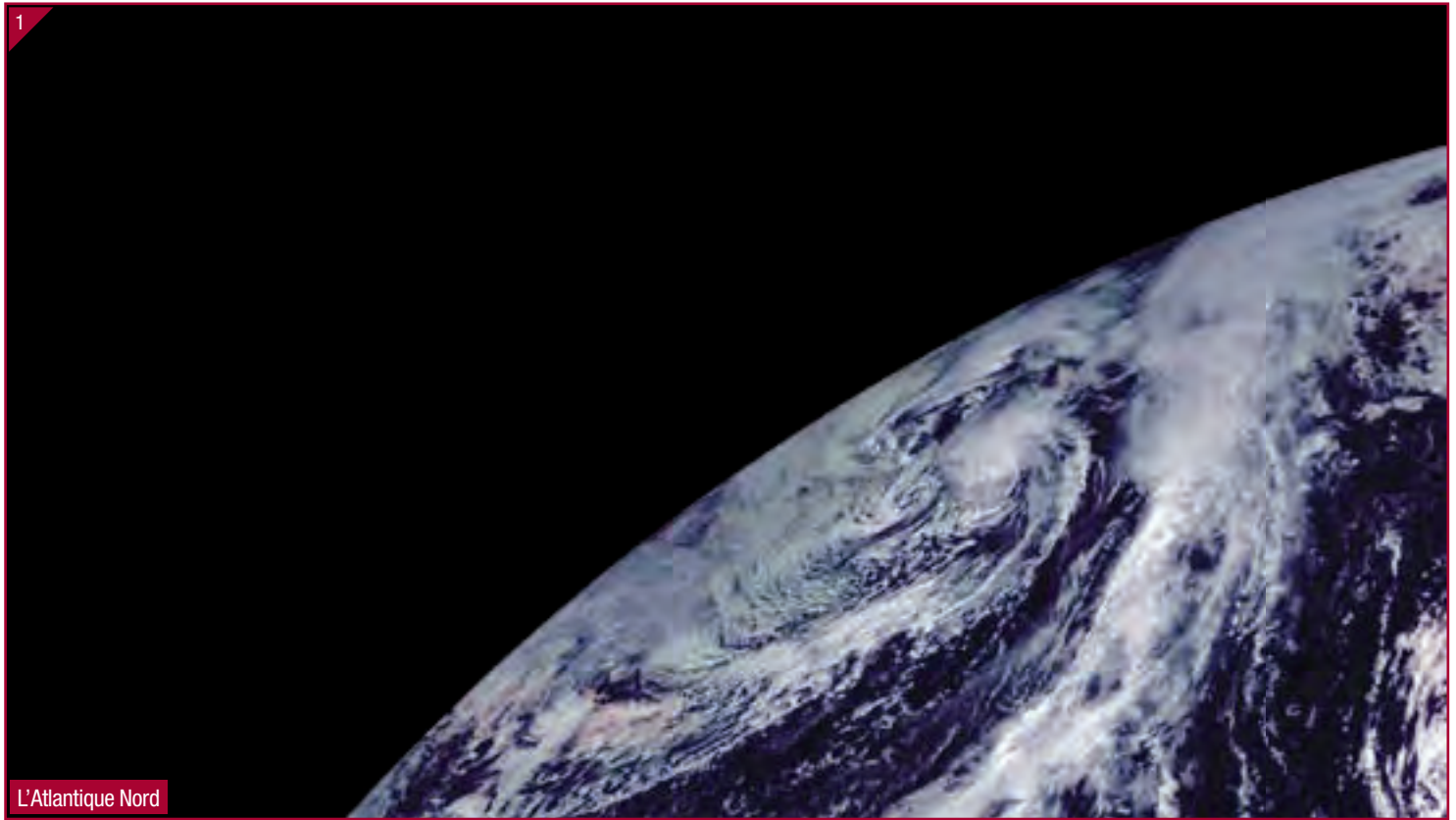


## **8- L'eau** sur la Terre

*Sous le regard des satellites*



# Les déplacements de l'eau dans l'atmosphère



L'Océan Atlantique vu par le satellite Météosat. Une dépression est en train de se former au large de l'Amérique du Nord et arrivera bientôt sur l'Europe. L'eau des océans et des mers représente 97,1% de l'eau totale présente sur Terre : autrement dit, presque toute l'eau de la planète est liquide, et salée.

## Les réserves d'eau sur la terre



L'eau des océans représente en volume 1350 millions de  $\text{km}^3$ . C'est là que la vie a commencé sur Terre, il y a plusieurs milliards d'années.



Quand l'eau s'évapore, elle se purifie, car la plupart des impuretés sont trop lourdes pour s'évaporer en même temps. C'est pourquoi l'eau de pluie est bonne pour les plantes.



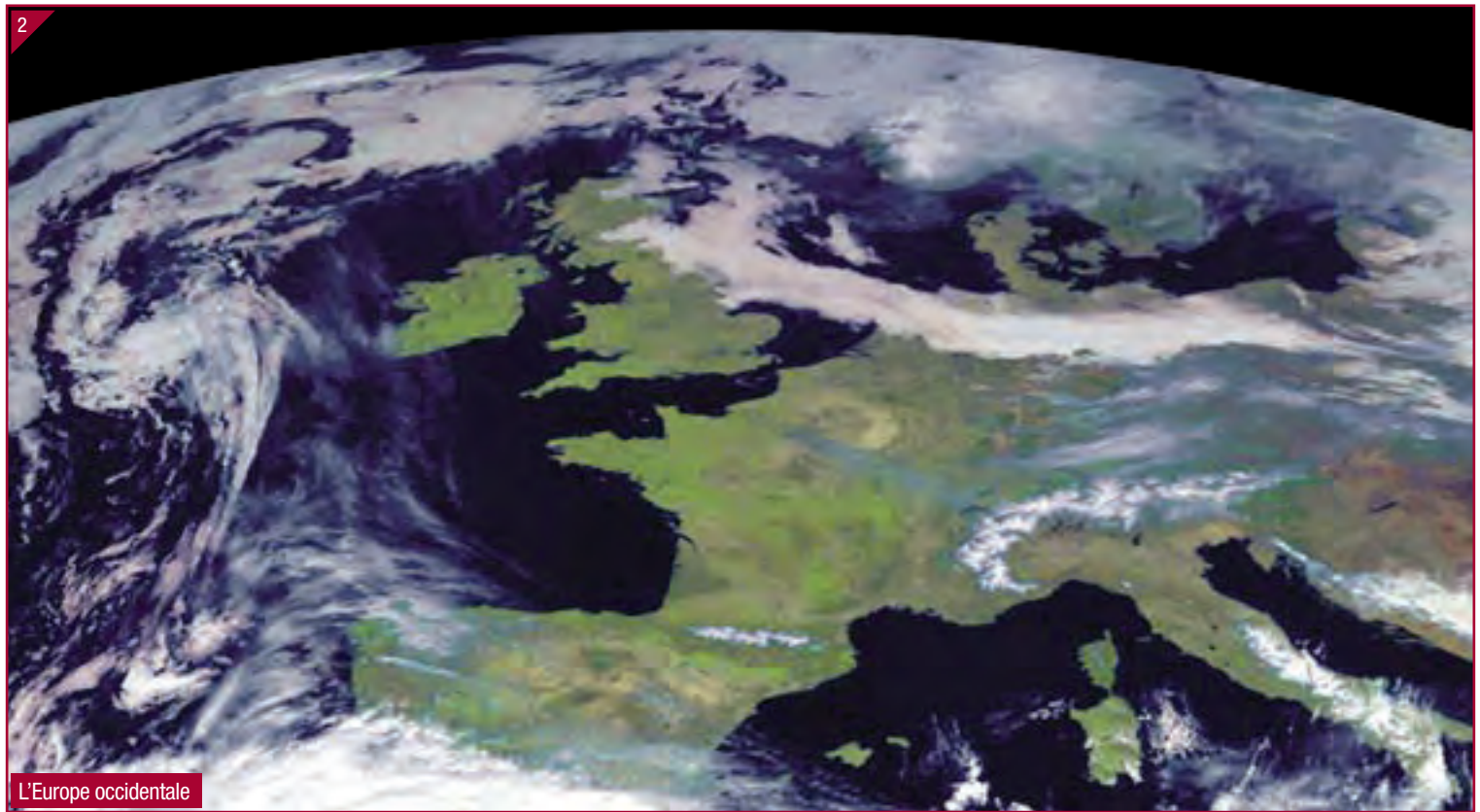
Les banquises et les calottes polaires sont menacées par le réchauffement climatique : leur étendue et leur épaisseur sont surveillées en permanence par les satellites.

La quantité d'eau présente



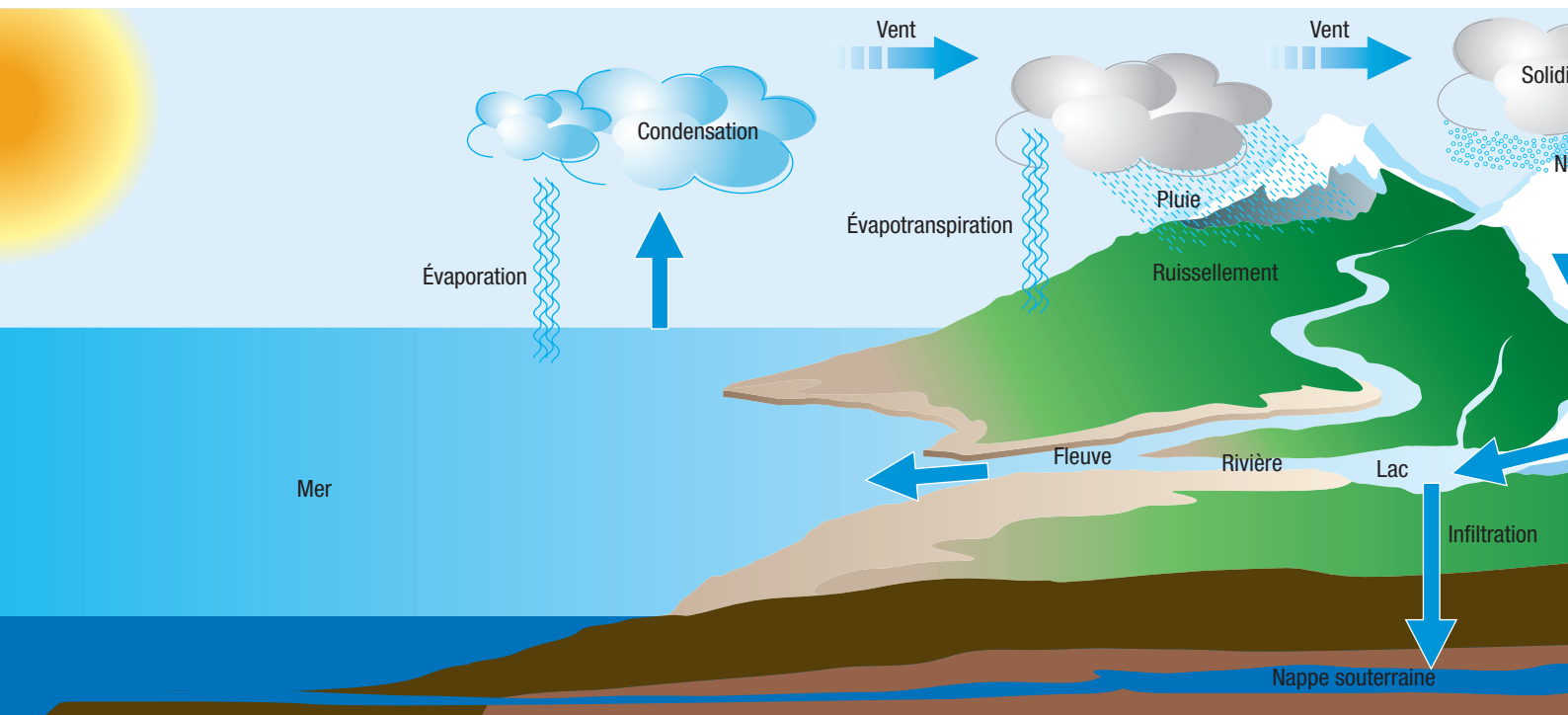
Le principal moteur de la vie sur la Terre, c'est le Soleil. Il provoque l'évaporation des océans... en fait d





L'eau dans l'atmosphère à l'état gazeux, liquide ou solide ne représente que 0,001% du total terrestre, mais cette eau est vitale pour l'homme : en effet, ce sont les nuages qui apportent la pluie, indispensable à la végétation, donc à la vie humaine.

Le stock d'eau sur terre reste constante. L'eau dont nous disposons en ce XXI<sup>e</sup> siècle est exactement la même que l'eau présente lors de la formation de la Terre.



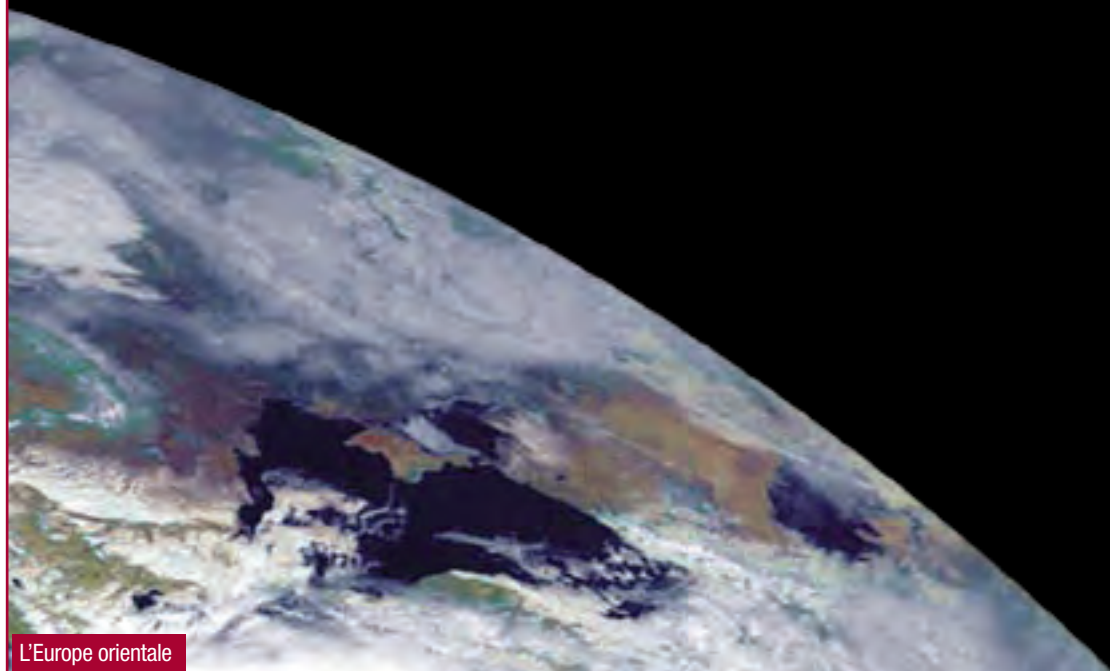
Les mouvements de l'eau :  
Le soleil : son rayonnement  
des lacs, des océans,  
de toute l'eau liquide.

La vapeur d'eau résultant de l'évaporation s'élève dans le ciel, se refroidit, et se condense en nuages. Puis les nuages sont déplacés sous l'effet des vents, et transportent l'eau.

Quand les conditions sont réunies, cette eau retombe sous forme de pluie, de neige, de grêle... C'est ce que l'on appelle « les précipitations ».

En tombant sur le sol, l'eau peut s'écouler en surface (lacs, rivières, fleuves) ou filtrer dans le sol et former des nappes souterraines et enfin s'évaporer.

3



L'Europe orientale

© 2004 EUMETSAT

L'eau des terres émergées représente 2,9% du volume total. Les trois quarts environ de cette eau sont de la neige ou de la glace (état solide), un quart environ est de l'eau souterraine, et moins de 1% de ces 2,9% est de l'eau liquide de surface (lacs, rivières, fleuves...).

il y a des milliards d'années.



l'eau peut s'accumuler (neige, glaciers), ou s'infiltrer pour former des nappes phréatiques jusqu'à la mer.

Le lac Tchad en Afrique. Nos réserves en eau sont menacées par la pollution ou le réchauffement climatique: les satellites permettent de renforcer la surveillance et de mieux comprendre les phénomènes en cours.



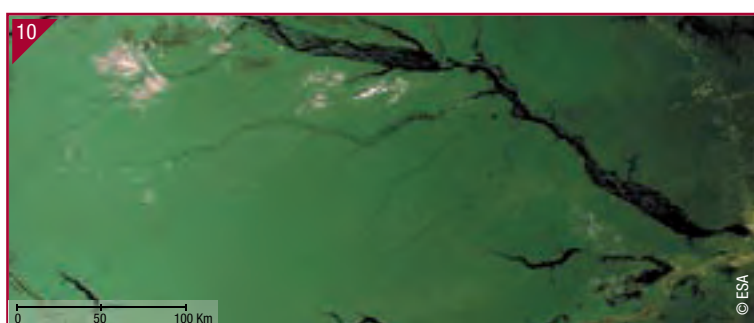
© ESA

L'eau, pompée à plusieurs centaines de mètres de profondeur, permet le développement de cultures en plein désert (ici, près de Kufra, en Lybie). Mais les eaux souterraines se renouvellent très lentement.



© CNES 2002 - DISTRIBUTION SPOT IMAGE

L'eau douce est aussi contenue dans les végétaux et les êtres vivants. Le corps humain est composé de 65% d'eau et cette proportion atteint plus de 80% pour les végétaux. La forêt amazonienne, qui avec 4 millions de km<sup>2</sup> est la plus grande forêt du monde, contient donc également une immense quantité d'eau.

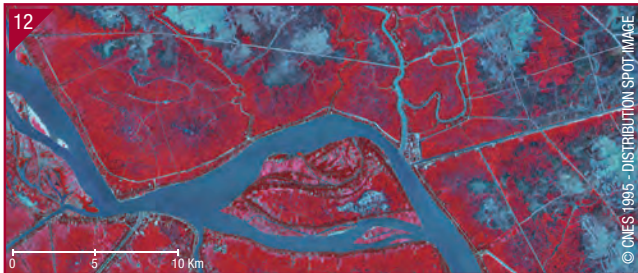


© ESA

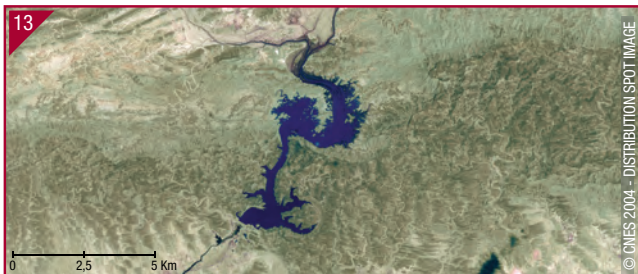




Le Danube.



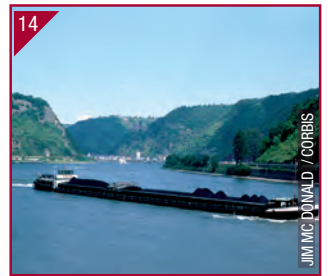
Les rizières du delta du Mékong au Vietnam.



Barrage près de Gawadar, au Pakistan.

## Les transports fluviaux

Les fleuves servent à la navigation et aux transports en général. C'est pour cette raison que villes et villages se sont d'abord créés et développés sur leurs berges.



## L'irrigation

L'eau est indispensable à l'agriculture. L'irrigation permet d'augmenter les surfaces cultivées et d'allonger les périodes pendant lesquelles on cultive. Les rizières du Vietnam produisent plusieurs récoltes de riz par an.



## La production d'électricité

Les barrages construits par l'homme le long des fleuves permettent la production d'électricité. Cette énergie, d'origine hydraulique, est renouvelable.



Les hommes dépendent des réserves d'eau présentes sur terre et du déplacement naturel de cette eau. C'est ce mouvement qui permet la production d'électricité, la navigation sur les fleuves ou l'agriculture. Mais dans le cas de crues, d'inondations ou de raz de marée, ces mouvements d'eau inhabituels peuvent être très dangereux pour les populations.

Le 26 décembre 2004, un tsunami, provoqué par un tremblement de terre sous-marin, a dévasté les côtes des pays bordant l'océan Indien. On a dénombré 300 000 victimes parmi les habitants des zones côtières.

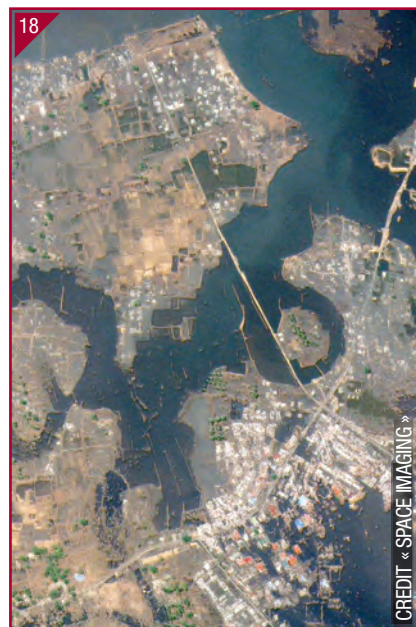


Image satellite de la région de Banda Aceh avant et après le passage du tsunami : on y distingue les zones autrefois cultivées et totalement immergées après la catastrophe, ainsi que l'état des voies de communications.

Le repérage par satellite des zones dévastées est indispensable dans l'évaluation des moyens à mettre en œuvre pour secourir les populations sinistrées.

Les moyens satellites sont un des maillons de la chaîne qui est mise progressivement en place dans le monde pour repérer et identifier de tels phénomènes naturels et alerter les autorités des pays concernés.



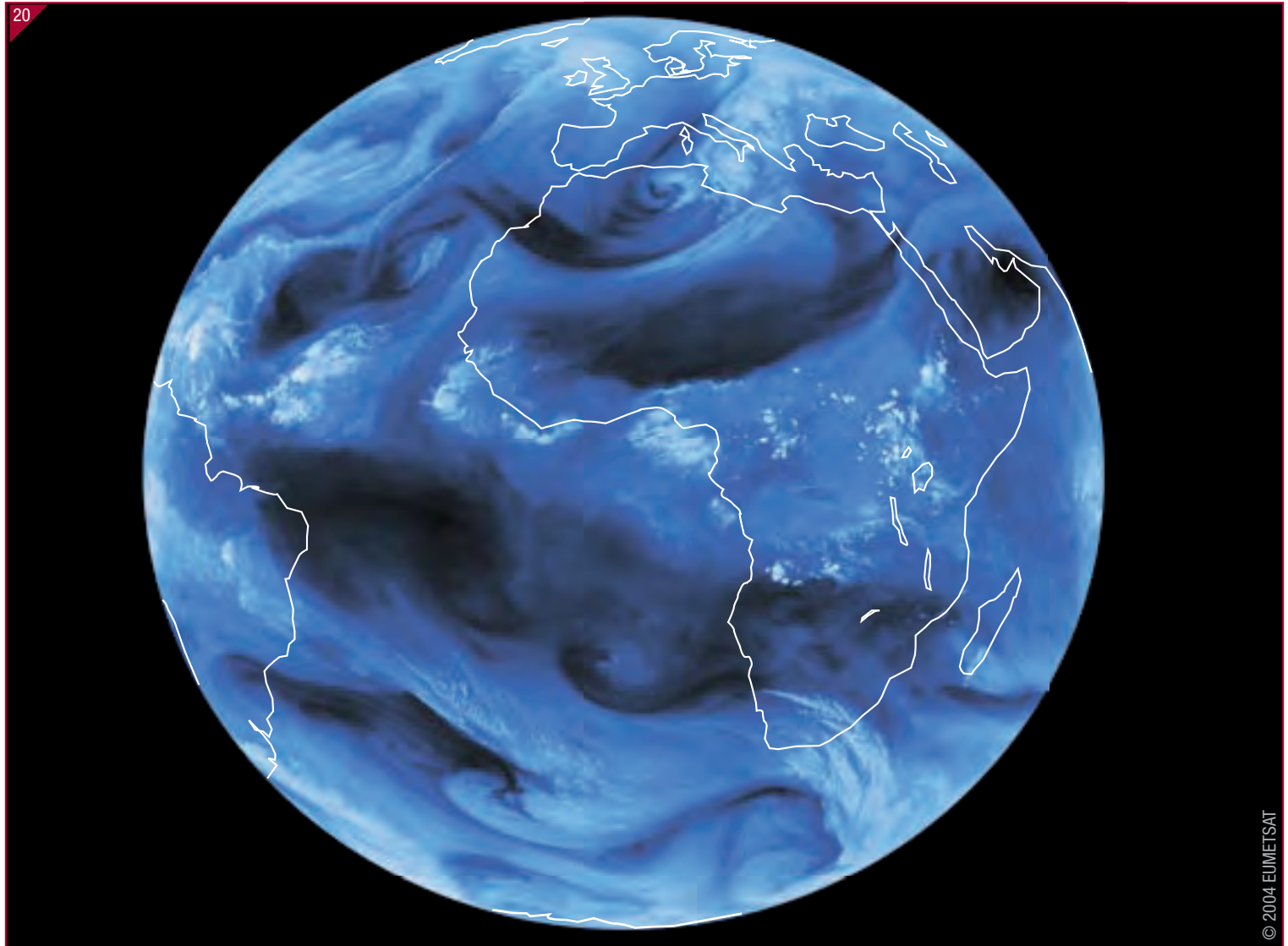
Zone dévastée près de Banda Aceh après le passage du tsunami.



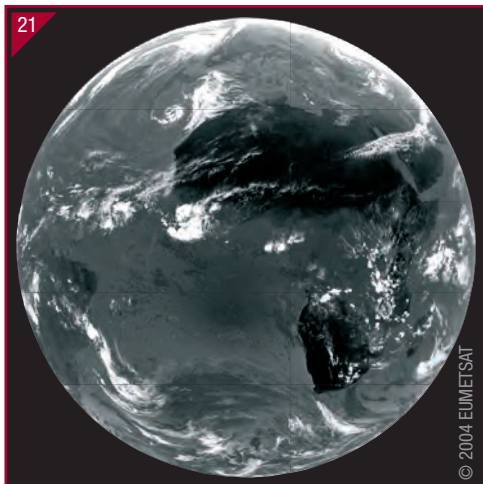
# Comment travaillent les satellites ?

## La vapeur d'eau dans l'atmosphère

Cette image représente bien la Terre. Le satellite a capté la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Alors que les formations nuageuses sont bien localisées sur certaines régions du globe, la vapeur d'eau, elle, est pratiquement omniprésente dans l'atmosphère, mais on ne la voit pas car c'est un gaz incolore.

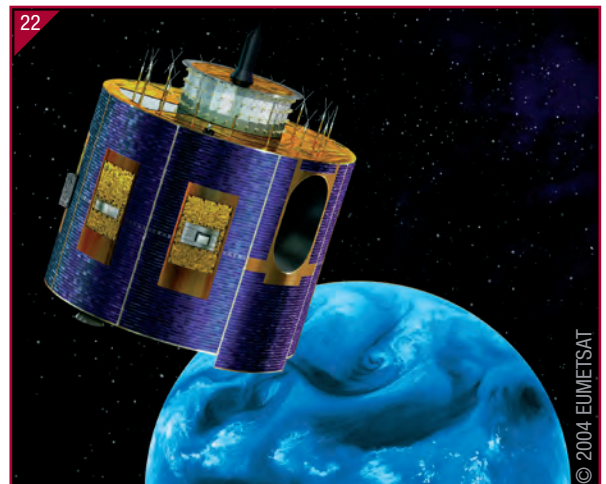


Le satellite a enregistré la longueur d'onde particulière absorbée par la vapeur d'eau pour créer cette image inhabituelle de notre planète. Le rayonnement infrarouge de la Terre est absorbé par la vapeur d'eau de l'atmosphère. Plus il y a de vapeur présente, plus le rayonnement capté par le satellite est atténué : c'est ainsi que l'on obtient, après calculs, l'image ci-dessus. Le contour des continents a été ajouté pour aider à l'interprétation.

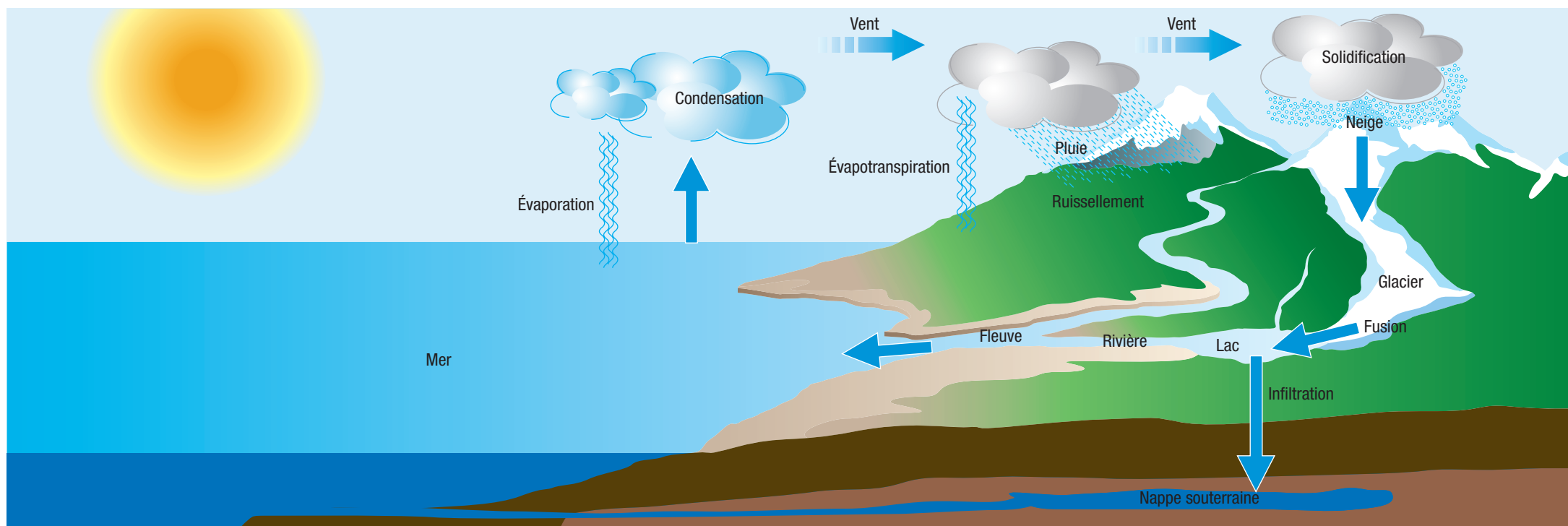


Les satellites captent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre, et enregistrent ainsi la chaleur produite par la Terre, comme on le voit sur l'image noir et blanc à gauche.

Le satellite Meteosat est dédié au suivi des phénomènes météorologiques. Il peut ainsi produire les images des masses nuageuses dans l'atmosphère, mais également des images représentant les températures à la surface du globe.



La quantité d'eau présente sur terre reste constante. L'eau dont nous disposons en ce XXI<sup>e</sup> siècle est exactement la même que l'eau présente lors de la formation de la Terre il y a des milliards d'années.



Le principal moteur des mouvements de l'eau sur la Terre, c'est le Soleil : son rayonnement provoque l'évaporation des lacs, des océans, des fleuves... en fait de toute l'eau liquide.

La vapeur d'eau résultant de l'évaporation s'élève dans le ciel, se refroidit, et se condense en nuages. Puis les nuages sont déplacés sous l'effet des vents, et transportent l'eau.

Quand les conditions sont réunies, cette eau retombe sous forme de pluie, de neige, de grêle... C'est ce que l'on appelle « les précipitations ».

En tombant sur le sol, l'eau peut s'accumuler en surface (lacs, banquise, glaciers), ou s'infiltrer dans le sol et former des nappes phréatiques et enfin s'écouler jusqu'à la mer.

This image belongs to the 'Watching over the Earth' teaching pack from the European Space Agency (ESA).  
The Living Planet programme.

# Informations pour les enseignants

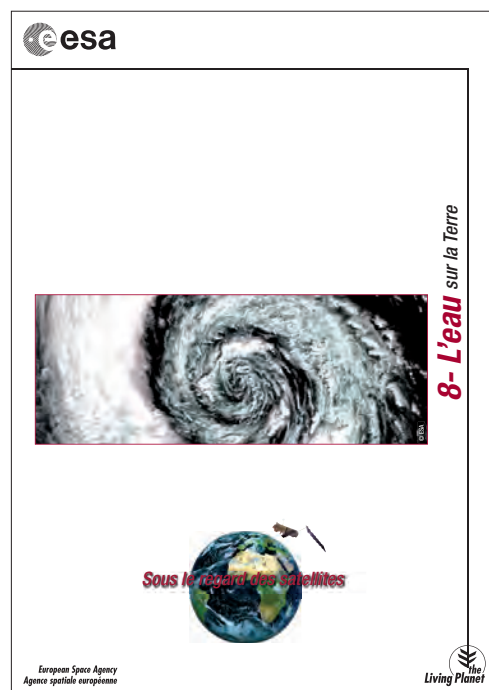
Les fiches d'informations pour les enseignants sont conçues pour offrir un support lors de la préparation des cours. Elles viennent en complément des dossiers distribués aux élèves. Le professeur y trouvera une synthèse d'informations utiles à la présentation du sujet, des données complémentaires concernant les images satellitaires, une bibliographie et une liste d'adresses de sites traitant les sujets abordés.

## Dossier N°8 : L'eau sur la Terre

Le dossier N°8 est centré sur le cycle de l'eau abordé dans les programmes de sciences de la vie et de la Terre, ainsi que dans ceux de physique-chimie et de géographie.

Ce dossier permet :

- de décrire les différentes réserves d'eau de la planète, leur localisation (océans, mers, fleuves, rivières, lacs, calottes polaires, banquises, sous-sol, atmosphère, espèces vivantes...);
- d'évoquer les différents transferts d'une réserve à l'autre;
- d'illustrer l'importance de l'eau et de ses mouvements pour les activités humaines (transport, agriculture, industrie...).



## Le cycle de l'eau

Une première idée essentielle est que le cycle de l'eau est généré par le rayonnement solaire, qui provoque l'évaporation. Mais le rayonnement reçu par la Terre varie fortement selon la latitude (il est maximal à l'équateur où les rayons arrivent perpendiculairement au sol, et minimal aux pôles). Cette différence accentue les échanges entre continents, océans et atmosphère. Le soleil n'est pas la seule et unique énergie à l'origine du mouvement de l'eau : la gravité participe également de ce processus.

Une deuxième idée est la « conservation de l'eau » au cours de son cycle : la quantité totale d'eau présente sur Terre ne varie pas, et ce depuis au moins 2 milliards d'années. À l'échelle des climats (quelques milliers d'années) les masses d'eau restent stables (les volumes océaniques, continentaux et atmosphériques gardent des niveaux constants). À une échelle de temps plus longue, ceci n'est plus vérifié : à la dernière glaciation, qui était maximale il y a 18 000 ans, le volume des océans était plus faible. Par ailleurs, le volume des échanges entre les différentes réserves, cumulé sur l'année, atteint 920 000 km<sup>3</sup>, soit très peu par rapport au total de l'eau terrestre (environ 1 390 000 000 km<sup>3</sup>). Ce volume des échanges équivaut à une couche d'eau de 1,8 m, à comparer aux 2,7 Km de la réserve totale.

Troisième idée importante : la représentation schématisée du cycle de l'eau cache de très fortes disparités : à peine une averse par siècle dans le désert d'Atacama au Chili, près de 12 mètres de pluie par an dans l'est de l'Inde, dans la région de Shillong. Autre exemple de disparité : l'océan Atlantique et l'océan Indien exportent de l'eau vers les continents, alors que l'océan Pacifique en importe, les précipitations y étant supérieures à l'évaporation. Expliquer dans le détail la circulation de l'atmosphère - et donc de l'eau qu'elle transporte - est une tâche complexe, à laquelle travaillent les météorologues en prenant en compte de nombreux facteurs. Le rayonnement solaire plus fort à l'équateur qu'aux pôles provoque l'ascendance des masses d'air au niveau équatorial et leur déplacement en altitude en direction des pôles. La rotation de la Terre intervient également : elle permet d'expliquer les grandes cellules de circulation des masses d'air à l'échelle de la planète (cellules de Hadley, cellules de Ferrel, cellules polaires), et donc l'existence des alizés tropicaux, des vents d'ouest des latitudes moyennes, des courants-jets, des zones anticycloniques (tropiques, où se trouvent la plupart des grands déserts, et pôles) et dépressionnaires (équateur, zones tempérées).



Quatrième idée : le temps moyen de résidence de l'eau dans les différentes réserves présente de grandes disparités : 10 jours en moyenne dans l'atmosphère, quelques semaines dans les rivières et les fleuves, quelques dizaines d'années dans les lacs, des siècles à des millions d'années dans le sous-sol.

Enfin, le cycle de l'eau n'est pas immuable. D'abord, il se modifie tout naturellement au fil des grandes ères climatiques (glaciations/réchauffements). Ensuite, depuis le XIX<sup>e</sup> siècle apparaît un phénomène nouveau, la modification de l'atmosphère par l'activité industrielle humaine : la concentration volumique de dioxyde de carbone est passée de 0,028% en 1800 à 0,037% en 2000, à cause de la combustion des énergies fossiles. Le dioxyde de carbone (gaz à effet de serre) provoque une augmentation moyenne de la température à la surface de la planète qui active le cycle de l'eau et augmente ainsi la quantité d'eau présente dans l'atmosphère, ce qui renforce en retour l'effet de serre. Par ailleurs, le cycle de l'eau est localement affecté par la construction des grands barrages. Il est également modifié par les déforestations massives, qui diminuent l'évapotranspiration au profit du ruissellement. Enfin, dans certaines régions (Ouest des Etats-Unis, Arabie Saoudite), le pompage de l'eau dans les nappes phréatiques est effectué en quantités bien supérieures à celles du renouvellement par infiltration.

Si toutes ces modifications du cycle de l'eau peuvent avoir des conséquences importantes, il n'en reste pas moins que les problèmes majeurs et immédiats concernant l'eau sont d'une part, sa très inégale répartition à la surface de notre planète, et d'autre part l'augmentation importante et généralisée de son niveau de pollution.

---

## ***Les images satellitaires***

---

### **Page de couverture**

#### **Image de couverture : Zone de basse pression au sud de l'Islande (Envisat / MERIS)**

L'utilisation de la bande infrarouge et proche infrarouge fait apparaître les détails de la structure des nuages. Cette formation nuageuse mesure environ 600 Km.

### **Dossier central**

#### **Images N° 1, 2, 3 : Le globe terrestre (Météosat)**

L'image du globe terrestre a été reproduite en 3 séquences distinctes pour mettre en évidence 3 étapes essentielles de la circulation de l'eau dans l'atmosphère : évaporation au-dessus de l'océan Atlantique, déplacement d'ouest en est de la dépression, et précipitations sur le continent eurasiatique. Bien sûr, des précipitations existent au-dessus des océans et l'évaporation a lieu aussi au-dessus des continents, mais ce découpage exprime une tendance générale comme l'illustre le graphique situé au-dessous.

Six photographies ou images satellites montrent des exemples de réserves d'eau sur Terre, et notamment la banquise, le lac Tchad, le désert libyen ou le bassin amazonien.

#### **Image N°6 : La péninsule Antarctique (Envisat)**

Le réchauffement climatique montre particulièrement ses effets dans l'Antarctique. Sur cette image, prise en mars 2002, une partie de la plate-forme de glace de Larsen s'est brisée en une multitude d'icebergs qui dérivent ensuite dans la mer de Weddell.

#### **Image N°8 : Le lac Tchad (Envisat)**

Cette image illustre également les perturbations qu'entraîne le réchauffement climatique sur les réserves d'eau sur la planète. La zone de végétation qui entoure le lac correspond à l'étendue du lac tel qu'il était il y a environ trois décennies.

#### **Image N°9 : Le désert de Koufra en Libye (Spot 5)**

L'eau contenue dans les sous-sols, à grande profondeur, se renouvelle très lentement (environ 1% par an). Il a fallu parfois des centaines de milliers d'années pour constituer les nappes phréatiques profondes. Le pompage de ces réserves est souvent effectué sans tenir compte de leur renouvellement.

#### **Image N°10 : Le bassin amazonien (Envisat)**

L'Amazone est un des plus longs fleuves du monde et celui qui transporte la plus grande quantité d'eau douce vers la mer. Le Rio Negro, que l'on voit sur l'image, a cette couleur noire car il ne transporte pas ou très peu de sédiments, au contraire du Solimões (en bas à droite de l'image), qui en est extrêmement chargé. Sur la droite de l'image, on distingue une route et les terrains défrichés qui la bordent.

## Page 5 - L'eau et les Hommes

Trois images satellites illustrent quelques aspects de l'importance de l'eau pour les activités humaines : transports, production d'énergie, irrigation.

La deuxième partie, évoquant le tsunami de décembre 2004 dans l'Océan Indien, souligne au contraire les risques liés à ces phénomènes naturels.

### Image N°11 : Le Danube (Spot 5)

C'est le plus long fleuve d'Europe (2850 Km) et son bassin hydrographique concerne 17 pays.

### Image N°12 : Les rizières du delta du Mékong (Spot 5).

Le régime climatique de mousson de l'Asie du sud-est est parfaitement approprié à la culture du riz. C'est une plante exigeante qui demande 30 000 m<sup>3</sup> d'eau par hectare. En 2003 la production du Vietnam a atteint près de 35 millions de tonnes. Le dossier N° 5 « l'Asie et la riziculture » développe ce sujet.

### Image N°13 : Le barrage de la région de Gawadar au Pakistan (Spot 5)

Ce barrage alimente notamment la ville de Gawadar (ou Gwadar), port stratégique en eau profonde situé au Pakistan, à proximité de la frontière iranienne.

### Images N°17, 18 : Le tsunami de décembre 2004

Ces 2 images du Tsunami ont été prises par le satellite américain Ikonos, qui possède une résolution de 1 mètre. L'orbite de ce satellite est à 600 Km d'altitude.

La première image a été prise le 10 janvier 2003 et montre le littoral nord de la province d'Aceh, dans l'île de Sumatra, en Indonésie. La seconde image a été prise le 29 décembre 2004 et montre clairement l'étendue des dommages.

## Page 6 - « Comment travaillent les satellites ? »

### Image N°20 : La vapeur d'eau dans l'atmosphère terrestre (Eumetsat)

Les images satellitaires montrant la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère sont prises dans l'infrarouge : en effet, la Terre reçoit la lumière du Soleil, en absorbe une partie et se réchauffe. Elle devient ainsi un émetteur infrarouge, dans des longueurs d'onde comprises entre 4 et 40 micromètres (µm). Ce rayonnement émis par le globe terrestre est capté par le satellite, mais, sur son trajet, il traverse la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère, qui justement a la propriété d'absorber les infrarouges à certaines fréquences bien caractéristiques. Les satellites Météosat ou GOES, par exemple, recueillent les ondes émises par la Terre à des fréquences voisines de 6 µm, correspondant à une absorption par la vapeur d'eau. Ainsi, l'intensité du signal recueilli est une signature de la présence plus ou moins grande de vapeur d'eau dans l'atmosphère, et permet de calculer des images telles que celle-ci.



---

## Ressources en ligne

---

[www.esa.int](http://www.esa.int)  
[www.esa.int/SPECIALS/ESRIN\\_SITE/index.html](http://www.esa.int/SPECIALS/ESRIN_SITE/index.html)

[www.esa.int/eo](http://www.esa.int/eo)  
[earth.esa.int/earthimages](http://earth.esa.int/earthimages)  
[www.earth.esa.int/education](http://www.earth.esa.int/education)  
[www.eduspace.esa.int](http://www.eduspace.esa.int)  
[www.cnes.fr](http://www.cnes.fr)

[www.cnes-edu.org](http://www.cnes-edu.org)  
[www.spotimage.fr](http://www.spotimage.fr)

### CYCLE DE L'EAU

[www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/accueil.html](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/accueil.html)  
[www.edumedia-sciences.com/m211\\_l1-environnement-ressources.html](http://www.edumedia-sciences.com/m211_l1-environnement-ressources.html)  
[www.cieau.com/toutpubl/sommaire/texte/1/f1.htm](http://www.cieau.com/toutpubl/sommaire/texte/1/f1.htm)  
[www.planete-eau.org](http://www.planete-eau.org)

### ATMOSPHERE

[www.educnet.education.fr/obter/appliped/circula/theme/accueil.htm](http://www.educnet.education.fr/obter/appliped/circula/theme/accueil.htm)

### TSUNAMI

[www.disasterscharter.org](http://www.disasterscharter.org)  
[earth.esa.int/applications/dm](http://earth.esa.int/applications/dm)

Site de l'ESA (Agence spatiale européenne)  
Site de l'ESRIN - Institut européen de recherches spatiales : centre de l'ESA dédié à l'Observation de la Terre  
Site de l'Observation de la Terre de l'ESA  
Galerie d'images satellitaires de l'ESA  
Site éducation de l'ESA  
Site éducatif de l'Observation de la Terre (EDUSPACE)  
Site du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)  
Présentation des missions et des activités du CNES  
Site éducatif du CNES  
Galerie d'image de SPOT IMAGE

Dossiers scientifiques « Sagascience » du CNRS. L'eau : une ressource précieuse  
Ressources pédagogiques du site eduMedia

Dossiers du centre d'information sur l'eau  
L'eau et l'environnement

La dynamique des masses atmosphériques. Dossier pédagogique Educnet

Site de la Charte Internationale Espace et Catastrophes Majeures  
Gestion des catastrophes

---

## Bibliographie

---

*L'océan mondial*  
part TDC, N° 906, 15 décembre 2005  
CNDP, 2005

Étude de la mécanique des océans. Gardiens des équilibres, ils prennent une essentielle dans l'évolution du climat. Mais les pollutions diverses que l'homme injecte dans les eaux marines nécessitent une coopération internationale pour tenter de sauver ce qui peut encore.

---

## Vidéographie

---

*L'eau : ça coule de source (2001)*  
Collection : Côté télé - Série : C'est pas sorcier (9)  
CNDP, 2001

Deux présentateurs, à bord de leur camion-laboratoire, présentent le cycle de l'eau, depuis la source ou le fleuve, jusqu'au robinet.

*L'eau change d'état (1998)*  
Collection : Galilée  
Série : Des phénomènes et des hommes (4)

Découverte de l'eau sous toutes ses formes.

---

## Images satellitaires



---

Conduite du projet pour l'ESA  
Conception éditoriale  
Rédaction et réalisation  
Conseillers scientifiques (ESA)  
Conseillers pédagogiques

Agostino de Agostini  
Frédéric Létang / Patrice Desenne  
Frédéric Létang  
Isabelle Duvaux Béchon / Laurence Ghaye  
Éric Janin / Jean Jandaly

Documentation  
Graphisme  
Illustrations

**Production**

Valérie Massignon - XYZèbre  
Boris Uzan  
Philippe Bouillon - Illustratek

**Europimages - Alette Cremer**

---

## Dossier N°8 : L'eau sur la Terre

*Après avoir lu et regardé attentivement le dossier, répondez aux questions suivantes :*

1 – Quelle est la cause des mouvements de l'eau sur Terre ? Décrivez brièvement le cycle de l'eau.

.....

.....

.....

.....

2 – Dans l'image satellitaire présentée en haut à gauche du dossier, une dépression est en train de se former au-dessus de l'océan Atlantique. Dans quelle direction va évoluer cette masse nuageuse ? Quel satellite a produit ces images ?

.....

.....

3 – Nommez les principales réserves d'eau sur la Terre. Que peut-on dire de la quantité totale ? Quelle est la part des réserves d'eau présentes dans l'atmosphère ?

.....

.....

.....

.....

4 – Quels sont les phénomènes qui altèrent la qualité et la disponibilité de l'eau sur Terre ?

.....

.....

.....

5 – Donnez trois exemples de l'utilité des satellites pour la connaissance de l'état des réserves d'eau sur Terre.

.....

.....

.....

6 – En quoi les déplacements de l'eau, dans l'atmosphère comme sur les continents, sont-ils indispensables à la vie et aux activités humaines ?

.....

.....

.....

7 – Pourquoi les régions côtières, qui sont les plus menacées par les inondations ou les raz de marées, sont-elles densément peuplées ?

.....

.....

.....

8 – Sous quelles formes l'eau peut-elle être présente dans l'atmosphère ?

.....

.....