leur taille, depuis les virus jusqu'aux zooplancton visible à l'œil



L'„araignée“ nous permet d'injecter du CO<sub>2</sub>, du sel et des sels nutritifs dans les mésocosmes



*Bouteilles, boîtes, filtres et instruments de mesure de toutes sortes: la plupart des échantillons prélevés dans les mésocosmes sont traités immédiatement dans le hall du port de Ny Alesund*



*Analyse d'un prélèvement de sédiments*

nu. Pour certains, c'est la congélation immédiate à  $-80^{\circ}\text{C}$  pour un traitement ultérieur dans nos labos d'origine. D'autres, très fragiles, mais que l'on tient à observer vivants, nous obligent à réfrigérer les labos à la température à laquelle ils sont habitués... c'est à dire 1 degré Celsius ! Pour d'autres encore, pour pouvoir mesurer différents taux (mortalité, croissance, reproduction...) nous devons les « incuber » : après une première analyse, nous les replongeons 24h dans un bocal à même le fjord puis mesurons

les variations observées sur ce temps.

Les premiers jours, les opérations de prélèvement sont un peu chaotiques : il nous faut apprendre à accoster, pomper, ajuster les quantités nécessaires, les ordres de passages, les horaires de rotations pour éviter d'y passer la nuit... Puis les opérations deviennent routinières : l'objectif en sciences est toujours d'amasser des données en nombre suffisant pour pouvoir établir des tendances statistiquement significatives. Tout tient désormais en

quelques verbes : pomper, porter, vider, remplir, régler, mélanger, filtrer, trier, congeler, peser, compter, ranger, rincer, réparer, démonter, laver... !

Ainsi, nos mésocosmes sont en quelque sorte devenus neuf corps géants livrés à la médecine, truffés d'instruments, de sondes, avec des prélèvements envoyés quotidiennement aux analyses, le tout pour voir comment la bête réagit à l'intoxication. « Tout est poison, rien n'est poison, seule la dose fait le poison », écrivait Paracelse au 15ème siècle : nos mésocosmes sauront-ils nous dire quelle est la dose de  $\text{CO}_2$  à ne pas dépasser dans l'océan ?



*Prêts à partir en mer prélever des échantillons (photo Xavier Cervera)*



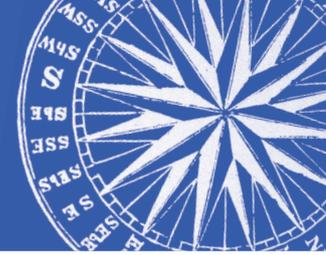
*Début juillet, fin du „voyage dans le futur de l’océan arctique“: l’Esperanza replie les mésocosmes après six semaines intensives d’échantillonnage et d’analyses (photos Nick Cobbing).*

## Quand verrons-nous les résultats ?

Voyager dans le temps à bord des mésocosmes, c’est un peu comme faire un film : il y a le temps des prises de vue (les prélèvements d’échantillons) puis le temps du développement et du montage (l’analyse et de la modélisation, pour transformer tous nos échantillons en chiffres et en courbes) et enfin le jour de la sortie en salles : les publications dans les revues scientifiques ! Fin 2010, nous espérons commencer à voir les premiers résultats, les premières images, sans doute encore un peu floues. Ce n’est que courant 2011 que l’expérience livrera vraiment ses conclusions.



*Avant de partir retrouver l’été sous des latitudes plus clémentes, toute l’équipe d’EPOCA se rassemble pour le bain de l’amitié dans le Kongsfjord! (photo de Kluijver / Meyerhöfer)*



## Greenpeace et la science

Un an avant l'expédition, en plein préparatifs, l'information tombe comme un couperet : le navire de recherche prévu pour assurer le transport et l'immersion des mésocosmes depuis Kiel, en Allemagne, jusqu'à Ny-Ålesund ne sera finalement pas disponible dans l'arctique en juin 2010. Ulf Riebesell, coordinateur de l'expérience à IFM-GEOMAR, l'institut qui a conçu et fabriqué les mésocosmes, en fait part au « Reference User Group » d'EPOCA, qui rassemble industriels, décideurs et organisations environnementales intéressées par les résultats des recherches. Greenpeace, qui en fait partie, propose spontanément son navire Esperanza, techniquement capable d'assurer l'opération. Des débats très animés secouent la communauté scientifique : peut-on accepter le concours d'une ONG militante sans prendre le risque de perdre notre crédibilité scientifique ? Pour y pallier, un « memorandum of understanding » exclusivement entre Greenpeace et IFM-GEOMAR définit très strictement les rôles de chaque partie et garantit la totale indépendance d'EPOCA vis-à-vis de ce sponsor atypique. Greenpeace a apporté son soutien à IFM-GEOMAR, qui a assuré la logistique de cette expérience et mis gratuitement les mésocosmes à la disposition de plusieurs projets de recherche, dont EPOCA.

## L'Arctique, loupe grossissante du changement global

A l'origine, Ny-Ålesund était une mine de charbon qui a alimenté la révolution industrielle en Europe dans la 1ère moitié du 20ème siècle. Après un accident dans lequel 22 mineurs ont péri en 1962, l'exploitation a progressivement laissé la place à une base scientifique internationale, la plus septentrionale au monde. Ironie du sort, le carbone sorti de terre ici même fait à présent le voyage en sens inverse... En dépit des apparences, c'est bien ici dans l'océan Arctique que l'on retrouve la plus grande part des milliards de tonnes de déchets polluants de CO2 absorbés chaque année par les mers du globe. Avec l'acidification de l'océan, cet „autre problème du CO2“, les régions polaires, déjà transfigurées par la fonte des glaces et la retraite de la banquise liées au réchauffement climatique, se révèlent plus que jamais comme une loupe grossissante des perturbations que l'homme inflige à l'échelle planétaire au milieu dont sa survie dépend.



*Le vieux train à vapeur des mines de Ny Alesund – le voyage du charbon est terminé !*



*photo Anna Silyakova*

### **Pour aller plus loin:**

- le blog de l'expédition [www.epocaarctic2010.wordpress.com](http://www.epocaarctic2010.wordpress.com) présente des photos et récits quotidiens des recherches en 5 langues, écrit en direct en juin 2010, ainsi qu'une présentation plus approfondie des questions scientifiques (« The science »), des manips réalisées (« The experiment ») et des chercheurs participants (« The people »). Le blog [www.epocaarctic2009.wordpress.com](http://www.epocaarctic2009.wordpress.com) relate l'expédition de 2009, dont l'objectif était l'étude des organismes qui vivent au fond de l'océan.
- la page éducation du site EPOCA : [www.epoca-project.eu/index.php/Education.html](http://www.epoca-project.eu/index.php/Education.html) propose plusieurs autres ressources pédagogiques pour introduire le sujet en classe, en particulier des posters, des films et un cahier d'expériences illustrant les phénomènes en jeu.
- le documentaire „Tipping point“ („le point de bascule“, 52') consacré à l'acidification des océans a été tourné en grande partie pendant nos recherches au Spitzberg - cf [www.eurovisiontv.com/fr/eurovisiontv/science\\_education/tippingpoint.php](http://www.eurovisiontv.com/fr/eurovisiontv/science_education/tippingpoint.php). Le film peut être commandé à [georamatv@free.fr](mailto:georamatv@free.fr)

---

(c) document pédagogique EPOCA - Novembre 2010

Ce document est libre de droits pour toute utilisation non commerciale.

Texte et photos non attribuées : Philippe Saugier

Révisions : Susan Kimmance, Jean-Pierre Gattuso, Ulf Riebesell

Mise en page : Silvana Schott

Ce document est une contribution à EPOCA (European Project on Ocean Acidification) qui bénéficie d'un financement par le 7eme programme-cadre de la Communauté européenne (FP7/2007-2013, accord de subvention n° 211384).