

Ours polaires et banquise



© Shutterstock

© NASA Goddard's Scientific Visualization Studio



Lancé en 2010, Cryosat est le 1^{er} satellite européen dédié à l'observation des glaces polaires. Mesurant leur épaisseur au centimètre près, il permet d'en surveiller l'étendue, le volume et de valider les prévisions de fonte des glaces inéluctable avec le réchauffement climatique.

Les conséquences de la fonte de la banquise arctique sont importantes dans la régulation climatique mondiale et sur les écosystèmes polaires.

Grâce aux balises Argos, on peut étudier les déplacements des ours polaires et préciser l'impact de la fonte de la banquise sur leur développement.

Étendue maximum de la banquise annuelle arctique (hiver 2009). Image prise par l'instrument AMSR-E du satellite Aqua.

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Conséquences du réchauffement climatique sur la banquise arctique
- › Impact de la fonte de la banquise sur le déplacement des ours

AUTRES THÉMATIQUES

- › Rôle de la banquise arctique dans la régulation climatique mondiale
- › Les réseaux trophiques arctiques (chaînes alimentaires), l'influence indirecte des hommes sur les peuplements
- › Les grandes variations naturelles de températures au cours des temps (périodes glaciaires et périodes interglaciaires)

PISTES DE RÉFLEXION

- › Comment observer les évolutions de la banquise arctique ?
- › Quelles sont les conséquences de la fonte de la banquise sur les ours polaires ?

THÉMATIQUE 1

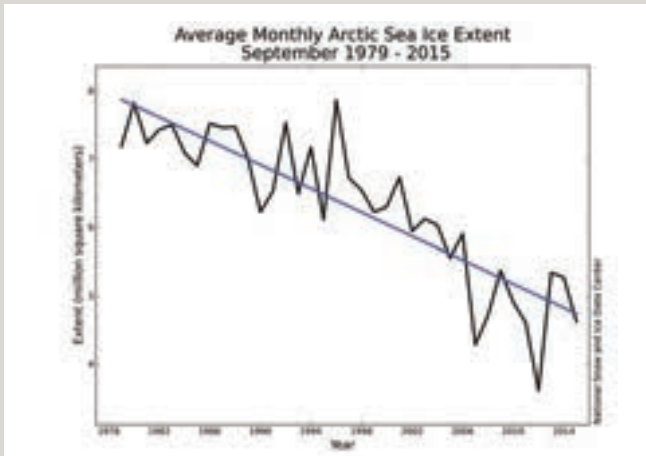
Conséquences du réchauffement climatique sur la banquise arctique

Formation de la banquise.

La banquise est de l'eau de mer gelée qui se forme lors des hivers polaires : quand la température de l'eau salée diminue à $-1,8^{\circ}\text{C}$, des cristaux de glace se forment. Petit à petit, toute la surface de l'eau est gelée. La banquise s'épaissit alors lentement par-dessous, jusqu'à atteindre environ 2 mètres d'épaisseur par endroits.

On distingue la banquise pluriannuelle qui persiste après la fonte estivale et s'épaissit jusqu'à 3 à 4 mètres et la banquise annuelle qui disparaît chaque été.

Surface moyenne de la banquise arctique en septembre, de 1979 à 2015

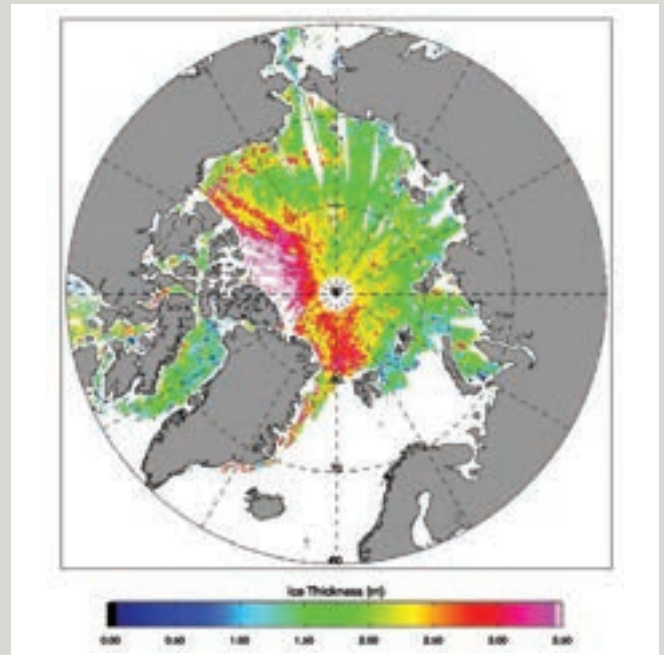


Évolution du volume de la banquise arctique

Le volume réel de la banquise est difficile à déterminer : la surface et l'épaisseur changent au cours des saisons, les glaces de mer se déplacent...

Grâce aux données du satellite Cryosat, le volume de la banquise a pu être calculé avec précision. Pour les mois d'automne, la moyenne du volume sur cinq ans est relativement stable. Cependant on estime que le volume actuel ($10\,200\text{ km}^3$ en automne 2015) ne représente que la moitié du volume qui existait vers 1980.

Épaisseur de la banquise arctique mesurée par le satellite CryoSat



Vue polaire de l'hémisphère Nord (fin de l'hiver 2014/2015)
©ESA/CPOM

CryoSat est le premier satellite à fournir des informations sur l'épaisseur de la banquise en temps quasi-réel.

Questionnement :

- Résumez dans un tableau les informations sur la formation, l'étendue, l'épaisseur et le volume de la banquise arctique.
- En vous basant sur les données de surface, estimez la date approximative de la disparition totale de la banquise en fin d'été si le réchauffement climatique (et la fonte des glaces qui en découle) se poursuit au même rythme. Faites la même estimation à partir des données fournies sur le volume de la banquise.
- Comment expliquer les différences entre les estimations ?



© Andrew E. Derocher

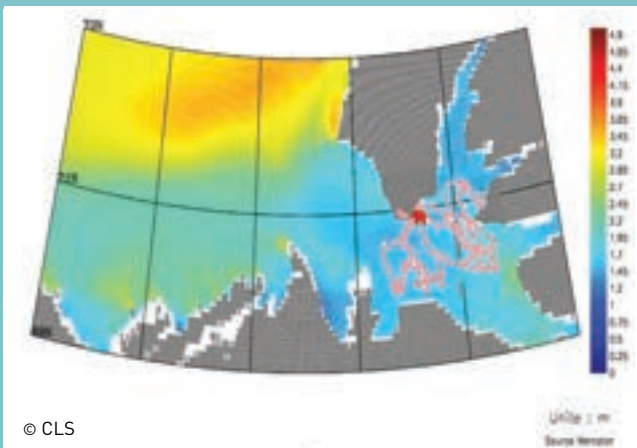
Ourse femelle équipée d'un collier avec balise Argos de suivi par satellite

Les ours équipés de balise Argos poursuivent leurs déplacements en toute liberté, uniquement en fonction de leurs besoins vitaux et des conditions environnementales. En comparant les trajets des ours polaires et les cartes satellites, on peut ainsi identifier les environnements qui leur sont favorables et les conséquences des changements du milieu sur la vie de l'espèce pour élaborer des mesures de protection adaptées.

Questionnement :

- Pourquoi les satellites sont-ils un outil important pour étudier les ours polaires ?

Les apports du suivi par satellite



© CLS

Exemple en mer de Beaufort : comparaison des trajets d'un ours polaire avec les cartes d'épaisseur de la banquise (modèle Mercator) lors de l'hiver 2013.

Le suivi par satellite montre que les ours polaires passent la majeure partie de leur vie sur une banquise d'épaisseur comprise entre 1,2 et 1,7 m. Ils sont très rarement sur la terre ferme.

Questionnement :

- Mettez en relation les suivis satellitaires des ours polaires avec leur comportement alimentaire.
- Détaillez comment la fonte de la banquise entraîne le déclin des populations d'ours polaires.

THÉMATIQUE 2

Impact de la fonte de la banquise sur le déplacement de l'ours polaire

Ours polaire : une espèce menacée de disparition

La population d'ours polaires est estimée à 20 000 ou 25 000 individus vivant au Canada, Groenland, États-Unis et Russie. Classée espèce vulnérable par l'UICN*, on estime que les deux-tiers de la population mondiale d'ours polaires pourraient disparaître d'ici 2050. De nombreuses études portent sur ce déclin, très médiatisé.

*Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Une vie adaptée et liée à la banquise

L'ours polaire se nourrit principalement de phoques, attrapés lorsqu'ils viennent respirer au niveau de trous dans la banquise.

L'ours chasse également les phoques et leurs petits dans leurs abris situés sous la neige qui recouvre la banquise.

Cette alimentation énergétique entraîne un stockage de graisse (jusqu'à 30 cm d'épaisseur sous la peau) qui permet aux ours de jeûner les mois où la banquise est fondue.



© Alain Bidard

Aller plus loin

Pour en savoir plus

Sur le DVD-ROM, vous trouverez des documents complémentaires sur cette thématique : vidéos, liens... et notamment un dossier pédagogique sur le suivi des ours polaires en direct par satellite avec Argonautica.



Le site du CNES

Le projet ArgoNimaux : suivre les déplacements d'animaux marins !

Avec ArgoNimaux, le CNES vous donne la possibilité de suivre en direct le déplacement d'animaux équipés de balises Argos.



Argonimaux est un des volets du programme éducatif Argonautica du CNES, il peut être décliné en différentes pistes de travail, du primaire au lycée.

<https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/7161-argonautica.php>

Le site Éduthèque

une offre du service public du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

Lançons le débat !

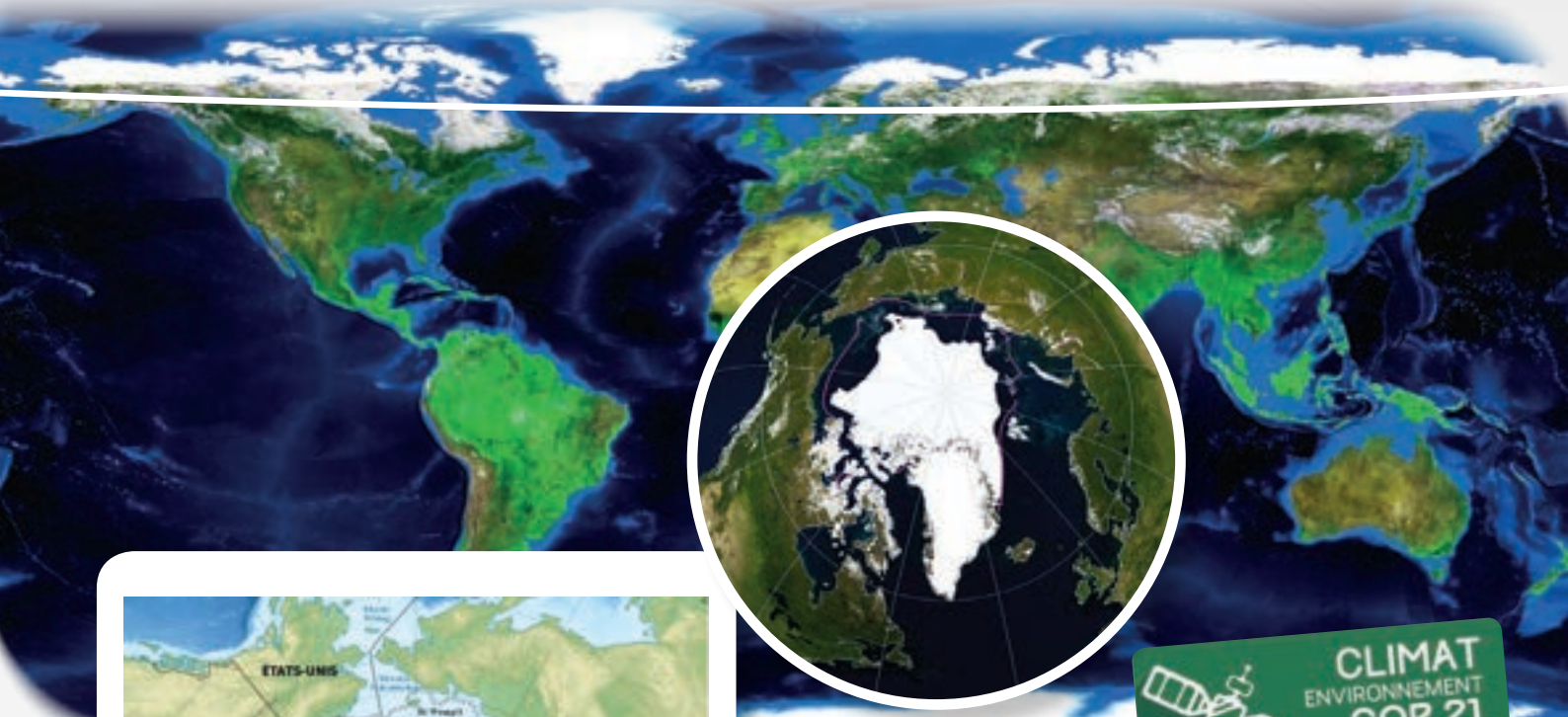
À partir de cette première approche des conséquences du réchauffement climatique sur la banquise arctique et les ours polaires, réfléchir aux conséquences plus globales sur les enjeux politiques de l'ouverture de la route maritime arctique.

© Rear Admiral Harley D. Nygren, NOAA Corps



Premier signe de la fonte printanière : un courant d'eau libre circule sur la glace.

Les enjeux géopolitiques de l'ouverture de la route maritime arctique



Monthly Sea Ice Extent for: Sep 2011
© NASA Earth Observatory



Source : <http://www.geolinks.fr/geopolitique/les-enjeux-actuels-et-futurs-de-larctique/>

L'évolution de la calotte glaciaire arctique est suivie par les satellites depuis deux décennies. Leurs observations indiquent une nette tendance de la disparition des glaces arctiques chaque été à venir, libérant d'une part la navigation par deux passages, Nord-Ouest (Canada) et Nord-Est (côtes russes), et donnant d'autre part l'accès à des ressources énergétiques et minérales stratégiques. Compte tenu des pays riverains de l'océan arctique, de fortes tensions géostratégiques se font jour et des risques environnementaux majeurs apparaissent.

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Suivi satellitaire des fontes des glaces arctiques
- › Ouverture à la navigation des passages du Nord-Ouest et Nord-Est
- › Accès à de nouvelles ressources énergétiques et minérales
- › Concurrence pour l'accès aux futures ressources et tensions géopolitiques
- › Risques environnementaux et menaces sur la biodiversité

PISTES DE RÉFLEXION

- › Quel impact du réchauffement climatique sur le monde arctique ?
- › En quoi l'Arctique devient-il un nouvel enjeu géostratégique ?
- › Que pèsent les risques environnementaux et la biodiversité face aux enjeux géostratégiques ?
- › Peut-on dire que l'Arctique est une « nouvelle frontière » ?

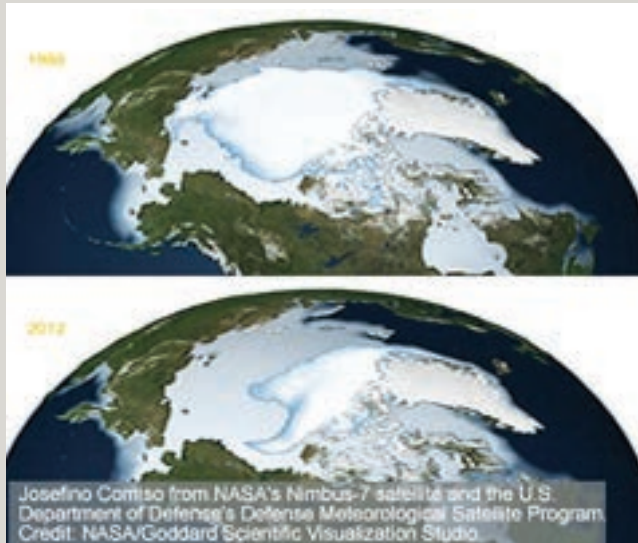
THÉMATIQUE 1

L'apport des satellites à la surveillance du monde arctique

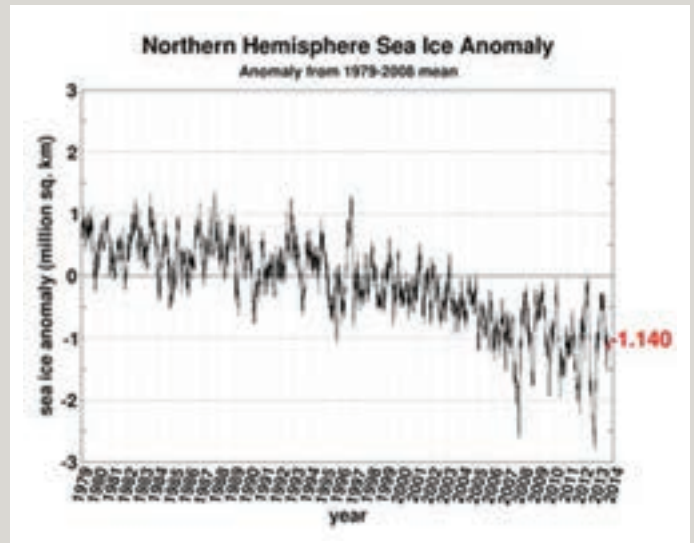
Qu'ils soient équipés de capteurs optiques ou radar, les satellites permettent un suivi régulier de l'état de l'extension de la calotte glaciaire arctique et des passages du Nord-Ouest et du Nord-Est.

Questionnement :

- Quelles évolutions de la banquise arctique apparaissent dans les images satellites ?
- Quels sont les avantages des images satellites ?

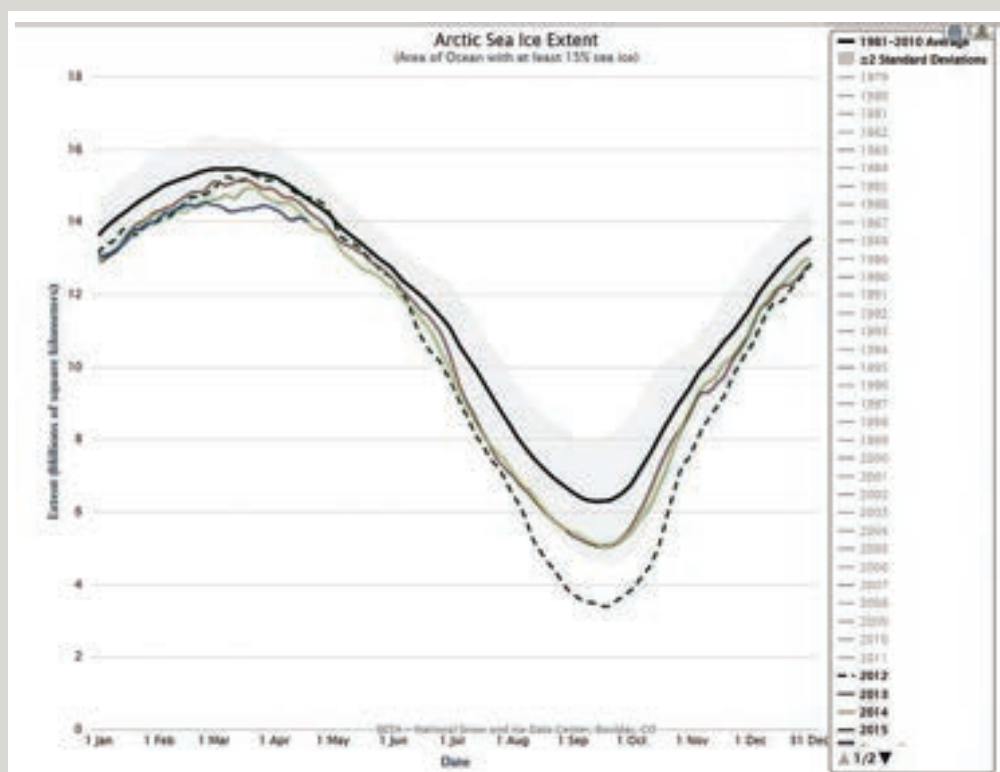


Source : National snow and ice data center - 2014



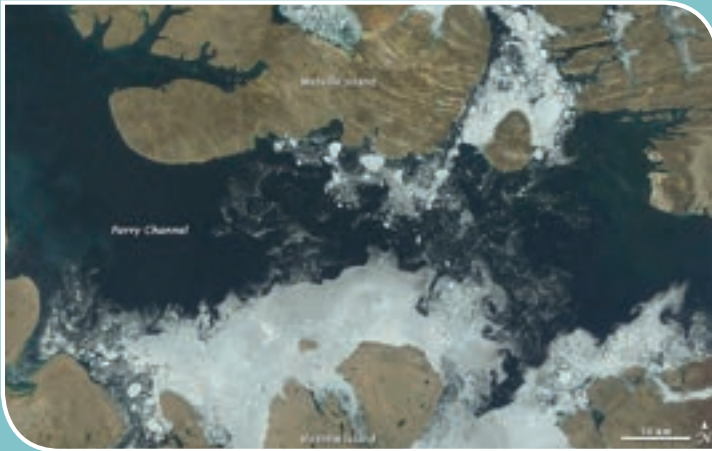
Questionnement :

- Quelle tendance générale apparaît sur 30 ans sur la courbe ci-dessus ?
- Que constatez-vous pour les 5 dernières années par rapport à la moyenne des 30 dernières années (courbes ci-dessous) ?



THÉMATIQUE 2

Ouverture à la navigation de passage du Nord-Ouest



Le Nunavik, un navire de l'armateur montréalais Fednav, est devenu le premier navire commercial à traverser le passage du Nord-Ouest sans l'aide de brise-glace. (Fednav Ltd).

Source : <http://www.rcinet.ca/regard-sur-artique/>
2014/11/12/traverser-sans-escorte-et-sans-sousis-le-passage-du-nord-ouest

Depuis l'épopée de Roald Amundsen (1905), le premier explorateur à franchir le passage du Nord-Ouest, celui-ci est resté jusqu'ici infranchissable. On considère maintenant que pratiquement **une année sur deux, le passage va devenir une voie navigable permettant de raccourcir considérablement les parcours entre l'Europe et l'Asie.**

Questionnement : quels sont les avantages et les dangers liés à l'ouverture du passage du Nord-Ouest ?

THÉMATIQUE 3

Accès à de nouvelles ressources et tensions géopolitiques

Retour de la géopolitique

Trois constatations à dimension prospective

En Arctique, on retrouve le triptyque ancestral : **présence, influence, puissance.**

Présence ? Les États les plus modestes (Islande...), les plus éloignés (Japon, Corée du Sud...) ou les moins bien dotés en moyens (Singapour...) voudront émarger aux grands enjeux de l'Arctique.

Influence ? Les États les plus ambitieux (Chine...), importeront dans le bassin arctique leurs rivalités asiatiques.

Puissance ? Quatre des cinq pays riverains (Russie, États-Unis, Canada, Norvège) resteront éminents ou essentiels. Le Groenland, également riverain et devenu indépendant, redeviendra le porte-avions américain qu'il a toujours été depuis la guerre ou, au pire, sera mangé tout cru par les appétits étrangers (en fait, les 57 000 Groenlandais n'existent pas géopolitiquement).

Source : **Arctique : la géopolitique est de retour** par Thierry Garcin, le 28 juin 2013 © février 2013 - Garcin/Diploweb.com. Mise en ligne initiale février 2013.

Questionnement :

- Compte tenu des ressources potentielles de l'Arctique, quels sont les enjeux géopolitiques et stratégiques ?
- Recherchez sur internet les conclusions des récentes réunions du Conseil de l'Arctique. Que constatez-vous ?





Aller plus loin

Pour en savoir plus



© Shutterstock

La banquise arctique atteint son minimum annuel

<http://www.natura-sciences.com/flash-actus/banquise-arctique-minimum2014.html>

Arctique : la géopolitique est de retour

T. Garcin, le 28 juin 2013 :

<http://www.diploweb.com/Arctique-la-geopolitique-est-de.html>

Géopolitiques arctiques : pétrole et routes maritimes au cœur des rivalités régionales ?

Frédéric Lasserre

<http://www.cairn.info/revue-critique-internationale-2010-4-page-131.htm>

Le site du CNES

La mission Cryosat pour le suivi de l'épaisseur des glaces :

<https://cryosat.cnes.fr/fr/cryosat/en-resume/accueil>

<https://cnes.fr/fr/web/CNES-fr/3975-cryosat-et-la-fonte-des-glaciers.php>



© ESA/IL/CARRIL Pierre, 2009

Cryosat

Mission Sentinel 1A :

<https://cnes.fr/fr/1-loeil-du-satellite/sentinel-1a-observe-la-fonte-des-glaciers>

Le site Éduthèque une offre du service public du numérique éducatif



© Shutterstock

Pour aborder d'autres thématiques sur l'observation des océans, de l'atmosphère et des terres émergées, consultez les ressources mises à disposition par le CNES.

<https://edutheque.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/11073-em-observer-la-terre.php>

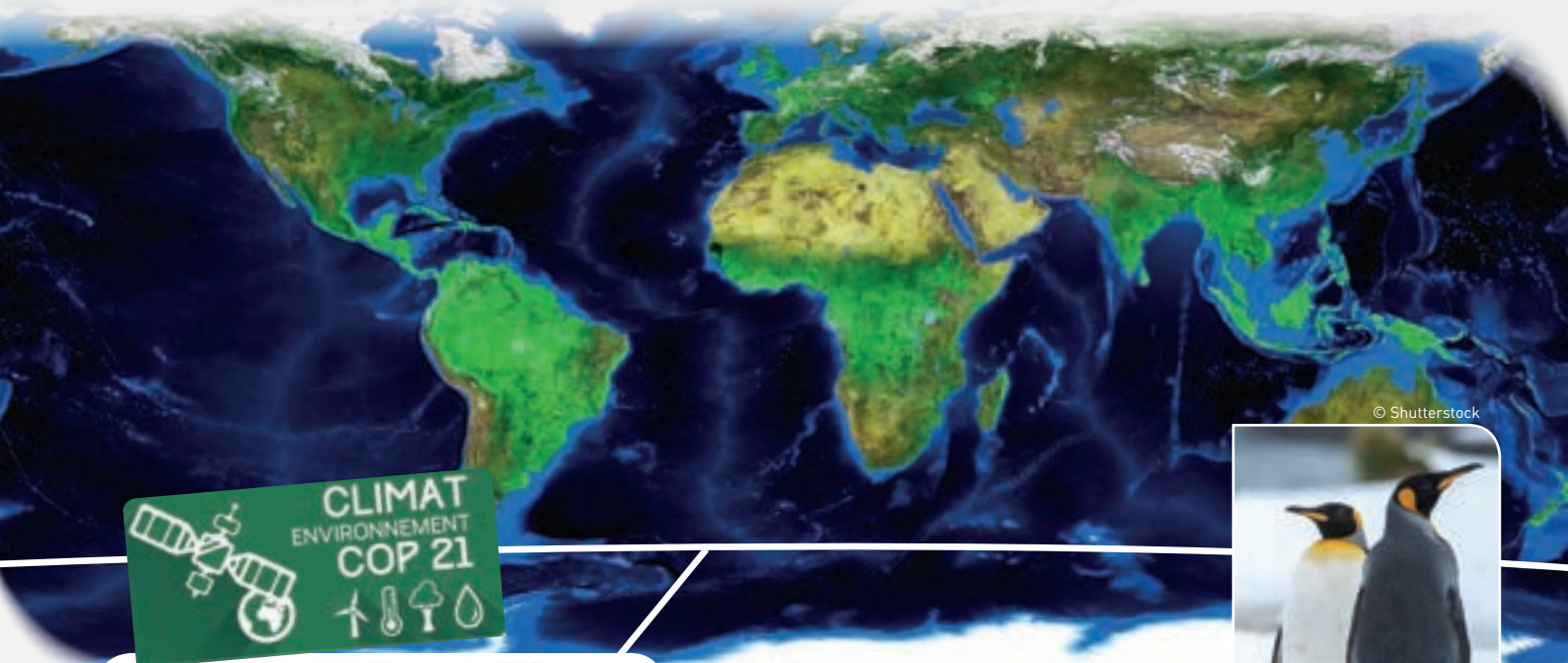
Lançons le débat !



© Shutterstock

Fonte des glaces arctiques, course internationale aux ressources et risques du changement climatique et destruction de la biodiversité : quels enjeux ?

Trop chaud pour les manchots ?



© Shutterstock



L'**Océan Austral** est animé d'un puissant courant qui se déplace de manière ininterrompue autour du continent antarctique.

En bordure de ce courant circumpolaire, les eaux froides antarctiques rencontrent les eaux plus chaudes des autres océans, entraînant une dynamique océanique particulière, source du développement d'une intense vie marine.

Les satellites, avec l'observation de la surface terrestre et le suivi d'animaux équipés de balises Argos, permettent d'étudier les conséquences du réchauffement climatique sur cette zone et sur la vie océanique qui s'y développe, comme les espèces de manchots par exemple.

Une circulation sans obstacle autour du continent Antarctique.
(Vue polaire - hémisphère sud)

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Découverte de la circulation océanique australe
- › Conséquences du réchauffement climatique sur le déplacement des manchots

AUTRES THÉMATIQUES

- › Moteurs de la circulation océanique et impact du climat sur la dynamique océanique
- › Biologie des manchots : classification, développement, adaptation au milieu, évolution du vivant...
- › Les réseaux trophiques océaniques, l'influence indirecte des hommes sur les peuplements
- › Les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF)

PISTES DE RÉFLEXION

- › Comment s'organise la circulation océanique antarctique ?
- › Quel impact du réchauffement climatique sur le front polaire ?
- › Quelles sont les conséquences des modifications du front polaire sur la vie océanique, et sur les manchots en particulier ?

THÉMATIQUE 1

Découverte de la circulation océanique australe

Le brassage des eaux chaudes des océans Indien, Atlantique et Pacifique sud avec les eaux froides de l'océan Austral (antarctique) entraîne la formation de nombreux courants tourbillonnaires et permet des échanges (température, salinité...).

Températures océaniques de l'océan Austral en été

On distingue trois zones où le changement de température du sud au nord est particulièrement rapide :

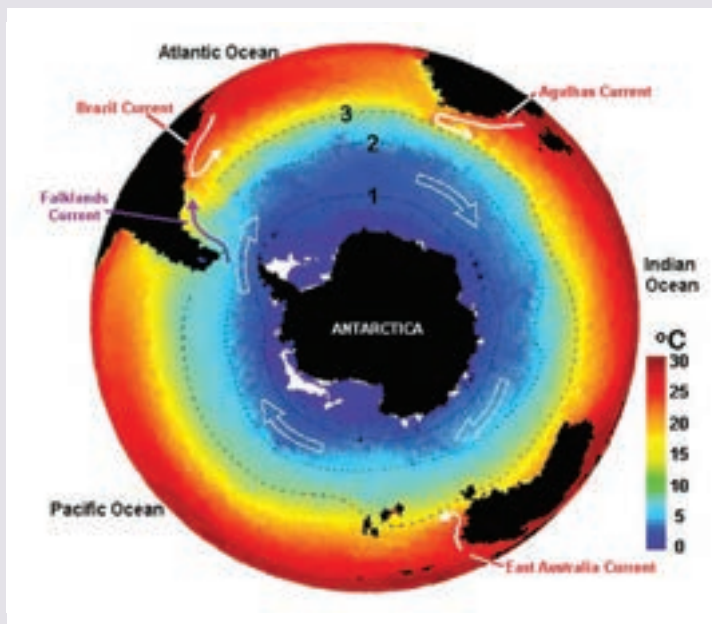
- 1) Le front polaire
- 2) Le front subantarctique
- 3) Le front subtropical (limite nord de l'océan Austral)

Les flèches blanches montrent le sens d'écoulement du courant circumpolaire antarctique.

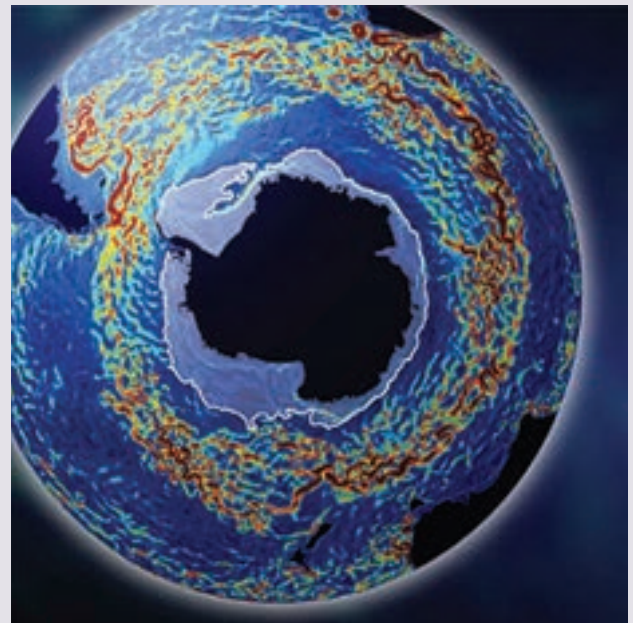
Une frontière naturelle tourbillonnaire : le front polaire

Modélisation de la vitesse des eaux dans l'hémisphère sud :

- en bleu/vert : courants lents
- en orange/rouge : courants rapides



© NOC from SST climatology data



© Image courtesy of M. Mazloff, MIT

Les conditions environnementales particulières du front polaire favorisent le développement de grandes concentrations de phytoplancton et de krill, bases des chaînes alimentaires océaniques.

On observe ainsi une abondance de poissons et un développement important de la vie océanique dans cette zone de turbulences.

Les variations climatiques, notamment celles des températures, ont des conséquences sur le front polaire et sur la vie qui s'y développe, comme les espèces de manchots par exemple.

Questionnement :

- À partir des documents, relevez les caractéristiques des courants marins existant au niveau du front polaire. Comment expliquer l'existence de ces courants ?
- Quelles conséquences ont ces courants sur la vie océanique ?
- Le réchauffement climatique entraîne une hausse des températures, notamment des océans Indien, Atlantique et Pacifique. Quelle conséquence cela peut-il avoir sur la position du front polaire ?

THÉMATIQUE 2

Conséquences du réchauffement climatique sur le déplacement des manchots



Manchot royal équipé d'une balise Argos de suivi par satellite. © C. Bost

Les manchots royaux vivent dans l'environnement subantarctique, partageant leur vie entre Terre où ils muent et se reproduisent (îles Crozet, Kerguelen...) et l'océan Austral où ils se nourrissent.

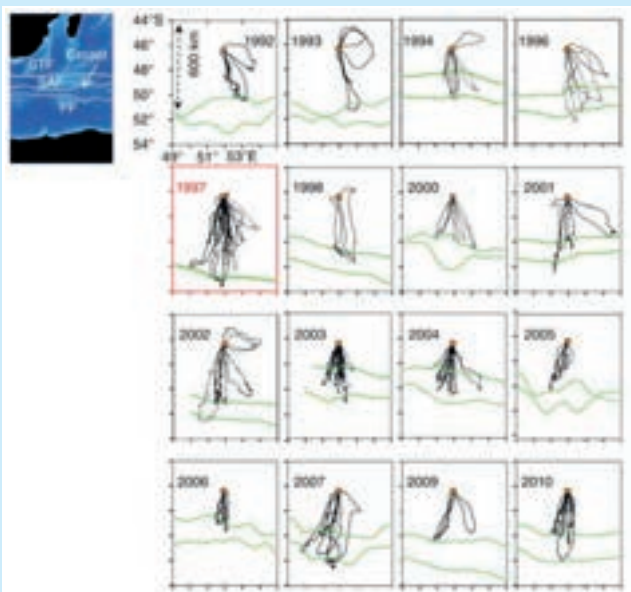
Les manchots font de longs trajets vers le front polaire pour pêcher des poissons en accomplissant plusieurs dizaines de plongées par jour.

De retour sur l'île, ils nourrissent leurs petits en régurgitant.

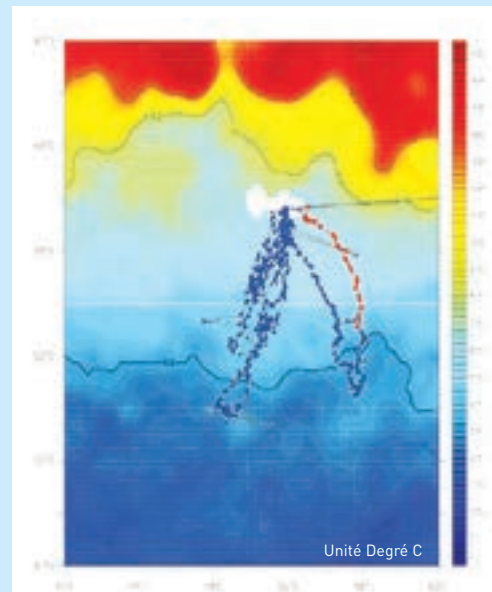
Questionnement :

À partir de ces trois documents, expliquez :

- Pourquoi les manchots se déplacent-ils en faisant des trajets en boucles et en repassant toujours par un même point ?
- Pourquoi les manchots se dirigent-ils vers l'Antarctique avant de faire demi tour ?



Trajets année après année des manchots vers le front polaire (lignes vertes déterminées respectivement par les isothermes mensuels 5°C et 4°C). En février-mars 97, les manchots ont dû parcourir un trajet beaucoup plus long pour nourrir leurs poussins. © CEBC/CNRS



Déplacements d'un manchot royal suivi par satellite superposés à la carte des températures mesurées par satellite (trajets du manchot en bleu foncé et en rouge pour les déplacements la dernière semaine de suivi). © CLS

Les modèles climatiques indiquent que le réchauffement des océans peut entraîner un déplacement de la zone de rencontre des eaux chaudes et froides bien plus au sud, plus près de l'Antarctique (de l'ordre de 400 km plus au sud qu'actuellement). Les trajets, ainsi que la durée des déplacements des manchots, vont considérablement augmenter (voire doubler). En période de nourrissage, les petits manchots peuvent mourir de faim si les parents manchots tardent trop à revenir sur l'île.

Les chances de survie des manchots face au réchauffement climatique dépendent des possibilités d'adaptation au niveau comportemental (comme par exemple revenir plus fréquemment nourrir les petits, prélever des proies plus « énergétiques », se déplacer au sud pour la reproduction).

Questionnement :

- Quelle conséquence un réchauffement climatique peut-il avoir sur la position du front polaire ?
- Quelle en serait la conséquence sur les manchots ?

Aller plus loin

Pour en savoir plus



© Shutterstock

Vous trouverez des documents complémentaires sur cette thématique : vidéos, liens et, plus particulièrement, un dossier pédagogique sur le suivi des manchots avec ArgoNimaux.

Le site du CNES

Le projet ArgoNimaux : suivre les déplacements d'animaux marins !

Avec ArgoNimaux, le CNES vous donne la possibilité de suivre en direct le déplacement d'animaux équipés de balises Argos.



Volet du programme éducatif issu d'Argonautica du CNES, ArgoNimaux peut être décliné en différentes pistes de travail, du primaire au lycée.

<https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/7161-argonautica.php>

Le site Éduthèque

une offre du service public
du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

Lançons le débat !

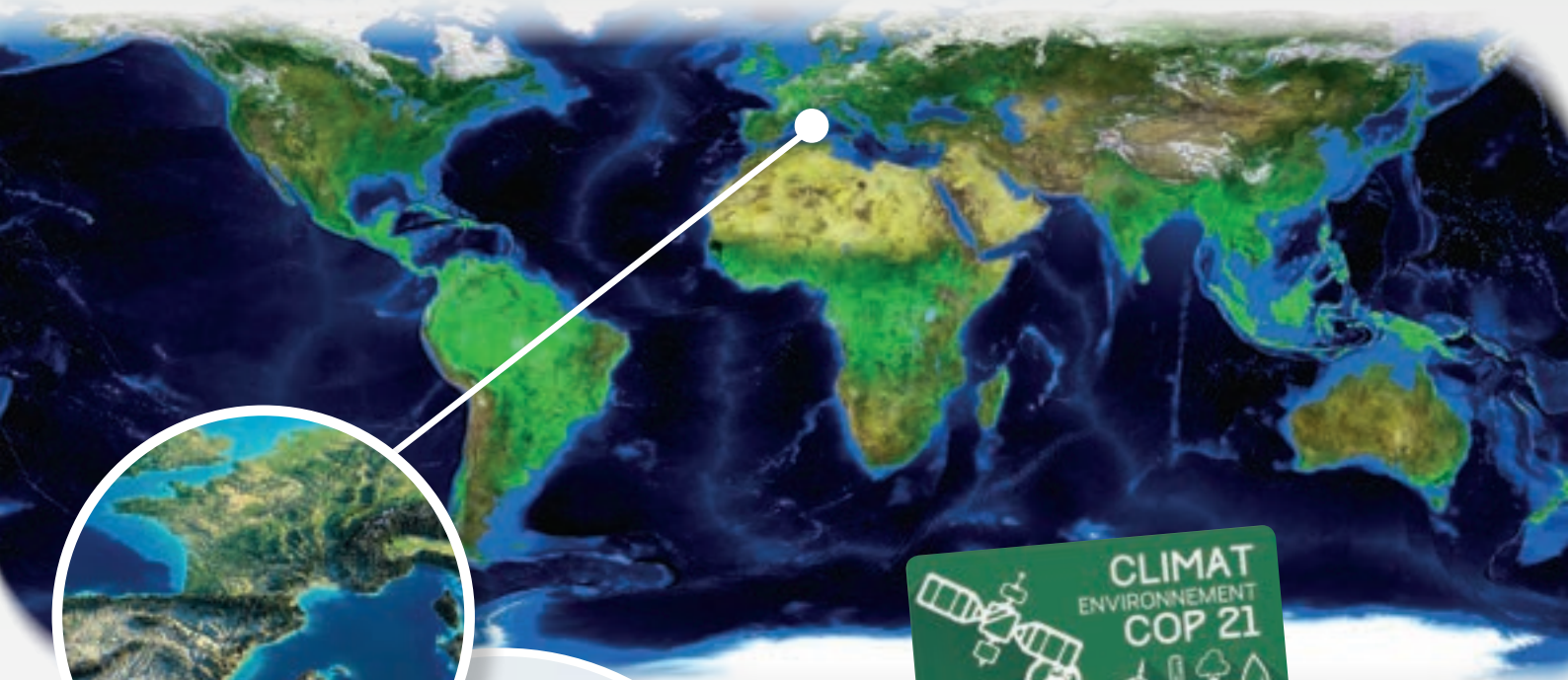
À partir de cette première approche des conséquences du réchauffement climatique sur le front polaire et les manchots, réfléchir aux conséquences plus globales sur la biodiversité océanique antarctique et sur les espèces vivant sur les îles subantarctiques.



Îles Kerguelen

Isolées géographiquement, présentant des conditions optimales pour des organismes, souvent endémiques et à fort degré de spécialisation et d'adaptation, les îles subantarctiques sont particulièrement surveillées.

Étude expérimentale du courant liguro-provençal en Méditerranée



Parce qu'elle est une mer presque fermée, la Méditerranée peut être considérée comme un modèle réduit de l'océan mondial, avec ses courants en surface et en profondeur.

Les élèves d'un lycée de Rodez (Aveyron) ont mis à l'eau une bouée océanographique au large de Marseille. Les marins leur ont indiqué la présence d'un courant important à cet endroit-là mais les élèves ne connaissent pas bien ses caractéristiques.

Ils souhaitent en savoir plus...!

© DR



Largage de la bouée océanographique Téthys construite dans le cadre du projet pédagogique Argonautica du CNES

© Photos : Lycée Monteil, Rodez



THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Exploitation des données bathymétriques et topographiques
- › Exploitation des relevés de température d'une bouée océanographique

AUTRES THÉMATIQUES

- › La dynamique océanique

PISTES DE RÉFLEXION

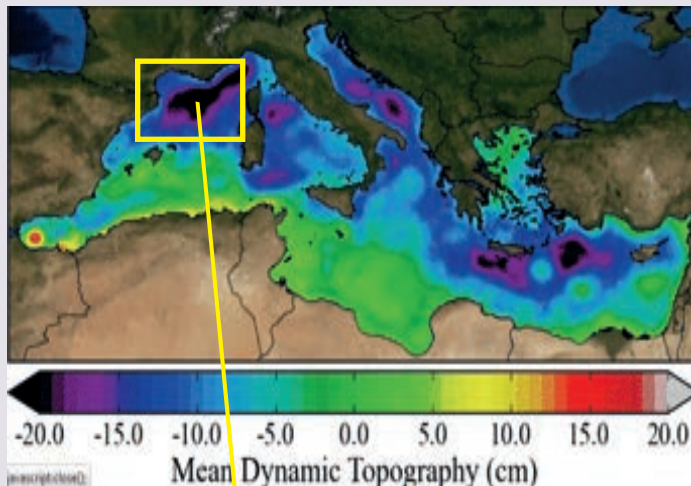
- › Quels grands courants marins animent l'océan ?
- › Quelles sont leurs caractéristiques et comment expliquer leur existence ?
- › Quels intérêts peut présenter la connaissance des courants marins ?

THÉMATIQUE 1

Exploitation des données bathymétriques et topographiques

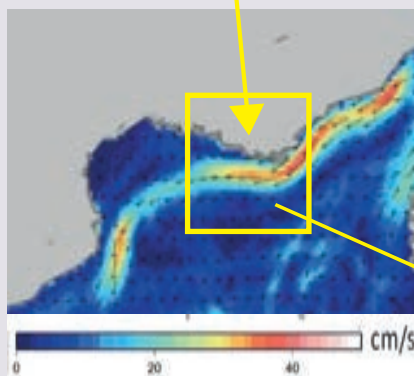
Après le largage de leur bouée, les élèves essaient de mettre en corrélation les données globales obtenues par satellites et les données recueillies in-situ par leur bouée dans ce courant méditerranéen.

Objectif : la mise en évidence de certaines caractéristiques du courant liguro-provençal en Méditerranée.



Carte de la topographie de la Méditerranée, autrement dit le relief de la surface de la mer, en partie dû aux courants.

On y observe par exemple des tourbillons océaniques, sous forme de « creux » (tourbillons froids de **couleur noire**) ou de « bosses » (tourbillons chauds **en rouge**) en relief.



Carte de la vitesse des courants marins

Le courant liguro-provençal est présent là où la vitesse augmente fortement.

© Image Aviso

Carte de la bathymétrie et trajet suivi par la première bouée des lycéens (Bouée Vénus)

L'étude de la profondeur de l'eau (le relief des fonds marins) s'appelle la **bathymétrie**. Cette profondeur est mesurée par des navires océanographiques ou calculée à partir de mesures transmises par les satellites altimétriques et par les navires.



© Google Earth

Questionnement :

- Mettez en relation la trajectoire du courant marin et la bathymétrie.
- Comparez la trajectoire de la bouée des lycéens à la carte de la vitesse des courants marins.
- Sachant que la bouée des lycéens a émis pendant 44 h, calculez sa vitesse approximative en cm/s et comparez-la à la carte de vitesse des courants marins.
- Que signifie la masse noire et bordeaux visible au sud du golfe du Lion sur le document présentant la topographie de la Méditerranée ?
- Concluez en présentant les caractéristiques du courant liguro-provençal.

THÉMATIQUE 2

Exploitation des relevés de température d'une bouée océanographique



La bouée Téthys et ses équipements

Equipée de capteurs qui relèvent la température à différentes profondeurs et la hauteur des vagues reliés à un système de télémétries, la bouée Téthys a transmis régulièrement ses données aux satellites Argos.

Les informations collectées par la bouée Téthys ont été nombreuses et diverses.

Une petite partie des données de Téthys :

Identification			Localisation			Expérimentation			
N° ID	Plate-forme	N°	Latitude	Longitude	Date de loc.	SENSOR #01	SENSOR #02	SENSOR #19	SENSOR #20
25600	TETHYS	3102	42° 58' 39"N	5° 20' 23"E	26-nov.-2014 17:21:32	03	99	BB	BB
25600	TETHYS	3102	42° 58' 33"N	5° 21' 06"E	26-nov.-2014 19:01:33	03	96	C4	CE
25600	TETHYS	3102	43° 01' 04"N	5° 18' 44"E	27-nov.-2014 03:15:34	03	7D	B4	9A
25600	TETHYS	3102	43° 01' 04"N	5° 18' 44"E	27-nov.-2014 03:15:34	03	7A	39	39
25600	TETHYS	3102	43° 01' 09"N	5° 18' 26"E	27-nov.-2014 03:37:34	03	7D	EE	EE
25600	TETHYS	3102	43° 01' 09"N	5° 18' 26"E	27-nov.-2014 03:37:34	03	86	E8	E8

L'objectif est de corréliser les **variations de température mesurées dans ce courant** avec d'autres informations plus globales transmises notamment par les satellites.

Les données d'expérimentation correspondent à des mesures recherchées, par exemple la température de l'eau. Cette information est fournie en base 16 par 2 octets par les capteurs 1 et 2 car elle est codée en binaire sur 10 bits.

Questionnement :

- Convertissez en base 10 la première valeur de température reçue sur les capteurs 1 et 2.
- En base 10, quelle valeur maximale peut-on coder avec ces 10 bits ?
- Sachant que le capteur donne au maximum 5 Volts, quelle tension correspond à la valeur précédente ?
- Sachant que l'équation de la courbe d'étalonnage de ce capteur de température est la suivante : $T = 2,81 \times U_m + 5,57$, calculer la température de l'eau de la mer à ce moment là.
- En reprenant les calculs précédents, mesurer la variation de température pendant la durée du relevé fourni.
- Sachant que ce capteur est situé à 30 m sous le niveau 0, et à l'aide de l'ensemble des réponses précédentes, que penser de cette variation ?





Aller plus loin

Pour en savoir plus



© Shutterstock

Sur le DVD d'accompagnement, vous trouverez

des documents complémentaires sur cette thématique : vidéos, liens, ainsi qu'un compte-rendu d'« Océanides Project » du lycée Monteil de Rodez.

Le site du CNES

Le projet ArgoTechno propose aux classes du secondaire de concevoir, construire et expérimenter en situation réelle leur propre bouée expérimentale.



Ce volet du projet éducatif Argonautica du CNES vous donne la possibilité de suivre en direct, le déplacement de la balise Argos au beau milieu de l'océan ou le long des fleuves et d'analyser les données de ses capteurs.

<https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/7161-argonautica.php>

Le site Éduthèque

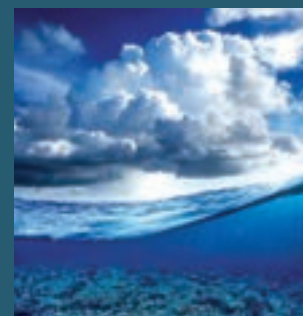
une offre du service public du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

Lançons le débat !

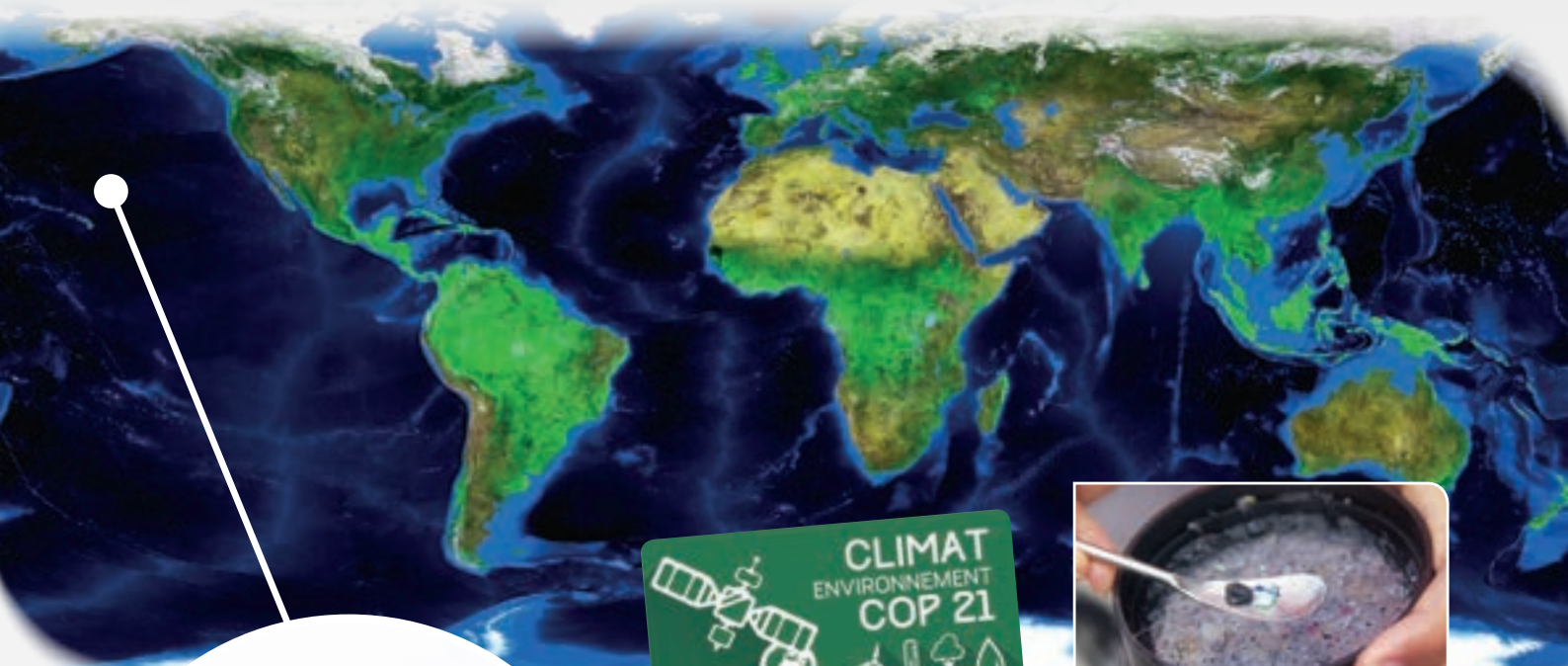


Les courants océaniques étant fortement liés aux variations climatiques, quels effets peut-on attendre suite au changement climatique en cours (variations du Gulf Stream...)?

Est-ce que les eaux de la Méditerranée subissent davantage les effets de la pollution qu'un océan, plus ouvert ?

Les catastrophes climatiques d'octobre 2015 sur la Côte d'Azur sont-elles imputables au réchauffement des eaux ?

« 7^e Continent »: la pollution des océans par le plastique



La «soupe» plastique © 7^e continent



Mise à l'eau d'une bouée équipée de balise Argos et de différents capteurs d'étude de l'eau.

© 7^e continent

Les médias se sont récemment emparés du problème constitué par nos **déchets plastiques** qui finissent leur voyage au beau milieu des océans sous forme de milliards de débris. Quels sont les impacts de cette pollution sur notre environnement à court et moyen terme ? Comment expliquer et prévoir la dérive de ces débris vers les zones d'accumulation (parfois qualifiées « d'îles plastiques » ou de « 7^e continent ») ?

Grâce aux balises Argos fixées sur des bouées dérivantes lâchées en mer, on connaît mieux la circulation océanique qui peut transporter ces débris plastiques. Des satellites altimétriques comme ceux de la série des Jason permettent de mesurer des écarts de hauteur de quelques centimètres entre les différentes parties de l'océan. Combinées avec le suivi de bouées dérivantes, ces mesures permettent de dessiner la carte des courants marins et d'en suivre l'évolution en temps réel.

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Origines de l'accumulation des déchets au cœur des océans
- › Impact de l'accumulation des déchets plastiques sur notre environnement
- › Localiser les zones d'accumulation par satellite

AUTRES THÉMATIQUES

- › Évolution des habitudes de consommation des matières plastiques
- › Adaptation des êtres vivants à l'apparition des débris plastiques dans les océans

PISTES DE RÉFLEXION

- › Comment se débarrasser des déchets plastiques qui s'accumulent dans les océans ?
- › Comment observer l'évolution des zones d'accumulation de ces déchets ?

THÉMATIQUE 1

Origines de l'accumulation des déchets au cœur des océans

Provenance des déchets

On estime à 300 millions de tonnes la quantité de plastique présente dans les océans, un chiffre qui augmente actuellement de 10 millions de tonnes par an. 80 % de ces déchets proviennent des continents et se retrouvent dans la mer, emportés par la pluie et le vent, les inondations et les tempêtes. Les 20 % restants proviennent de l'activité maritime.

Questionnement :

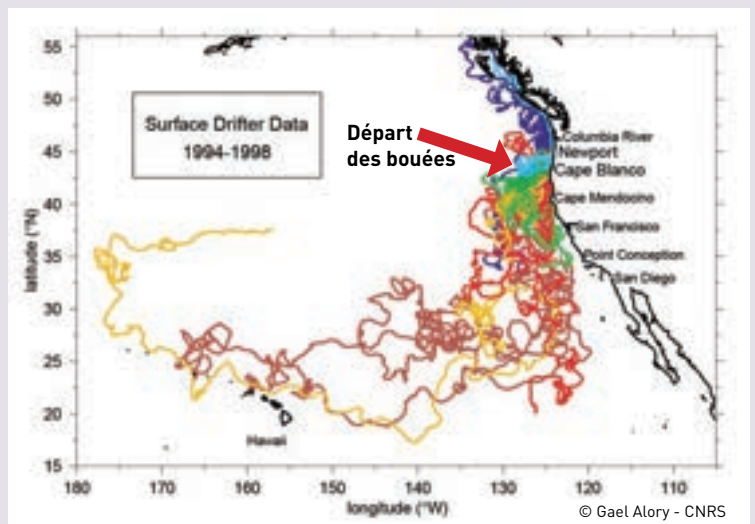
- Si la pollution par les plastiques se poursuit au même rythme, dans combien d'années la quantité de plastique aura-t-elle doublé dans l'océan ?

Déplacement des déchets plastiques

Les déchets se déplacent en suivant les mêmes courants que des bouées d'étude océanographique.



Des bouées dérivantes munies de balises Argos ont été larguées à proximité de la côte ouest de l'Amérique du Nord. Chaque ligne de couleur correspond à la trajectoire d'une bouée.



Questionnement :

- Dans quelle direction se dirigent la plupart des bouées : nord, ouest, sud, est ?
- Dans quel sens finissent-elles par tourner : à gauche ou à droite ?
- De nombreux déchets échouent sur les îles d'Hawaii. Peuvent-ils provenir du continent américain ? Justifier.

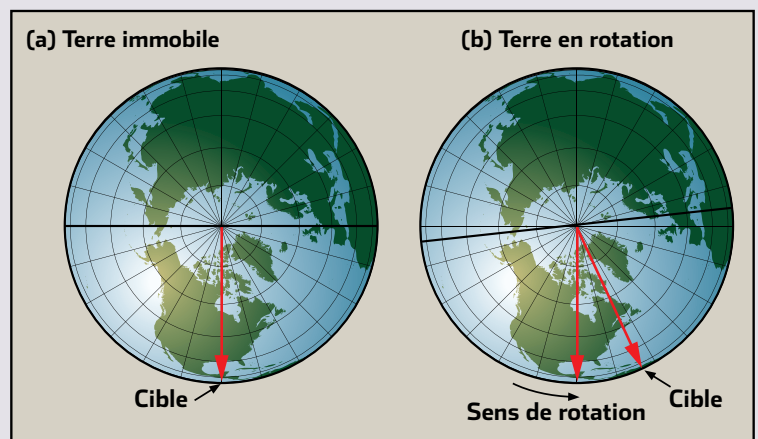
La rotation de la Terre à l'origine de la déviation des courants marins

Imaginons que je sois au Pôle Nord et que je veuille atteindre avec un projectile une cible sur l'équateur.

Si je considère que la Terre ne tourne pas (a), il me faudra viser tout droit.

Mais comme la Terre tourne (b), je vais manquer ma cible car pendant que le projectile avance, la Terre va également se déplacer.

Ce phénomène, appelé force de Coriolis est à l'origine de grands tourbillons : les gyres océaniques (cf thématique 2).



Déviation liée à la rotation de la Terre

© ACM

Questionnement :

- Dans quel sens le projectile va-t-il être dévié : à droite ou à gauche ?
- Ce sens est-il le même pour les bouées dérivantes suivies par Argos ?
- Expliquer pourquoi les gyres de l'hémisphère Sud tournent dans le sens inverse.

THÉMATIQUE 2

Localiser par satellite les zones d'accumulation dans les gyres.

On peut retrouver les zones d'accumulation des débris plastiques en utilisant les données des satellites altimétriques (voir fiche technique JASON).

La présence des courants marins est toujours couplée à une légère dénivellation à la surface des océans.

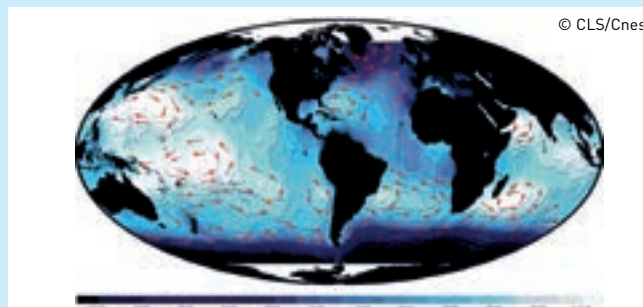
Les gyres océaniques se traduisent entre autres sur la surface des océans par des bosses (et des creux), car ils sont liés à des accumulations d'eaux, poussées par les vents sur les bords ouest des océans, le long des continents. L'altimétrie par satellite permet de mesurer le relief des océans, et donc de détecter notamment, entre autres, les gyres.

On peut simuler par ordinateur le déplacement des débris plastiques (ou des bouées) au milieu de ces courants marins et faire des prévisions.

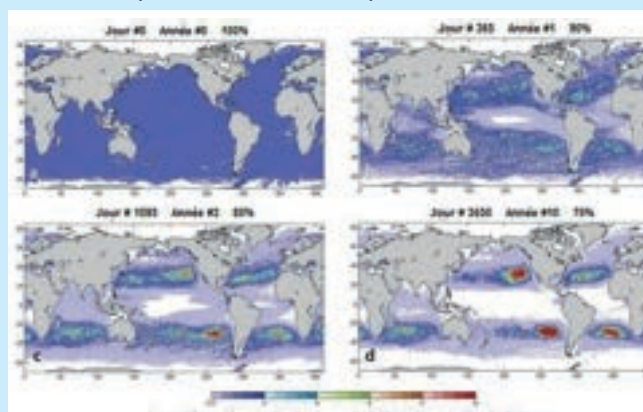
Ces dernières années, les mesures réalisées à l'occasion d'expéditions telles que celles du « 7^e continent » ont pu vérifier que la concentration en déchet augmente quand on se rapproche de ces zones d'accumulation.

Questionnement :

- Repérer la latitude et la longitude des 5 zones d'accumulations identifiables grâce à cette simulation.
- Estimer la surface de la zone d'accumulation du Pacifique Nord (en rouge), sachant qu'à cet endroit un degré correspond environ à 100 km. Comparer cette surface avec celle de la France.



Carte des courants marins mondiaux (flèches rouges) établie d'après les mesures altimétriques (en bleu et blanc)



Simulation du déplacement de bouées.

Année#0 : Des flotteurs sont répartis sur l'intégralité de la surface océanique (répartition en bleu). L'ordinateur calcule alors le déplacement des flotteurs et affiche une couleur différente quand ils se concentrent, mettant en évidence l'existence de 5 zones d'accumulation, correspondant aux gyres.

THÉMATIQUE 3

Impact de l'accumulation des déchets plastiques sur notre environnement

Les débris plastiques se concentrent au cœur des gyres océaniques, ces grands tourbillons créés par la rotation de la Terre. On peut en trouver jusqu'à 3,5 kg par km².

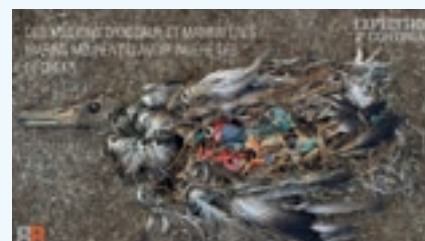
Les animaux marins qui vivent dans ces gyres se nourrissent de plancton mélangé à du plastique.

Certains prennent souvent ces morceaux de plastiques pour des proies : c'est le cas des oiseaux qui pensent attraper des poissons à la surface de l'eau ou des tortues qui ingèrent le plastique qu'elles prennent pour une méduse.

Ces matières plastiques contiennent des substances toxiques telles que des métaux lourds qui se concentrent dans la chaîne alimentaire.

Questionnement :

- Pourquoi les morceaux de plastiques s'accumulent dans l'estomac des animaux ?
- Comment les substances toxiques des débris plastiques peuvent-elles se retrouver dans notre corps ?





Aller plus loin

Pour en savoir plus



Vous trouverez des documents complémentaires sur cette thématique et notamment la notice du jeu Gyroplastic du collège de La Réole.

<http://pourtoutlemonde.fr/college/victoire-notre-jeu-remporte-prix-jimagine-jinnove-gere/gyroplastic-light/>

Le site du CNES

Le projet ArgOcéan :
suivre les déplacements
de bouées dérivantes !



Avec ArgOcéan, le CNES vous donne la possibilité de suivre en direct le déplacement de bouées dérivantes équipées de balises Argos.

Le site Éduthèque

une offre du service public
du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

Lançons le débat !

À partir de cette première approche des conséquences de l'accumulation des déchets plastiques dans les océans, réfléchir aux solutions pour s'en débarrasser.



© DR

Quelques liens vers des organisations déjà engagées dans ce processus :

<http://www.septiemecontinent.com/>
<http://operationbigblue.org/>
<http://www.theoceancleanup.com/>

Quand la mer monte...



Le réchauffement climatique modifie les équilibres et entraîne notamment une élévation du niveau marin.

Les mesures précises des satellites altimétriques montrent une élévation du niveau moyen global des océans de 3,3 mm par an depuis 1993. Cette élévation peut paraître relativement faible mais elle a des effets significatifs sur de nombreux points de notre planète : le littoral, les îles, les villes côtières, parfois très peuplées.

Le niveau monte... Jusqu'où ? Pourquoi et quels impacts ?

L'eau circule de réservoirs en réservoirs sous ses trois états (liquide, vapeur et glace) selon un « cycle »

L'eau des étendues d'eau et de la végétation s'évapore, se condense (nuages), retombe sous forme de pluie, neige ou grêle. Au sol, elle est absorbée par la végétation, ruisselle vers les rivières et les fleuves, s'infiltré lentement en profondeur jusqu'aux nappes phréatiques, alimente le système des fleuves et des rivières ou encore s'accumule pendant les périodes froides dans les glaciers. Lorsque la température augmente, les différents réservoirs varient : les glaces fondent, l'évaporation augmente...



© Cnes/D. Ducros



Montée des eaux dans l'archipel des San Blas, au Panama

© Y. Arthus-Bertrand/Planet Ocean

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Observation des variations du niveau des océans
- › Les raisons de l'élévation
- › Les conséquences

AUTRES THÉMATIQUES

- › L'altimétrie
- › Les continents et niveaux des océans au cours des temps géologiques

PISTES DE RÉFLEXION

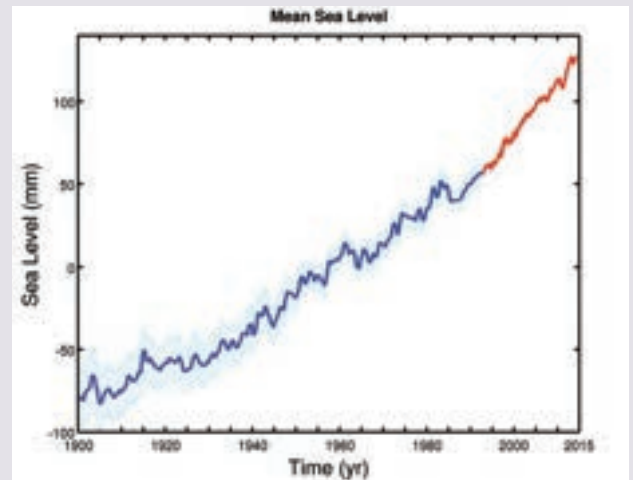
- › Quelles sont les zones d'habitation les plus exposées ?
- › Quelles mesures de prévention des risques sont prévues ?
- › Quels aménagements sont envisageables, souhaitables ?
- › Quels impacts peut avoir l'élévation du niveau des mers sur la faune et la flore ?

THÉMATIQUE 1

Observation des variations du niveau des océans

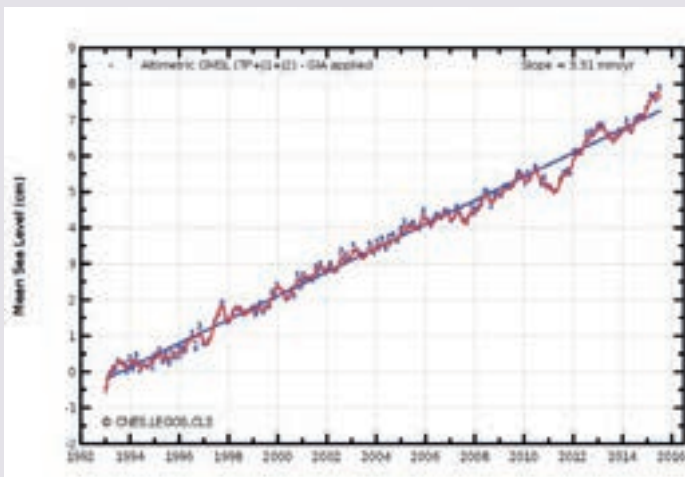
Si le niveau des océans a varié au cours des temps (en lien avec les périodes glaciaires et interglaciaires), les observations géologiques et archéologiques indiquent que depuis plusieurs millénaires, le niveau moyen de la mer est resté stable. Cependant, depuis plus d'un siècle, on observe une élévation du niveau marin, avec, depuis quelques années, une accélération de la montée.

Depuis la fin du 19^e siècle, les mesures des marégraphes, instruments installés dans les ports et le long des côtes pour surveiller les marées, montrent un niveau des océans qui monte de façon significative.



Élévation du niveau des mers d'après les marégraphes (en bleu), les satellites (en rouge).

© LEGOS



Élévation du niveau moyen des océans mesurée par les satellites altimétriques

Depuis les années 1990, les satellites altimétriques (Topex/Poséidon, Jason-1 puis Jason-2, Envisat et Saral/Altika) observent tous les océans en continu et permettent de mesurer les variations du niveau de la mer avec une précision de l'ordre de quelques dixièmes de mm sur la tendance annuelle.

Questionnement :

- Au cours du 20^e siècle, de combien s'est élevé le niveau des mers ?
- Si la tendance se poursuit, quelle élévation peut-on attendre pour 2020 ?
- À partir des données des satellites altimétriques, calculez l'augmentation annuelle du niveau des océans .

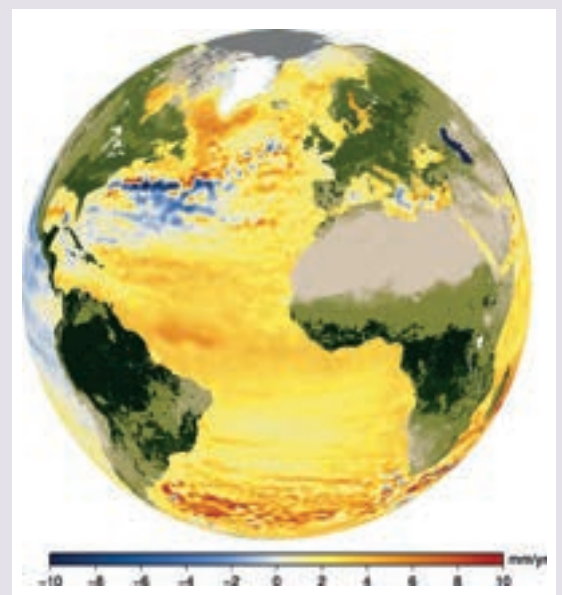
Une montée globale mais des variations très inégales !

Les observations spatiales permettent de mesurer les variations du niveau de la mer sur tout le domaine océanique et d'en déduire que l'élévation du niveau des océans est loin d'être uniforme. Dans certaines régions océaniques, la mer a effectivement monté (jusqu'à 10 millimètres par an par endroits), alors que dans d'autres, elle a baissé d'une quantité équivalente.

Ces « dérives » régionales, observées depuis 1993, reflètent principalement une expansion thermique non uniforme.

Tendances de la variation du niveau des mers sur la période 1992 – 2015, mesurée par les satellites altimétriques

© CNES/Legos/CLS



Questionnement :

- Repérez des zones montrant que les variations du niveau des océans peuvent être très différentes selon les régions.

THÉMATIQUE 2 Les raisons de l'élévation

Échanges d'eau

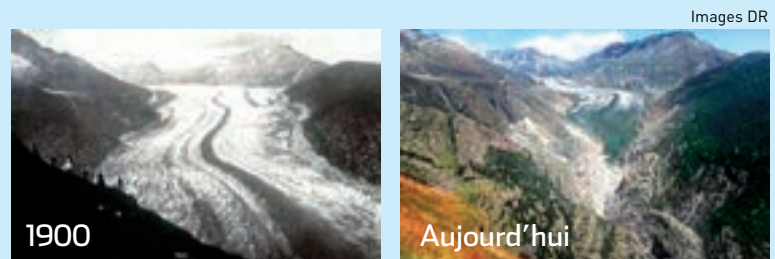
Le niveau des mers intérieures (Mer Caspienne, Mer d'Aral, Mer Noire) et des lacs continentaux est surtout lié aux échanges d'eau avec l'atmosphère et au débit des fleuves. Les variations du climat entraînent des modifications de ces apports en eau, et donc une élévation ou une baisse du niveau des mers et des lacs.

Les stocks d'eaux continentales peuvent aussi être modifiés par les activités humaines : construction de barrages, prélèvements d'eau pour l'irrigation... Ces variations ont des conséquences sur le niveau des océans.

Fonte des glaciers et des calottes polaires

La diminution de masse des calottes polaires (Groenland et Antarctique) et la régression de la plupart des glaciers de montagne ont une influence sur le niveau de la mer.

Leur fonte contribue à 56 % de l'élévation du niveau des océans observée pour la période 2003-2013.



Variations de température - Les variations du niveau des mers suivent de près les changements de température de l'eau. L'eau se dilate en chauffant, ce qui provoque une augmentation de son volume et donc une élévation du niveau. Les océans réagissent ainsi en quelques années à un réchauffement climatique. Pour la période 2003-2013, la dilatation thermique de l'océan est responsable de 34 % de l'élévation du niveau des océans.

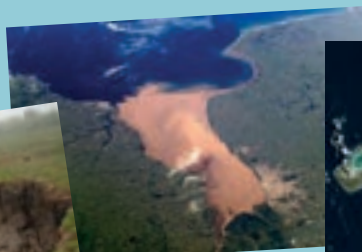
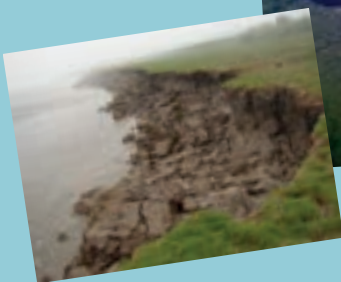
Questionnement :

- Comment le réchauffement climatique peut-il provoquer une élévation du niveau des océans ?

THÉMATIQUE 3 Des conséquences directes sur les littoraux

Les zones littorales, où vit une part importante de la population mondiale, sont particulièrement sensibles à la montée du niveau des océans. Les conséquences d'une élévation sont diverses : inondations à répétition (lors de grandes marées, de tempêtes...), submersion permanente, accélération de l'érosion des falaises et des plages, accroissement de la salinité des estuaires, contamination des nappes phréatiques d'eau douce par le sel...

Falaise en bord de mer
© Ian Paterson CC

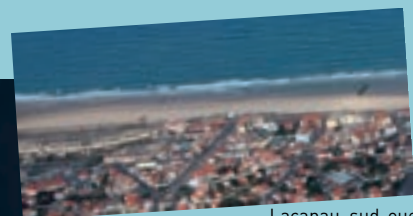


Estuaire Rio de la Plata, côte atlantique sud-américaine

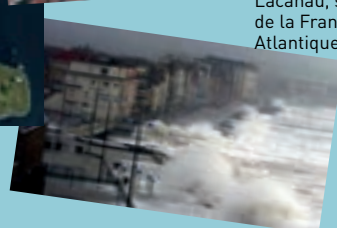


La République des Kiribati

SPOT 6/7 © Distribution Airbus DS



Lacanau, sud-ouest de la France, bordure Atlantique



Wimereux. Vents forts en 2007
© MAXPPP

Questionnement :

- Pour chacune des photos, identifiez les conséquences directes d'une élévation du niveau des océans.

Aller plus loin

Pour en savoir plus



Vous trouverez des documents complémentaires sur cette thématique telles que de courtes vidéos expliquant simplement l'océanographie et les variations du niveau des mers et un document de l'atelier de la Cité de l'Espace (Toulouse) intitulé «Océan et réchauffement climatique»..

Le site du CNES

Une présentation simple du fonctionnement de l'altimétrie :



© Cnes

Comment ça marche... l'altimétrie ?

- Une histoire de courants
- L'altimétrie en théorie
- De l'altitude à la hauteur
- Les corrections, gages de précision
- Une mine d'informations

À lire sur :

<https://cnes.fr/fr/un-peu-de-vulgarisation-laltimetrie>

Le site Éduthèque

une offre du service public du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

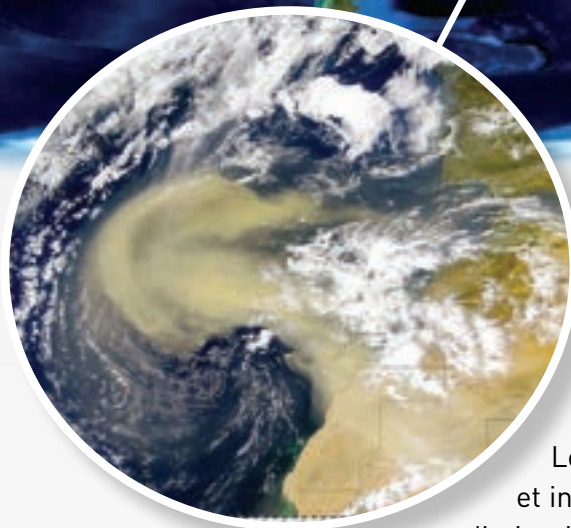
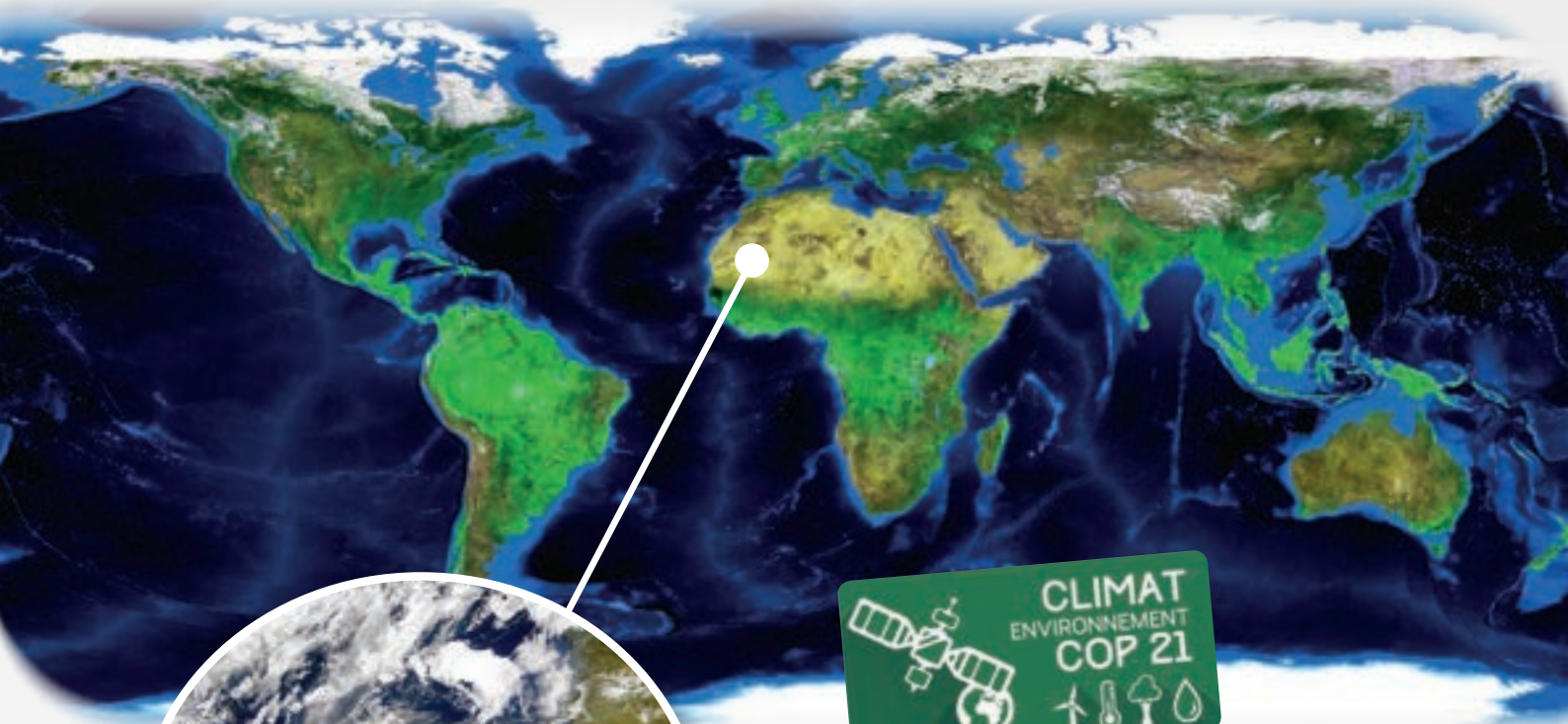
Lançons le débat !

Comment agir pour limiter le réchauffement climatique, directement impliqué dans la hausse du niveau des océans ?



© wikimedia.org

Étude expérimentale de la circulation d'un nuage de sable saharien



Transport de sables du Sahara vers l'ouest
© Nasa

Transportées par le vent, les particules ne connaissent pas les frontières et passent d'un continent à l'autre. Leurs effets se font sentir sur de longues distances.

Les sables, les fumées, les suies, les particules soufrées..., sont des aérosols (particules invisibles à l'œil nu, en suspension dans l'air) émis par diverses sources. Selon leur taille et leur couleur, ils interagissent de façon diverse avec la lumière.

Les aérosols se déplacent sur des milliers de kilomètres et influent sur le climat, en contribuant dans certains cas à la diminution du réchauffement global.

Le Sahara est le plus grand désert du monde, il constitue la plus grande source de sables transportés par les vents, dont une partie importante vers l'Amazonie, la plus grande forêt du monde.

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Suivi satellite d'un nuage de poussières sahariennes
- › Mesures expérimentales au sol

AUTRES THÉMATIQUES

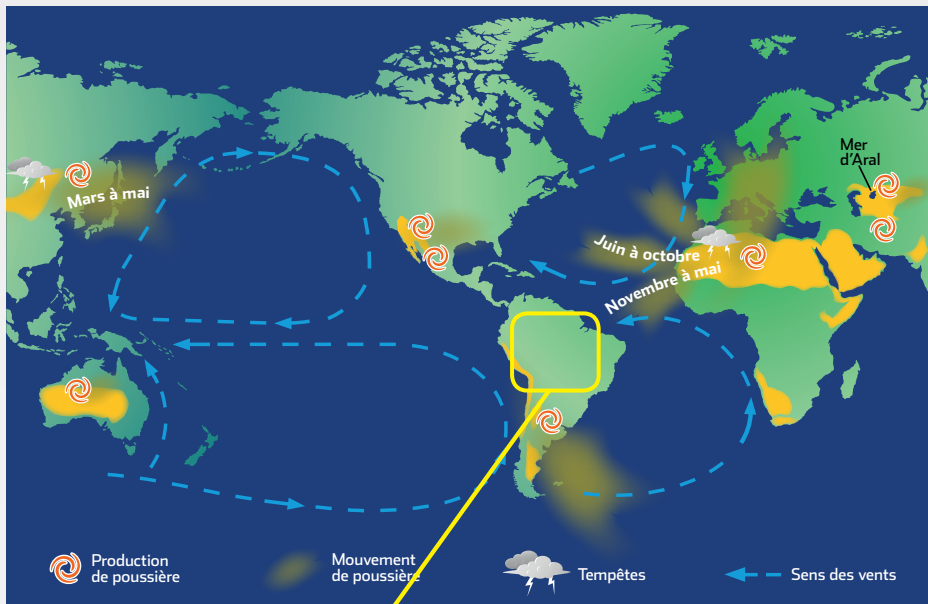
- › Fertilisation des sols de l'Amazonie
- › Pollution de l'air et impact sur le climat
- › Circulation atmosphérique
- › Impact sur la santé

PISTES DE RÉFLEXION

- › Impact des substances toxiques transportées sur les récifs coralliens, les cultures...

THÉMATIQUE 1

Suivi satellite d'un nuage de poussières sahariennes



Un important transport de particules

Les régions arides (en jaune sur l'image) sont les premières sources de poussière atmosphérique. Dans ces régions, les tempêtes soulèvent ces poussières qui sont ensuite transportées sur des milliers de kilomètres au-dessus des océans par les vents dominants (flèches bleues). Au cours des dernières décennies, les sécheresses et les pratiques agricoles dans de nombreuses régions telles que l'Afrique du nord, ont entraîné une augmentation de l'étendue des zones arides qui aggrave le phénomène. On estime que plus de 180 millions de tonnes de sables sont ainsi transportées.



Retombées de poussières en Amazonie

Les poussières transportées contiennent, entre autres composants, du phosphore qui joue un rôle de fertilisant mais également d'autres éléments toxiques tels que des bactéries, des champignons et des micro-organismes.

Image satellite instrument MODIS
(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)
© Nasa

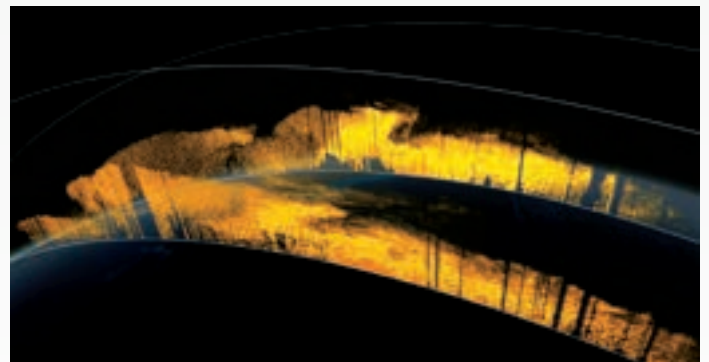
Les satellites sont les meilleurs outils pour suivre ces transports de poussière. Certains instruments satellitaires comme MODIS, sur le satellite Aqua, mesurent le rayonnement solaire réfléchi par l'atmosphère. D'autres instruments, comme le laser LIDAR, sur le satellite Calipso, donnent accès au profil vertical des aérosols en mesurant les particules qui rétrodiffusent le rayonnement émis par la source laser.

© Nasa 2010



L'observatoire A-train, ensemble de satellites d'observation de la Terre (dont Aqua et Calipso).

© Nasa



Profil 3D du déplacement et de l'altitude des sables transportés (d'après mesures de LIDAR de Calipso).

Questionnement :

- À l'aide des documents, récapitulez les caractéristiques du phénomène de transport de sable :
 - 1) Lieux impliqués
 - 2) Origine, mécanisme du phénomène
 - 3) Conséquences (positives et négatives) des retombées de sable.
- Quelles informations l'image 3D apporte-t-elle dans la compréhension de ce phénomène? Déduisez-en l'intérêt de la complémentarité entre les 2 instruments MODIS et LIDAR de Calipso.

THÉMATIQUE 2

Mesures expérimentales au sol

Mesures du taux d'aérosols présents dans l'atmosphère par une classe

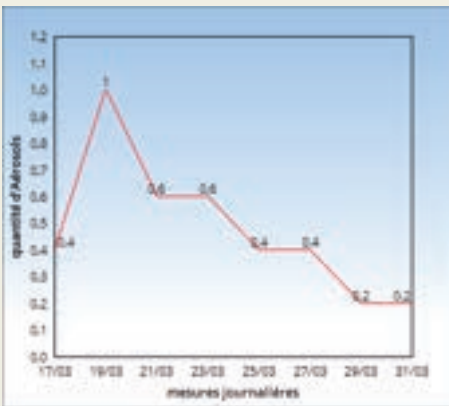


De la neige orange... comme c'est étrange !

Les élèves de l'école de Saillagouse (Pyrénées-Orientales) font parfois une observation étrange : la neige blanche est parsemée d'étranges taches orange. Pour déterminer s'il existe un lien entre ces taches orange et le transport d'aérosols, ils ont décidé d'étudier la teneur en particules de l'atmosphère.



École Saillagouse



Graphique issu des mesures réalisées par les élèves de l'école Saillagouse avec le Calitoo. (La valeur 1 indique un fort taux d'aérosols dans l'atmosphère)



Carte de prévision d'un déplacement d'un nuage de poussière par Météo France.



Le photomètre Calitoo © Nasa

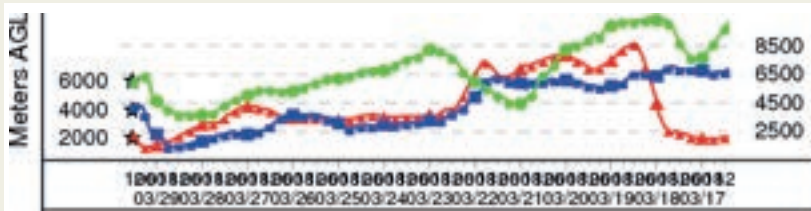
Utilisation du photomètre Calitoo

Utilisant des capteurs sensibles à la lumière verte de longueur d'onde à peine supérieure à 500 nm et à la lumière rouge avoisinant les 625 nm, le Calitoo permet de mesurer l'Épaisseur Optique d'Aérosol (AOT pour Aerosol Optical Thickness en anglais).

Questionnement :

- Comment a évolué la composition de l'atmosphère à Saillagouse entre le 17/03 et le 31/03 ?
- En utilisant la carte de prévision établie par Météo France, quelle explication peut-on proposer ?
- Expliquez l'intérêt de prévoir et de mesurer ces phénomènes par Météo France.

Pour approfondir leur étude, les élèves utilisent un logiciel fourni par la NOAA (agence météorologique et océanographique américaine) qui permet de connaître la provenance des particules observées un jour donné. On peut en effet « remonter le temps » et élaborer des « rétrotrajectoires » pour les aérosols observés un jour J ! De plus, le logiciel permet d'étudier les variations d'altitude des particules au cours de leurs déplacements.



Graphique de variation d'altitude au cours du temps de 3 masses d'air contenant des aérosols. L'axe des abscisses « remonte » le temps, du 29/03 au 17/03.



Trajectoires d'origine (rétrotrajectoires) des trois masses d'air contenant les particules observées à Saillagouse le 29/03.

Questionnement :

- À partir du graphique, décrivez les variations d'altitude des trois masses d'air contenant des aérosols de la masse d'air entre le 17/03 et le 29/03.
- En sachant que les neiges tachées observées se situaient à une altitude de 1800m, expliquez l'origine de ces taches.
- Déduisez le lien entre nuage de poussières, mesures sur le terrain et dépôts sur la neige.



Aller plus loin

Pour en savoir plus



Il propose des documents complémentaires sur cette thématique : projets, liens, ainsi qu'une vidéo expliquant le phénomène de transport de matière et la manière dont le satellite Calipso permet de représenter ce transport en 3D.

Le site du CNES

Le projet Calisph'AIR : étudier la pollution et le climat



Le projet Calisph'AIR vous permet de faire des mesures en classe pour mieux comprendre le rôle de l'atmosphère dans la machine climatique et comparer vos données à celles des satellites.

Le projet Calisph'AIR peut être décliné en différentes pistes de travail, de la maternelle au lycée.

<https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/7167-calisph-air.php>

Le site Éduthèque

une offre du service public du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

Lançons le débat !



© Shutterstock

Le changement climatique a tendance à aggraver la désertification et l'érosion des sols. Comment ceci va-t-il influencer la fréquence et l'intensité des nuages de poussière au dessus de l'atlantique?

Comment les nuages de poussière du Sahara peuvent-ils affecter l'activité cyclonique dans l'atlantique?

Étude expérimentale de la pollution de l'air : l'exemple de Pau



© DR

Aérosols
sur l'agglomération paloise
© DR

Les observations au sol réalisées par des élèves du Collège Marguerite de Navarre de Pau (Pyrénées-Atlantique) et transmises par le satellite Calipso permettent de connaître la répartition des particules comme le Black Carbon (BC) dans l'atmosphère.

D'origine naturelle ou anthropique, les aérosols, poussières en suspension dans l'air, obstruent la vue, masquent le paysage, et peuvent provoquer des problèmes de santé tels que irritations ou crises d'asthme. Ils agissent également sur le rayonnement solaire qu'ils diffusent ou absorbent, provoquent la condensation des gouttelettes dans les nuages ou les traînées d'avion. De ce fait, les particules, dont le BC, participent aussi aux modifications du climat.

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Pollution des basses couches de l'atmosphère et santé humaine
- › Mesure du Black Carbon (BC) : exemple à Pau

AUTRES THÉMATIQUES

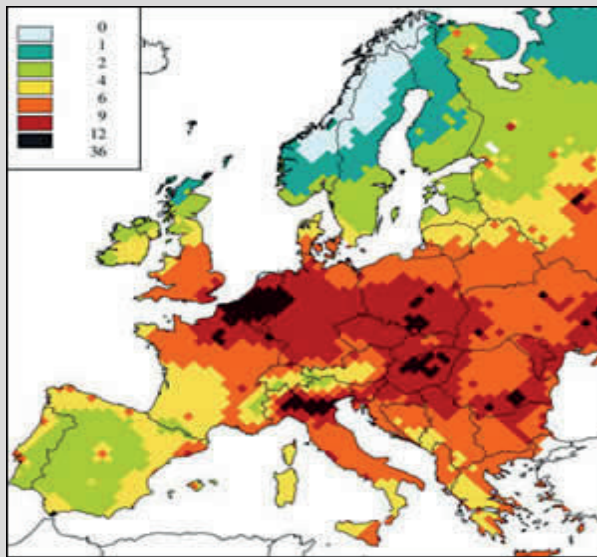
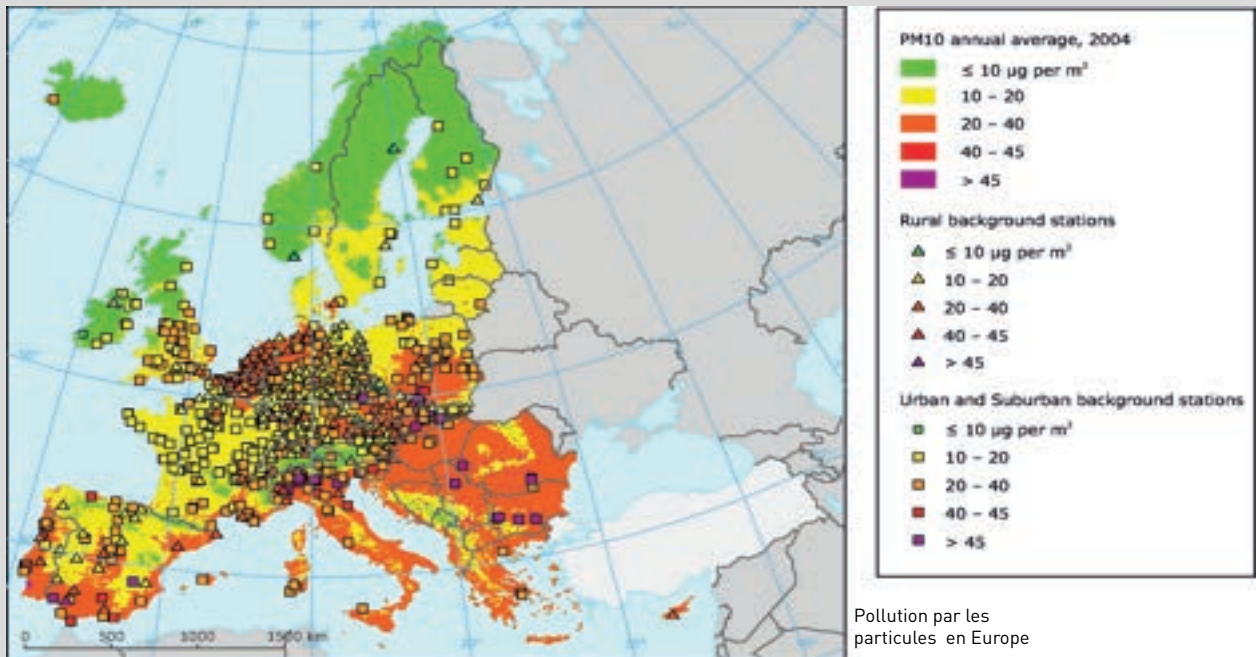
- › Les sources de particules et en particulier de la suie (Black Carbon)
- › Mesurer les particules, utilité des satellites

PISTES DE RÉFLEXION

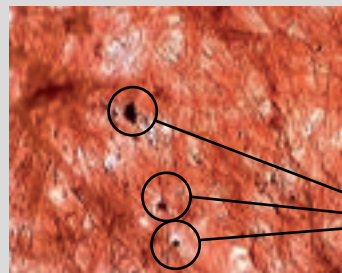
- › Quels sont les lieux d'émission des microparticules de notre environnement proche ?
- › Quelles solutions pour améliorer la qualité de l'air ?
- › Quelle est l'influence des particules sur la lumière ?

THÉMATIQUE 1

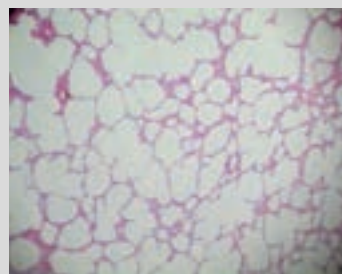
Pollution des basses couches de l'atmosphère et santé humaine



Diminution d'espérance de vie, en mois



Filterre avec aérosols
Grossissement : x 100



Alvéoles pulmonaires
Grossissement : x 100

Taille des nanoparticules.

Questionnement :

À partir de la comparaison des cartes et des photos d'observations microscopiques, justifiez le bien-fondé de l'hypothèse suivante : « Les aérosols atmosphériques sont une source de pollution en liaison avec le développement de maladies, asthme, allergies... Le **BC*** est responsable de plusieurs maladies pulmonaires. Les aérosols sont souvent porteurs de métaux lourds. Par leur petite taille, ils peuvent pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire. En grande quantité, ils peuvent diminuer l'espérance de vie. »

* **BC** : Black Carbon

Variations locales des quantités de Black Carbon (BC)

La quantité de particules est variable localement. Des mesures de quantité de **BC*** sont réalisées en deux endroits différents :

- En 1 :** mesures avec capteur au sol, à hauteur de poussette d'enfant le long d'une voie routière.
- En 2 :** mesures avec capteur placé à 10 m de haut.

Questionnement :

Quelle est la source envisageable des pollutions locales ?

Quantité de BC (en ng/m³)

date	1	2
26/11/2013	938	728
27/11/2013	1431	1128
28/11/2013	1871	1712
03/12/2013	2456	786
04/12/2013	976	997

THÉMATIQUE 2

Mesure du Black Carbon (BC): exemple à Pau

Matériel et utilisation du dispositif d'étude.

Étude du Black Carbon (BC) avec une classe

Il est possible de mesurer la quantité de poussières de Black Carbon grâce à un équipement adapté formé de filtres, d'une pompe d'aquarium reliée à un débitmètre et d'un système de mesure de l'opacification des filtres. Ces observations sont ensuite mises en relation avec des données météorologiques (vent, pluie, température, humidité...) et des caractéristiques locales.

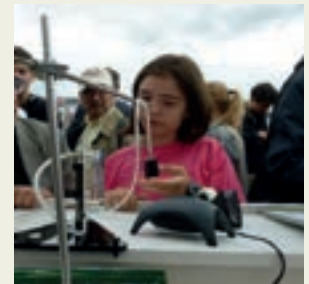


Tableau des résultats expérimentaux obtenus par une classe à Pau du 4 au 20 février

A	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
date	n (ng/m3)	temp0 (C-degré)	temp1 (C-degré)	humidité0 (%)	humidité1 (%)	pression 0 (hPa)	pression1 (hPa)	direction du vent 0	direction du vent 1	vitesse du vent	précipitation 0 (mm)	précipitation 1 (mm)	il pleut? 0	il pleut? 1	type de préc 0	type de préc 1
par exemple	380,4	0,5	-10,8	72	67	1009	1012	NW	N		0,5	6	oui	oui	pluie-neige	
14-mars	#VALEUR!															
04-févr	302,8	9,6	10,8	91	74	1029	1024,2	NE	E	22,5	5	18	oui	oui	pluie	
05-févr	131,8	10,8	5,3	75	90	1021,5	1012	E	SE	57,5	18	21	oui	oui	pluie	pluie
06-févr	262,8	5,3	5,3	90	59	1012	1023,5	SE	NE	37,5	21	54	oui	non	pluie	
07-févr	619,4	6	5,8	53	86	1023	1014	E	SW	27,5	54	1	oui	oui		pluie
11-févr										52,5	1	1				
12-févr	538,4	9,5	11,2	55	77	1020,8	1022,8	E	NE	42,5	1	9	oui	oui	pluie	pluie
13-févr		11,2	9,5	77	80	1022,8	1022,5	NE	SE	15	9	1	oui	oui	pluie	pluie
14-févr	505,9	9,5	9,6	80	80	1022,5	1022,3	SE	SE	22,5	0	1,2	non	oui		pluie
18-févr	856,4	15	15	48	50	1010,8	1010,7	SW	W	21	0	0	non	non		
19-févr	1228,5	15	15	50	38	1010,7	1011,9	W	S	18	0	0	non	non		
20-févr	1052,9	15	13	38	51	1011,9	1007	S	SE	18	0	1,8	non	oui		pluie

NB : Les mesures 0 sont celles observées au moment de la pose du filtre, les mesures 1 celles relevées lors du retrait du filtre (humidité0/humidité1, temp0/temp1...)

Questionnement :

- D'où peut provenir la pollution observée les 18, 19 et 20 février à Pau ?
- Comment expliquer la faible pollution enregistrée lors des journées du 4 au 6 février ?

Variabilité des quantités du Black Carbon (BC)

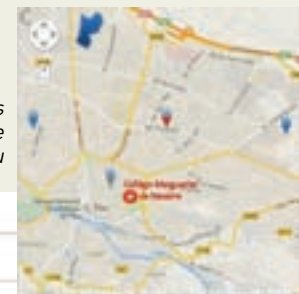
Le relevé des valeurs de BC permet de préciser les caractéristiques de la pollution de l'agglomération de Pau.

Le capteur de la classe est positionné à 8 m de hauteur alors que les capteurs professionnels des trois stations d'Airaq* sont à 2 m. Le capteur du boulevard Tourasse se situe en bordure d'une voie à grande circulation. Les autres capteurs (y compris celui de la classe) sont installés dans des stations loin des voies de circulation et mesurent une pollution globale sur la ville.

Les mesures permettent de comparer les variations de la quantité de BC au cours du temps et selon les lieux.

*Airaq : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air en Aquitaine.

Localisation et mesures des capteurs du collège Marguerite de Navarre et de l'Airaq à Pau



Questionnement : Montrez la cohérence des résultats obtenus et expliquez leur variabilité dans l'agglomération.

Aller plus loin

Pour en savoir plus

Vous trouverez des documents complémentaires sur cette thématique: projets, liens ainsi que des documents d'accompagnement du projet du collège Marguerite de Navarre de Pau.



© Shutterstock

Le site du CNES

Le projet Calisph'AIR :
étudier la pollution et le climat



Le projet Calisph'AIR vous permet de faire des mesures en classe pour mieux comprendre le rôle de l'atmosphère dans la machine climatique et comparer vos données à celles des satellites.

Le projet Calisph'AIR peut être décliné en différentes pistes de travail, de la maternelle au lycée.

<https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/7167-calisph-air.php>

Le site Éduthèque

une offre du service public
du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

Lançons le débat !



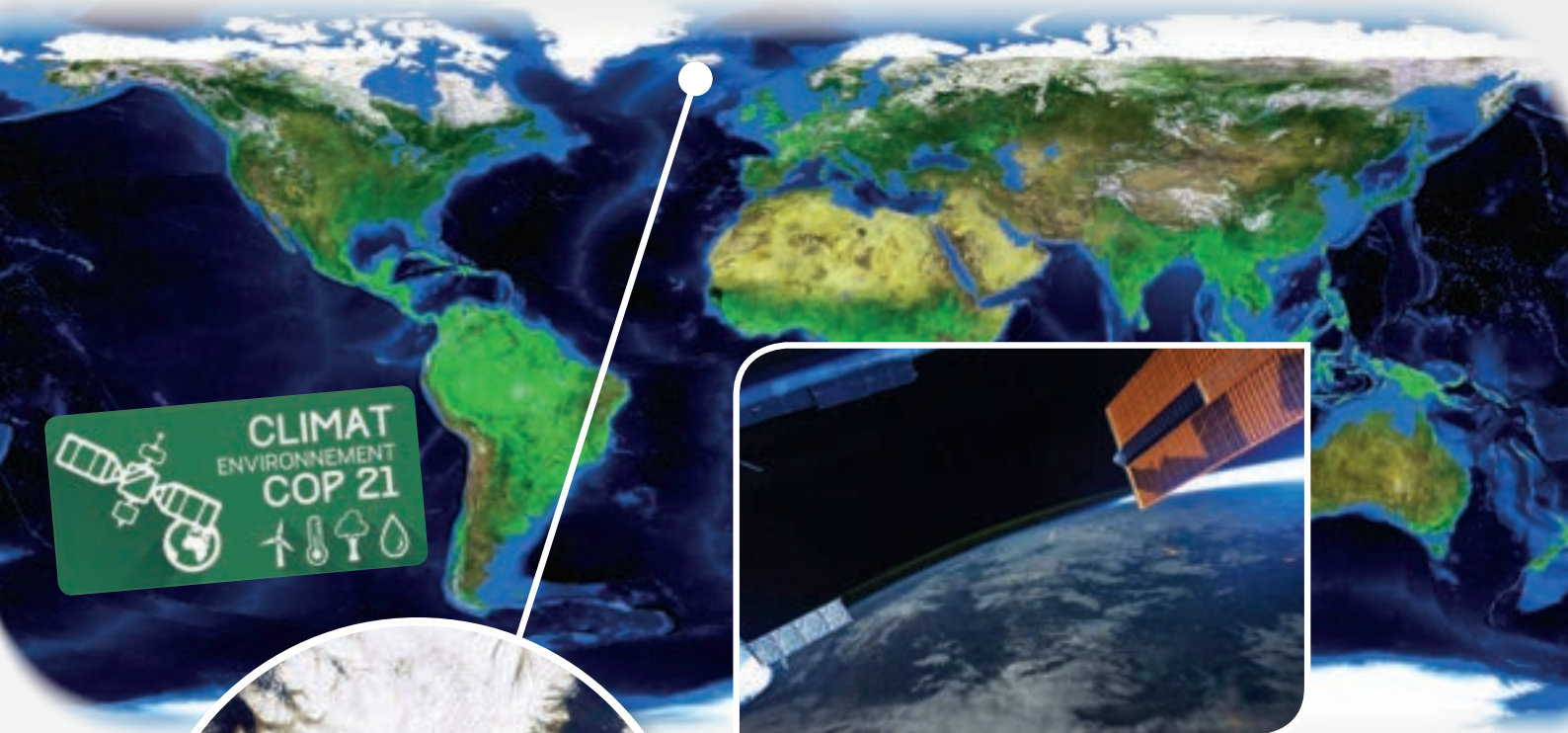
© Shutterstock

L'air a toujours contenu des particules en suspension d'origine naturelle et plus tard, également d'origine anthropique.

La pollution de l'atmosphère est une préoccupation environnementale contemporaine qui pose plusieurs questions :

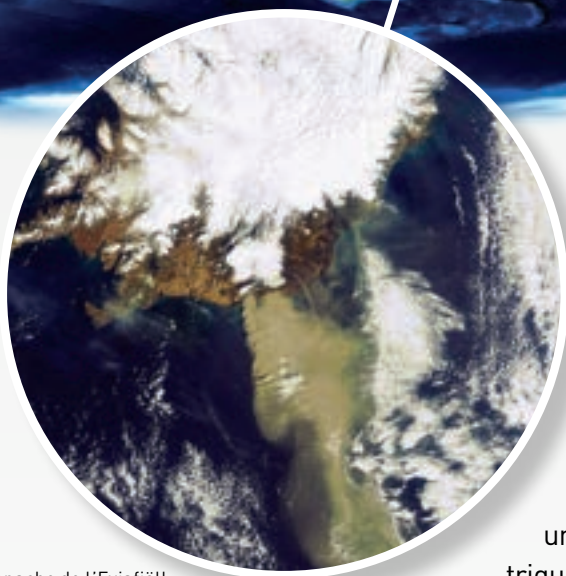
- Quelles ont été les variations de la qualité de l'air au cours des temps ?
- Quels impacts sur l'environnement ?
- Les conditions climatiques ont-elles une influence sur la pollution ?

Suivi expérimental du nuage volcanique de l'Eyjafjöll



Les satellites, une observation globale de la planète

© Nasa

Le panache de l'Eyjafjöll
© CNES

Grâce aux satellites, les scientifiques ont accès à une diversité de données qui leur permet de mieux comprendre le fonctionnement de la Terre et ses changements. Parmi les phénomènes étudiés, figurent les éruptions volcaniques et les nuages de cendres qu'elles entraînent. Les effets de ces nuages sur le climat et les activités humaines peuvent être ressentis bien au-delà de la zone géographique du volcan qui les a émis. Pour en suivre la propagation et le passage en un point du globe, les données satellites et les mesures photométriques au sol constituent des outils précieux et complémentaires.

THÉMATIQUE TRAITÉE

- › Suivi satellite de la dispersion d'un nuage de cendres volcaniques et repérage ponctuel par des mesures au sol

AUTRES THÉMATIQUES

- › Éruptions volcaniques, dioxyde de soufre et accélération de la destruction de la couche d'ozone stratosphérique
- › Éruptions volcaniques, changements climatiques et conséquences sur l'histoire des Hommes
- › Les données satellites au service des politiques de protection de l'environnement

PISTES DE RÉFLEXION

- › Comment étudier la nature et l'évolution des aérosols présents dans l'atmosphère ?
- › Qu'apportent les données satellitaires par rapport à celles obtenues au sol ?

THÉMATIQUE 1

Suivi satellite de la dispersion d'un nuage de cendres volcaniques et repérage ponctuel par des mesures au sol

© Shutterstock



Le volcan islandais Eyjafjöll

Le 14 avril 2010, le volcan sous-glaciaire islandais Eyjafjöll entre en éruption.

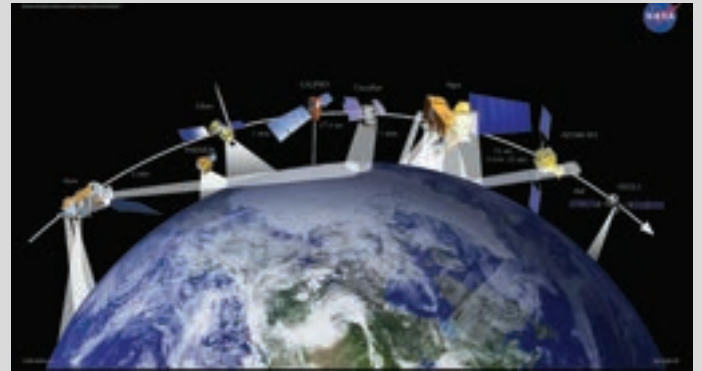
Au contact de la glace, la lave fluide est pulvérisée, formant un panache de cendres s'élevant à 5 000 mètres d'altitude et transporté par les vents.

Résultat : un trafic aérien très perturbé, des aéroports fermés et de nombreux vols annulés pendant plusieurs jours.

Un panache de cendres imposant

Des outils pour suivre et repérer le passage du nuage de cendres

L'A-Train, une constellation de 6 satellites américains, français et japonais, aux instruments complémentaires, étudient les composants de l'atmosphère et leur évolution. Parmi eux, les satellites **Parasol** (2004) et **Calipso** (un satellite CNES/NASA lancé en 2006) analysent les nuages et les **aérosols**, particules en suspension dans l'atmosphère.



© Nasa

Le photomètre CALIT00



Le Calitoo est un photomètre qui permet de déterminer le taux d'aérosols présent dans l'atmosphère et de caractériser leur répartition en taille (fumées, gaz polluant, cristaux de glace, poussières). Pour cela, il mesure l'épaisseur optique de l'atmosphère à différentes longueurs d'onde : **bleu** (465 nm), **vert** (540 nm) et **rouge** (615 nm). Il est utilisé dans les établissements scolaires participant au projet international d'étude atmosphérique Globe/Calisph'Air.

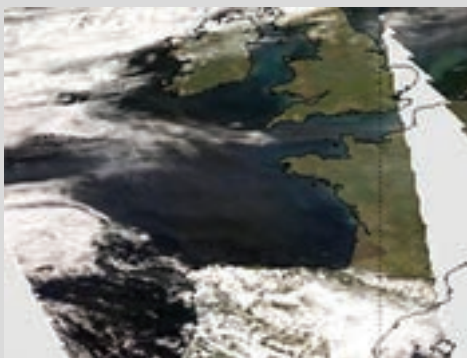
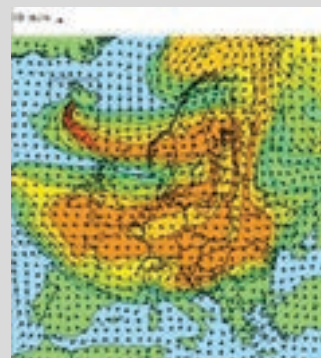


Image du satellite Parasol 17/04/10 (level 1B)



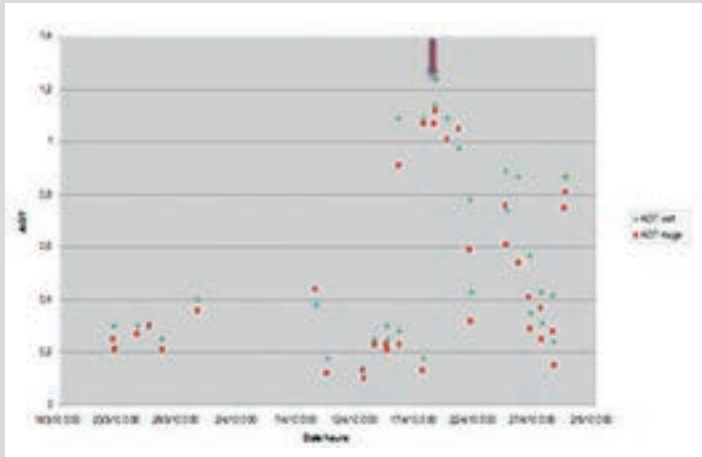
Carte prévisionnelle du 17 avril 2010 (avec la direction des vents)

Sur l'image de gauche, on observe la présence d'un léger voile au-dessus du Golfe de Gascogne et, dans une moindre mesure, sur la moitié ouest de la France. Ce voile correspond probablement au nuage de cendres émis par le volcan Eyjafjöll depuis le 14 avril 2010 et dispersé par les vents.

Questionnement :

- Comment déterminer qu'il s'agit bien du nuage de cendres ?

Des cendres sous surveillance



Graphique des valeurs de l'AOT au cours de la campagne de mesures

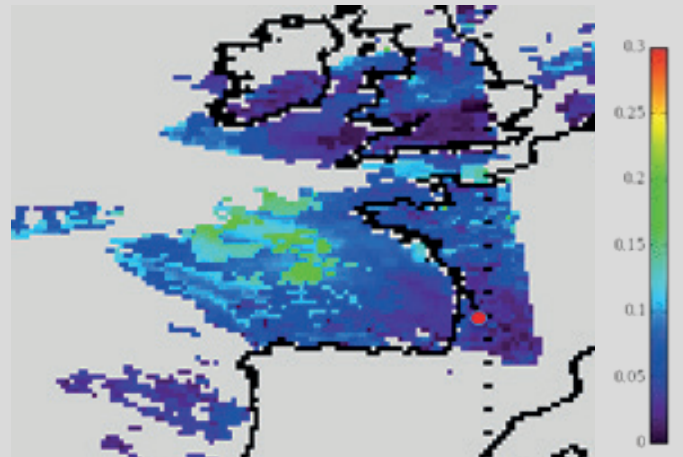


Image satellite des aérosols

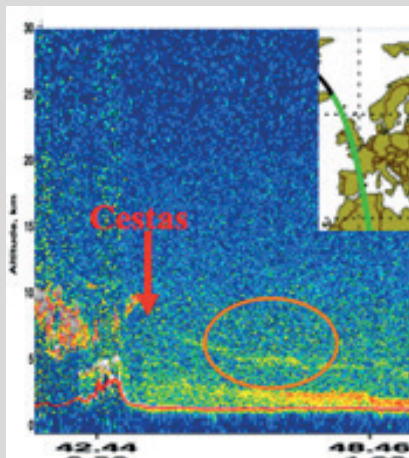
Participant au **programme Calisph'Air**, des élèves du collège Cantelande de Cestas (Gironde), ont mesuré l'épaisseur optique en aérosols de l'atmosphère. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un **photomètre** (canaux **rouge** et **vert**) au cours d'une campagne couvrant la période pendant laquelle le nuage de cendres était susceptible de passer. Le 17 avril, ils sont persuadés d'avoir repéré le passage du nuage.

Les données **Parasol** révèlent la présence d'aérosols de petite taille au-dessus de Cestas.

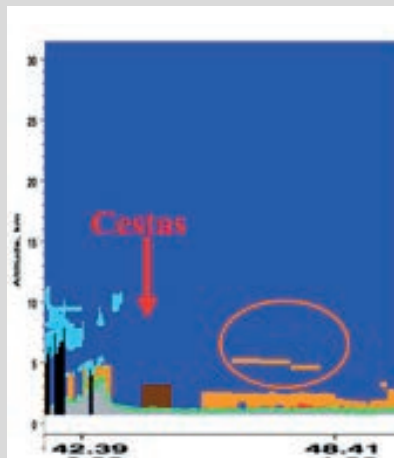
(À noter que les appareils de mesures du satellite Parasol ont du mal à détecter les grosses particules comme les cendres volcaniques).

Déterminer la nature des aérosols

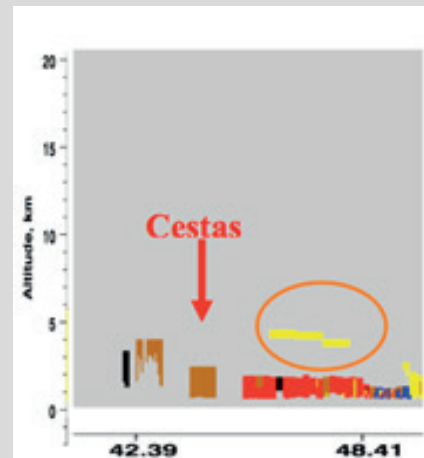
Les instruments embarqués à bord du satellite Calipso permettent d'étudier avec précision la nature des aérosols contenus dans l'atmosphère.



Les données initiales montrent la présence de particules atmosphériques entre le sol et 5 000 m d'altitude.



Un premier niveau d'analyse révèle qu'il s'agit bien d'aérosols, sans pour autant les distinguer.



Un deuxième niveau d'analyse permet de déterminer la nature de ces aérosols :

Marron : particules de pollution
Jaune : poussières et cendres

Questionnement :

- Analysez chacun des documents pour en extraire 1 ou 2 informations essentielles
- Quelle est l'utilité de recourir à plusieurs méthodes d'observation et de mesure (les élèves de Cestas avaient-ils raison d'affirmer que leurs mesures révélaient le passage du nuage de cendres ?)
- Rédigez un court paragraphe sur les principaux résultats obtenus, l'intérêt et les limites des moyens d'investigation utilisés et l'importance du croisement des données.

Aller plus loin

Pour en savoir plus

Vous trouverez des documents complémentaires sur cette thématique : fiches, liens, ainsi qu'une vidéo sur l'étude de notre planète avec les satellites.



Le site du CNES

Le projet Calisph'AIR :
étudier la pollution et le climat



Le projet Calisph'AIR vous permet de faire des mesures en classe pour mieux comprendre le rôle de l'atmosphère dans la machine climatique et comparer vos données à celles des satellites.

Le projet Calisph'AIR peut être décliné en différentes pistes de travail, du primaire au lycée.

<https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/7167-calisph-air.php>

Le site Éduthèque

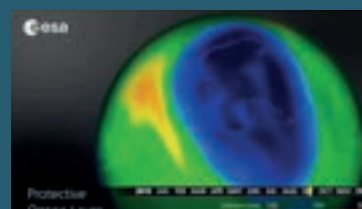
une offre du service public
du numérique éducatif



Sur le portail Éduthèque, le CNES propose une interface dynamique permettant aux enseignants d'accéder facilement aux contenus pédagogiques portant sur les thématiques des sciences et techniques spatiales, notamment sur l'observation de la Terre.

<http://www.edutheque.fr>

Lançons le débat !



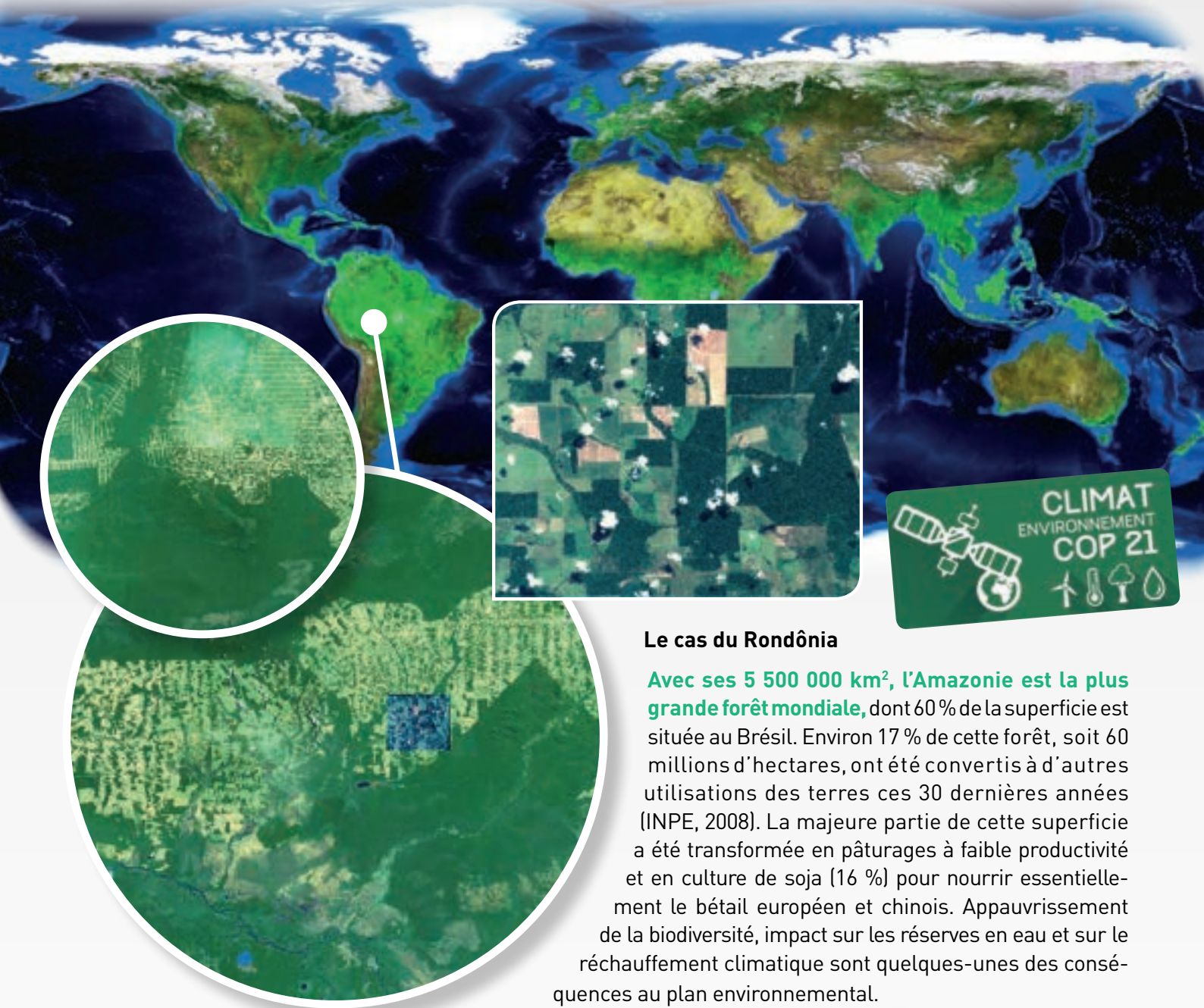
Trou de la couche d'ozone, vue satellite

L'activité volcanique ainsi que les activités humaines ont un rôle important sur la composition de l'atmosphère, notamment avec la destruction de la couche d'ozone stratosphérique indispensable à la vie sur terre.

L'état de la couche d'ozone et l'évolution des gaz stratosphériques responsables de sa destruction sont surveillés par les satellites. Cette surveillance a pu conduire à l'interdiction du rejet de certaines substances comme le chlore.

Comment les études scientifiques peuvent-elles permettre de concilier protection de l'environnement et développement économique et industriel ?

Suivi de la déforestation en Amazonie



Le cas du Rondônia

Avec ses 5 500 000 km², l'Amazonie est la plus grande forêt mondiale, dont 60% de la superficie est située au Brésil. Environ 17% de cette forêt, soit 60 millions d'hectares, ont été convertis à d'autres utilisations des terres ces 30 dernières années (INPE, 2008). La majeure partie de cette superficie a été transformée en pâturages à faible productivité et en culture de soja (16%) pour nourrir essentiellement le bétail européen et chinois. Appauvrissement de la biodiversité, impact sur les réserves en eau et sur le réchauffement climatique sont quelques-unes des conséquences au plan environnemental.

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Suivi satellitaires de la déforestation
- › Maîtrise de la déforestation

AUTRES THÉMATIQUES

- › Conflit d'usage des terres (grands/petits propriétaires vs réserves indiennes)
- › Perte en capacité de stockage du CO² et modification du cycle de l'eau
- › Risques environnementaux et appauvrissement de la biodiversité

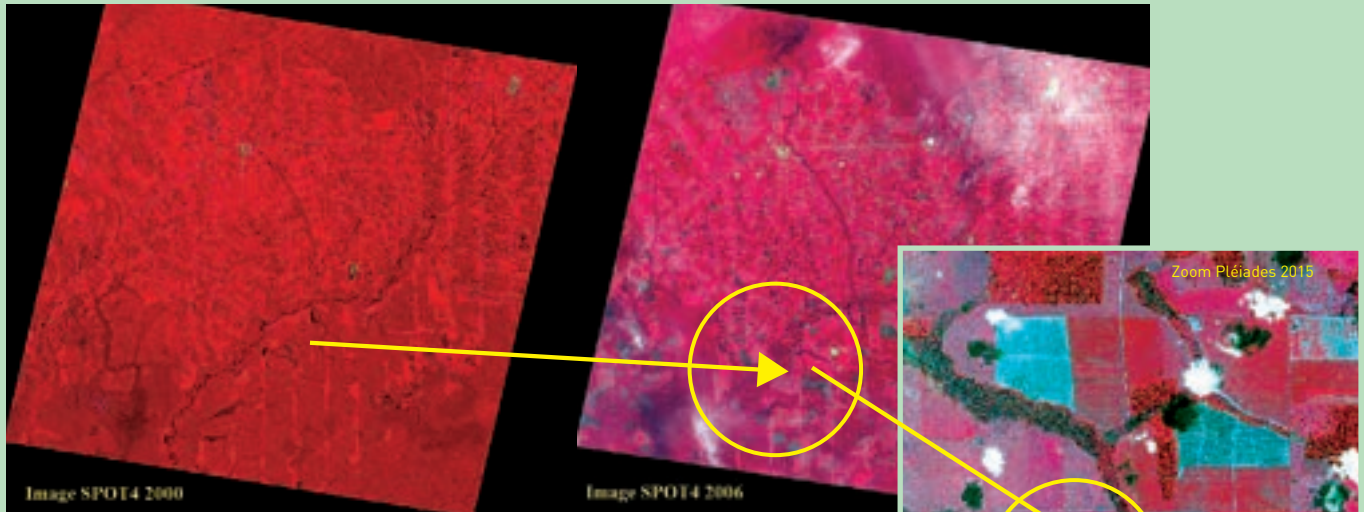
PISTES DE RÉFLEXION

- › Quel impact sur le processus de réchauffement climatique ?
- › Front pionnier et développement durable ?
- › Que pèsent les risques environnementaux et la biodiversité face aux enjeux économiques brésiliens ?

THÉMATIQUE 1

Suivi de la déforestation par satellite

à partir d'images des satellites **SPOT 4** en 2000 et 2006 et **Pléiades** en 2015



Questionnement :

- Quelle est l'évolution depuis 2000 ?
- Au profit de quel type d'occupation du sol se fait ici la déforestation ?

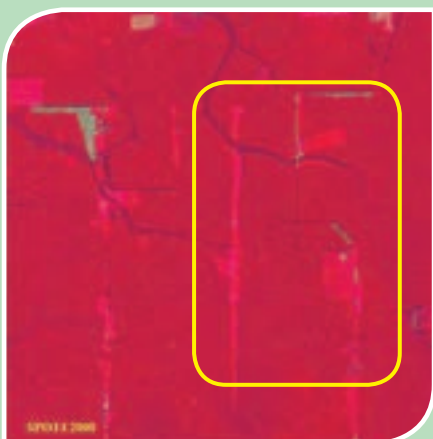
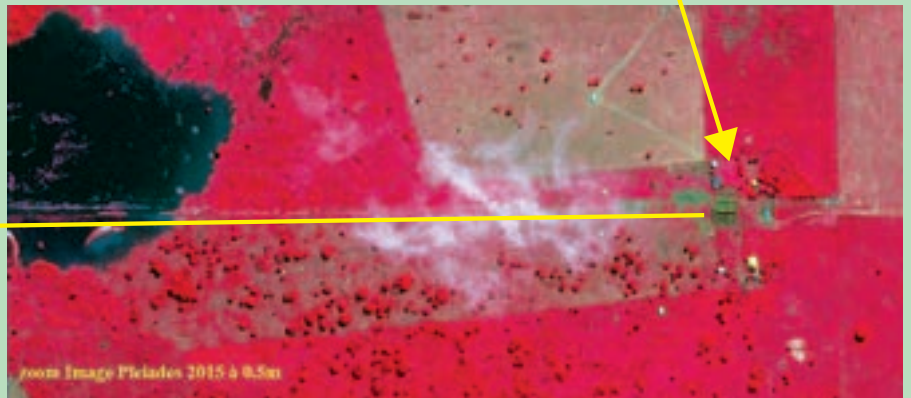


Image SPOT4 - 2000



Image SPOT4 - 2006

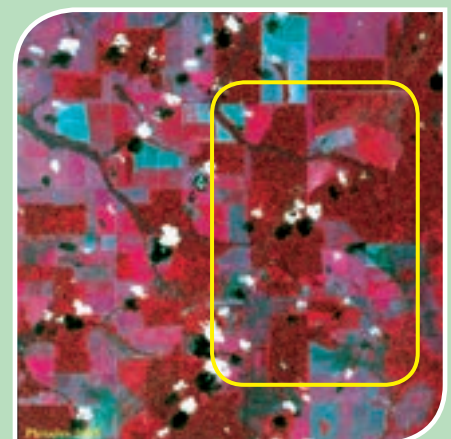
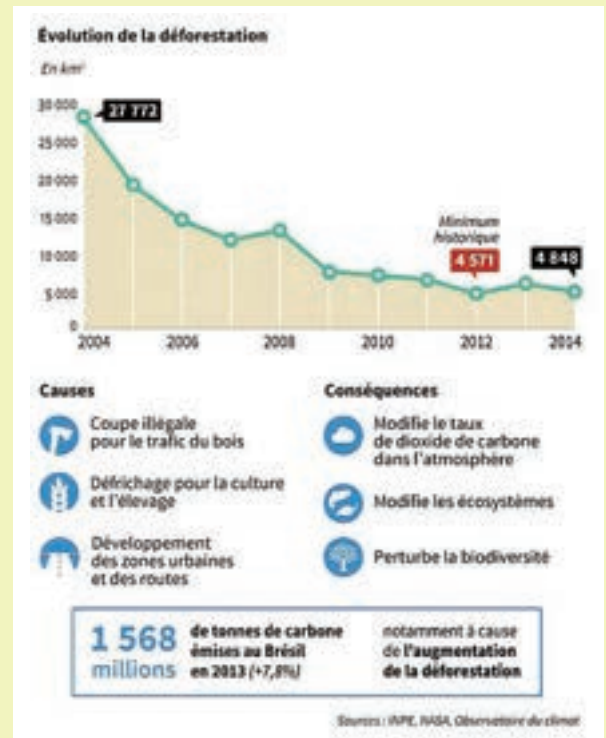
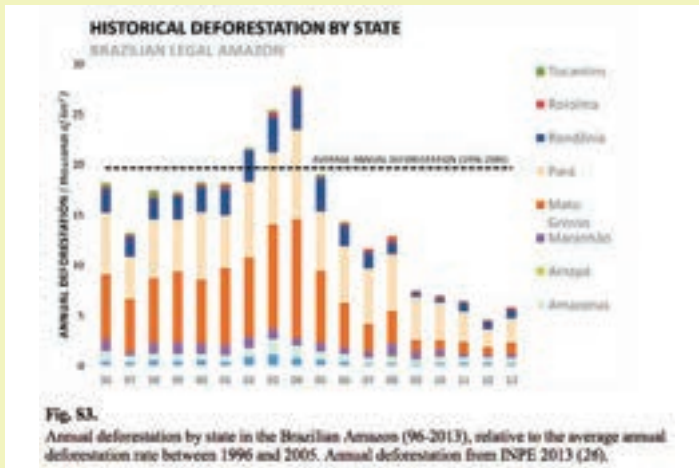


Image Pléiades 1A - 2015

THÉMATIQUE 2

Maîtrise de la déforestation

Le gouvernement brésilien promeut actuellement une meilleure gouvernance des zones de frontière



Cela passe par une stratégie régionale de préservation des forêts, la lutte contre la corruption, la vérification systématique des pratiques de déforestation des grandes entreprises agricoles ou forestières. Ainsi, peuvent s'appliquer les lois et réglementations en vigueur, le contrôle des feux et la planification stricte du territoire à l'échelle locale, notamment via des licences et permis d'exploitation forestière.

Source : https://www.cairn.info/zen.php?ID_ARTICLE=EG_353_0241

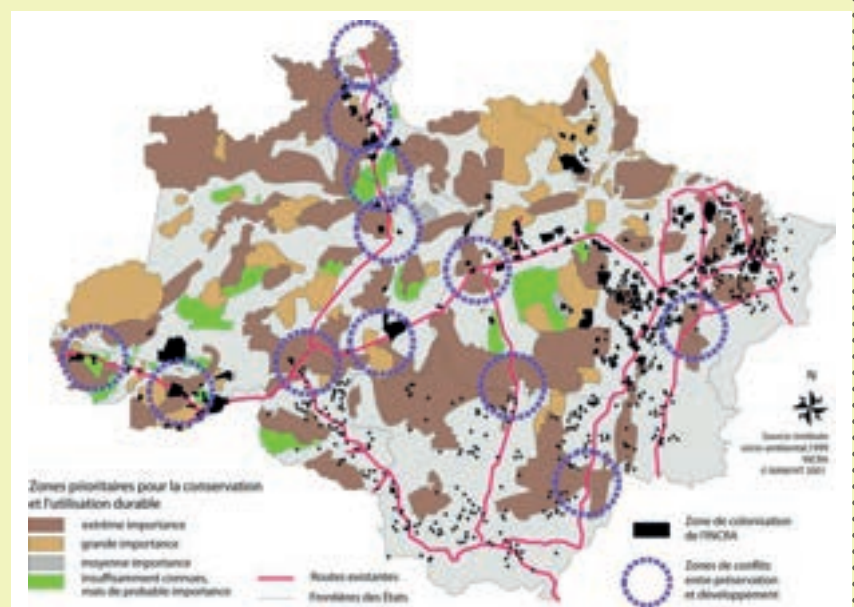
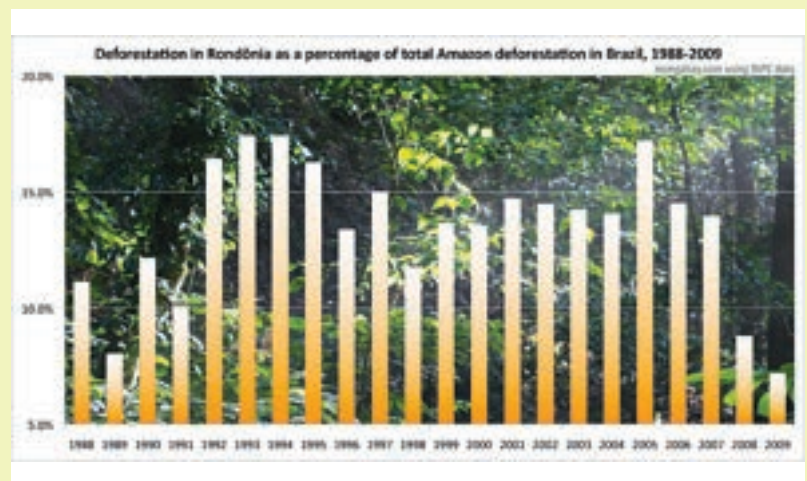
La politique brésilienne de création des aires protégées s'accompagne, en outre, de la reconnaissance et de la délimitation des territoires indigènes. Le statut accordé à ces territoires communautaires appartenant en majorité aux Amérindiens leur confère une certaine protection vis-à-vis des fronts pionniers.

Une étude récente indique que la déforestation illégale affecte aussi des aires protégées en Amazonie brésilienne (Ribeiro et al., 2005). D'après cette étude, en 2004, la déforestation atteint 6,3 % de la surface des aires protégées dans l'État du Rondônia.

Source : http://www.cairn.info/zen.php?ID_ARTICLE=MED_143_0097

Questionnement :

- En analysant les textes et la carte, quelles sont les mesures prises pour diminuer la déforestation ?
- Sont-elles toujours efficaces ?
- Que montrent les graphiques sur cette efficacité ?
- En vous reportant aux images de la thématique 1, y a-t-il un réel ralentissement ?



Aller plus loin

Pour en savoir plus



© Shutterstock

Séquence pédagogique de l'ESPE de Midi-Pyrénées (M1 MEEF Histoire Géographie)

Fronts pionniers en Amazonie brésilienne : enjeux et jeux d'acteurs.

Rapport spécial du GIEC

L'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie © 2000, PNUE/OMM

Le site du CNES



© CNES/Mira Productions/
PAROT Rémy, 2012

- **Tout savoir sur les satellites Pléiades :**
<https://pleiades.cnes.fr/fr/PLEIADES/Fr/index.htm>
- **Un DVD « outils spatiaux et développement durable » :**
<https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/web/CNES-fr/8451-em-dvd-outils-spatiaux-et-developpement-durable.php>
- **La forêt et sa fonction écologique :**
<https://pleiades.cnes.fr/fr/PLEIADES/Fr/forets2.htm>

Le site Éduthèque

une offre du service public
du numérique éducatif



Se familiariser avec le logiciel
de traitement d'images satellitaires Terrelmage
à l'aide du manuel d'utilisation.

[http://www.edutheque.fr/thematiques/
sciences-et-techniques/partenaire/cnes.html](http://www.edutheque.fr/thematiques/sciences-et-techniques/partenaire/cnes.html)

Lançons le débat !



© Shutterstock

- En quoi l'apport des images satellitaires a-t-il changé la prise de conscience de l'importance de la déforestation (rôle de la NASA puis de l'INPE, l'Institut National de Recherche Spatiale brésilien, dans le suivi et la quantification de la déforestation) ?
- L'Amazonie, territoire brésilien ou enjeu mondial ?

Dynamique littorale et urbaine du Bassin d'Arcachon



Pléiades ©CNES 2013,
Distribution Airbus DS

Le Bassin d'Arcachon

Le Bassin d'Arcachon est un milieu remarquable par sa situation géographique et par la qualité de son environnement. Longtemps considéré comme une zone essentiellement touristique et ostréicole, le Bassin est en pleine mutation avec une urbanisation importante. Face à la menace d'événements météorologiques plus violents et plus fréquents et à l'élévation du niveau des mers, d'autres changements sont attendus au niveau de la côte et des bancs de sable qui vont nécessiter en façade océanique, à l'entrée et au fond du Bassin, des aménagements ainsi que l'adaptation des sites d'activités humaines (ostréiculture, loisirs, tourisme).

THÉMATIQUES TRAITÉES

- › Suivi satellitaire de l'évolution de la côte et l'entée du Bassin
- › Suivi de la dynamique et la pression urbaine sur le Bassin
- › Maintien des enjeux environnementaux face à la dynamique urbaine

AUTRES THÉMATIQUES

- › Impact des évolutions sur l'ostréiculture

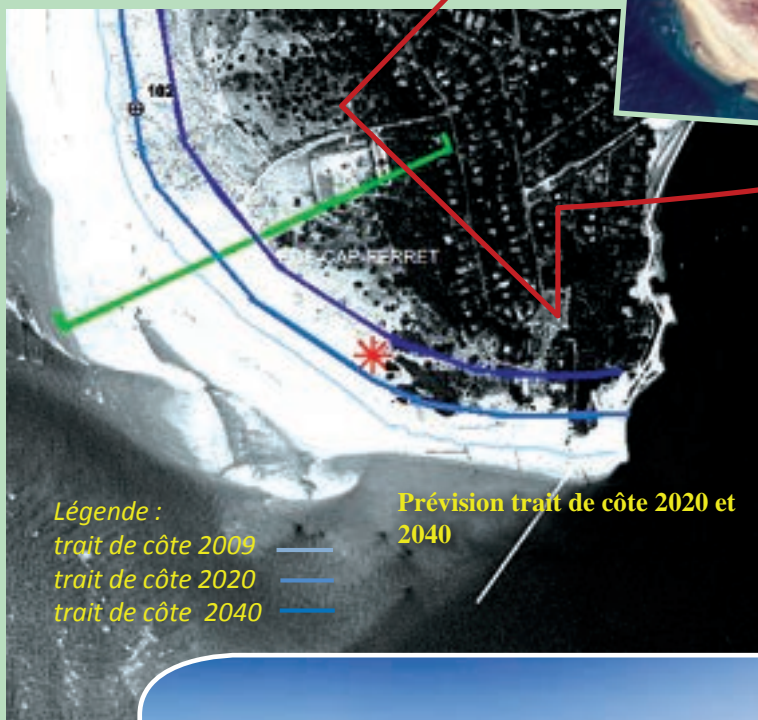
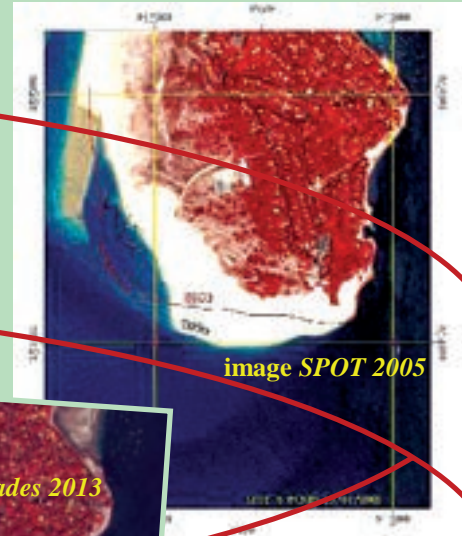
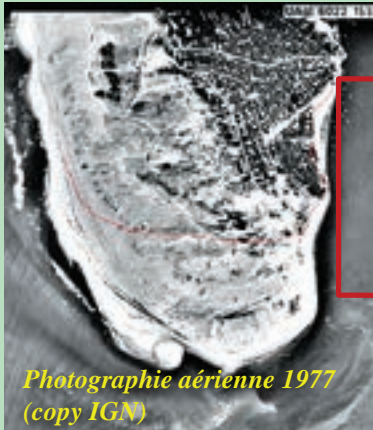
PISTES DE RÉFLEXION

- › Comment gérer le Bassin d'Arcachon en tenant compte des enjeux environnementaux et de la dynamique économique ?
- › Biodiversité et pression anthropique
- › Quel impact potentiel du changement climatique sur le littoral nord aquitain ?

THÉMATIQUE 1

Mise en évidence de la dynamique des bancs de sable

à la pointe du Cap Ferret de 1977 à 2013 (ci-dessous).



On constate des phases d'accrétion et d'érosion. Actuellement l'érosion prédomine et les études prospectives indiquent son accentuation avec le changement climatique.

Questionnement :

- Quels constats peut-on faire ?
- En s'appuyant sur la prévision du trait de côte pour 2040, quels sont les risques pour les zones habitées ?
- Quelles sont les solutions possibles ?



Le Cap Ferret

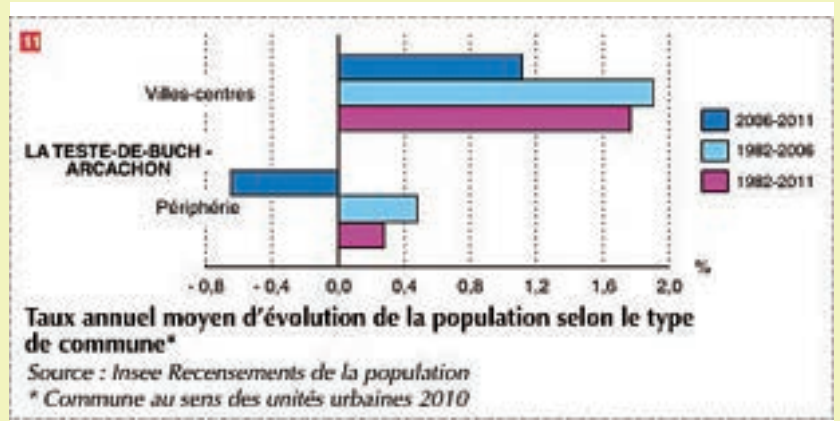
THÉMATIQUE 2

Mise en évidence de l'extension urbaine inégale sur les rives du Bassin

Effet littoral et Bassin d'Arcachon

Sur le Bassin d'Arcachon, l'unité urbaine composée par la Teste-de-Buch et Arcachon est un cas particulier. Elle est composée de deux villes-centres : La Teste-de-Buch (24 505 habitants en 2011) et Gujan-Mestras (19 815 habitants), les deux villes en périphérie étant Arcachon (10 776 habitants) et Le Teich (6 842 habitants).

Gujan-Mestras double largement sa population en trente ans. Arcachon perd 2 500 habitants entre 1982 et 2011, tandis que le Teich en gagne 3 900. Sur les années 2006-2001, le gain de population du Teich ne suffit pas à compenser le déficit d'Arcachon, ce qui explique un taux négatif dans les communes de banlieue pour cette période. Sur le Bassin d'Arcachon, la petite unité urbaine constituée par Biganos et Audenge est en forte progression.



Source : Insee
http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=20671#inter6



Les extensions urbaines se font de plus en plus sur la rive nord du Bassin : superposition de l'image Pléiades 2013 sur l'image SPOT5 2003 (en jaune les extensions mises en évidence entre 2005 et 2013, en cyan les ZNIEFF).

On trouve toujours des offres de lotissements à Andernos alors qu'à Arcachon les ventes concernent essentiellement des pavillons ou villas anciennes divisées en appartements. L'offre est moindre et le prix des terrains est de 2 à 6 fois plus cher à Arcachon.

Questionnement :

- Pourquoi les extensions urbaines se font-elles dans la partie nord ou entre 10 à 20 km du Bassin ?

Location	Prix	Surface
Terrain, Andernos-les-Bains	214 000 €	443 m ²
Terrain, Arcachon	397 000 €	180 m ²
Terrain, Andernos les Bains	285 000 €	483 m ²
Terrain, Arcachon	1 018 000 €	388 m ²
Terrain, Andernos-les-Bains	175 000 €	800 m ²
Terrain, Arcachon	340 000 €	440 m ²



Aller plus loin

Pour en savoir plus



Les images satellitaires sont devenues un outil précieux pour suivre des phénomènes évolutifs : le logiciel Terrelmage, permet d'afficher et de superposer 2 images satellitaires pour mettre en évidence une dynamique.

Apports des recherches scientifiques à la thématique :

- Impacts de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un marais maritime endigué : le domaine de Graveyron, bassin d'Arcachon (France).
<http://vertigo.revues.org/1254>
- Les unités urbaines de 2010 concentrent les 3/4 de la population aquitaine :
http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=4&ref_id=17825
- En Aquitaine, 12 grandes aires urbaines structurent le territoire :
http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=17895#inter4
- Le SCOT 2013 du Bassin d'Arcachon :
<http://www.sybarval.fr/-Le-Projet-d-Amenagement-et-de-.html>

Le site du CNES



© Shutterstock

- La base de données « littoral » du CNES :
<http://kalideos.cnes.fr/spip.php?article19>
- Le CNES Mag Educ : "Le littoral, une zone sensible sous surveillance" :
http://www.cnes-multimedia.fr/cnesmag/interactif/EDUC_58.pdf

Le site Éduthèque une offre du service public du numérique éducatif



Se familiariser avec le logiciel de traitement d'images satellitaires Terrelmage à l'aide du manuel d'utilisation.

- Trouver des séquences sur d'autres exemples concernant le littoral
- Tout savoir sur les satellites Pléiades

<http://www.edutheque.fr/thematiques/sciences-et-techniques/partenaire/cnes.html>

Lançons le débat !



© Shutterstock

La côte aquitaine est très exposée aux changements climatiques.

Quelles sont les solutions envisagées ?

Quels sont les différents coûts et difficultés ?