

# Les données scientifiques, de Tara jusqu'aux laboratoires

PAR JEAN-CLAUDE GASCARD\* ET SYLVESTRE HUET\*\*

La température est le paramètre clé en climatologie. C'est la référence. Encore faut-il la connaître avec précision, et réaliser des séries de mesures permettant de s'assurer de ses évolutions spatiales et temporelles. Si le principe en est simple et peut sembler évident – il suffit d'avoir un bon thermomètre pense-t-on – le réaliser aux niveaux de précision et d'extension voulus représente un défi d'organisation et de techniques. Et ceci tout au long de la chaîne qui va de la mesure elle-même à son traitement en laboratoire. En témoignent les mesures de températures collectées durant la mission Tara pour la terre, la glace, l'air et l'eau en interaction permanente. Comment les scientifiques procèdent-ils à la collecte et à la transmission des informations, à l'analyse et à la validation (contrôle de qualité) des données, à l'assimilation et à l'intégration de ces données dans les modèles numériques et finalement à l'interprétation des résultats ?

## Collecte et transmission des informations

À bord de Tara et sur la base polaire Tara Damocles, plusieurs types de capteurs permettaient la mesure permanente des températures dans l'air, dans l'eau et dans la glace, d'une part à l'endroit précis où Tara se trouvait, et d'autre part dans un vaste domaine alentour. Pour l'atmosphère, 4 capteurs installés à proximité du bateau le long d'un mât à 0,5 m, 2 m, 5 m et 10 m d'altitude au-dessus de la banquise. Plus haut, des sondes de température installées sur un câble pouvaient être hissées à près de 2 000 m d'altitude grâce à un ballon captif rempli

d'hélium. Pour la glace, des dizaines de thermistances espacées de 10 cm les unes des autres, et installées le long d'une perche, mesuraient les températures de part en part d'une banquise de 2 à 3 m d'épaisseur. Pour l'eau, un capteur de température placé sur une sonde (la bathysonde) pouvait descendre jusqu'au fond de l'océan, parfois à plus de 4 000 m de profondeur.

Certains capteurs opèrent de façon stationnaire, comme les thermistances installées le long du mât météo et de la perche qui traverse la banquise. Ils enregistrent les variations de température en fonction du temps. On pourra ainsi ultérieurement en déduire des séries temporelles.

D'autres capteurs effectuaient des profils en se déplaçant verticalement dans l'air et dans l'eau à intervalles plus ou moins réguliers. C'est le cas de la bathysonde et du ballon captif. Nous disposons aussi d'un réseau de stations automatiques distribuées autour de Tara, jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de distance, pour nous renseigner sur le champ de températures à cette échelle. Ce dispositif nous a permis d'observer les températures évoluer en fonction du temps et du lieu dans un vaste domaine dont Tara est le centre.

La collecte des informations de température, leur mise en mémoire, leur transmission vers les satellites puis vers les laboratoires, étaient adaptées en fonction des divers instruments utilisés. La plupart de ces mesures de température ont été transmises en temps réel directement par les liaisons satellites Iridium ou Argos, ou en léger différé après un formatage adapté effectué à bord de Tara.

## Travail en laboratoire

Lors de la saisie des informations en laboratoire, la première opération consiste à scruter la donnée pour s'assurer de sa bonne qualité. Il faut se débarrasser de toutes les fausses données liées aux instruments, à des erreurs de mémorisation et aux défauts de transmission par satellite. Il faut ensuite s'assurer que l'instrument a été bien calibré et s'il a subi une dérive, appliquer une correction des mesures. À partir de là, on peut définir la précision relative et absolue des mesures, une étape essentielle. Pour certaines études de thermodynamique, nous avons besoin

## Relevés, calibrages, assimilations, analyses, les données ont été abondantes et de qualité.

de mesurer les températures avec une résolution de 0,001°C et il faut donc bien s'assurer de la précision relative des mesures (barre d'erreur).

L'analyse des résultats peut alors commencer. Elle consiste à tracer des séries temporelles de température, des profils verticaux de température, des coupes ou sections verticales de température et des champs horizontaux de température. Les séries temporelles et les profils verticaux doivent subir très souvent des opérations de filtrage liées au caractère plus ou moins bruité des mesures réalisées. Pour obtenir des sections verticales et des champs horizontaux à partir des mesures ponctuelles, il faut procéder

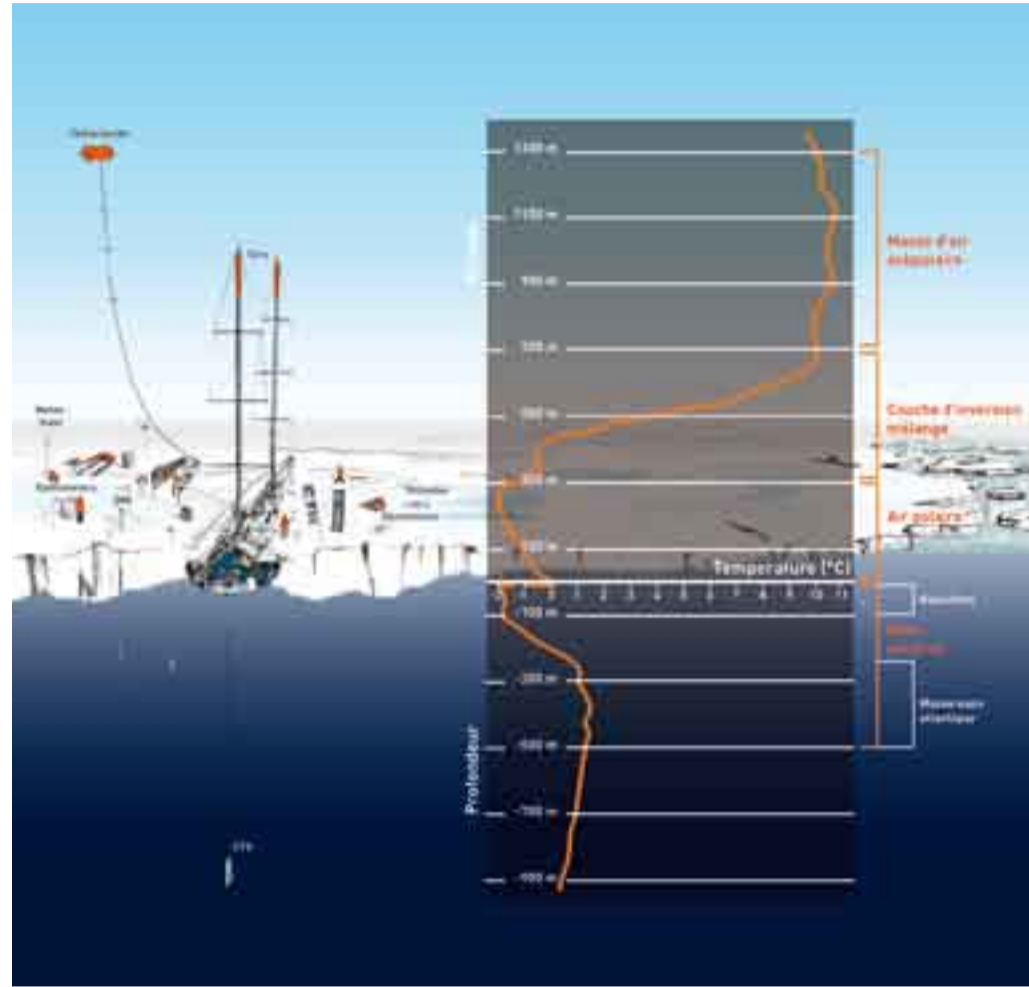
à des interpolations entre points. Cela suppose de connaître la distance au-delà de laquelle les variations de température en un lieu donné ne peuvent plus être corrélées avec les variations en un autre lieu. Cette distance peut être très courte si les variations spatiales de température sont très fortes. Dans ce cas, il faut multiplier les points de mesure.

Ensuite, il s'agit d'intégrer ces données dans des modèles numériques qui permettent de simuler le fonctionnement du climat sur ordinateur. Ces modèles ne peuvent se passer de données de terrain. Ils ne peuvent démarrer une

simulation que sur la base de valeurs (les températures dans notre cas) numériques. En outre, ces données de terrain permettent de surveiller le modèle pour comparer ses calculs aux évolutions mesurées afin de corriger les dérives dues au modèle lui-même. Classique et décisive pour les prévisions météo et climatiques, cette comparaison modèle/terrain suppose une base de données bien alimentée. D'où l'attention portée par l'équipe scientifique de la mission Tara/Damocles à l'abondance et la qualité des mesures, tout au long de la campagne. ■

\* Directeur de recherche au CNRS. Coordinateur du programme européen Damocles à l'université Pierre et Marie Curie.  
\*\* Journaliste à Libération.

# Une colonne faite d'air et d'eau



© be-poles.com

PAR JEAN-CLAUDE GASCARD

L'un des principaux atouts d'une base logistique comme Tara est de pouvoir effectuer des mesures en continu de tous les paramètres physiques, chimiques et biologiques qui caractérisent la colonne d'air au-dessus de Tara et la colonne d'eau en dessous, ainsi que la fine couche de glace qui se trouve entre les deux.

Il s'agit principalement de mesurer la température et la pression dans l'air et dans l'eau, la salinité dans l'océan, l'humidité dans l'atmosphère, les vents et les courants en vitesse et direction, le rayonnement solaire incident, réfléchi et transmis, certains traceurs géochimiques naturels et anthropiques dans l'air et dans l'eau, les sels nutritifs et le phytoplancton dans l'océan.

Le profil vertical relevé le 18 juillet 2007 à Tara situé à proximité du pôle Nord géographique, met bien en évidence la superposition des couches d'air et d'eau dans l'atmosphère, dans l'océan, et les interfaces qui les séparent. Dans l'air, on distingue juste au-dessus de la glace une couche d'air de 300 m d'épaisseur environ où la température décroît linéairement de 1°C environ tous les 100 m. Ceci correspond très précisément à la chute de température à laquelle on peut s'attendre lorsque la pression décroît et sans qu'il y ait échange de chaleur avec l'extérieur (condition adiabatique).

À 300 m d'altitude, la courbe de température s'inverse et croît jusqu'à 700 m. Entre 800 m et 1 200 m, les températures sont supérieures à +10°C ce qui signale la présence de masses d'air d'origine subpolaire ou subtropicale très chargées d'humidité dans la région du pôle Nord.

Dans l'eau près de la surface, on observe une couche de 100 m d'épaisseur environ, très homogène en température et très froide (proche de la température de congélation). Cette couche d'eau polaires est en fait divisée en deux : une couche de surface de 20 à 30 m de faible salinité,

et une couche sous-jacente deux à trois fois plus épaisse, très homogène, très froide en température, caractérisée par une plus forte salinité due à la présence des saumures qui précipitent au moment de la formation de la glace de mer. On appelle halocline l'interface entre ces deux couches qui ne se différencient que par la salinité.

En dessous de 100 m de profondeur les salinités et les températures augmentent jusqu'à un maximum vers 300 m de profondeur au cœur de la veine d'eau d'origine atlantique entrée dans l'océan Arctique par le détroit de Fram.

Entre l'eau et l'air se trouve donc une fine couche de glace de quelques mètres d'épaisseur. Le profil de température à travers cette couche de glace fait apparaître en été un minimum de température au bas de la glace, à l'interface eau-glace qui se trouve au point de congélation (-1,8°C) la plupart du temps. En hiver le profil de température dans l'océan ne change pas sauf lorsque l'on s'approche de la surface. Par contre, le profil dans l'atmosphère et dans la glace est radicalement différent en hiver car les températures peuvent alors atteindre -40°C.

Les observations de la distribution verticale des paramètres physiques dans les diverses couches d'air, d'eau et de glace et de leur évolution temporelle, sont essentielles pour estimer les flux de chaleur qui s'échangent entre ces couches en fonction du temps et du lieu. Ils rythment le cycle saisonnier de formation et de fonte de la glace de mer. Cette section ne peut représenter toutes les situations rencontrées en Arctique. Mais elle montre ce qui s'y passe.

Ce concept d'un transect (diagonale) sur une colonne air-eau-glace est comme hiver a permis d'observer un cycle saisonnier complet. C'est ce qu'on fait de mieux en matière d'optimisation d'un dispositif expérimental qui associe Tara, les bouées dérivantes et les mouillages instrumentés du programme Damocles. ■



Février 2007, retour du jour sur la base. © D.Bourget/taraxpeditions.org

Avril 2007, les huit hivernants construisent la piste d'atterrissage à la pelle. © G.Redvers/taraxpeditions.org

Avril 2007, première rotation après sept mois d'isolement. © F.Bernard/taraxpeditions.org

Avril 2007, un tracteur qui servira à fabriquer la piste est finalement parachuté avec 15 jours de retard. © F.Bernard/taraxpeditions.org

Avril 2007, une vingtaine de scientifiques rejoint la base pour intensifier la moisson de données. © F.Latreille/taraxpeditions.org

L'équipage d'avril à septembre 2007. © G.Redvers/taraxpeditions.org

## Récolter un vrai trésor de guerre



Les radiomètres établissent le bilan radiatif solaire : l'albédo. © F.Latreille/taraxpeditions.org

PAR SYLVESTRE HUET

La différence entre le phoque et le scientifique n'est pas le trou d'eau. L'un comme l'autre en ont besoin. La différence ? Juste la manière de l'entretenir, en enlevant la glace qui se reforme chaque nuit.

Le phoque utilise ses arguments naturels, le scientifique sa tronçonneuse à longue lame, et recouvre le trou de planches et d'un bon gros feutre russe. « Tous les matins, corvée de trou »,

rappelle Hervé Le Goff, ingénieur au CNRS, membre de Damocles, maître es-instruments scientifiques en milieu marin, hostile... et les trois à la fois à l'occasion de l'aventure de Tara dans les glaces. Le défi posé aux scientifiques, ingénieurs, marins qui ont pris en charge le volet expérimental de la science à bord de Tara était simple : réussir « à tout prix » à faire fonctionner les équipements tant l'occasion était belle, rare et peu susceptible de revenir en sitôt.

« Nous avions une sorte d'obligation de résultat », résume Le Goff. Obligation de réussir

navire océanographique de 120 mètres », souligne Le Goff. Pas d'atelier mécanique à disposition, ni abondance de pièces détachées ou de sources d'énergie. Donc, astuce, persévérance, huile de coude, habileté manuelle... et pédestre puisqu'il faut souvent rejoindre les équipements en ski, notamment la ligne d'observation de l'épaisseur de la glace.

Sportif donc ? « Oui, répond Le Goff, mais souvent avec plaisir. Après tout, les gens étaient aussi venus pour ça, vivre dans ce milieu, et l'exercice consistant à faire le tour de la ligne de trois kilomètres sur la glace, une fois par

laisse songeur : sondeur bathymétrique, profilers, sondeur électro-magnétique pour la glace, sismomètres, station météo, ballons sondes atmosphériques, capteurs d'ozone ou d'oxydes de brome...

Comment maintenir tout cela en état de marche ? En jouant au « chirurgien électronique », avoue Le Goff, lorsqu'il devait remettre en service un système défaillant. Ou à l'aide de caresses manuelles. Nulle allusion sensuelle là-dedans, simplement que débarrasser l'anémomètre en plastique de son givre, formant une carapace de glace, exigeait d'opérer en douceur et avec délicatesse, faute de quoi, la réparation eut été fatale. En multipliant les réparations à coups de soudures du mât météo qui, à force, « ressemblait à une sculpture moderne ». Et de manière générale en y « mettant la main ». Ainsi, lorsque le treuil rendit l'âme, il fallut descendre à bout de bras un câble de 300 mètres portant les instruments sous l'eau... et les remonter.

Si le challenge technique a été tenu, Hervé Le Goff ne doute pas de ses retombées scientifiques. Avec quelques plaisirs immédiats, comme ces « entrées d'eaux chaudes atlantiques surprises par les profilers, les étonnantes couches d'inversions thermiques enregistrées par les ballons sondes, la découverte d'une véritable montagne sous-marine de plus de 1 500 mètres, au nord du Spitzberg, totalement inconnues des cartes bathymétriques existantes ». Si l'essentiel du miel scientifique de la mission Tara est encore à fabriquer, en labos, une partie en a été dégustée sur place, sans attendre. ■

## Le défi de Tara : réussir à tout prix à faire fonctionner les équipements tant l'occasion était belle et rare.

dans un milieu rude. Où l'été propose ses pièges, avec les poches d'eau en surface de banquise. Ou l'hiver assène ses moins quarante et ses jours de blizzard, lorsque sortir de Tara pouvait tourner au suicide. Sa longue nuit, surtout durant les 11 jours sans Lune, où consigne était donnée de ne jamais quitter le navire de vue lors des sorties. Un milieu qu'il fallait affronter en trainant dans la pulka les combinaisons de survie en cas de trempette, le fusil pour les ours – rares – et surtout les moyens de communications. Un milieu où il fallait maintenir en activité des équipements – mécaniques, électriques, électroniques – avec des moyens limités. Tara, ce n'est pas « un

semaine, a toujours trouvé des volontaires enthousiastes, même par mauvais temps. » Et puis, cet exercice était indispensable à l'entretien... des corps et du moral.

L'enjeu d'observation était vaste. Dans l'ordre, de bas en haut : le fond de l'océan, l'eau, la glace, l'air. L'océan sous-glaciaire, ses températures, sa salinité, ses courants, le tout jusqu'à 4 000 mètres de fond. La glace sur laquelle reposait Tara. Son épaisseur, qui évolue avec le temps. Et sur une ligne de 3 km piquée de fanions. Puis l'air, ses températures, ses vents, son hygrométrie, jusqu'à 2 000 mètres d'altitude. La batterie d'instruments déployés dans ce milieu

## Le premier bilan scientifique de la mission Tara / Damocles

PAR JEAN-CLAUDE GASCARD

Au terme de la dérive de Tara, plusieurs faits majeurs peuvent être signalés :

Tout d'abord un retrait majeur de la banquise que nous avons constaté au cours de l'été 2007. Nous ne nous y attendions pas et tous les modèles de prévision s'y attendaient encore moins. Nous avons perdu en surface de glace, 1,5 million de km<sup>2</sup>, ce qui équivaut à trois fois la surface de la France. Cela correspond également à 40 % de glace de mer en moins en été si l'on compare l'étendue de la banquise arctique en été 2007 (4 millions de km<sup>2</sup>) avec celle de l'été 1979 (7 millions de km<sup>2</sup>).

Ensuite la dérive a entraîné Tara à une vitesse deux à trois fois plus élevée que ce que nous avions prévu sur la base de données statistiques fiables déduites de 20 années d'observations à partir de bouées dérivantes en Arctique. En fait le système étant entré dans une phase d'évolution très rapide, rend caduques ces informations et ceci pose un très sérieux problème au climatologue qui a perdu ses repères habituels. Tara qui devait dériver pendant deux années, est sorti de l'océan Arctique par le détroit de Fram avec 7 mois d'avance. À quoi cette ac-

cération est-elle due ? Les vents, qui sont le principal moteur de la dérive, ont peut-être changé d'orientation moyenne et de force et il est donc nécessaire de procéder à un examen précis des conditions météorologiques qui ont prévalu pendant toute la dérive de Tara, non seulement en suivant Tara mais aussi en prenant en compte un vaste domaine de l'océan Arctique au large de Tara.

Il est également fort probable que la glace en devenant plus mince, soit aussi devenue plus mobile et donc soit entraînée plus facilement par les vents.

En effet nous avons bien constaté un amincissement de 50 % des glaces de mer en 20 ans. De plus de 3 m d'épaisseur moyenne il y a 20 ans, l'épaisseur moyenne de la banquise est désormais de 1,5 m. Déjà, au milieu des années 90 avec les sous-marins nucléaires américains, nous avions noté une diminution d'épaisseur de la banquise qui était passée de plus de 3 m à moins de 2 m en 20 ans dans le bassin central de l'océan Arctique.

Dans ce contexte, les travaux menés à bord de Tara vont nous permettre de dresser une première section à travers l'océan Arctique

(2 000 km). Elle prendra en compte les premiers 1 000 m au-dessus de la banquise dans l'atmosphère (température, pression, humidité, nébulosité, précipitations et vents) et les premiers 1 000 m en dessous dans l'océan (température, pression, salinité et courants) et tout ce qui se rapporte à la glace et à la neige (épaisseur, température, densité, conductivité thermique, émissivité, albédo) tout au long de la dérive.

Cela va nous permettre aussi d'affiner les calculs concernant l'effet de l'albédo très contrasté entre la banquise (80 % du rayonnement solaire étant réfléchi vers l'espace) et l'océan (80 % du même rayonnement étant absorbé par l'eau et transformé en chaleur). Il apparaît de plus en plus que l'effet de serre aurait tendance à prendre le pas sur l'albédo et expliquer en grande partie l'emballement auquel nous assistons actuellement en Arctique.

Pour l'instant les données de la mission Tara Damocles remplissent les mémoires des disques durs et un premier bilan chiffré et objectif sera présenté lors de la prochaine assemblée générale de Damocles en novembre 2008. ■

## La dérive, mode d'emploi

PAR DINO DIMEDI

Christian de Marliave, coordinateur scientifique de l'expédition, rappelle le principe de la dérive polaire : *Centré autour du pôle Nord, l'océan Glacial arctique forme un bassin de près de 12 millions de km<sup>2</sup>. La banquise qui le recouvre dérive sous l'action du vent et des courants. Elle suit une loi établie il y a plus d'un siècle par Fridtjof Nansen : la glace dérive à une vitesse égale à 2 % de celle du vent et dans une direction opposée à celle d'où il vient, déviée de 35 à 40 degrés vers la droite à cause de la force de Coriolis. Son déplacement s'organise suivant le courant moyen annuel de surface généré par la position des systèmes dépressionnaires dominants, soit un courant giratoire dans le sens des aiguilles d'une montre et centré sur le nord de la mer de Beaufort, et le grand courant transpolaire qui va du détroit de Bering à la côte Est du Groenland vers le pôle Nord. Le premier mouvement se boucle en cinq ans mais peut maintenir les glaces en rotation beaucoup plus longtemps. Le second mouvement, qui devait porter Tara durant ses deux ans de dérive, évacue en trois ou quatre ans les glaces formées le long des côtes sibériennes vers l'Atlantique. Depuis Nansen, la banquise estivale s'est retirée de plus de 300 km vers le nord et le giratoire de Beaufort n'est plus aussi marqué. ■*