



N°18 – L'OUTRE-MER PREND LA MESURE

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Les ballons stratosphériques

Un outil souple au service de la communauté scientifique

La stratosphère est inaccessible aux satellites et traversée trop rapidement par les fusées-sondes. Les ballons, ou aérostats selon la terminologie scientifique, peuvent évoluer durablement dans cette couche dite « moyenne » de l'atmosphère, s'étendant entre 12 et 45 km d'altitude.

Dès lors, le ballon occupe une place unique parmi les outils de la recherche scientifique, ce qui explique l'intérêt que le CNES a toujours porté à l'activité ballons.

Historiquement, les ballons sont utilisés pour l'étude de l'atmosphère et l'astronomie. Le développement des activités spatiales a permis d'en élargir le champ d'application. En effet, de nombreux vols de ballons ont aujourd'hui une finalité technologique. Ils testent par exemple des instruments destinés à être embarqués à bord de satellites.

Depuis 40 ans, le CNES développe l'activité ballons la plus importante du monde, après celle des États-Unis. Ses compétences en matière de conception, fabrication, lâcher et exploitation d'aérostats, sont mondialement reconnues.

À l'écoute des besoins les plus variés de la communauté scientifique, le CNES s'attache à démontrer que les atouts et le potentiel d'innovation des aérostats n'ont jamais été aussi riches qu'aujourd'hui.

En effet, les ballons offrent une technologie économique, rapidement opérationnelle, polyvalente et, surtout, sécurisée et écologique.

Ballons stratosphériques

Origine	Initiative du CNRS et du CNES pour répondre à des besoins en astronomie et étude de l'atmosphère
Objectifs	Objectifs scientifiques (astronomie, étude de l'atmosphère et de l'environnement) ou technologiques
1 ^{er} vol	24 mai 1972
Demandeurs de vols ballons	Scientifiques ou industriels



Concordiasi

Le climat de l'Antarctique sous surveillance

L'Antarctique est une région du monde encore méconnue. Pourtant, elle est fragile et très sensible aux changements qui s'opèrent dans l'atmosphère de notre Terre. Le réchauffement du climat, en premier lieu, qui pourrait conduire à la fonte d'énormes quantités de glace, avec des conséquences dramatiques sur le niveau des océans. Le « trou d'ozone » à haute altitude, ensuite, qui a révélé dans cette région l'impact des activités humaines, pourtant très lointaines.

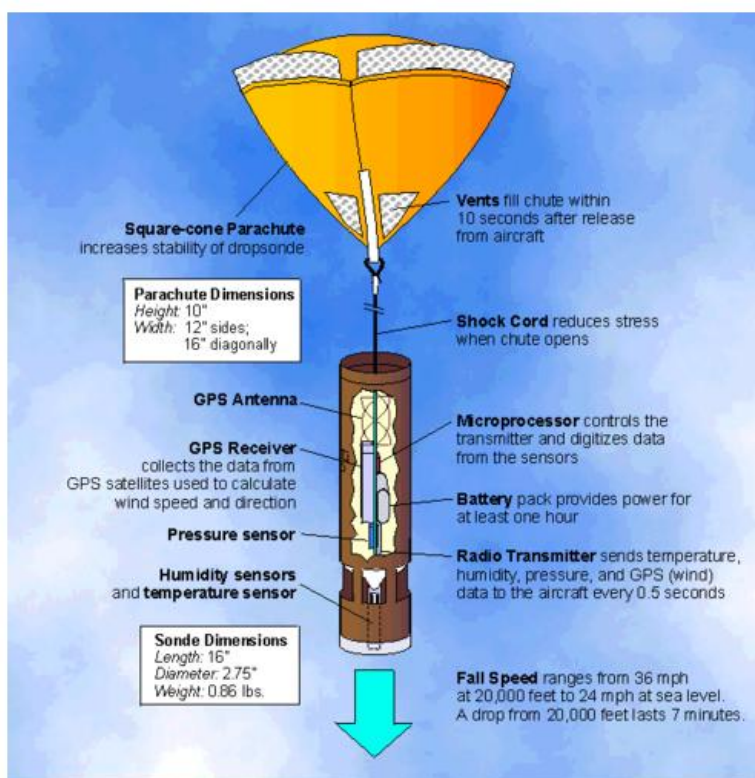
Le programme Concordiasi vise à améliorer les connaissances scientifiques sur ces deux aspects. D'abord, pour mieux caractériser le temps et le climat en Antarctique, Concordiasi s'efforcera de mieux exploiter les mesures des satellites, particulièrement celles du sondeur atmosphérique IASI embarqué sur le satellite Metop-A, car ces mesures sont difficiles à utiliser au-dessus des glaces polaires. Ensuite, Concordiasi collectera de très nombreuses données au niveau de la basse stratosphère afin de mieux décrire et comprendre les phénomènes qui conduisent, chaque printemps austral, à la destruction de l'ozone à haute altitude.

Seul véhicule capable d'évoluer durablement dans la stratosphère, le ballon tient une place unique parmi les outils de recherche scientifique dans divers domaines : étude de l'atmosphère, astronomie, géophysique, planétologie, etc., pour lesquels il permet de préparer ou de compléter les expériences sur satellite. Une flottille de ballons stratosphériques pressurisés et plafonnant, dérivant plusieurs mois dans la basse stratosphère, sera déployée par le CNES dès le début du mois de septembre 2010, depuis la station américaine antarctique de McMurdo. L'instrumentation scientifique embarquée à bord de ces ballons est une combinaison de moyens de mesure *in situ* et de moyens de mesure « à distance », depuis 20 000 m jusqu'au sol.

Ces moyens à distance consistent en une série de dropsondes (sondes larguées, à la demande, depuis le ballon et sous parachute) capables de mesurer les conditions

météo (pression, humidité, température, vent) dans toute l'épaisseur de la troposphère, en simultanéité avec la mesure effectuée par IASI lors de son passage au-dessus du ballon. Ce système de mesure original, appelé Driftsonde, est le fruit d'une coopération entre le CNES et le NCAR (National Center for Atmospheric Research).

Les instruments de mesure *in situ*, spécialement conçus pour les hautes altitudes, ont été mis au point par divers laboratoires français



Dropsonde sous parachute. Crédits : ill. NASA.

(LMD/CNRS) et américains. Le contrôle des vols et le pilotage des instruments scientifiques seront assurés depuis plusieurs centres. Le Centre spatial de Toulouse contrôlera les vols des ballons et la réception des données, Météo France à Toulouse conduira les mesures par dropsondes et le NCAR à Boulder (Colorado) contrôlera la réception des données des dropsondes.

Une équipe composée d'une dizaine de personnes, accompagnée d'un certain nombre de scientifiques, est amenée à séjourner sur la base américaine de McMurdo pendant toute la durée des opérations.

Concordiasi	
Initiateur	Météo-France, CNRS-LGGE, CNRS-LMD, IPEV, NCAR
Participants	Météo-France, CNRS-LGGE, CNRS-LMD, IPEV, NCAR, U.Wyoming
Objectifs	Améliorer l'utilisation des satellites météorologiques en Antarctique Étudier la dynamique des masses d'air (vortex polaire), leur degré d'isolement, les ondes de gravité, les phénomènes conduisant à la destruction de l'ozone
Site de lancement	Station de McMurdo
Composition de la mission	19 ballons pressurisés stratosphériques, dont 13 « ballons drifsondes »
Durée de la campagne	Septembre-octobre 2010

Mission réussie pour les 19 ballons de Concordiasi

(11 janvier 2011)

Entre septembre et octobre 2010, 19 ballons stratosphériques conçus par le CNES ont été lâchés dans le tourbillon polaire en Antarctique. Les données récoltées lors de la campagne Concordiasi sont très prometteuses.

1 300 jours de vol au-dessus du pôle Sud

« La campagne de lâcher de ballons s'est très bien passée. L'équipe est restée très motivée et très soudée malgré des conditions climatiques difficiles, témoigne Philippe Cocquerez, chef de projet Concordiasi au CNES. La flottille de ballons a cumulé 1 300 jours de vol au-dessus de l'Antarctique et récolté un grand nombre de données. »

L'équipe franco-américaine (1) qui a mené la campagne Concordiasi a posé ses bagages sur la base polaire de McMurdo en août 2010.

La petite île volcanique de Ross, sur laquelle se trouve la base, est alors cernée par la banquise. C'est la fin de l'hiver, les températures frôlent les -40 °C et les scientifiques se font rares.

« L'un des objectifs de la campagne était d'étudier les mécanismes de destruction de l'ozone dans la basse stratosphère, entre 18 et 20 km. Or, c'est précisément au début du printemps austral, lorsque le Soleil réapparaît, que l'ozone est détruit », explique Philippe Cocquerez. « Il fallait donc absolument lâcher 4 ballons dédiés à l'étude de l'ozone début septembre, poursuit-il. Nous en avons lâché 2 autres dans les vents polaires tourbillonnants, début octobre, pour suivre la réapparition de l'ozone et la fermeture du trou de la couche d'ozone. »



600 profils atmosphériques réalisés

Les ballons, conçus par des ingénieurs du CNES, peuvent cette fois-ci embarquer 50 kg d'équipement (2). Autre nouveauté : 13 des 19 ballons sont capables de sonder l'atmosphère (température, pression, humidité et vent) en larguant sur commande de petites radiosondes. « Le satellite Metop réalise ce type de mesures avec l'instrument IASI. Mais au niveau des pôles, l'interprétation des données est faussée par une atmosphère très froide et un sol très variable, tantôt neigeux, tantôt glacé... », souligne Philippe Cocquerez. L'idée était donc de larguer les radiosondes lorsque Metop passait au-dessus des ballons afin de confronter les mesures satellite aux mesures *in situ*. Plus de 600 sondages de l'atmosphère ont ainsi été réalisés et devraient, à terme, permettre d'affiner les modèles météo.

« Le jour où IASI sera parfaitement opérationnel sur les régions polaires, ce sera un gros plus pour la météorologie », constate Philippe Cocquerez. Avant de conclure : « Nous avons pu réaliser l'ensemble des vols dans le calendrier prévu et le retour des scientifiques est très positif. Par ailleurs, cette campagne est une belle réussite de coopération franco-américaine. »

(1) Centre national de recherches météorologiques (Météo-France/CNRS) – coordinateur du programme, CNES, CNRS/INSU, NSF, NCAR, université du Wyoming, université Purdue, université du Colorado à Boulder, Institut Alfred-Wegener, Met Office et CEPMMT.

(2) Une première campagne de lâcher de ballons (Stratéole-Vorcore) s'est déroulée en 2005, la capacité d'emport des ballons était alors d'environ 15 kg.

Ces trois articles sont issus du site du CNES : www.cnes.fr/web/CNES-fr/7090-terre-environnement-et-climat.php

Argos

Un œil vigilant sur notre planète

Une cigogne survole l'Égypte... À 3 000 km de là, à Prague, un biologiste tchèque, confortablement installé dans son bureau suit son déplacement. Dans le même temps, à Los Angeles, un océanographe observe sur son ordinateur le tracé d'un puissant courant sous-marin circulant dans l'Antarctique par 1 000 m de fond.

Ces performances techniques sont toutes deux liées au système de localisation et de collecte de données par satellites Argos, qui permet de repérer et de collecter des informations sur tout « objet » équipé d'un émetteur radio certifié. Cela quel que soit le milieu dans lequel il se trouve à la surface de la planète : océan, désert, région polaire, etc.

Les balises Argos revêtent des formes très différentes selon leur usage. Elles émettent des messages qui sont enregistrés par les satellites de la constellation Argos, puis retransmis à des centres de traitement dédiés. Unique au monde, ce système est opérationnel depuis 1978. Créé à l'initiative de la France et des États-Unis, il est exploité au niveau mondial par CLS (Collecte localisation satellite), filiale notamment du CNES et de l'IFREMER.

Si les balises Argos sont devenues célèbres pour le suivi des navigateurs, leur première mission n'en demeure pas moins un recueil d'informations pour la communauté scientifique. Relevé de température, de pression, de taux d'humidité, de niveaux d'eau... Argos prend le pouls de la Terre et de l'atmosphère. Le système est également utilisé avec succès pour le suivi des espèces animales.

Le premier instrument Argos de la troisième génération a été lancé sur un satellite Metop le 19 octobre 2006 depuis la base de Baïkonour, le deuxième sur un satellite de la NOAA le 6 février 2009. Trois instruments supplémentaires seront mis en

orbite d'ici à 2015. La décision de développer la nouvelle génération Argos 4 a été entérinée par le CNES et ses partenaires fin 2008.

Argos	
Initiateur	Le CNES en 1978
Origine	Programmes Eole et Sargos, définis dans les années 1970
Statut	En cours d'exploitation et d'évolution
Participants	La France, les États-Unis, l'Inde et l'Europe à travers Eumetsat
Objectifs	Effectuer des mesures <i>in situ</i> pour l'étude et la protection de l'environnement terrestre

D'après www.cnes.fr/web/CNES-fr/479-argos.php et surtout consulter sur le site du Centre d'étude biologique de Chizé/CNRS « ARGONIMAUX » à l'adresse suivante : www.cebc.cnrs.fr/ecommm/argonimaux/ArgoNIMAUX_EMa.html afin d'accéder aux données climatiques en temps quasi-réel transmises par les balises embarquées sur les éléphants de mer.

MÉDIAGRAPHIE

À lire

Mélières Marie-Antoinette, Maréchal Chloé, *Climat et société. Climats passés, passage de l'homme, climat futur : repères essentiels*, Grenoble, CRDP de l'académie de Grenoble, 2010.

TDC n° 914 « Énergie et climat », Paris, CNDP, 2006.

Explique-moi... n° 55 « Le climat », Nouvelle Arche de Noé Éditions – Paris, 2005.

Opération « Un ballon stratosphérique à l'école »

http://www.cnes.fr/automne_modules_files/standard/public/p7159_de5126c8ee5244aff95af987e99d651epresentation_ubpe-1.pdf

À voir

Sur lesite.tv : plus de 40 extraits de documentaires traitent du climat

Regards de climatologues, DVD-vidéo, CNDP, 2010.

Les très nombreux extraits vidéo associés aux articles en lien avec le thème du panneau 18 sur le site du CNES.

En ligne

www.cnes.fr/web/CNES-fr/6919-cnes-tout-sur-l-espace.php et www.cnes-jeunes.fr avec son espace enseignant.

www.cebc.cnrs.fr/ecommm/argonimaux.html

POINTS DE PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT

Notions à construire au collège et au lycée en rapport avec le thème de la biodiversité dans les programmes de SVT.

En troisième, dans la partie « Responsabilité humaine en matière de santé et d'environnement », le sujet 5 : Les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) extraites du sous-sol, stockées en quantité finie et non renouvelable à l'échelle humaine, sont comparées aux énergies renouvelables notamment solaire, éolienne, hydraulique. Les impacts de ces différentes sources d'énergie sur l'émission des gaz à effet de serre sont comparés.

En seconde, dans les deux thèmes suivants :

- Thème 1 – La Terre dans l'Univers, la vie et l'évolution du vivant : une planète habitée
Les conditions de la vie : une particularité de la Terre ?
La Terre est une planète rocheuse du système solaire. Les conditions physicochimiques qui y règnent permettent l'existence d'eau liquide et d'une atmosphère compatible avec la vie. [...]
- Thème 2 – Enjeux planétaires contemporains : énergie, sol
Le soleil : une source d'énergie essentielle
[...] L'exploitation des combustibles fossiles a des implications économiques et environnementales.
L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone prélevé lentement et piégé depuis longtemps. Bruler un combustible fossile, c'est en réalité utiliser une énergie solaire du passé. L'augmentation rapide, d'origine humaine de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le cycle naturel du carbone.

En terminale S dans le thème 1 de l'enseignement de spécialité : « Du passé géologique à l'évolution future de la planète – 1. Les climats passés de la planète »

- *Les changements du climat des 700 000 dernières années*
Les carottes de glace forées dans les calottes polaires et les carottes sédimentaires des fonds océaniques ou lacustres permettent de reconstituer les variations climatiques des 700 000 dernières années. [...]
Les variations climatiques montrent des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires. Un cycle de 100 000 ans rythme les glaciations. Des cycles de réchauffement-refroidissement sont observés entre deux maxima glaciaires avec des périodes de 43 000, 24 000 et 19 000 ans. Ces périodicités s'expliquent par les variations régulières des paramètres orbitaux de la Terre. Cependant, les seules variations de l'ensoleillement n'expliquent pas l'amplitude observée des variations de températures. D'autres phénomènes interdépendants modulent l'effet astronomique. Parmi ces phénomènes, on étudie à titre d'exemple deux d'entre eux :
 - les variations de l'albédo de la planète [...] ;
 - les variations de la teneur en CO₂ atmosphérique.
 Le CO₂ participe à l'effet de serre de la planète. Sa concentration dans l'atmosphère est en équilibre avec celle de l'océan. Lorsque la température augmente, la solubilité de CO₂ dans l'océan diminue, l'équilibre précédent est déplacé : du CO₂ passe de l'océan dans l'atmosphère, ce qui induit une augmentation de l'effet de serre.
- *Les changements climatiques aux plus grandes échelles de temps*
Les variations à courtes échelles de temps vues précédemment se superposent à des variations à beaucoup plus grande échelle de temps. On retrouve ainsi



dans les roches :

- des traces de périodes glaciaires ;
- des traces de périodes chaudes ;
- des traces de changements brusques du climat.

Les mécanismes des variations climatiques aux grandes échelles de temps impliquent des variations importantes dans la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère (maximum du CO₂ au Crétacé, minimum au Carbonifère par exemple). Ces variations sont contrôlées en particulier par les processus suivants qui libèrent ou consomment du CO₂ :

- l'altération des silicates calciques et magnésiens de reliefs orogéniques consomme du CO₂ ;
- la précipitation des carbonates libère du CO₂ et la dissolution des carbonates consomme du CO₂ ;
- le piégeage de la matière organique dans les roches stocke du CO₂ ;
- le dégazage du manteau par le volcanisme libère du CO₂ dans l'océan et dans l'atmosphère.

- *Envisager les climats du futur*

L'identification des paramètres qui contrôlent le climat de la Terre est essentielle pour construire des modèles climatiques. Les scénarios d'évolution de la température moyenne de la Terre qui, outre la variabilité naturelle du climat, prennent en compte l'impact de l'activité humaine, prévoient un réchauffement de l'ordre de 2 à 5 °C au cours du XXI^e siècle.

Ce réchauffement à l'échelle du siècle se superpose à un refroidissement constant de plus grande ampleur commencé il y a 20 millions d'années.

En outre, les programmes de chaque niveau de classe donnent la possibilité d'exploiter certaines données de ce panneau dans le cadre de l'EEDD – thème de convergence « développement durable ».

PISTES PÉDAGOGIQUES

À partir de l'exploitation des données du panneau et des informations complémentaires associées dans le présent livret ou sur les sites des partenaires correspondants, on pourra former en situation d'apprentissage les élèves de collège et de seconde aux capacités suivantes :

- extraire et organiser l'information utile à la résolution d'un problème scientifique dans divers documents textes, cartes, graphiques, tableaux, photographies du panneau « n° 18 – L'outre-mer prend la mesure et des sites des partenaires » ;
- communiquer une solution à un problème en français correct et dans un langage scientifiquement approprié.

Les capacités évaluées en situation d'apprentissage	Indicateur de réussite	Évaluation	
		Élève	Professeur
Rechercher et extraire l'information utile	Rechercher et relever les informations dans divers documents d'un panneau d'exposition		
	Rechercher et relever l'information utile sur un site Internet		
Communiquer la réponse au problème dans un langage correct et scientifiquement approprié	Rédiger une réponse complète organisant les informations relevées		
	S'exprimer par écrit en français correct et dans un langage scientifiquement approprié		

ECA : en cours d'acquisition – A : acquis

Activité

L'outre-mer, notamment la Guyane, les îles Kerguelen et l'Antarctique, constitue de nombreuses bases avancées de l'étude du climat passé et présent de la Terre. Les données récoltées démontrent la réalité d'un réchauffement climatique global rapide lié aux activités humaines et permettent de produire des modèles de prévision des climats futurs qui, pour gagner en précision, nécessitent des données toujours plus nombreuses et plus précises.

Quel climat dans le futur ?

Pour résoudre ce problème, vous rechercherez et vous relèverez les informations utiles dans le panneau de l'exposition « n° 18 – L'outre-mer prend la mesure » et sur les sites* des partenaires associés se rapportant aux données relevées en Guyane ainsi qu'en Antarctique puis vous rédigerez une réponse au problème posé en organisant les informations relevées.

- * www.cnes.fr/web/CNES-fr/7090-terre-environnement-et-climat.php
www.cebc.cnrs.fr/ecomm/argonimaux/ArgoNIMAUX_EMa.html

Aide à la démarche de résolution :

À partir du panneau « n° 18 – L'outre-mer prend la mesure »

1. Précisez, d'après la présentation du thème, de l'interaction de quelles grandes enveloppes terrestres le climat dépend, puis indiquez son évolution actuelle ainsi que les causes et les conséquences de cette évolution.
2. À partir du Zoom 1, expliquez le rôle de la forêt guyanaise dans la régulation de l'effet de serre, ainsi que les modalités de la mesure de cette action à l'échelle d'un territoire grand comme 12 départements français.
3. En vous fondant sur les informations du Zoom 2, vous rendrez compte de la variété des mesures réalisées en Antarctique grâce aux ballons stratosphériques du programme d'étude Concordiasi lâchés depuis la base de McMurdo.
4. Justifiez, à l'aide du Zoom 3, la « collaboration » des éléphants de mer des îles Kerguelen à l'étude de paramètres physicochimiques de l'océan Austral que vous préciserez.

À partir du site du CNES

Présentez de manière détaillée les modalités d'utilisation des ballons stratosphériques dans le cadre de la campagne d'étude des variations climatiques en Antarctique Concordiasi puis montrez que leur mise en œuvre est complémentaire de celle de satellite comme Metop-A.

À partir du site du CEBC-CNRS

5. Établissez un panorama illustré des données récoltées par la femelle éléphant de mer « Vénus » au large des îles Kerguelen afin de compléter votre réponse à la question 4.

Rédigez un bilan récapitulatif des différents moyens présentés dans le panneau « n° 18 – L'outre-mer prend la mesure » fournissant les données indispensables aux modèles de prévision du climat futur.

AUTEURS

Conception de l'affiche : Stéphanie Flaesch
Accompagnement pédagogique : Vincent Béranger

PANNEAU RÉALISÉ AVEC LE CONCOURS DE :

- ONERA
- CNES
- CNRS
- Centre d'études biologiques de Chizé

Copyright SCÉRÉN CNDP-CRDP, 2011