

Météorologie et prévision du temps

Fiches pour les élèves des collèges

Dossier pédagogique et information documentaire

Météorologie : informations générales

Sur Terre, les conditions météorologiques sont déterminées par des lois scientifiques. Elles sont – il est vrai – fort complexes et nous ne les maîtrisons pas encore parfaitement. C'est la raison pour laquelle il est très difficile de prévoir le temps qu'il fera en un lieu donné ou sur une longue période avec la précision que nous associons d'ordinaire aux sciences exactes. En exploitant 6000 stations météo à la surface du globe, un réseau de satellites météorologiques qui couvre la totalité de la planète, la puissance de calcul que nous offre les technologies informatiques et des techniques mathématiques très élaborées, les météorologues parviennent cependant à établir des prévisions très précises à 24 heures (fiables à 86%) et assez précises à 3-7 jours (fiables à 80 % à 3 jours). Au-delà, il est pratiquement impossible d'obtenir un degré de certitude raisonnable.

Les satellites jouent un rôle important dans les prévisions météorologiques car ils nous permettent de surveiller de vastes régions du globe ainsi que d'étudier les formations nuageuses, les fronts qui leur sont associés, leur température, leur composition, etc. Grâce à eux, nous pouvons par exemple observer les fronts nuageux même de nuit et analyser la répartition de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Les satellites nous livrent également des informations précises sur la concentration des gaz à l'état de trace (comme l'ozone) et des particules de poussière en suspension (aérosols) dont on sait qu'ils jouent un rôle décisif dans les conditions météorologiques. **Circulation globale (Fiche 1/10)**

Tous les phénomènes météorologiques, y compris les vents, les formations nuageuses, les températures et les précipitations, tirent leur origine de l'énergie du rayonnement solaire. En l'absence de ce rayonnement, la Terre se refroidirait rapidement jusqu'à tomber à la température de l'espace extra-atmosphérique et se transformerait en un bloc inerte de pierre et de glace.

Le taux d'absorption de l'énergie solaire par la surface terrestre varie en fonction de la distance à l'équateur. Dans les régions polaires, une même quantité de rayonnement solaire incident se répartit sur une superficie bien plus étendue qu'à l'équateur. C'est pour cela qu'il y a bien plus d'énergie disponible par unité de surface sous les tropiques. L'inclinaison de la Terre joue également un rôle important qui est à l'origine des saisons.

L'inégalité de la répartition d'énergie est le principal "moteur" de la circulation de l'air dans l'atmosphère. L'énergie solaire absorbée est transportée des régions tropicales vers les plus hautes latitudes, ce qui génère les systèmes éoliens responsables de la circulation globale.

Le B-A BA de la météorologie

Ce que nous appelons "le temps" correspond à des phénomènes qui se déroulent pour l'essentiel dans la mince couche constituée par la basse atmosphère (troposphère et basse stratosphère). Il est en grande partie conditionné par un petit nombre de mécanismes fondamentaux.

1. Les échanges d'air s'effectuent suivant des couloirs grossièrement orientés nord-sud. Ce processus résulte du fait que l'air se réchauffe plus vite à **l'équateur**, où la surface terrestre reçoit la plus grande quantité de rayonnement solaire (le soleil ne réchauffe pas directement l'air mais le sol). L'air, chauffé par le sol qu'il surplombe, s'élève à une altitude de 15 ou 20 km, où il refroidit en dérivant loin de l'équateur avant de redescendre sous la forme d'une masse d'air considérablement plus fraîche. Le processus de circulation s'achève par le reflux de cet air vers l'équateur à basse altitude. Il se crée ainsi ce que l'on appelle des cellules de circulation (voir ci-dessous et également sur le CD : équilibre des pressions, alizés, zone de convergence intertropicale ITCZ).
2. Le **cycle hydrologique** est cause de phénomènes atmosphériques tels que la formation des nuages, les systèmes de fronts et les précipitations. La vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère est le plus important des gaz à effet de serre. Sans elle, il n'y aurait pas de vie sur Terre. Des quantités colossales d'eau s'évaporent en permanence dans les régions équatoriales. Après s'être élevées par convection, elles forment des nuages. Les masses d'air qui s'éloignent de l'équateur donnent également des nuages.
Si la vapeur d'eau se condense, elle retombe à la surface de la Terre sous forme de **précipitations**. A terme, elle regagne l'équateur par le biais des courants océaniques, gonflés par le ruissellement pluvial qui termine sa course dans les estuaires marins. Des quantités d'énergie gigantesques interviennent dans les processus d'évaporation et de précipitation.
3. A l'échelle continentale, **les cellules de réchauffement et de refroidissement** sont à l'origine des zones dépressionnaires et des anticyclones (cf. : modèle insulaire, circulation mer/terre). L'interaction de masses d'air présentant des caractéristiques différentes (de pression, d'humidité, de température) forme des fronts et des systèmes atmosphériques.
4. La rotation de la Terre, et les lois de Coriolis qui en découlent (voir CD), font que les systèmes atmosphériques se déplacent différemment dans l'hémisphère Nord et dans l'hémisphère Sud. Dans notre hémisphère, ils "progressent" **d'ouest en est**.
5. La cause immédiate de la variation des conditions atmosphériques réside dans les **déséquilibres locaux** de répartition des températures, de l'humidité, etc. Les processus qui en découlent, considérés dans leur ensemble, sont à l'origine des phénomènes complexes qui déterminent les conditions météorologiques.

Le modèle insulaire / Système terre/mer (Fiche 2/10)

(Rappel : la pression en un endroit donné est le poids de la colonne atmosphérique qui le surplombe). Le modèle insulaire est un bon exemple des mécanismes de déplacement vertical des masses d'air. Le matin, l'air situé au-dessus d'une masse terrestre se réchauffe beaucoup plus vite que l'air se trouvant au-dessus d'une étendue d'eau contiguë. Il se réchauffe également plus vite en plein champ qu'en forêt, sur le versant sud d'une colline que sur son versant nord, sur des terres arides que sur un sol marécageux, etc.

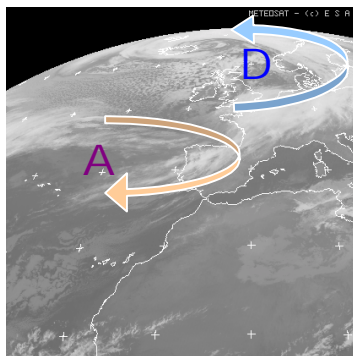
Au fil de la journée, il se crée des points chauds locaux au-dessus des terres de sorte que l'air a tendance à s'élever en surplomb tandis que l'air qui se trouve dans les zones voisines plus fraîches tend à prendre sa place pour maintenir un équilibre global. Là où les masses d'air s'élèvent, la pression atmosphérique diminue quelque

peu (densité plus faible) tandis que là où elles descendent (densité plus élevée), la pression sera légèrement plus haute. C'est ce qui explique par exemple les brises locales sur les côtes marines et en bordure des lacs, brises dont la direction s'inverse la nuit.

De plus, les caractéristiques plus ou moins uniformes de pression, de température et d'humidité d'une masse d'air se modifient lorsque cette masse d'air est en contact prolongé avec des zones continentales ou océaniques. Conjugué aux cellules de circulation à grande échelle, ce phénomène est à l'origine des dépressions et des anticyclones dont les bulletins météorologiques font état si fréquemment et qui indiquent

1. un mouvement géographique : la façon dont l'air se déplace (vents) entre les zones de haute pression et de basse pression
2. un mouvement horizontal : lorsque la différence de pression (gradient) est élevée,
3. un mouvement vertical : ascendance rapide dans les dépressions mais mouvement peu marqué dans les anticyclones, etc., ce qui est crucial pour comprendre l'évolution des conditions météorologiques.

En ce qui concerne l'hémisphère Nord (auquel se limitent les explications qui suivent) les forces de Coriolis font que les vents des zones dépressionnaires tourbillonnent dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Dans les anticyclones ils tournent dans le sens des aiguilles d'une montre (c'est l'inverse dans l'hémisphère Sud).



Les hautes pressions et basses pressions sont faciles à repérer. Sur une image satellite, les spirales nuageuses sont aisément identifiables et, en comparant plusieurs images successives, il est facile de voir dans quel sens elles tournent. Si c'est dans le sens des aiguilles d'une montre, il s'agit d'un anticyclone. Dans le cas contraire, nous sommes en présence d'une dépression. Le centre d'un anticyclone est vide de nuages.

< Image Météosat comportant des nuages et des fronts, en lumière visible.

Ascendance, convection et origine des nuages (Fiche 3/10)

Il y a de l'eau partout dans l'atmosphère sous forme de vapeur : gouttelettes d'eau et minuscules cristaux de glace en suspension dans l'air. C'est dans la basse atmosphère que sa concentration est la plus élevée. En effet, plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau. Dans certaines conditions, la vapeur se condense à faible altitude, donnant des brouillards.

Les masses d'air ascendantes se refroidissent progressivement – d'environ 1°C par 100 m d'altitude dans la troposphère. Lorsque la température se rapproche du seuil dénommé "point de rosée", la vapeur d'eau commence à se condenser de façon visible. Ce processus s'accélère en présence d'aérosols, c'est-à-dire de minuscules particules de poussières auxquelles les gouttes d'eau microscopiques peuvent adhérer.

Lorsque l'ascendance est due à un réchauffement de l'air au sol, on parle de convection. Si les échanges d'air et de chaleur avec l'atmosphère environnante sont négligeable, on dit que l'ascension est "adiabatique". Les phénomènes de convection à grande échelle sont à l'origine des tempêtes, des tornades, etc.

L'air peut également s'élever pour d'autres raisons. Dans une ascension "orographique", des masses d'air se déplaçant horizontalement rencontrent un obstacle (une chaîne de montagnes par exemple) qui les force à monter. On peut alors voir une écharpe nuageuse se former le long de la chaîne, tous les nuages étant situés à la même altitude. Ce phénomène se produit également lorsque deux masses d'air différentes se rencontrent (fronts).

Une masse d'air très sèche peut ne pas former de nuages en s'élevant si elle ne contient pas suffisamment de vapeur d'eau.

Nuages et pluie (Fiche 4/10)

Les nuages sont des régions de l'atmosphère chargées de gouttelettes d'eau et de cristaux de glace en suspension. Lorsqu'un nuage se forme à la faveur d'une ascension d'air, les particules les plus petites s'élèvent en même temps que l'air tandis que les plus grosses, plus lourdes, tombent. Si ces gouttes atteignent la surface de la Terre, il pleut. Il arrive cependant qu'elles s'évaporent avant d'atteindre le sol ou qu'elles gèlent et forment des flocons. Les cristaux de glace tombant d'un nuage deviennent parfois si gros qu'il grêle.

Les nuages accompagnant les fronts chauds et les fronts froids ne sont pas du même type en raison des conditions différentes à l'origine de l'ascendance des masses d'air. On classe souvent les nuages en fonction de l'altitude à laquelle se situe leur base.

Nuages caractéristiques d'un front **froid** : cumulonimbus, cumulus

Nuages caractéristiques d'un front **chaud** : Cirrostratus, Cirrus, Altostratus, Nimbostratus

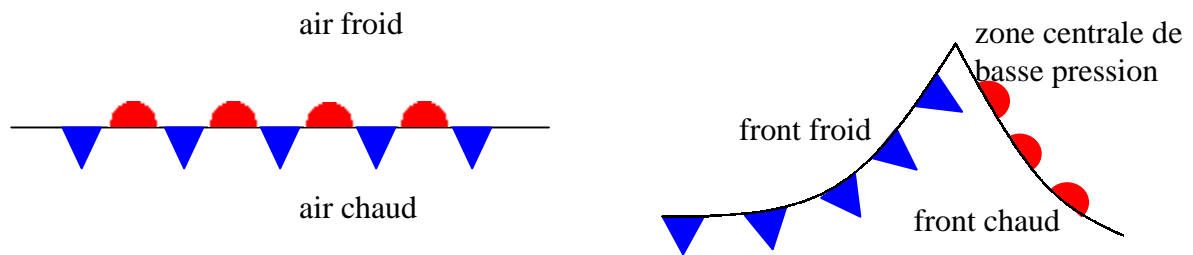
Hautes et basses pressions

Dans les régions situées aux latitudes intermédiaires, les vents dominants sont des vents d'ouest qui, en entraînant avec eux une succession de systèmes dépressionnaires et d'anticyclones, sont cause de l'instabilité du temps qui caractérise nos régions. Les systèmes de hautes et basses pressions sont en essence de grandes masses d'air en rotation. On appelle les **basses pressions** "dépressions" ou "cyclones" et les **hautes pressions** "anticyclones".

Vie et mort d'une dépression aux latitudes intermédiaires (Fiche 5/10)

Les cyclones et dépressions se développent d'ordinaire aux latitudes intermédiaires dans les zones où des masses d'air tropical ou subtropical chaud rencontrent des masses d'air polaire froid. Les dépressions que nous connaissons en Europe sont habituellement originaires de l'océan Atlantique. Le front polaire est le plus souvent stationnaire et il est marqué par un fort gradient de température du nord au sud.

Dans l'hémisphère Nord, la situation se présente normalement comme suit :

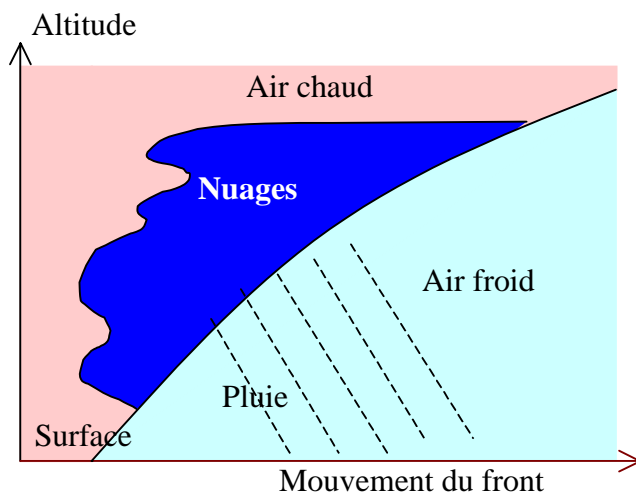


Dans cet exemple, il y a eu incursion d'air froid en direction du sud et d'air chaud en direction du nord, ce qui a créé dans le front une perturbation semblable à une vague (schéma de droite). Étant localement instable, cette perturbation croît rapidement en taille et en intensité et devient une véritable dépression organisée selon le schéma classique avec un **front chaud** et un **front froid**.

Lorsqu'un front chaud se déplace, on en ressent l'effet au sol : l'air froid est peu à peu remplacé par de l'air chaud. En cas de déplacement d'un front froid, c'est l'inverse qui se produit.

Front chaud

Du côté "chaud" du front, l'air est moins dense que l'air froid situé de l'autre côté de sorte qu'il flotte et a tendance à s'élever. Une coupe transversale montre que l'avant du front est incliné et que la masse d'air chaud s'élève au fur et à mesure de l'avancée de la masse d'air froid. A la faveur de ce processus, il se forme des nuages caractéristiques que les images satellite permettent d'identifier facilement.

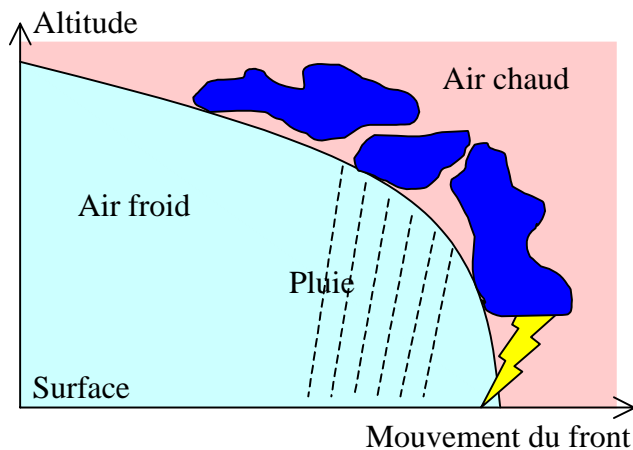


Lorsque la masse d'air chaud s'élève, il se forme des nuages étagés (stratiformes) ; ils s'accompagnent de chutes de pluie ou de neige persistantes mais de faible intensité.

Les nuages stratiformes accompagnant un front chaud peuvent être de différents types : nimbostratus, altostratus, cirrostratus.

Front froid

Un front froid est une ligne de démarcation entre de l'air chaud et de l'air froid. Le résultat du passage d'un front froid, c'est que l'air chaud est remplacé par de l'air froid.



L'air froid dense avance, repoussant vers le haut l'air chaud plus léger, de façon très similaire à ce qui se passe avec un front chaud. Cependant, étant donné que les fronts froids progressent beaucoup plus vite, leur pente (coupe transversale) est plus accentuée.

Système dépressionnaire d'été (Fiche 6/10)

Système dépressionnaire d'hiver (Fiche 7/10)

Exemples de conditions météorologiques classiques (Fiche 8/10)

En Europe, le temps se caractérise par certains types de conditions météorologiques revenant fréquemment. En voici trois exemples très communs :

- **Avril** : incursion d'air froid. Un système dépressionnaire de grande ampleur situé au nord de l'Europe, dont les masses d'air tournent dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, amène de l'air polaire froid en direction du continent. Au-dessus de l'océan Atlantique, l'air se mélange à de la vapeur d'eau. Pour l'Europe, cette combinaison est synonyme de temps frais accompagné d'abondantes précipitations - les proverbiales giboulées.
- **Été** : dorsale anticyclonique. Deux anticyclones adjacents fusionnent au-dessus de la Scandinavie. Leur rotation dans le sens des aiguilles d'une montre amène vers le centre de l'Europe de l'air continental sec venu du nord-est et de Russie. En passant au-dessus de ces régions continentales, l'air s'échauffe, donnant un temps d'été chaud et sec.
- **Automne** : basse pression. Un puissant système dépressionnaire apporte à l'Europe un flux d'air humide relativement chaud venu de l'Atlantique. Cet air est très instable ce qui explique pourquoi la fin de l'automne correspond à un temps variable et perturbé. On notera les isobares (lignes de même pression) très rapprochées traduisant une augmentation rapide de la pression et laissant augurer des vents forts.

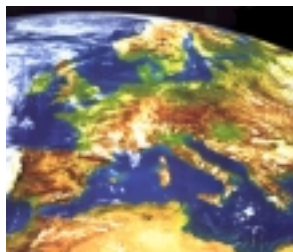
Données météorologiques et prévisions (Fiche 9/10)

Depuis 250 ans, les données météorologiques sont systématiquement archivées et étudiées. Les nombreuses stations météorologiques installées au sol assurent une couverture complète des terres émergées et quelques stations situées en mer mesurent également les conditions de surface des étendues marines. Ces dernières représentent 71 % de la surface de la planète. Les systèmes dépressionnaires et anticycloniques qui déterminent les conditions météorologiques régnant sur le continent européen se forment dans l'océan Atlantique, loin au large de ses côtes.

Satellites météorologiques



Le 1^{er} avril 1960, date de lancement du premier satellite d'observation météorologique, TIROS 1 (Television and Infrared Observational Satellite), ouvre une ère nouvelle en météorologie. Pour la première fois, les météorologues disposent d'une vue d'ensemble des différentes conditions météorologiques régnant sur la planète.



Le premier satellite météorologique européen, Météosat, a été mis en orbite en 1977 par l'Agence spatiale européenne. Les 7 Météosat construits à ce jour ont radicalement transformé les prévisions météorologiques concernant l'Europe grâce à la vision d'ensemble qu'ils fournissent toutes les 30 minutes.

Les satellites météorologiques sont de deux types:

Les satellites en **orbite polaire** dont l'orbite, circulaire, généralement située entre 800 et 1500 km d'altitude, est orientée de telle sorte que le satellite survole les deux pôles terrestres à chacune de ses révolutions. Étant donné que la Terre tourne simultanément autour de son axe, tout point du globe finit nécessairement par être survolé au bout d'un certain nombre de jours. La fréquence de survol dépend des caractéristiques de l'orbite.

Les satellites **géostationnaires** gravitent autour de la Terre avec une vitesse angulaire identique à la vitesse à laquelle notre planète tourne autour de son axe. Vus de la surface terrestre, ils paraissent donc fixes. Pour ce faire, on les poste au-dessus de l'équateur, à une altitude d'environ 36 000 km. Météosat en est un exemple. Il est positionné à 0°E 0°N, c'est-à-dire à la verticale de l'intersection entre le méridien de Greenwich et l'équateur, dans le Golfe de Guinée, au large des côtes africaines. De ce point d'observation, Météosat voit presque la moitié du globe et notamment l'Europe, l'Afrique, l'océan Atlantique et une partie du golfe Persique.

Le satellite Météosat actuel fournit d'ores et déjà des données d'une grande utilité pour l'étude du climat, mais le lancement du satellite Météosat de seconde génération (MSG) devrait représenter un grand pas en avant pour l'Europe. Offrant une meilleure résolution spatiale et temporelle, MSG devrait permettre d'observer des phénomènes éphémères ou très localisés.

Capacités de pointe du satellite MSG :

- Imagerie multispectrale avec une périodicité de 15 minutes - soit le double de la fréquence actuelle - permettant de fournir rapidement des informations sur des phénomènes locaux.
- Résolution : dans les longueurs d'onde du visible, elle passera de 2,5 x 2,5 km à 1 x 1 km, ce qui permettra d'observer avec beaucoup plus de finesse les processus de formation des nuages.
- Douze bandes spectrales (contre 3 actuellement) : le spectre visible sera divisé en trois bandes qui seront observées séparément et le spectre infrarouge (proche infrarouge compris) en neuf bandes. De cette manière, on pourra

détecter dans l'atmosphère des substances à l'état de trace comme l'ozone, dont la présence affecte profondément la formation et l'évolution des systèmes météorologiques. Les 9 bandes d'observation dans l'infrarouge permettront d'étudier des processus climatiques invisibles à la lumière ordinaire.

- Rapidité de transmission des données. MSG assurera également des fonctions de télécommunications. Il transmettra les données brutes au sol, où elles seront traitées par EUMETSAT (Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques) à Darmstadt en Allemagne. Les données traitées seront ensuite renvoyées à MSG qui en assurera le relais à destination de stations de réception au sol réparties dans toute l'Europe et l'Afrique, à partir desquelles elles seront exploitées par les météorologues, climatologues, etc. Avec un débit de données supérieur à 3 Mb/s, MSG sera presque vingt fois plus rapide que le satellite Météosat actuel.

MSG a été conçu par l'Agence spatiale européenne (ESA) et construit par Alcatel Space (France) dans le cadre d'un programme de coopération auquel treize pays européens ont participé.

L'Agence spatiale européenne a lancé le programme Météosat dans les années 70. Elle a assuré la construction des satellites, leur exploitation et le traitement des données jusqu'en 1994, date à laquelle elle a transféré ces responsabilités à EUMETSAT. Actuellement, l'ESA travaille sur les technologies de pointe nécessaires à de nouveaux satellites, dont MSG. Il est prévu de construire 3 ou 4 satellites MSG qui seront lancés et exploités par EUMETSAT. La durée de vie opérationnelle d'un satellite MSG est d'au moins sept ans.

L'Agence spatiale européenne, ESA (Fiche 10/10)

Fondée en 1974, l'ESA est l'organisation grâce à laquelle l'Europe s'est hissée au rang des puissances spatiales aux côtés des États-Unis et de la Russie. L'ESA compte quinze États membres : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Irlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse (Etat coopérant : le Canada). L'ESA est chargée de mener des programmes spatiaux ainsi que des programmes de développement de technologies de pointe.

L'essentiel de ses activités se concentre sur les domaines suivants :

- Science spatiale : L'Agence participe à l'exploration du système solaire et des planètes en construisant des sondes et des télescopes spatiaux au moyen desquels elle étudie également les conditions qui régnaient dans l'Univers primitif. Les missions spatiales de l'ESA jouent un rôle de premier plan dans le secteur de la recherche fondamentale.
- Télécommunications et navigation : La mise au point de technologies adaptées à l'espace et la conduite de missions spatiales à des fins non commerciales ont permis à l'industrie européenne d'acquérir des capacités de classe internationale et de devenir compétitive.
- Services de lancement : L'ESA travaille sur des versions améliorées du lanceur Ariane de même que sur un concept de petit lanceur (Vega). Une société de droit français, Arianespace, assure le lancement des fusées Ariane dans un cadre commercial. Ariane a conquis presque 60% du marché mondial des satellites civils.

- Vols spatiaux habités : L'ESA a conçu et réalisé d'importantes composantes de la Station spatiale internationale (ISS), notamment un système informatique central et un bras robotisé. En 2004, l'Europe amarrera à l'ISS le laboratoire spatial Columbus dans lequel trois astronautes-chercheurs pourront mener des expériences dans des conditions d'apesanteur.
- Observation de la Terre : Les activités de l'ESA, purement civiles, ont permis à l'Europe de réaliser des percées scientifiques dans le domaine de la surveillance de l'environnement. Son nouveau satellite d'observation de la Terre Envisat (qui fait suite aux satellites ERS) recueille des données sur l'ozone atmosphérique, sur les gaz à l'état de trace, sur les gaz à effet de serre et notamment le dioxyde de carbone. Il mesure la température des terres et des mers, le niveau des océans, le recul de la calotte glaciaire arctique, les rejets d'azote par les industries polluantes, etc. Envisat procède également à une multitude de mesures en rapport avec les mouvements de la croûte terrestre, les éruptions volcaniques, les séismes, les inondations et sécheresses, et collecte bien d'autres données encore.

Ce dossier pédagogique a été élaboré par l'Agence spatiale européenne (ESA). L'ESA est une organisation européenne dont le siège est sis à Paris. Elle possède des établissements à Noordwijk (Pays-Bas), à Cologne et Darmstadt (Allemagne) ainsi qu'à Frascati (Italie).

Cette documentation, gratuite, est fournie à des fins éducatives. Un CD-ROM, intitulé "The Weather Machine", contient des informations supplémentaires. Disponible en trois langues (anglais, français et allemand), il peut lui aussi être obtenu gratuitement. Une vidéo VHS (PAL) sur la mission MSG est également disponible sur demande.

Si vous êtes intéressés, prière de contacter :

- Jocelyne Landeau-Constantin, ESA ESOC, tél. +496151-902696
 - ou connectez vous au site web de l'ESA : www.esa.int

Cette documentation a été élaborée par Ludwig Lenz, Jean Le Ber, Eva Oriol-Pibernat et Adam Majorosi sur la base de textes et d'images tirés de différentes sources dont le CD-ROM "The Weather Machine" © 1997 ESA. Contenu : ESA 2002

© ESA 2002