

# Partie 3 : L'Atmosphère

## I Passage de l'atmosphère primitive a l'atmosphère actuelle.

Il y a 5 étapes dans l'évolution de l'atmosphère :

**1ère étape** : L'atmosphère primitive est composée d'hydrogène et d'hélium + Divers gaz lourds : méthane, ammoniacque et acide cyanitique.

**2ème étape** : De 4,4 à 4 milliards d'années. **Diapo 2**

L'allumage du soleil, il y a 4,4 milliards d'années, produit un souffle très violent qui va emporter les gaz légers. Il ne reste dans l'atmosphère terrestre que les gaz lourds. Puis par dégazage du manteau, l'atmosphère primaire s'enrichit en vapeur d'eau. La composition moyenne est : **H<sub>2</sub>O=80%** ; **CO<sub>2</sub>=15%** ; **N<sub>2</sub>=5%** ; (O<sub>2</sub>=0%), T° +1000°C, et forte pression atmosphérique (>1000 bars).

**3ème étape** : 4 à 3,3 milliards d'années.

Le sol refroidit, la température de l'atmosphère baisse : 300°C à 3,5 milliards d'années, 100°C à 3,2 milliard, la vapeur d'eau se condense et commence à remplir les océans (l'eau reste liquide avec des pressions de plusieurs centaines de bars). **Diapo 3**

L'eau de pluie chargée en CO<sub>2</sub> est acide et dissout les roches volcaniques en mettant en solution (entre autres) le **calcium**, les **chlorures** et le **sodium** (sale les océans).

La combinaison entre le CO<sub>2</sub> et le calcium donne du carbonate de calcium (calcaire), qui précipite dans l'eau et forme les premières roches sédimentaires calcaires en **fixant** le CO<sub>2</sub>.

Ces phénomènes diminuent de façon importante la teneur en dioxyde de carbone et en vapeur d'eau de l'atmosphère. L'**effet de serre** engendré par ces deux gaz **décroit** et la température baisse encore.

L'**azote** devient alors le constituant **majeur** de l'atmosphère terrestre.

**4ème étape** : 3,5 à 2 milliards d'années.

Les cyanobactéries, premiers êtres vivants à avoir réalisés la photosynthèse, apparaissent. Ils vont libérer de grandes quantités d'oxygène. Le fer, abondant à la surface, est oxydé.

A 3 milliards d'années, la température est descendue aux alentours de 50 °C.

**5ème étape** : à partir de 2 milliards d'années, la présence de dioxygène dans l'atmosphère permet la diversification des formes de vie. Des algues vertes se développent, puis des êtres vivants non photosynthétisants apparaissent.

Le bombardement des rayonnements solaire lie les atomes d'O pour former une **couche d'ozone** (O<sub>3</sub>). L'absorption de certains UV nocifs par les molécules d'ozone permet à la vie de sortir des océans.

Enfin la composition de l'air sec se stabilise autour de 78,1 % de diazote, 20,9 % de dioxygène. Le 1% restant est dominé par 0,93 % d'argon et 0,04 % de dioxyde de carbone puis des gaz rares.

La teneur de vapeur d'eau varie de <1 % à ~5 % selon les conditions météorologiques.

Mais depuis 150 ans, l'activité humaine pourrait être à l'origine de variations non négligeables de la composition et de la température de notre l'atmosphère.

## **II Les couches de l'atmosphère**

Il y a deux forces qui s'opposent pour maintenir ces différentes molécules à la surface de la terre : l'attraction qui agit sur la masse des molécules et l'expansion des gaz qui les pousse à s'échapper de l'atmosphère.

Ce qui fait que 50% de la masse de l'atm est dans les 5 premiers km. A 20km d'altitude 90% de la masse de l'atm est atteinte.

L'épaisseur de la quasi-totalité de l'atm est d'environ de 60km au-dessus de l'équateur et de 30km au-dessus des pôles.

Cette épaisseur varie en fonction :- du champ magnétique, lui-même déformé par le vent solaire.

- des marées atmosphériques dues à l'attraction lunaire, qui sont plus importantes que l'eau (molécules moins liées).

### **1- La Troposphère**

La troposphère est la couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre. Son épaisseur est variable: 7 kilomètres de hauteur au-dessus des pôles, 18 kilomètres au-dessus de l'équateur et environ 13 kilomètres, selon les saisons, dans la zone tempérée

C'est dans cette couche qu'on retrouve la plus grande partie des phénomènes météorologiques. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans la troposphère la température décroît de façon régulière d'environ 6 degrés Celsius tous les 1000 mètres pour atteindre -56°C à la tropopause (zone séparant la troposphère de la stratosphère). L'air près du sol est plus chaud qu'en altitude car la surface réchauffe cette couche d'air.

### **2-La stratosphère**

C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone. L'absorption des UV (cf. supra) provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère.

Les mouvements de l'air y sont beaucoup moindres. Il s'agit d'un environnement beaucoup plus calme. La stratopause sépare la stratosphère de la mésosphère.

### 3-La mésosphère

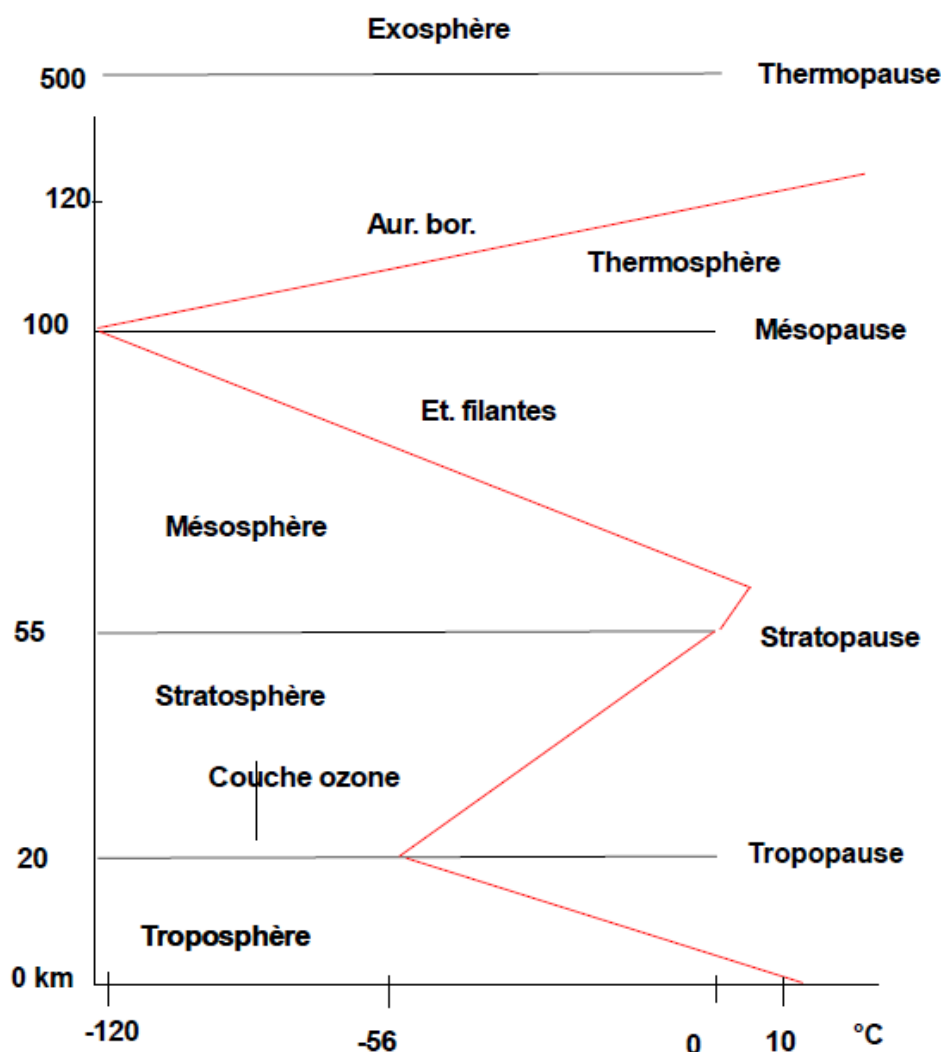
Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre -80°C à une altitude d'environ 80 km.

Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la mésosphère à cause de la friction de l'air. Ce phénomène nous apparaît sous la forme "d'étoiles filantes".

### 4-La thermosphère

Dans cette couche, la température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 1000°C puis diminue. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace. La thermosphère est la région où près des pôles se forment les aurores boréales et australes. La pression y devient presque nulle et les molécules d'air sont très rares, (ce qui fait que la température **ressentie** est proche de 0°C).

**Diapo 4** (après schéma au tableau)



99% de la vapeur d'eau y est contenue dans la troposphère. La température augmente dans la stratosphère ce qui empêche la convection de l'air, et bloque les phénomènes météorologiques dans la troposphère.

### III La pression atmosphérique

"La pression atmosphérique correspond au poids exercé par la colonne d'air sur une surface donnée. Elle se mesure en hectopascal ( hPa )."

Elle est de 1013 hPa par temps calme au niveau de la mer.

L'air est un mélange de gaz qui réagit à la température : Si la température augmente le gaz se dilate, si elle baisse le gaz se contracte.

Si l'on individualise une bulle d'air et qu'on la compare à l'air environnant : Si cette bulle se **réchauffe**, elle se dilate et pour une même masse prend plus de volume, devient moins dense que l'air ambiant : elle **monte**. Si elle se **refroidit**, elle **descend**.

Lorsque l'air monte, il pèse moins à la surface de la terre, la pression atmosphérique diminue : on est en dépression. S'il descend, il pèse plus et la pression augmente, c'est une zone de haute pression ou anticyclone.

Mais tout corps en mouvement à la surface de la terre subit une déviation que l'on appelle "force" de **Coriolis**, due à la rotation de la terre. Cette force dévie tout corps en mouvement vers la droite dans l'hémisphère nord, et vers la gauche dans l'hémisphère sud. Elle est nulle à l'équateur, maximale aux pôles. Plus la vitesse de l'objet augmente, plus la déviation est forte.

C'est pourquoi dans l'hémisphère nord, les dépressions (ou ascendances) tournent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, et un anticyclone dans le sens des aiguilles d'une montre.

#### Diapo 5

### IV La circulation générale des vents

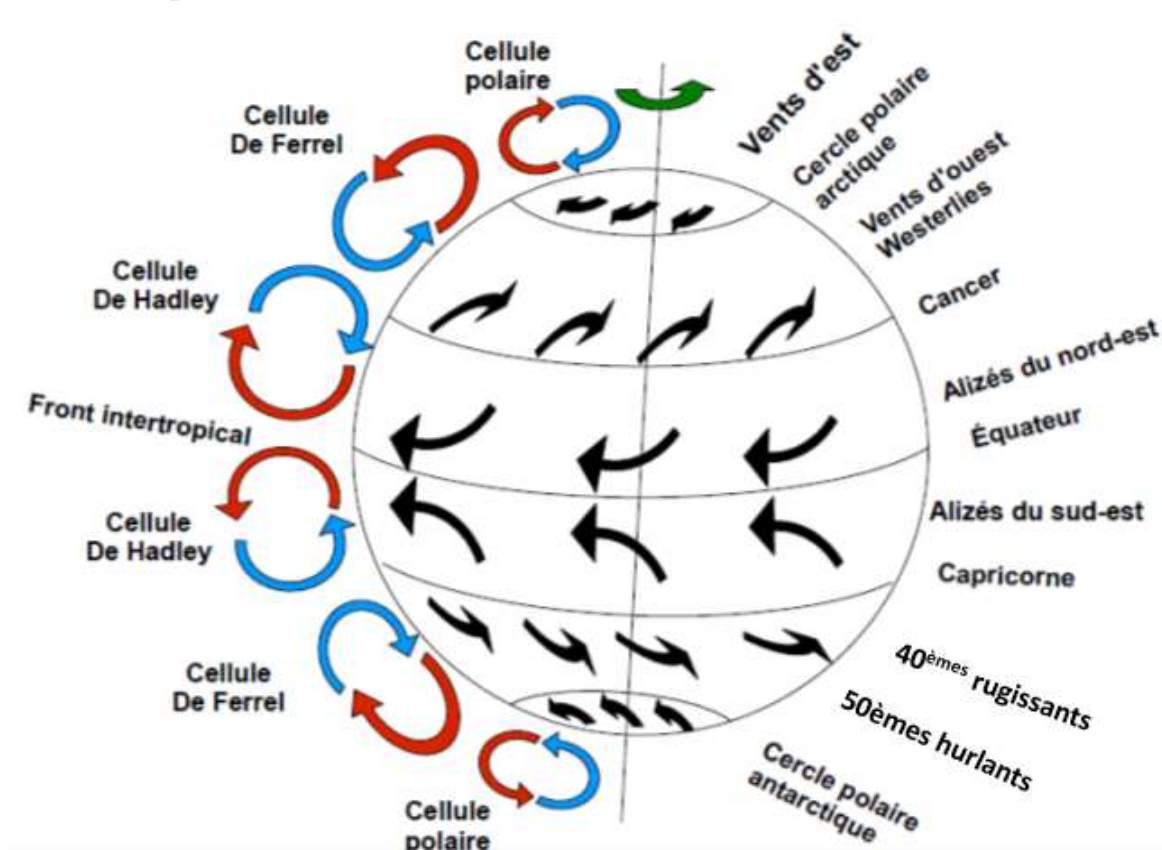
Le moteur principal des mouvements atmosphériques est le soleil. Celui-ci réchauffe la surface de la Terre, qui réchauffe à son tour l'air ambiant. Des mouvements ascendants se créent, mais en s'élevant, l'air se refroidit, environ  $0.6^{\circ}\text{C}$  tous les 100 m dans la troposphère (où se déroule la quasi-totalité des phénomènes météorologiques). L'air redescend alors vers le sol. Cette circulation constitue un courant de convection, classique dans tous les fluides que l'on chauffe (une casserole d'eau par exemple). De telles boucles de circulation portent le nom de cellule. Les différentes cellules sont disposées en bandes selon les latitudes : c'est une organisation zonale.

#### 1-Les cellules de convection

La circulation générale atmosphérique ainsi définie, assure 70% à 80% du transfert de l'énergie thermique entre les hautes et basses latitudes. Elle joue un rôle considérable dans le

cycle de l'eau, assurant le transport d'énormes quantités de vapeur d'eau. Le déplacement des masses d'air conditionne le climat des diverses régions de la planète :

**Diapo 6** (après schéma au tableau)



Cette circulation générale définit la position des anticyclones et des zones dépressionnaires à la surface de la terre. Il existe une quatrième cellule similaire, entièrement pacifique : celle de Walker (Cf. El Niño).

## 2-Les courants-jets ou jetstreams

Les courants-jets sont situés juste sous la tropopause, généralement entre 7 et 16 kilomètres d'altitude. Ils peuvent s'allonger sur des milliers de kilomètres, sur quelques centaines de large et quelques kilomètres d'épaisseur. La majeure partie des courants-jets sont des vents d'ouest (ils circulent d'ouest en est). Leur trajet forme des méandres. Leur vitesse varie entre 100 et 400 km/h

Les courants-jets peuvent démarrer, s'arrêter, se diviser en deux voire plus, se combiner en un seul courant ou circuler dans plusieurs directions. **Diapo 7**

La formation des courants-jets résulte de la rotation de la Terre et du réchauffement inégal de l'atmosphère terrestre (chaud au niveau de l'équateur froid aux pôles). Les courants-jets se forment dans les zones de contact entre les masses d'air ayant des propriétés très différentes de température et de pression.

Les jet-streams les plus forts sont les **polaires**, situés entre 7 et 12 km d'altitude et sont instables, tandis que les plus hauts et les plus faibles sont les courants-jets **subtropicaux**, situés entre 10 et 16 km, et sont plus stables.

Lorsque le courant-jet polaire est **stable (flux zonal)** les dépressions se suivent les unes après les autres. Quand il ralentit, les méandres sont plus prononcés (**flux méridional**). Il bloque la circulation atmosphérique et provoque des événements climatiques exceptionnels voire extrêmes tel que des canicules, des sécheresses, des inondations ou encore des vagues de froid. **Diapo 8**

La vitesse, la latitude, la direction et l'altitude des jetstreams au-dessus d'un point donné affectent donc profondément les conditions météorologiques de celui-ci.

## V Les grandes zones climatiques

La circulation océanique liée à la circulation générale des vents, le taux d'ensoleillement, les précipitations plus d'autres facteurs (comme la topographie...) définissent des zones climatiques à la surface de la terre avec pour chacune ses caractéristiques propres. **Diapo 9**

Il y a plusieurs classifications climatiques. Schématiquement on peut noter 10 classes de climats, certaines subdivisées :

1-**Équatorial**, chaud et humide toute l'année

2-**Tropical, humide**, une saison sèche et une saison humide.

**Sec** : évaporation > précipitations, température moyenne supérieure à 18 °C

3-**Subtropical**, hiver relativement doux et humide, chaleur moite en été

4-**Aride**, sécheresse et une aridité permanente toute l'année

5-**Méditerranéen**, hiver relativement doux et humide, aridité estivale

6-**Montagnard**, hivers froids, étés frais et humides

7-**Océanique**, étés généralement doux, hivers généralement frais, humide en toutes saisons

8-**Continental**, hiver froid, été chaud (Amplit. +23 °C), précipitations de l'ordre du m en été

9-**Subarctique**, été frais hiver rigoureux

10-**Polaire**, températures froides toute l'année.

## VI Les perturbations atmosphériques

### 1-Les orages

On désigne sous le nom d'orage toute perturbation atmosphérique donnant lieu à des manifestations électriques telles que les éclairs, accompagnées de tonnerre sous forme d'un

bruit sec ou d'un roulement sourd et de précipitations sous forme de pluie, de grêle ou de grésil.

### a- Le nuage d'orage : le cumulo-nimbus

Les cumulonimbus sont des nuages à extension verticale considérable, qui atteignent fréquemment la tropopause (entre 8 et 14 km d'altitude suivant la latitude) et parfois même la dépasse. Il faut pour leur formation des masses d'air instable, humide et chaud. La condensation de la vapeur d'eau en altitude dégage de la chaleur, ce qui réchauffe encore la masse d'air et entretient l'ascension (la **condensation est exothermique**, l'**évaporation est endothermique**). **Diapo 10**

Ces nuages sont donc le siège de mouvements d'air ascendant puis descendant qui peuvent être très puissants.

### b- Les types d'orages

Il y a en gros 3 types d'orages **Diapo 11**

\*1- Système orageux **unicellulaire**, ou monocellulaire, est le type le plus fréquent, c'est pourquoi il est nommé orage « ordinaire ». Il peut être associé à une forte averse et des rafales de vent.

\*2- Système orageux **multicellulaire** est composé de minimum 2 cellules orageuses. Il s'agit de plusieurs cumulonimbus qui, le plus souvent s'organisent entre eux. Ils peuvent prendre des proportions gigantesques.

\*3- Système orageux **supercellulaire** est composé d'une seule cellule orageuse qui possède un **mésocyclone**, c'est à dire une rotation profonde et durable de la colonne ascendante, dans la partie basse de la cellule orageuse. Ceci donne des cellules orageuses indépendantes stables qui leur permettent de vivre plus longtemps. Elles peuvent produire de la grosse grêle, des vents destructeurs et des pluies torrentielles. Ces supercellules peuvent aussi produire des tornades.

### c- Evolution d'un nuage d'orage

L'évolution se fait en 3 phases : **Diapo 12**

-Le **développement** : le nuage, plus chaud que l'air ambiant, monte rapidement créant un courant chaud ascendant.

-La **maturité** : le haut du nuage arrive à la tropopause. Il ne peut plus monter. La forte baisse de température provoque l'apparition d'eau ou de glace. Lorsque l'accumulation de l'eau, à l'état solide ou liquide, devient telle que les courants ascendants ne peuvent plus la supporter, cette eau tombe créant un courant froid descendant.

-La **dissipation** : les courants froids issus du sommet du cumulonimbus finissent par atteindre le sol et le refroidissent. Ce refroidissement prive le nuage de l'air chaud qui l'alimente, et il commence à se désagréger par le bas. La pluie cesse.

Le tout prend ½ heure à une heure.

## 2-Les dépressions et les anticyclones

Une dépression est une zone fermée de basse pression atmosphérique. Un anticyclone est une zone fermée de haute pression.

Au **niveau du sol** les vents sont convergents et ascendants dans une zone dépressionnaire et subsidents (ou descendants) et divergents dans une zone anticyclonique ; l'air circule des anticyclones vers les dépressions (mais pas de façon directe, due à la force de Coriolis).

### Diapo 13

Dans l'hémisphère **nord** les **dépressions** tournent dans le sens **antihoraire** et les **anticyclones** tournent dans le sens **horaire**.

Les dépressions ont une étendue horizontale qui s'étend sur plusieurs échelles, allant de :

-quelques mètres : trombes, tornades

-quelques centaines de mètres à quelques kilomètres : nuages d'orage

-quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres : dépressions polaires, dépressions tropicales

-quelques centaines à quelques milliers de kilomètres : dépressions de mousson, dépressions extratropicales.

La formation des dépressions (et les anticyclones) va intimement dépendre des variations des courants-jets.

Les grandes dépressions sont nommées en fonction de leur latitude de formation : les dépressions tropicales, les dépressions des latitudes tempérées (ou dépressions extratropicales) et les dépressions polaires. **Diapo 14**

Elles sont également caractérisées par leur mode de formation :

Les dépressions **thermiques** sont dues à un réchauffement du sol (notamment situées dans les déserts : le Kalahari), les **dynamiques** à la circulation atmosphérique. Certaines sont dues aux deux phénomènes elles sont dites thermodynamiques.

Elles peuvent être quasi-permanentes comme celle d'**Islande**, semi-permanentes comme celle de **Chine** ou plus ou moins aléatoire. **Diapo 15**

De la même façon les anticyclones peuvent être **thermiques** (anticyclone de Sibérie), **dynamiques** (anticyclone des Açores) ou les deux, permanent ou semi-permanents.



### 3-Les cyclones tropicaux

Un cyclone tropical est une large zone de nuages orageux en rotation accompagnée de vents forts. Leur source d'énergie principale est le dégagement de chaleur latente causé par la condensation de vapeur d'eau (en d'autres termes : la condensation de la vapeur d'eau dégage de la chaleur) en altitude dans leurs orages.

On peut ainsi considérer le cyclone tropical comme une machine thermique. La température à l'intérieur du cyclone est de 15 à 20 °C au-dessus de la température ambiante de la troposphère à l'extérieur du cyclone. Pour cette raison, on dit des cyclones tropicaux qu'ils sont des tempêtes à noyau chaud.

Dans l'hémisphère **sud**, les vents tournent dans le sens **horaire** autour du cyclone.

Dans l'hémisphère **nord** ils tournent dans le sens **antihoraire**.

Dès qu'un cyclone tropical entre en terre ou dans des eaux froides les vents s'affaiblissent car ils ne sont plus alimentés par la vapeur des eaux chaudes de surface.

#### a-Les étapes de formation

Les cyclones tropicaux sont divisés en trois stades de vie :

##### 1- La dépression tropicale

C'est système organisé de nuages, d'eau et d'orages avec des vents dont la vitesse maximale est inférieure à  $\approx 60$  km/h.

##### 2-La tempête tropicale

C'est un système qui devient cyclonique et dont les vents ont une vitesse maximum comprise entre 60 et 120 km/h.

##### 3-Le cyclone tropical

C'est un système cyclonique dont les vents ont une vitesse qui excède les 120 km/h, qui a un œil dégagé en son centre et un cœur chaud. **Diapo 16**

Ce stade final est connu sous divers noms à travers le monde :

\*ouragan dans l'Atlantique Nord et le Pacifique Nord-Est

\*typhon dans le Pacifique Nord-Ouest

\*simplement cyclone ailleurs.

Une échelle de 1 à 5 est utilisée pour catégoriser les ouragans de l'Atlantique Nord selon la force de leurs vents : l'échelle de **Saffir-Simpson**. Un ouragan de catégorie 1 a les vents les plus faibles, alors qu'un ouragan de catégorie 5 est le plus intense. **Diapo 17**

**Ouragan :**  
1 : 120 – 133 km/h  
2 : 133 - 157

**Ouragan majeur**  
3 : 157 - 183  
4 : 183 - 220  
5 : > 220 km/h

## **b-Les conditions d'apparition**

La formation des cyclones tropicaux est toujours un sujet de recherche scientifique intense, et n'est pas encore complètement comprise. En général, la formation d'un cyclone tropical requiert cinq facteurs : **Diapo 18**

**1. La température de la mer doit dépasser 26,5 °C** jusqu'à une profondeur d'au moins 60 m. L'eau chaude est la source d'énergie des cyclones tropicaux. Lorsque ces tempêtes se déplacent sur l'intérieur des terres ou sur des eaux plus froides, elles faiblissent rapidement ;

**2.** Les conditions doivent être favorables à la formation d'orages. **La température atmosphérique doit diminuer rapidement avec l'altitude**, et la troposphère moyenne doit être relativement humide ;

**3.** Il faut une **perturbation atmosphérique préexistante** : une dépression tropicale sert généralement de point de départ à la formation des cyclones tropicaux ;

**4. Une distance de plus de 10 ° de l'équateur.** La force de Coriolis amorce la rotation du cyclone et contribue à son maintien. Dans les environs de l'équateur, la composante horizontale de la force de Coriolis est quasi-nulle (nulle à l'équateur), ce qui interdit le développement de cyclones ;

**5. Absence de vent cisailant en altitude.** Trop de cisaillement endommage ou détruit la structure verticale d'un cyclone tropical, ce qui empêche ou nuit à son développement.

À l'occasion, un cyclone tropical peut se former en dehors de ces conditions. En 2001, le typhon Vamei s'est formé à seulement 1,5 ° au nord de l'équateur. Il est également arrivé que des cyclones se soient développés avec des températures de surface de la mer à 25°C ou moins (comme l'ouragan Vince en 2005).

## **c-Les bassins de formation des cyclones**

Il y a 7 bassins principaux : **Diapo 19**

**1-Atlantique Nord** : c'est le bassin tropical le plus étudié. Il inclut l'océan Atlantique, la mer des Caraïbes et le Golfe du Mexique. Le nombre de cyclones tropicaux formés dans ce bassin varie grandement d'une année à l'autre, entre un seul et une vingtaine. Les États-Unis, le Mexique, l'Amérique centrale, les Caraïbes et le Canada peuvent être affectés par ces cyclones

**2-Pacifique Nord-est** : il s'agit de la deuxième zone la plus active au monde, et aussi la plus dense (le plus grand nombre de tempêtes dans une zone relativement réduite d'océan). Les tempêtes qui se développent dans ce bassin peuvent atteindre l'ouest du Mexique, Hawaï et très rarement la Californie

**3-Pacifique Nord-ouest** : les cyclones tropicaux dans cette région affectent souvent la Chine et Taiwan, le Japon et les Philippines. C'est de loin le bassin le plus actif, comptant pour le tiers de tous les cyclones tropicaux dans le monde

**4-Océan Indien nord** : Les pays affectés par ce bassin incluent l'Inde, le Bangladesh, le Sri Lanka, la Thaïlande, la Birmanie et le Pakistan.

**5-Océan Indien sud-ouest** : il s'agit du bassin le moins bien compris, en raison d'un manque de données historiques. Ces cyclones affectent Madagascar, l'île Maurice, les Comores (dont Mayotte), la Tanzanie et le Kenya, le Mozambique, l'île de la Réunion, l'île Rodrigues.

**6- Océan Indien sud-est** : les cyclones apparaissant dans cette région affectent l'Australie et l'Indonésie, les Îles Cocos et l'île Christmas ;

**7-Pacifique Sud -ouest** : les cyclones dans cette région affectent généralement l'Australie et l'Océanie. Ils atteignent parfois la Nouvelle-Calédonie.

#### **d-Les zones de formation inhabituelles**

Les zones suivantes produisent très rarement des cyclones tropicaux :

- l'Atlantique Sud : des eaux moins chaudes (courant de Benguela) et la présence de vent cisailant contribuent à rendre très difficile le développement de cyclones tropicaux dans cette région. On y a toutefois observé le cyclone Catarina, qui frappa la côte brésilienne en 2004 ;
- le centre du Pacifique Nord : le cisaillement dans cette zone limite grandement les chances de développement de cyclones tropicaux. Toutefois, cette région est souvent fréquentée par des cyclones nés dans le bassin beaucoup plus favorable de l'est du Pacifique Nord ;

• le Pacifique Sud : sans être une région à fort risque, le Pacifique Sud à l'est du méridien 180 n'est pas épargné par les perturbations de ce type. Entre 1831 et 1998 au moins 30 cyclones ont été recensés.

L'intensité et la fréquence des cyclones varient d'un bassin à un autre. **Diapo 20**

### e-Description d'un cyclone tropical

Un cyclone tropical intense comprend les éléments suivants : **Diapo 21**

• une dépression : tous les cyclones tropicaux sont en rotation autour d'une zone de basse pression atmosphérique. Les pressions mesurées au centre des cyclones tropicaux sont parmi les plus basses que l'on puisse mesurer.

• une couverture nuageuse centrale dense : une zone concentrée d'orages et de bandes de pluie entourant la dépression centrale. Les cyclones tropicaux avec une couverture centrale symétrique ont tendance à bien se développer ;

• un œil : un cyclone tropical développe en son centre une zone de subsidence (mouvement descendant). Les conditions dans l'œil sont normalement calmes et sans nuages, bien que la mer puisse être extrêmement agitée. le plus chaud en altitude (10°C de plus que l'air environnant). Il est habituellement de forme circulaire et son diamètre varie de 8 à 150 km.

• un mur de l'œil : il s'agit d'une bande circulaire de convection et de vents intenses sur la bordure immédiate de l'œil. On y trouve les conditions les plus violentes dans un cyclone tropical, avec des vents pouvant dépasser parfois les 250 km/h.

• écoulement divergent : dans les niveaux supérieurs d'un cyclone tropical, les vents s'éloignent du centre en rotation anticyclonique. Les vents changent de direction de rotation près du sommet de la tempête. C'est une caractéristique unique des cyclones tropicaux.

Quelques records : **Diapo 22**

-**Plus basse pression** : le super typhon TIP, 1979 Pacifique du Nord-Ouest, et JOAN, 1970 aux Philippines avec 870 hPa.

-**Plus haute vitesse instantanée de vents** : 408 km/h. Olivia, 1996 sur l'île de Barrow en Australie.

-**La plus haute marée de tempête** : le cyclone connu sous le nom de MAHINA, 1899, aurait produit une marée cyclonique de 13 mètres de hauteur dans la baie de Bathurst Bay en Australie (dauphins et gros poissons retrouvés à des hauteurs de 14 et 15 mètres).

-**La plus forte quantité de pluie** : 6 083 mm à Commerson, île de la Réunion, avec HYACINTHE, 1980. La trajectoire atypique de ce cyclone, s'éloignant et s'approchant de l'île à multiples reprises après avoir effectué plusieurs boucles, explique la quantité d'eau tombée pendant 12 jours.

-**L'œil le plus large** : 180 km de diamètre pour le cyclone KERRY, Mer de Corail, 1979. Le passage du centre de l'œil s'est manifesté par une accalmie de près de 10 heures, d'un bord du mur à l'autre ! Et **le plus petit** : 12 km de diamètre dans le cyclone TRACY, Australie, 1974.

-Le **plus grand diamètre** : super-typhon TIP d'octobre 1979 dans le Pacifique du Nord-Ouest. On a estimé que son diamètre de vent dépassant les 60 km/h était de 2 200 km. Le **plus petit** était Tracy, 80 km de diamètre.

-La **plus grande durée** : le cyclone JOHN qui a évolué sur le bassin nord de l'Océan Pacifique 1994, durée de vie de 31 jours. Il est à noter qu'il a franchi 2 fois la ligne du changement de date, d'est en ouest d'abord puis d'ouest en est ensuite. Il a donc été successivement ouragan, puis typhon, puis ouragan. Il aura parcouru **13 280 km**.

-La **température la plus haute dans un œil** : +30°C vers 2300 m dans le super-typhon du Pacifique NORA. (Il fait 10°C) à cette altitude.

-Le **plus meurtrier** : 1970 au Bangladesh, aurait occasionné la mort de 300 000 personnes environ, dans la zone des deltas du Gange et du Brahmapoutre (il n'y eut jamais de chiffre officiel plus précis concernant ces terribles inondations).

## 4-Les tornades

Une tornade est une perturbation atmosphérique tourbillonnante très compact et touchant une localité réduite mais très intense et destructrice.

On la distingue de la trombe qui se produit en mer. La trombe est moins puissante, car les vents dépassent rarement 80 km/h. Elle est de couleur blanche plutôt que grise ou noire.

Les tornades se forment au milieu de nuages orageux, mais ce ne sont pas tous les nuages qui en forment.

Les tornades se forment donc à la base d'un un cumulonimbus ou supercellulaire avec au départ des vents tourbillonnants qui se transforment en une véritable colonne d'air tourbillonnante appelée **mésocyclone**. Mais les supercellulaires n'en donne pas tous.

La transformation s'effectue lorsque l'air chaud et humide, à la surface de la terre, rencontre de l'air froid et sec. L'air s'élève brusquement du sol et commence à tourner, c'est alors qu'un tourbillon s'élève à l'intérieur du nuage.

### a-Formation des tornades

1-Lorsqu'un vent froid et rapide d'altitude croise un vent chaud et lent de surface, leur rencontre provoque la rotation horizontale de l'air. **Diapo 23-1**

2-Si cette rencontre de vents cisailant a lieu dans un nuage orageux, le courant ascendant d'air chaud de l'orage soulève le tube d'air en rotation et le dresse à la verticale. **Diapo 23-2**

3-La combinaison du mouvement ascendant et du mouvement giratoire crée une très large colonne d'air tourbillonnant, un mésocyclone. **Diapo 23-3**

4-Puis les courants froids commencent à descendre vers la base du nuage. Il arrive alors que ces vents froids s'enroulent autour du mésocyclone (chaud) **Diapo 23-4**.

5-En descendant ils accélèrent et se resserrent **Diapo 22-5**. Ce faisant, ils obligent le mésocyclone à se ressermer et à accélérer fortement Il se crée alors un vortex à l'intérieur du mésocyclone. Ce tourbillon, qui devient visible si l'air est suffisamment humide pour se condenser, s'étire vers le bas et finit par atteindre le sol, ce qui en fait une tornade proprement dite. **Diapo 23-6**

Une tornade est composée d'un buisson (nuage de débris aspirés par le vortex) et d'un tuba qui va du sol à la base du nuage. **Diapo 24**

Les vents circulaires ainsi générés peuvent atteindre 450 km/h et l'on estime qu'ils dépasseraient parfois 1 200 km/h à l'intérieur du tube. Le diamètre du vortex varie de 50 m à 1 km (le plus souvent entre 50 et 100 m). La pression diminue rapidement à l'intérieur du vortex pour atteindre moins de 800 hPa.

Elles se déplacent de 40 à 100 km/h et vivent en moyenne de 5 à 30 minutes, mais certaines exceptionnelles peuvent durer plusieurs heures. Enfin, les tornades sont accompagnées de pluies torrentielles, de tonnerre et d'éclairs.

La trajectoire des tornades dépend de la vitesse de déplacement de l'orage et la position du tourbillon par rapport au nuage. **Diapo 25**

Une tornade qui prend naissance au centre du mésocyclone dans un orage rapide, suit une trajectoire rectiligne.

Elle adoptera une trajectoire en boucle dans un orage lent. Une tornade qui se développe à la périphérie du nuage dure peu de temps, mais elle peut être suivie de plusieurs autres tornades, dessinant ainsi une trajectoire discontinue.

Mais il est impossible de savoir s'il va y avoir une tornade, où elle apparaît et encore moins qu'elle sera sa trajectoire. C'est un phénomène qui reste **aléatoire**. Seul des états d'alerte peuvent être proclamés.

La couleur du tuba varie du blanc sale au gris et même au gris bleu foncé lorsqu'il est constitué principalement de gouttelettes d'eau ; quand le cœur se remplit de poussière, le tuba prend une teinte plus originale, comme par exemple la couleur rouge de l'argile de l'Ouest de l'Oklahoma. **Diapo 25**

Les tornades peuvent aussi être bruyantes, rugissant parfois comme un train de marchandises ou la turbine d'un réacteur.

## **b-L'échelle de Fujita**

Cette échelle détermine l'intensité des tornades en fonction de la vitesse du vent. **Diapo 26**

F0 <115 km/h antennes tordues, branches d'arbre cassées

F1 180 km/h aspire l'eau des piscines, caravanes renversées, arbres arrachés

F2	250 km/h	toitures soulevées, structures légères brisées
F3	330 km/h	murs renversés, projectiles de grandes dimensions
F4	415 km/h	arbres emportés, constructions solides rasées
F5	>415 km/h	fortes structures envolées, gros projectiles

Enfin, aussi étrange que cela puisse paraître, une tornade peut détruire une ville entière et en survoler une autre sans laisser aucune trace de son passage. Elle peut également arracher le toit d'une maison et laisser le sol intact. Enfin, elle peut aussi avoir une pointe si fine, qu'elle démolira un seul côté de la rue...

### c-Localisation

Elles apparaissent dans plusieurs pays du monde (Australie, Japon, Bangladesh, Europe de l'ouest, Afrique du sud, Canada (Saskatchewan et dans le sud-ouest de l'Ontario)...) **Diapo 27**

Mais, c'est aux Etats-Unis qu'on trouve le plus de tornades. C'est de loin le pays le plus touché. La majeure partie d'entre elles se retrouve dans la région qui englobe le Texas (8012 depuis 1950), l'Oklahoma (3413), le Nebraska (2607), le Kansas (3744) et le Missouri (2023). Ces états sont surnommés le "**Tornado Alley**", Chemin des tornades.

On en compte entre 700 et 1200 par an, dont une vingtaine de F4 ou F5 (Le record par an étant de 1761 en 2004, et de 148 par jour le 3/4/1974, dont 6 F5 et 30 F4). Les états entourant le "tornado alley" (i.e. Wisconsin, Illinois, Iowa, Indiana, Floride) sont également touchés, mais moins.

### Quelques records : **Diapo 28**

**Vitesse du vent** : Oklahoma mai 1999 : 484 ±32 km/h (en fait autour des 500). Le précédent record était de 458 km/h, une vitesse également enregistrée en Oklahoma.

**Distance parcourue** : 469 Km, le 26 Mai 1917 entre l'Illinois et l'Indiana

**La plus grosse** : Texas, près de Gruver, le 9 juin 1971. À certains moments, la tornade avait une largeur de 3 kilomètres, avec une largeur moyenne d'environ 2 km.

#### Les plus meurtrières aux Etats-Unis :

- 1 "Tri-State" (3 états traversés) Missouri, Illinois and Indiana) 18 Mars 1925 695 morts
- 2 Natchez, Mississippi 7 Mai 1840 317 morts
- 3 St. Louis, Missouri et Illinois 27 Mai 1896 255 morts.

**Projection de débris** : Great Bend, Kansas, le 15/11/1915, une pluie de débris jusqu'à 130 km de la ville. Un sac de farine a été retrouvé à 177 km de celle-ci et un chèque de la banque Great Bend fut découvert à 491 km.

**La plus meurtrière au monde** : Bangladesh, avril 1989, 1300 morts, 12 000 blessés

## 5-Les rafales convectives

### a-Définition

Une rafale convective (ou rafale descendante ou grain blanc ou downburst aux états unis) est un phénomène météorologique brusque, sans signe annonciateur, et de forte intensité.

Ce phénomène est dû à la chute d'une masse d'air froid d'altitude, générant des vents au sol parfois supérieurs à 200 km/h.

La chute de la masse d'air froid peut se faire verticalement, ou de façon inclinée. **Diapo 2**

La vitesse de chute est d'une centaine de km/h. Mais lorsque cet air froid percute le sol, la vitesse augmente brusquement. L'impact au sol de l'air froid provoque un anneau circulaire en rotation qui s'éloigne du point de chute **Diapo 3**

## **b-Caractéristiques**

Ces rafales sont souvent confondues avec des tornades par les témoins. Mais il y a des différences :

-Pour une rafale, la rotation du vortex est dans le plan vertical, en forme d'anneau autour de l'impact au sol, contrairement à une tornade où la rotation du vortex est dans le plan horizontal,

-Les tornades aspirent (les troncs des arbres par exemple sont orientés vers l'impact), les rafales repoussent (les troncs s'écartent de l'impact).

-Sur un baromètre, la rafale provoque une hausse de pression, à l'inverse de la tornade où la pression chute. **Diapo 4**

## **c-Types de rafales**

Il existe 2 types de rafales convectives : les rafales humides et les sèches.

### 1-Les rafales convectives humides

Dans un nuage d'orage ordinaire, lorsque l'air chaud et humide se refroidit en altitude, il devient plus dense et un courant froid se met à descendre. Dans certains orages, le refroidissement est très rapide, la teneur en eau ou glace importante. La masse d'air froid et très dense s'effondre brusquement vers le sol. **Diapo 5, Diapo 6**

Ces phénomènes ne durent de quelques secondes à quelques minutes.

### 2-Les rafales convectives sèches

Si une rafale descendante se produit dans un environnement très sec de basse altitude, les précipitations descendantes s'évaporent avant d'atteindre le sol. La masse d'air refroidit encore plus vite, par perte de chaleur latente due à l'évaporation, et accélère vers le bas. Il y a donc rafale sans précipitations

Dans certain cas, il peut ne pas y avoir de nuages. On parle alors de "grain blanc" en référence au fait que le ciel au-dessus est parfaitement clair, et n'est révélé que par l'écume blanchâtre qu'il génère en mer, ou à la poussière soulevée au sol. **Diapo 7**



Bien qu'invisible à l'œil nu, le "grain blanc" est suffisamment dense pour être repéré au radar. De nombreux cas ont été rapportés dans les annales maritimes, dont beaucoup aux parages de l'équateur.

## **d-Les risques**

Ces rafales seraient responsables de plusieurs naufrages et crash aériens inexplicables, en particulier par beau temps.

Suite à plusieurs cas de crash suspects aux abords des aérodromes civils aux USA dans les années 60, des radars spéciaux dédiés au repérage des rafales descendantes ont été disposés près des pistes dans les régions à risque.

Néanmoins les rafales convectives tuent encore :

Crashs aériens : Dallas aux États-Unis le 2 août 1985, 135 morts.

Phuket Thaïlande le 16 septembre 2007, 90 morts.

Quant aux naufrages ou accidents en mer, ils ont été rapportés régulièrement depuis que la navigation en haute mer existe.

## **6-L'effet de Foehn**

En français on trouve différentes orthographes : on peut l'écrire foehn, föhn ou encore föehn. Le mot foehn vient de l'allemand Föhn qui vient du latin flavonius (vent doux).

### **a-Le phénomène météorologique**

Ce phénomène met en jeu des mécanismes complexes d'évaporation et de condensation de la vapeur d'eau. L'explication qui suit est bien entendu simplifiée.

Lorsqu'un vent souffle perpendiculairement à une ligne de crête, il doit s'élever pour franchir l'obstacle. **Diapo 8**

La masse d'air en s'élevant se refroidit. Il arrive un moment où la vapeur d'eau commence à se condenser. Ce faisant elle libère de la chaleur (phénomène de chaleur latente de la vapeur d'eau, **condensation exothermique**) et continue ainsi à monter en perdant son humidité par précipitation. Cela n'est pas obligatoire mais renforce l'effet.

Mais l'air une fois asséché n'a plus assez d'énergie pour monter au-delà du sommet car il est devenu moins chaud et donc plus dense qu'au début. Il redescend donc le long du versant opposé. Au fur et à mesure de sa descente, cet air va se réchauffer à cause d'interactions complexes entre taux d'humidité température et pression atmosphérique.

En arrivant en bas du versant "sous le vent" l'air est devenu plus sec et plus chaud qu'au début de son ascendance sur la côte "au vent". Plus le relief est haut, plus l'effet est fort. Il est fréquent en montagne, mais peut apparaître avec des reliefs de 500 à 600m. **Diapo 9**

De plus leur apparition peut être soudaine. En effet si le fond de la vallée est rempli d'une masse d'air froid la masse chaude passe au-dessus. Quand cette masse froide se réchauffe au soleil, le vent chaud perce et s'abat sur la vallée. Les différences de températures dans nos régions sont de l'ordre d'une dizaine de degrés.

## **b-Conséquences et localisation**

Les risques engendrés par l'effet de foehn sont liés à l'augmentation de température locale et à la sécheresse du vent produit :

-L'effet de Foehn est parfois appelé « mangeur de neige », de par sa capacité à faire rapidement fondre le couvert neigeux. Cette capacité est principalement due à leur température, mais aussi à leur déshydratation également. C'est une cause d'avalanche importante.

-Les foehns peuvent aussi favoriser les feux de forêts, en rendant les régions sèches et en attisant les flammes une fois le feu démarré.

-L'effet de foehn n'est pas spécifique aux Alpes. On l'observe dans tous les grands massifs : dans les Pyrénées, c'est le vent d'Autan.

-Dans les montagnes Rocheuses il est connu sous le nom de « chinook ». Ce type de vent est à l'origine de redoux spectaculaires et parfois très dangereux (+20° en quelques heures), les risques d'avalanche et d'incendie étant alors très importants.

-Au Chili, le mot « Puelche » signifie "vent d'est".

-Dans le cas de la Sierra Nevada, l'effet de Foehn est tellement puissant que la région sous le vent est un désert quasi absolu : c'est la Vallée de la Mort

-C'est l'effet de foehn qui fait que Colmar, en Alsace, est une des villes les plus sèches de France avec environ 530 mm de précipitations par an.

## **7-Les ondes orographiques**

La masse d'air qui redescend après l'effet de foehn, en se réchauffant finit par être moins dense que l'air ambiant ; elle remonte donc, parfois en se réhydratant.

Puis en altitude elle se refroidit, se condense (apparition de nuages) et redescend, et ainsi de suite. Le phénomène finit par s'atténuer en s'éloignant du relief. Ce phénomène est bien connu en aéronautique et souvent utilisé en vol à voile. **Diapo 10**

## **8-Les vents thermiques, brise de pente, brise de terre et brise de mer**

### **a- Les brises de pente Diapo 11**

- Le vent anabatique, du grec ancien anabatos, est un vent ascensionnel d'une masse d'air le long d'un relief géographique dû au réchauffement de celui-ci.
- Le vent catabatique, (du grec katabatikos qui veut dire descendant la pente), est un vent gravitationnel produit par le poids d'une masse d'air froide dévalant un relief géographique

### **b- Les brises de terre et brises de mer**

L'inertie thermique de la terre est moins grande que celle de la mer. Cela veut qu'elle se réchauffe ou se refroidit plus vite.

- La brise de mer se produit dans l'après-midi. La terre s'est réchauffée plus vite que la mer, et l'air chaud s'élève **Diapo 12**
- La brise de terre se met en place dans la deuxième moitié de la nuit. La mer est plus chaude que la terre et le sens s'inverse

Ces vents se font sentir jusqu'à 150 m d'altitude, et jusqu'à 15 km de part et d'autre du tracé de côte. La vitesse de ces vents ne dépasse pas les 20-25 km/h.

Ces vents étaient et restent (en Afrique par exemple) très importants pour les pêcheurs côtiers : ils partent le tôt le matin et rentrent en fin d'après-midi (permettait la vente avant le repas du soir).

## 9-Les astéroïdes et les géocroiseurs

### 1-Le risque d'impact avec un astéroïde

Lorsque les chercheurs ont découvert que la fin des dinosaures était liée à la chute d'un astéroïde d'une dizaine de kilomètre de diamètre, les recherches sur ce risque s'intensifièrent. Depuis, les programmes de détection qui en sont issus ont considérablement amélioré la connaissance des objets susceptibles de croiser l'orbite de la Terre.

Quelque 160 cratères, témoins d'une collision passée, ont été recensés sur Terre, il en existe probablement dix fois plus mais ils ont été masqués par l'érosion. Il y a probablement d'autres impacts sous les océans.

### 2-Les types de géocroiseurs

#### a-La ceinture d'astéroïde

Entre Mars et Jupiter, gravitent des petits corps de forme irrégulière appelés astéroïdes. Il y aurait entre 1,10 et 1,90 millions d'astéroïdes de plus de 1 km de diamètre. **Diapo 13**

Leur densité semble similaire à la roche et à celle des météorites. Presque toute la masse globale des astéroïdes de cette ceinture est regroupée dans quelques corps majeurs. Elle ne représente au total qu'environ 5% de la masse de la Lune et à peine trois fois plus que la masse de Cérès, le plus grand des astéroïdes connus.

#### b-Les géocroiseurs

Les astronomes les ont classés en 4 catégories : les amors, les apollo, les atens et les IEO **Diapo 14.**

1°) Les amors : L'astéroïde Amor, découvert en 1932, a été le premier prototype de cette classe à être découvert, d'où le nom de cette catégorie. Dans le groupe Amor, on trouve trois astéroïdes de plus de 10 km : Ganymède (39,5 km), Eros (22 km) et 3552 1983SA (18,7 km). On en compte pour l'instant autour de 250.

2°) Les apollo : L'astéroïde Apollo a été le premier à être découvert en 1932. Cet astéroïde qui coupe deux fois l'orbite de la Terre, s'approche de nous à seulement 3,7 millions de km.

3°) Les atens : Ces astéroïdes peuvent traverser l'orbite terrestre jusqu'à quatre fois par an et sont donc ceux qui peuvent le plus facilement entrer en collision avec la Terre. Depuis la découverte du premier atens en 1976, une vingtaine d'autres ont été repérés.

4°) Les IEO : Inner Earth Object : ceux qui sont intérieurs à l'orbite terrestre découvert récemment et très difficile à localiser à cause de leur position près du Soleil.

## 2-La probabilité d'impact

La taille des astéroïdes détermine les dégâts occasionnés. De petites météorites de moins de 5 m pénètrent régulièrement dans l'atmosphère terrestre sans réel danger.

Par contre, les scientifiques estiment qu'une météorite de seulement 500 m de diamètre serait capable de dévaster une région entière, tuant des millions de personnes. Enfin, il suffirait d'un astéroïde de plus d'1 km de diamètre pour mettre fin à l'humanité... **Diapo 15**