



UE16S5- Géographie des milieux : Les hydrosystèmes

Licence 3

Laurent Chalumeau

CM : 12h

TD : 12h

Les précipitations

Un peu de météorologie

Définition

Précipitation : toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la Terre :

- liquide (bruine, pluie, averse)
- solide (neige, grésil, grêle)
- déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...)



Un peu de météorologie

Définition

Précipitation : toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la Terre :

- liquide (bruine, pluie, averse)
- solide (neige, grésil, grêle)
- déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...)

Hydrométéores : eau liquide ou solide en provenance de l'atmosphère

Unités : mm ou le pied (12 pouces soit 304.8 mm)

Un peu de météorologie

Les mécanismes de formation des précipitations

Saturation => condensation par :

- Refroidissement isobare
- Détente adiabatique
- Apport de vapeur d'eau
- Mélange et turbulence

Noyaux de condensation

Suie volcanique, sable, sel marin, pollution,...

Un peu de météorologie

Les mécanismes de formation des précipitations



Arc en ciel



Nuage iridescent, Caroline du Sud

Un peu de météorologie

Les mécanismes de formation des précipitations

Effet de coalescence ou de captation



Déplacement :

- chute libre
- Turbulence



Collision



Augmentation du volume et de la masse

Un peu de météorologie

Les mécanismes de formation des précipitations

L'effet Bergeron



Condensation autour du cristal de glace
par évaporation des gouttelettes



Augmentation du volume
et de la masse du cristal



Précipitation

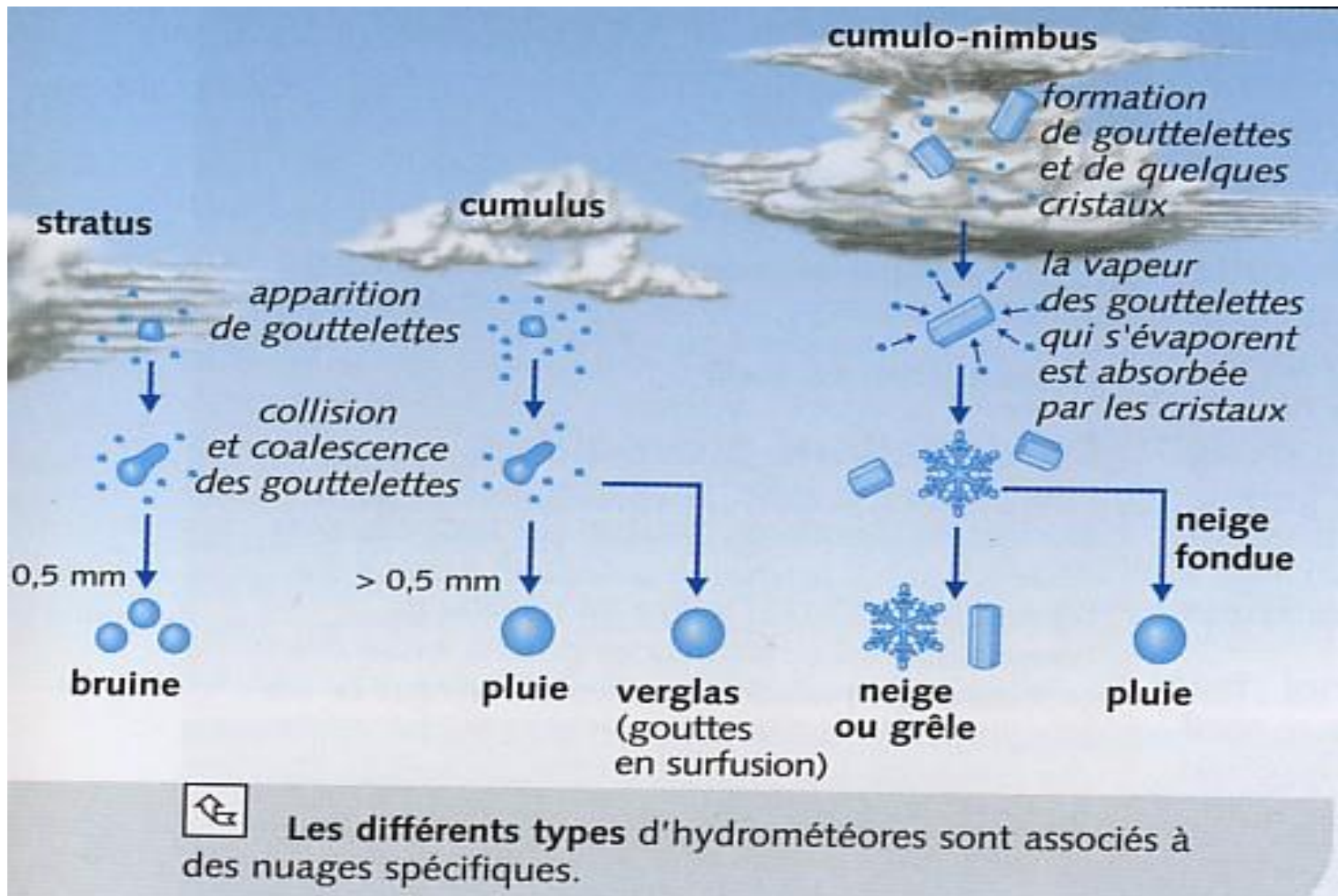
Solide

ou

liquide

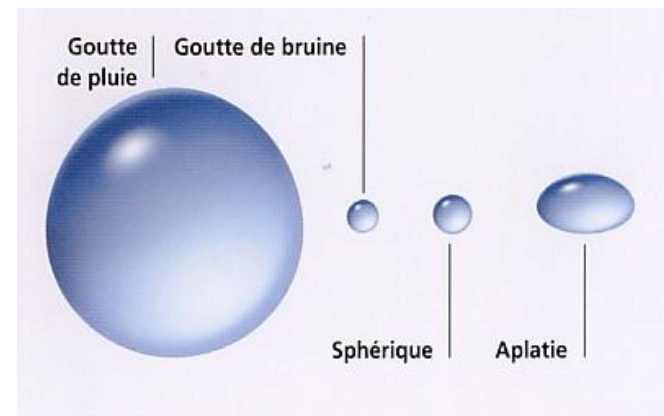
Un peu de météorologie

Les types de précipitations



Un peu de météorologie

Les types de précipitations liquides

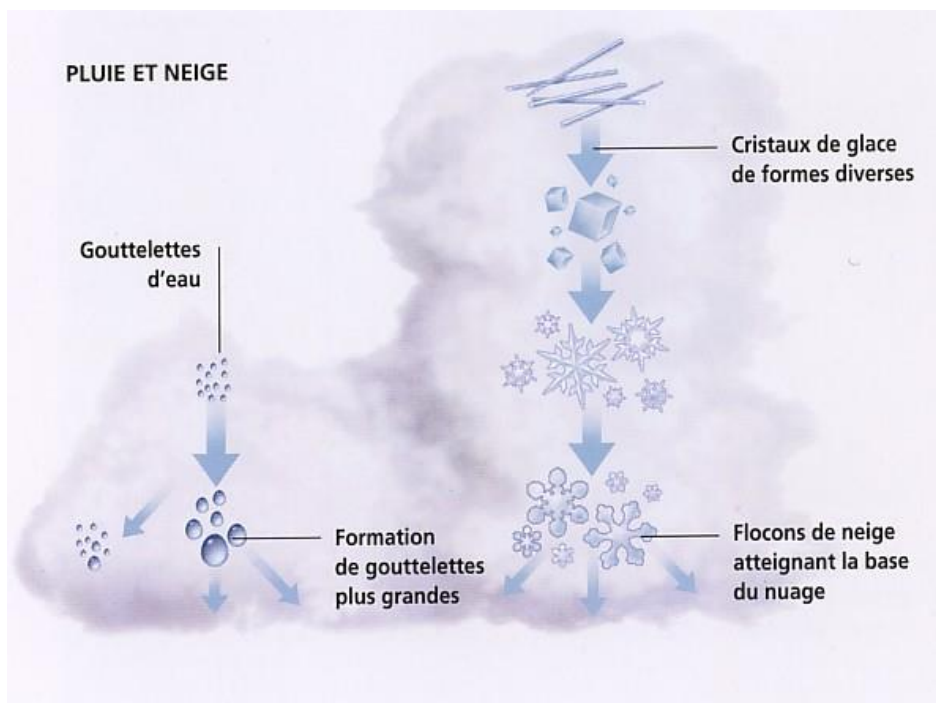


Type de pluie	Diamètre des gouttes	Vitesse de chute
Humidité du brouillard	0,006 à 0,06 mm	0,10 à 20 cm par s
Bruine	0,06 à 0,6 mm	20 à 100 cm par s
Ondée	1 à 3 mm	150 à 400 cm par s
Averse	4 à 6 mm	500 à 800 cm par s

La hauteur de pluie est la quantité, mesurée verticalement, de pluie tombée en un temps donné (en millimètres par jour, par mois ou par an, ou en litres par mètre carré). Est considérée comme « journée de pluie » celle où il est tombé au moins 0,1 mm de précipitations.

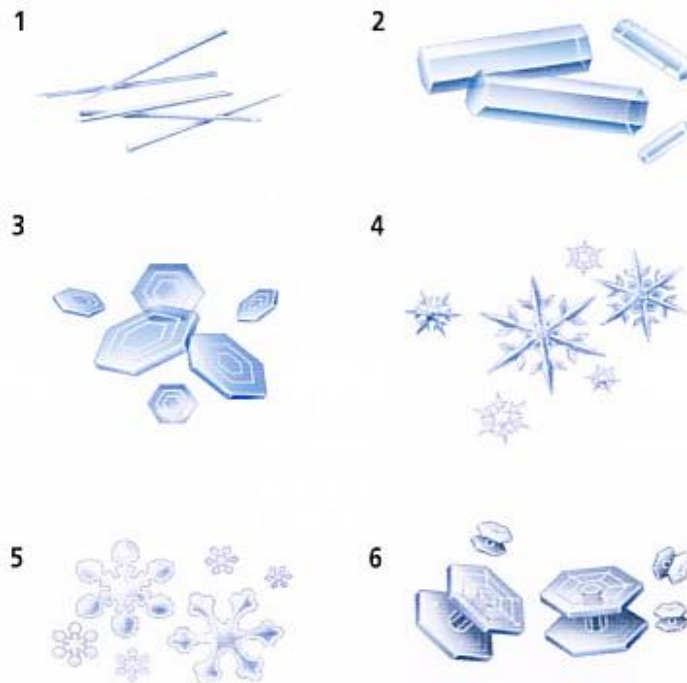
Un peu de météorologie

Les types de précipitations solides



LES CRISTAUX DE NEIGE

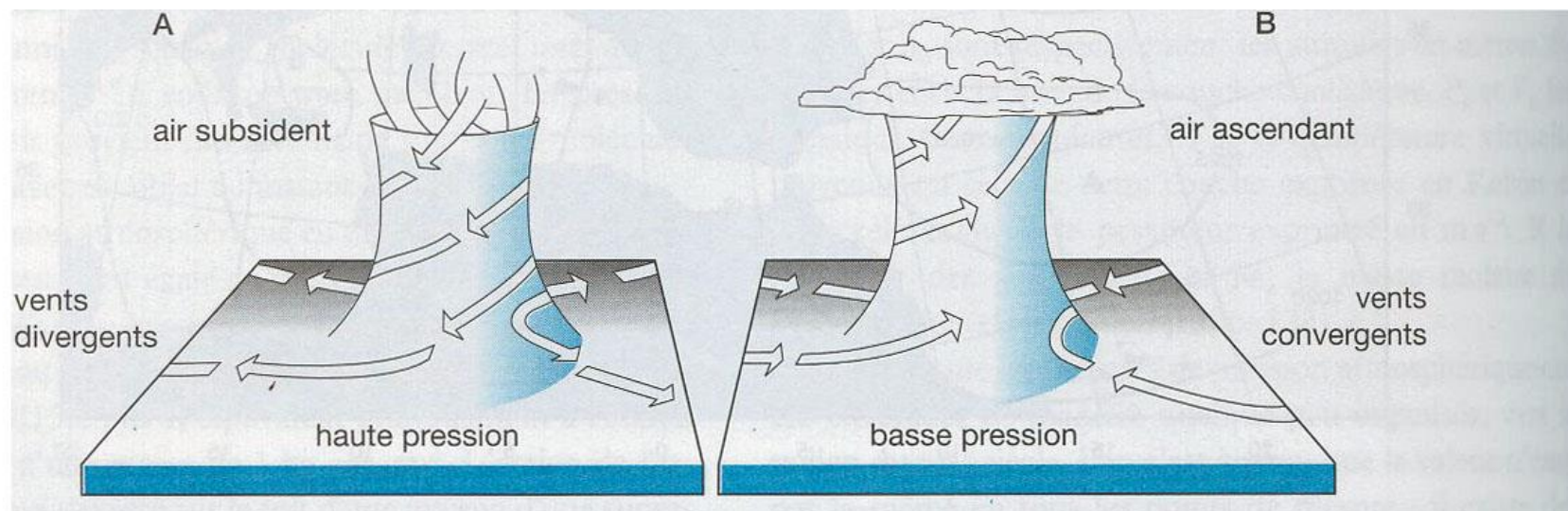
Les flocons de neige se présentent sous des aspects très divers, tous des variantes d'un hexagone de base. La forme du cristal dépend de l'environnement à l'intérieur du nuage – la température de l'air et du cristal, ainsi que la quantité de vapeur d'eau dans l'air.



(1) Aiguilles (-6°C à -10°C) ; **(2) colonnes** (-6°C à -10°C et en dessous de -22°C) ; **(3) plaques** (-10°C à -12°C et -16°C à -22°C) ; **(4) étoiles dendritiques** (-12°C à -16°C) ; **(5) étoiles simples** (-12°C à -16°C) ; **(6) colonnes terminées par des plaques** (-16°C à -22°C).

Un peu de météorologie

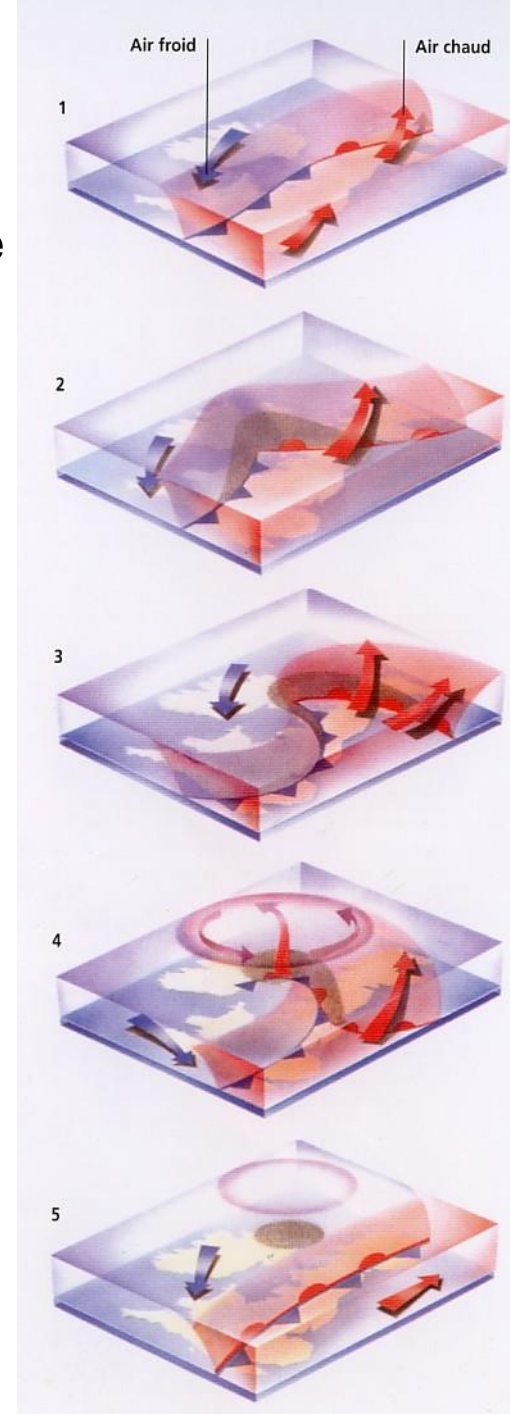
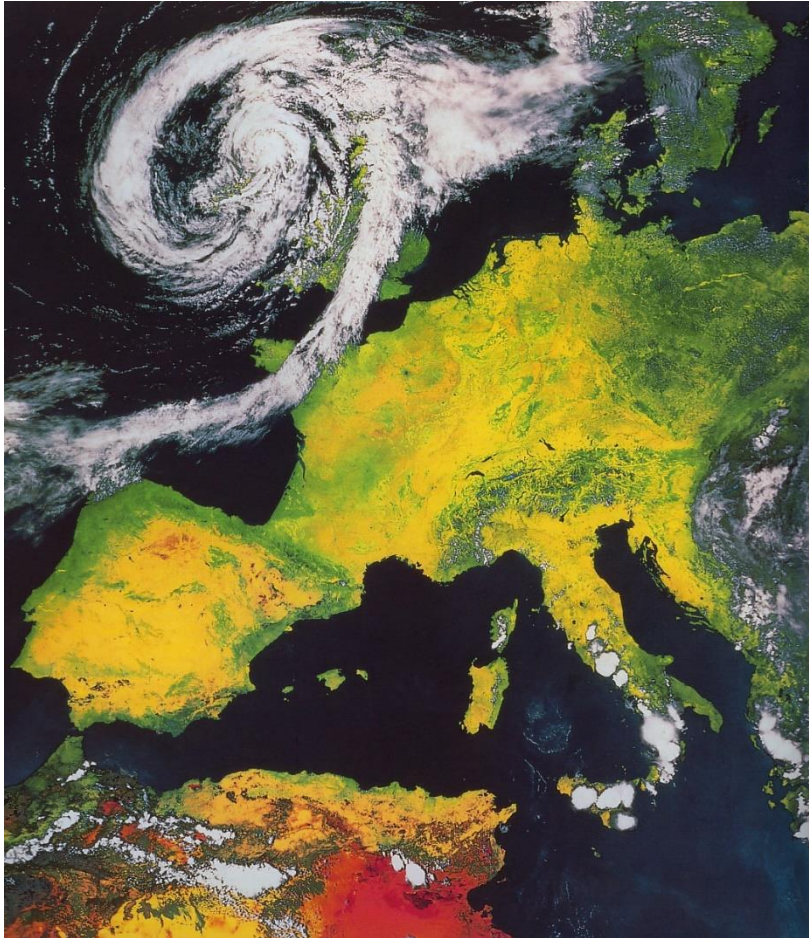
Rappel : Perturbation, dépression,...



LES ZONES DE HAUTE PRESSION (A) AU CIEL CLAIR ET DÉPOURVU DE NUAGES ET LES ZONES DE BASSE PRESSION (B) CARACTÉRISÉES PAR LEUR COUVERTURE NUAGEUSE.

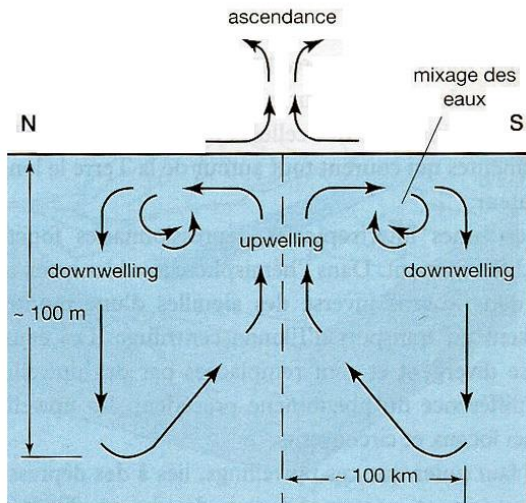
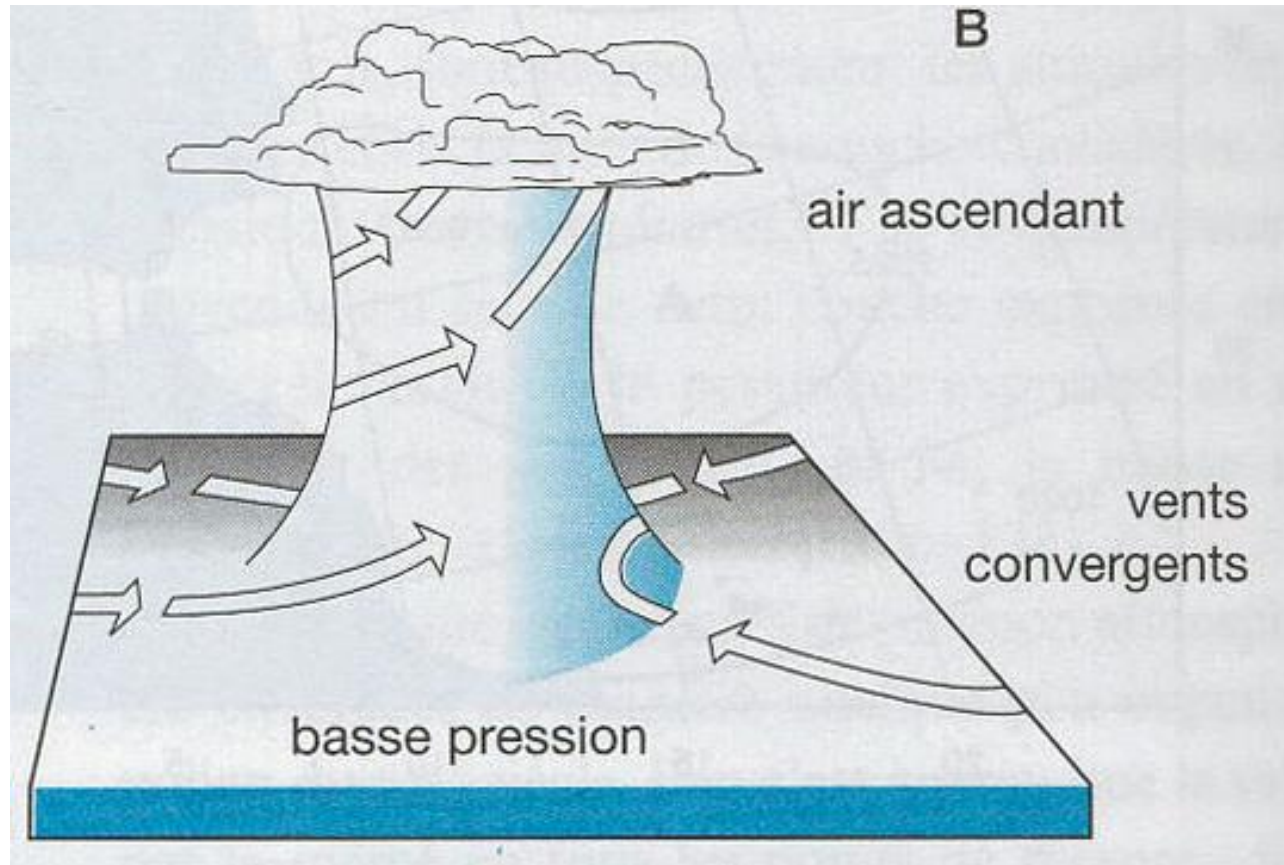
Un peu de météorologie

Rappel : Perturbation : discontinuité du champ de pression : système tourbillonnaire de grande taille modifiant temporairement les conditions de circulation atmosphérique



Un peu de météorologie

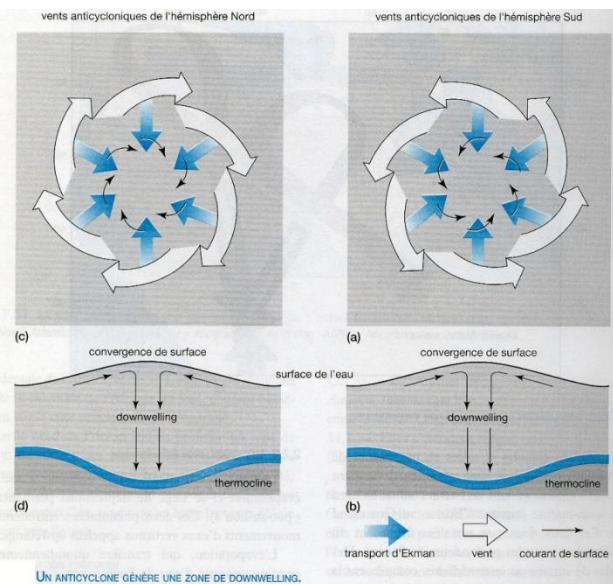
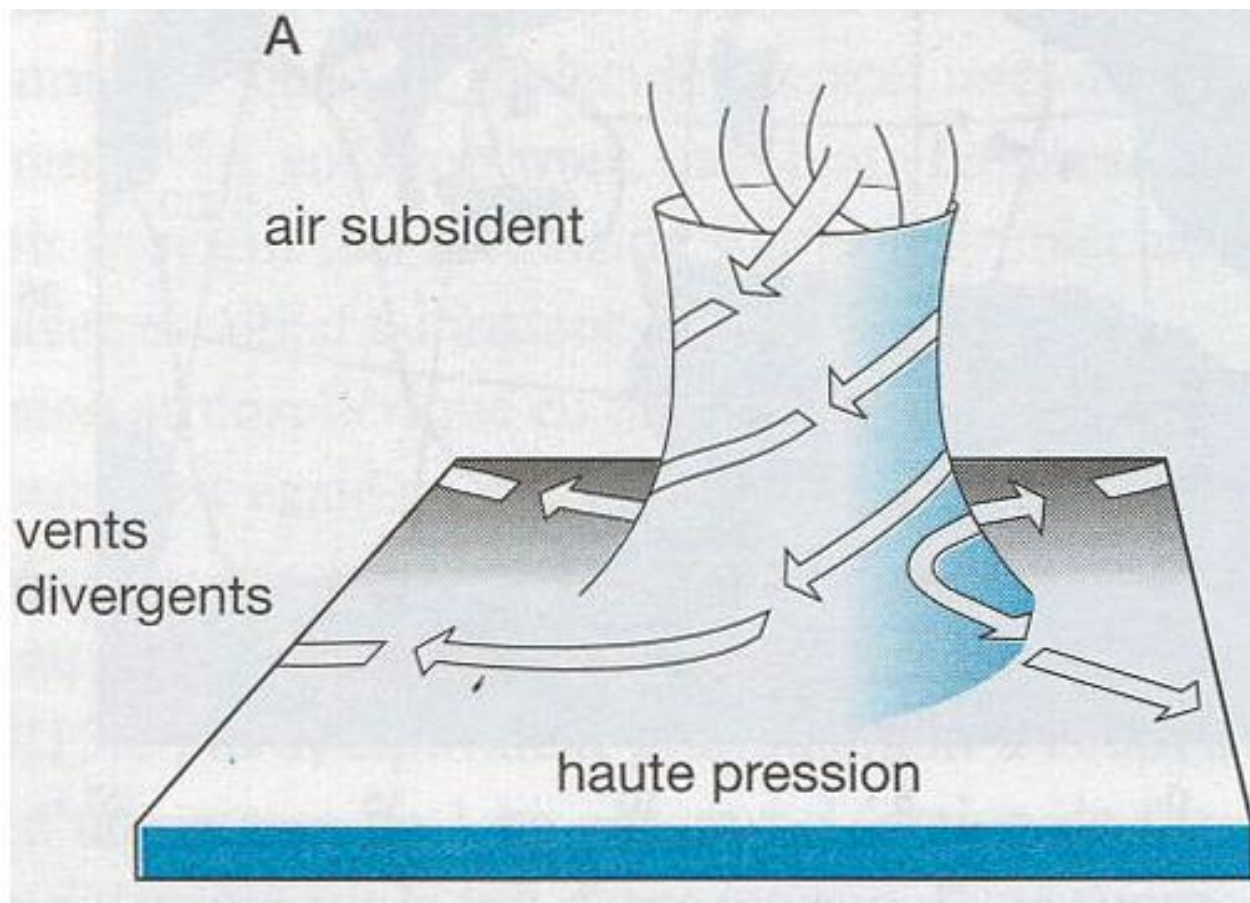
Rappel : Zone cyclonique : zone de basse pression



LA ZONE DE CONVERGENCE ÉQUATORIALE.

Un peu de météorologie

Rappel : Zone anticyclonique : zone de haute pression



Un peu de météorologie

Les origines des précipitations

- **convectives** : ascension rapide des masses d'air dans l'atmosphère

⇒ Nuage vertical important
(cumulus- cumulo-nimbus)



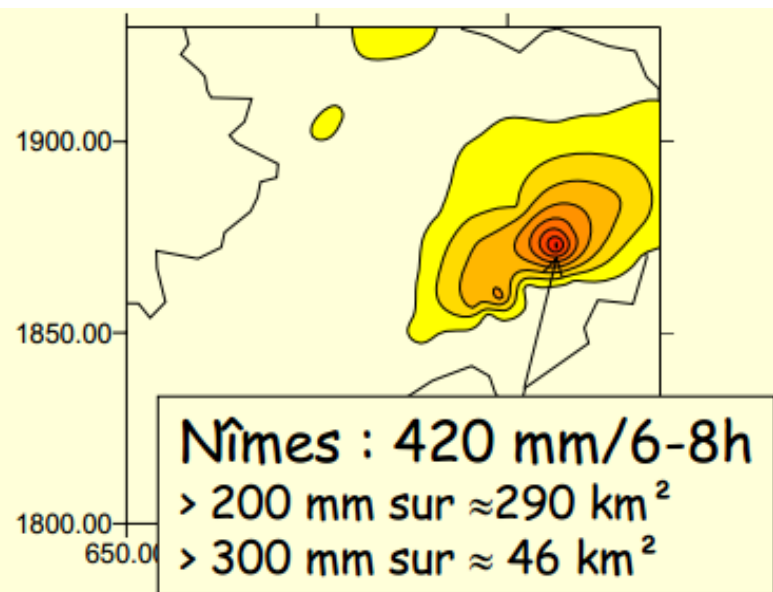
Convective

Un peu de météorologie

Les origines des précipitations

- **convectives** : ascension rapide des masses d'air dans l'atmosphère

Exemple :



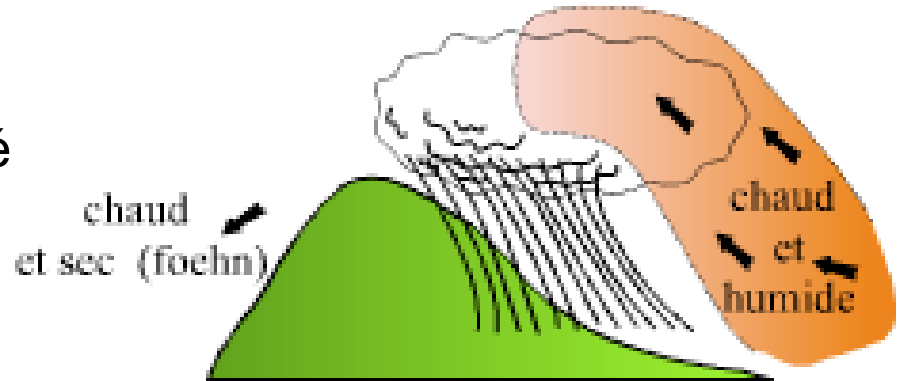
Un peu de météorologie

Les origines des précipitations

- **orographiques** : rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique

⇒ Non mobile, dépend de la montagne

⇒ Précipitation d'intensité et fréquence régulière



Orographique

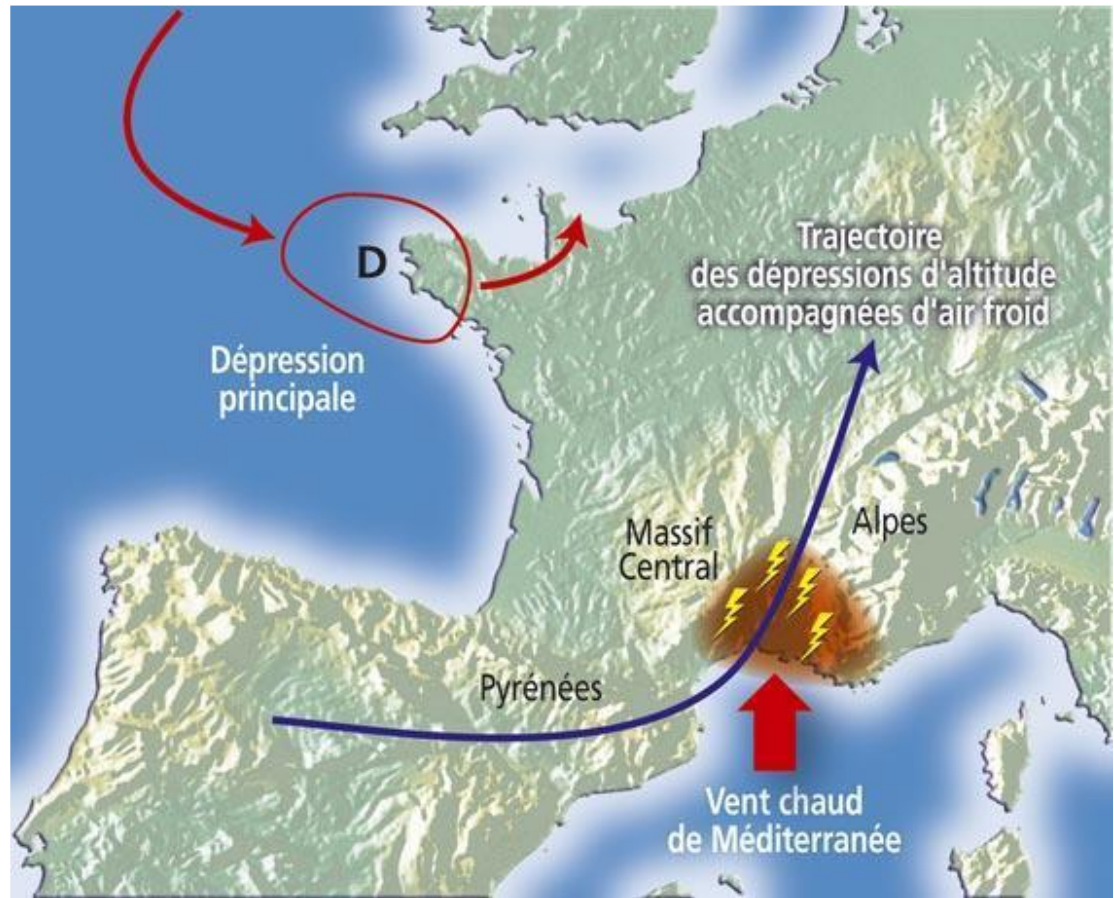
Un peu de météorologie

Les origines des précipitations

- **orographiques** : rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique

Exemple :

Les pluies « cévenoles »



Un peu de météorologie

Les origines des précipitations

- **orographiques** : rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topographique

Exemple :

Les pluies « cévenoles »



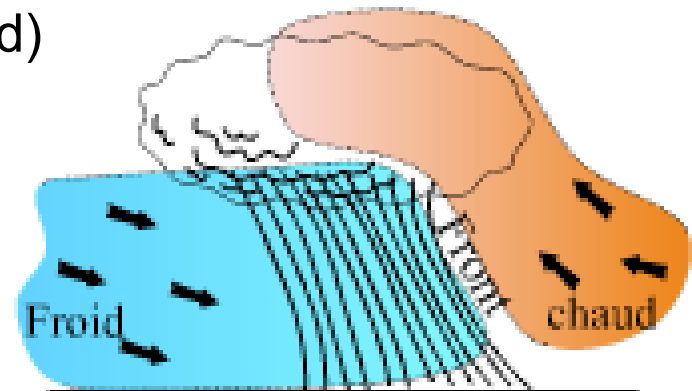
Un peu de météorologie

Les origines des précipitations

- **frontales (type cyclonique)** : surfaces de contact entre deux masses d'air de température, de gradient thermique vertical, d'humidité et de vitesse de déplacement différents

⇒ Dépend du déplacement des masses d'air (froid et chaud)

⇒ Précipitations :
- fronts froids : brèves, peu étendues et intenses



Frontale

Un peu de météorologie

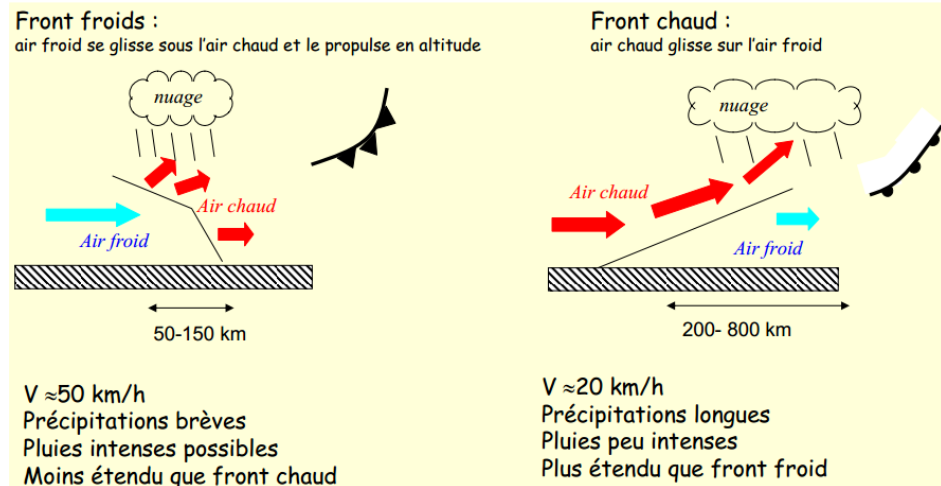
Les origines des précipitations

- **frontales (type cyclonique)** : surfaces de contact entre deux masses d'air de température, de gradient thermique vertical, d'humidité et de vitesse de déplacement différents

⇒ Dépend du déplacement des masses d'air (froid et chaud)

⇒ Précipitations :
- fronts froids : brèves, peu étendues et intenses

- fronts chauds : longues, étendues et peu intenses

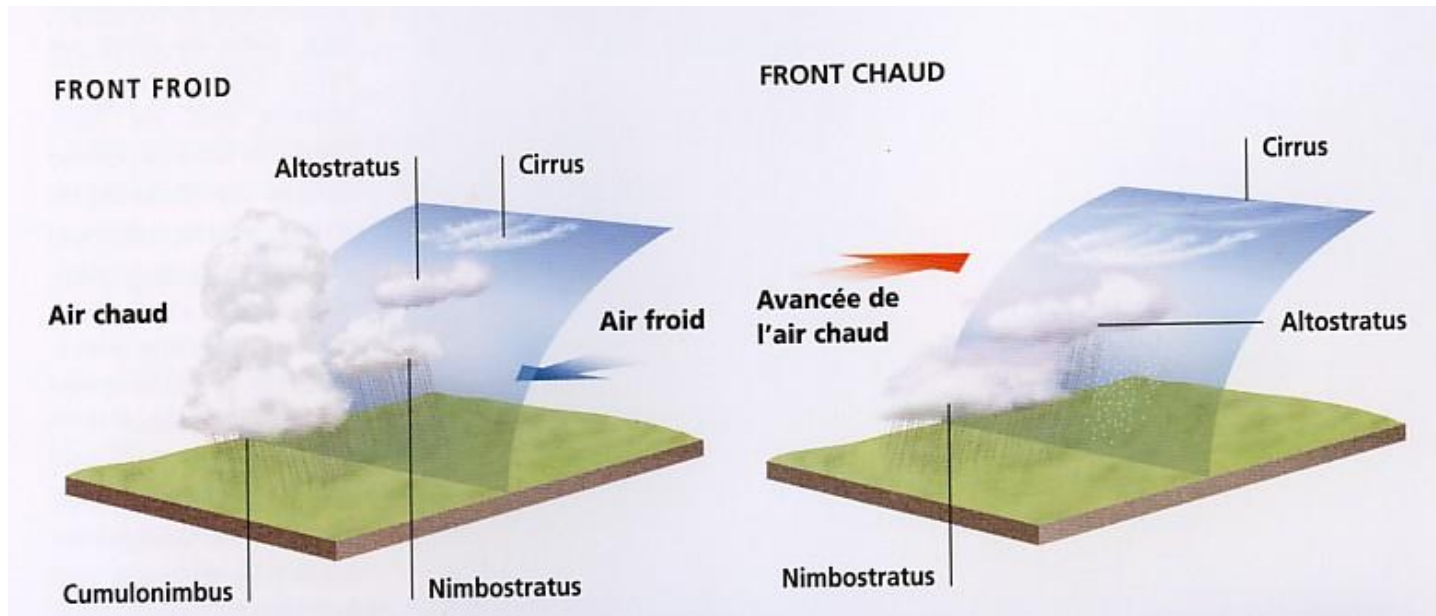


Un peu de météorologie

Les nuages

Nuage : ensemble visible comportant principalement des minuscules particules d'eau liquide et/ou de glace en suspension dans l'air

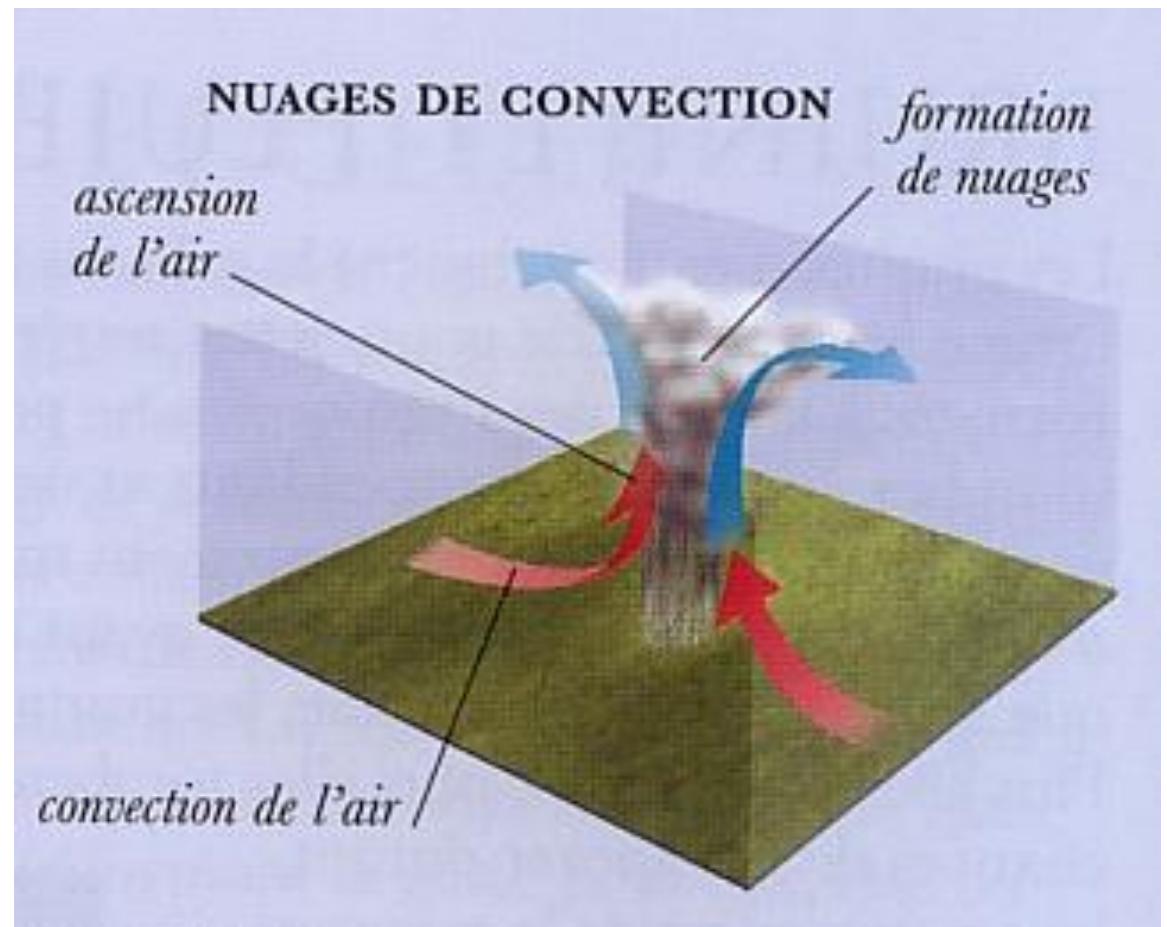
Nébulosité: quantité de nuages occupants la voûte céleste



Un peu de météorologie

Les nuages

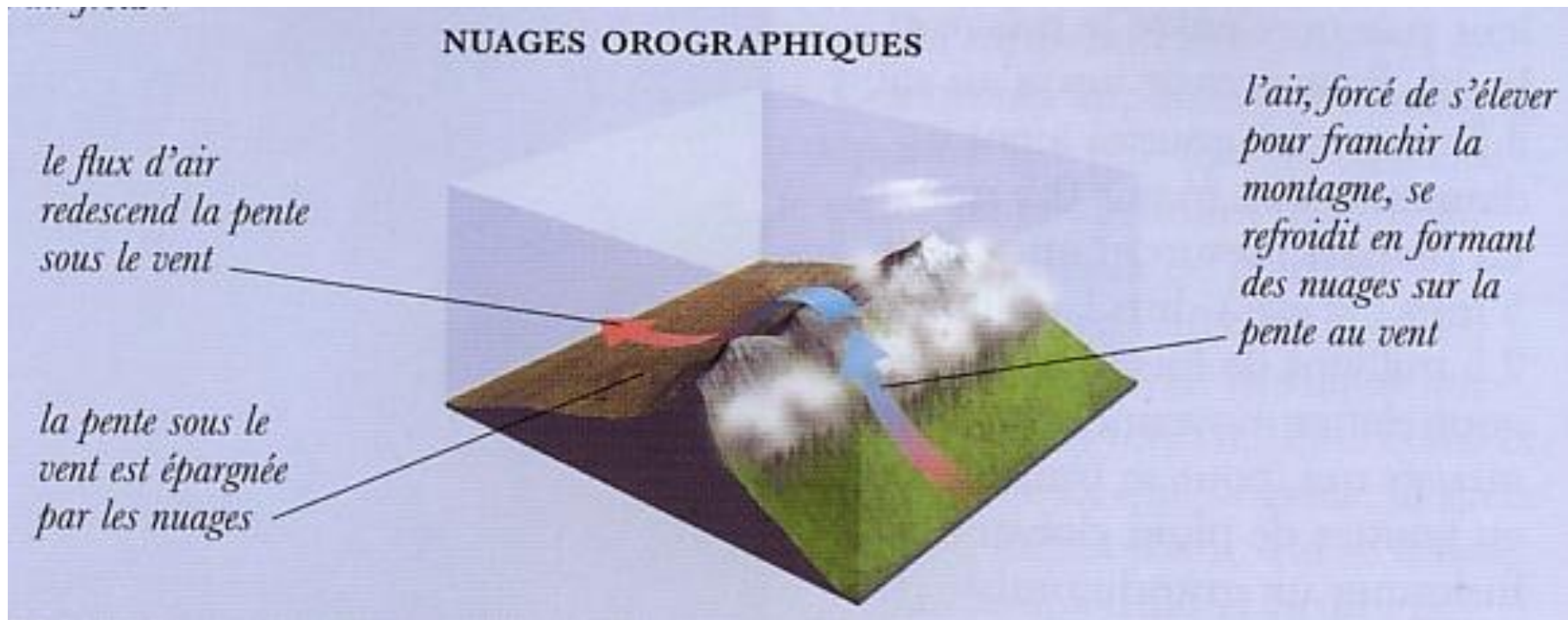
Leur formation : par convection



Un peu de météorologie

Les nuages

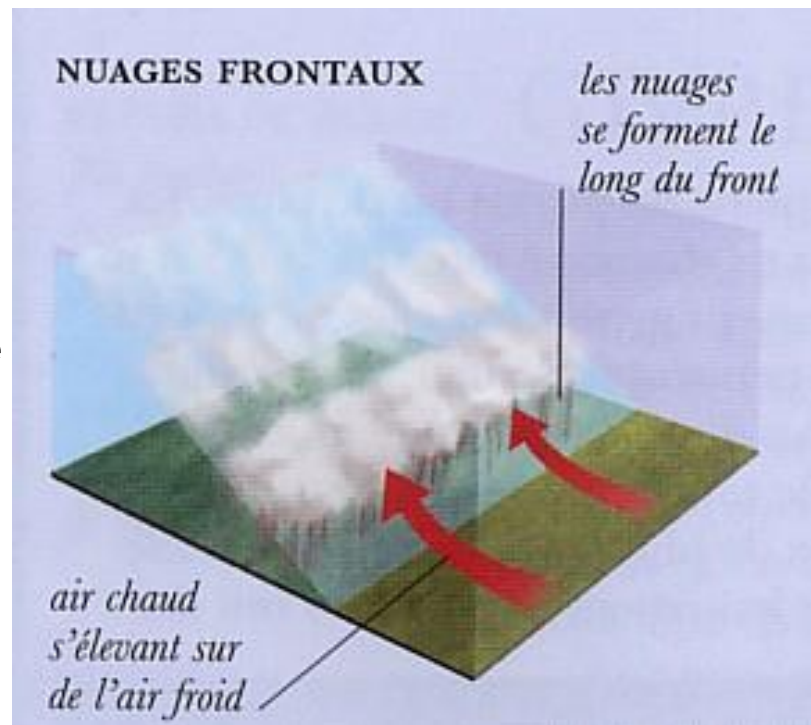
Leur formation : par orographie



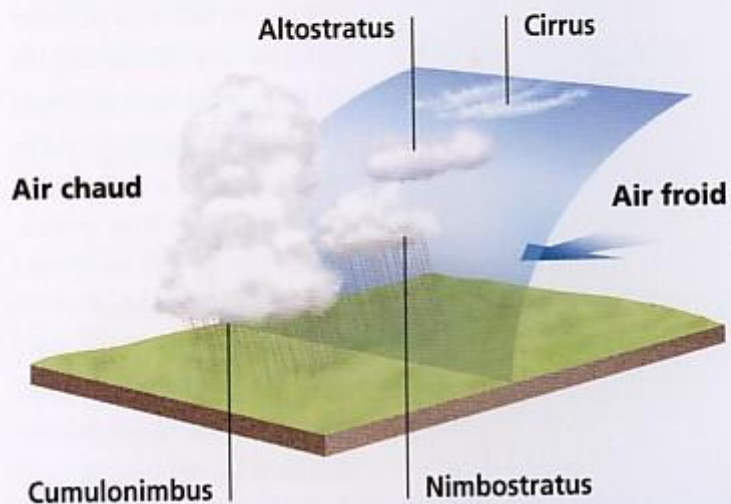
Un peu de météorologie

Les nuages

Leur formation par frontogenèse



FRONT FROID



FRONT CHAUD

Avancée de l'air chaud

Cirrus

Altostratus

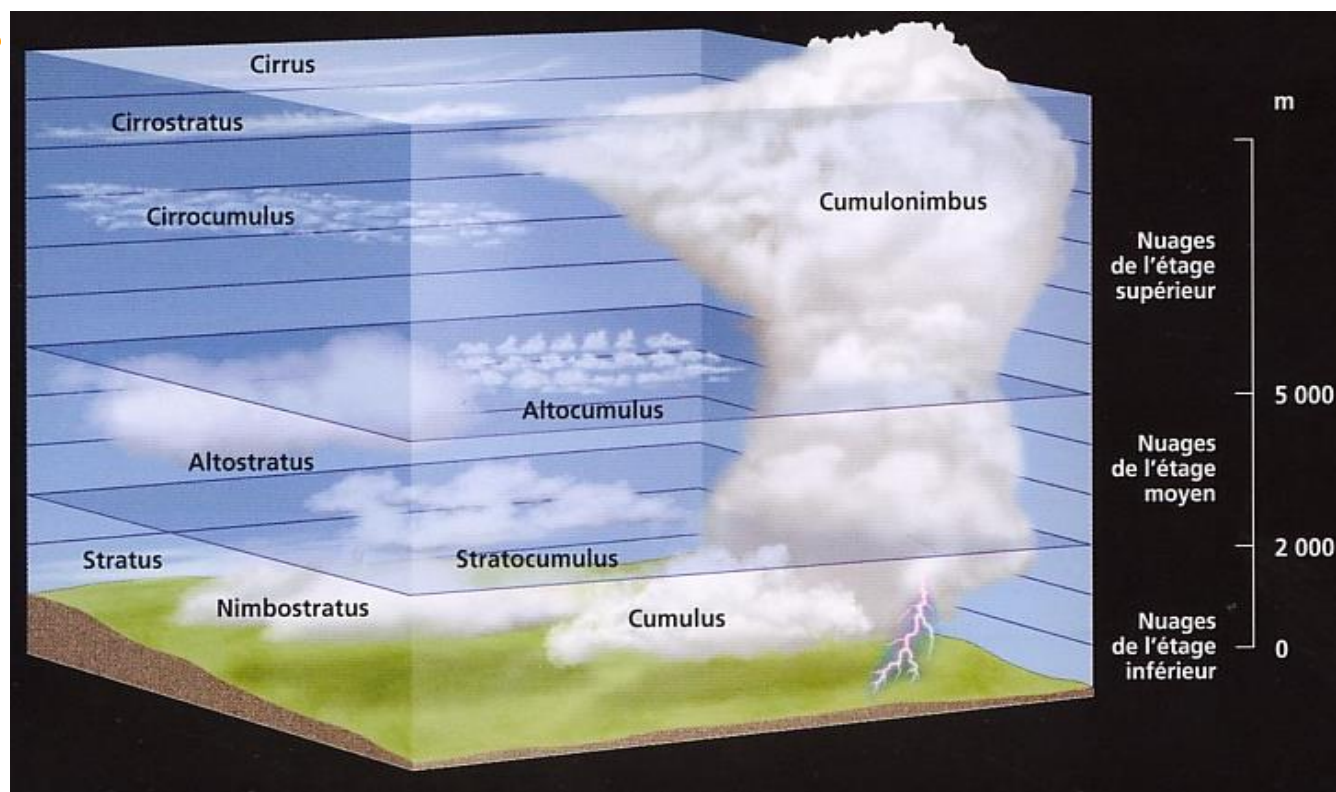
Nimbostratus

A 3D diagram of a warm front. A red arrow labeled 'Avancée de l'air chaud' points from the left towards a blue wedge-shaped volume representing cold air. The warm air is being forced upwards over the cold air. The cloud sequence from left to right (ahead of the front) is: Nimbostratus (with rain), Altostratus, and Cirrus.

Un peu de météorologie

Leur classification selon l'altitude

Les nuages



étages	Zone polaire	Zone tempéré	Zone intertropicale
supérieur	3-8 km	5-13 km	6-18 km
moyen	2-4 km	2-7 km	2-8 km
inférieur	<2 km	<2 km	<2 km

Un peu de météorologie

Leur classification Espèces et variétés

Les nuages

Genre: 10 formes caractéristiques (8 stratiformes et 2 cumuliformes)

Espèce: structure interne

Variété: transparence (ondulé, opaque, fibreux, translucide)

Particularité:

- Virga = trainée de Pmm sans atteindre le sol
- Mamma = protubérances sur la face inférieure
- Tuba = cône type tornade
- Praecipatio = qui apporte des Pmm



Un peu de météorologie

Leur classification Espèces et variétés

Les nuages

Nuages spéciaux

Nocturnes, lumineux ou noctilumineux = aurores boréales

Nacrés = congélation des aérosols d'acide sulfurique

Traînées de condensation = lignes blanches des avions

Ponctuels naturels (éruption volcanique)

Ponctuels artificiels (villes et industries)



Un peu de météorologie

Exemples

Les nuages



Nuages de mousson (cumulonimbus)



Sillage d'avion

Exemples



Cirrus undulatus (ondulés)



Cirrus uncinus (en crochets)



Cirrus fibreux

Exemples

Cirrocumulus



Cirrostratus



Exemples



Alto cumulus lenticularis (lenticulaires)



Alto cumulus castellanus (crénelés)



Alto cumulus

Exemples

Altostratus



Nimbostratus



Exemples

Stratocumulus



© MétéoNature.com

Stratus



© MétéoNature.com



Exemples



Cumulus congestus
(à grossissement vertical)



Cumulonimbus en forme d'enclume

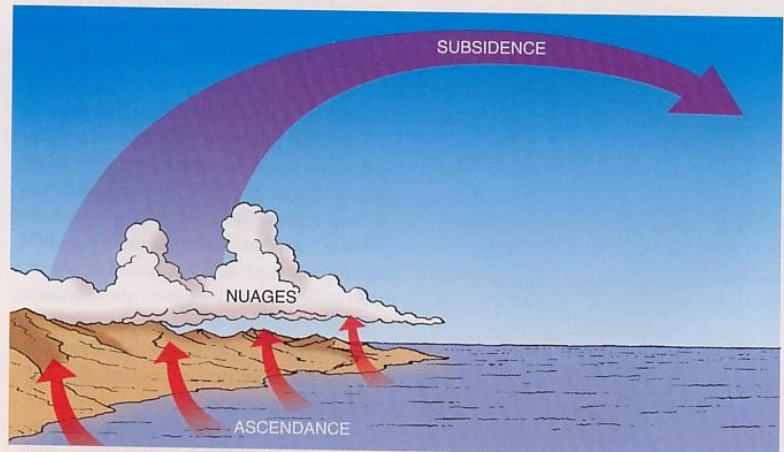
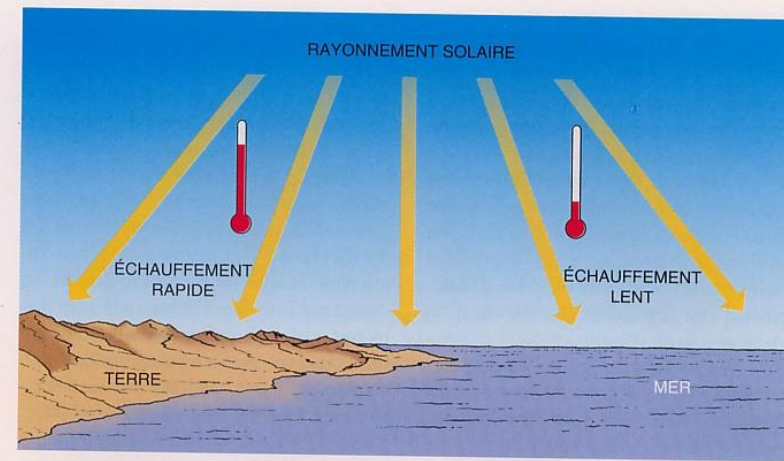


Cumulonimbus mamma

Un peu de météorologie

Les nuages

Les nuages de côte



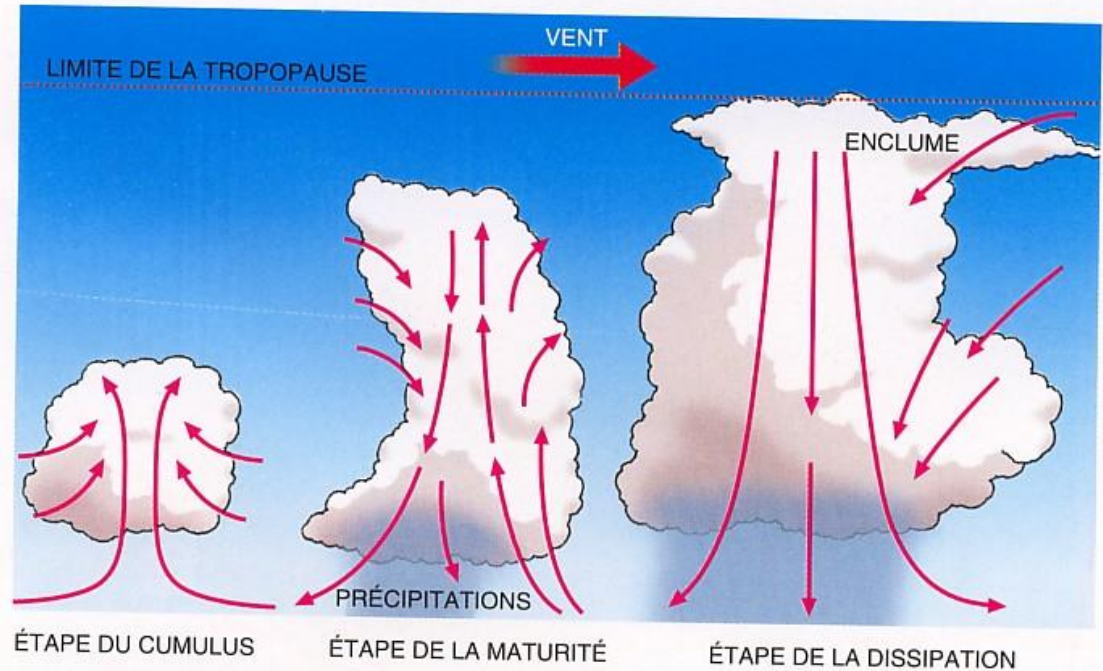
Un peu de météorologie

Les nuages

Les orages de masse d'air

Se produisent en l'absence de front

Réchauffement local de l'air froid sur un sol chaud ou une mer chaude



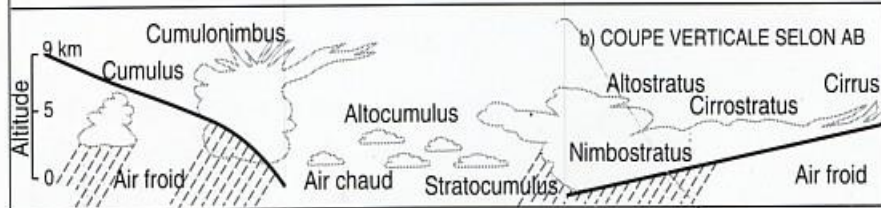
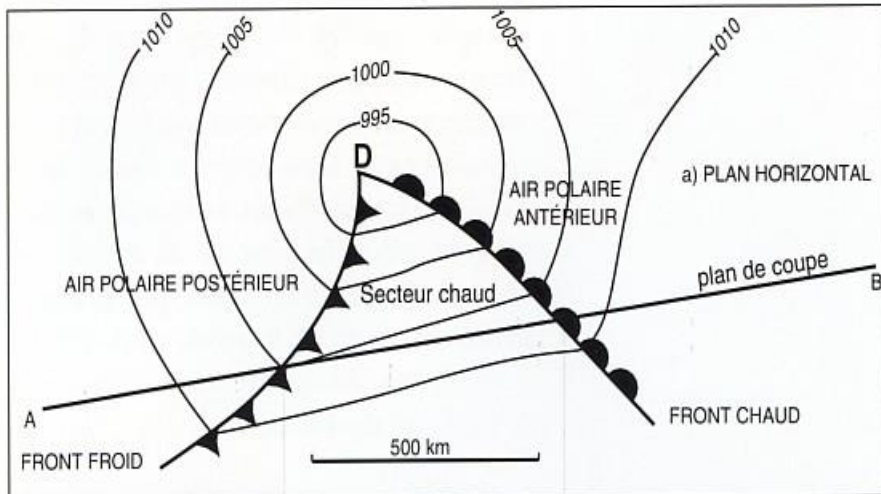
8. L'ORAGE DE MASSE D'AIR est composé de cellules convectives, de courte durée de vie (une trentaine de minutes). Il évolue en trois étapes. Pendant la phase de développement, l'organisation dynamique évoque une cellule de Bénard, avec une ascendance centrale humide, entourée d'une région de subsidence en air clair ; c'est l'étape du cumulus. Le sommet du nuage s'élève d'une dizaine de mètres par seconde, les vitesses verticales au sein de l'ascendance atteignent 20 mètres par seconde. Dans l'air clair entourant le nuage, les vitesses descendantes sont bien plus faibles. La deuxième étape (étape de la maturité) est associée à la pluie, qui crée un fort courant descendant : l'air est entraîné vers le bas à la fois par le poids des hydrométéores en suspension et par le refroidissement dû à l'évaporation partielle des gouttes. Le sommet du nuage atteint alors la tropopause, à près de 20 kilomètres d'altitude sous les tropiques et aux environs de 10 kilomètres sous nos latitudes. Pendant la troisième étape (étape de dissipation), la subsidence occupe pratiquement tout le volume de la cellule et coupe son alimentation en vapeur d'eau. Le sommet du nuage s'écrase contre la tropopause et s'étend en forme d'enclume sous l'effet des vents forts présents en altitude. Le nuage perd de sa vigueur et se dissipe.

Un peu de météorologie

Les nuages

Cortège nuageux et précipitations :

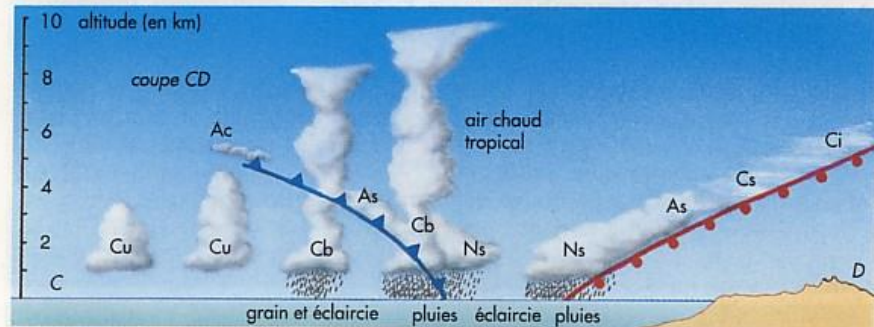
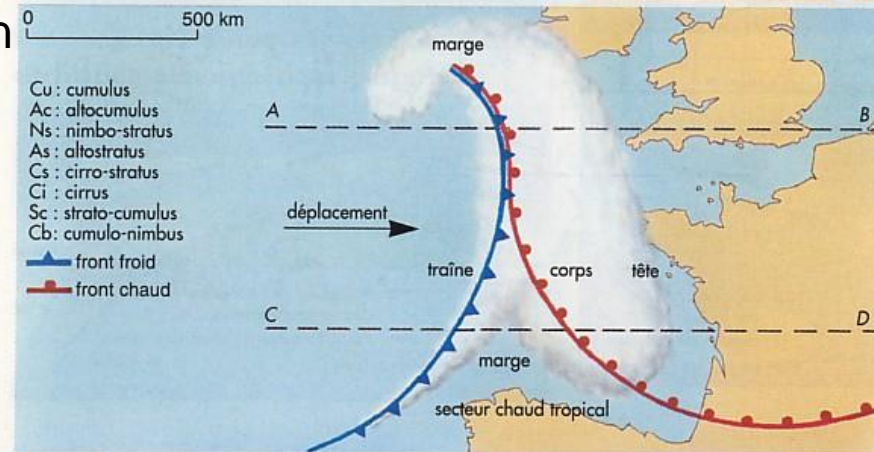
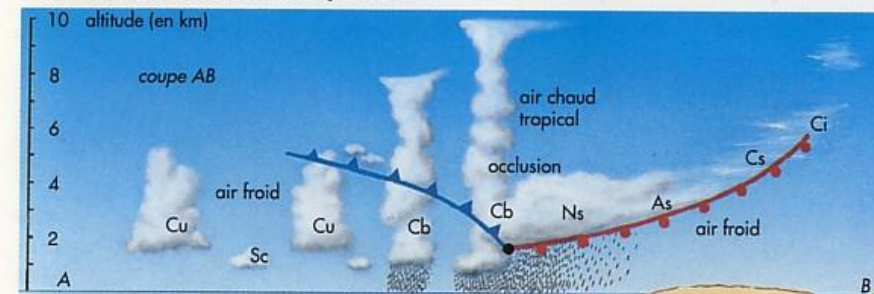
- Tête
- Corps
- Secteur de liaison
- Traîne
- occlusion



Une perturbation « ordinaire » et ses trois composantes principales : le front chaud, le front froid et l'occlusion.

Au-dessous figure la coupe verticale de système nuageux suivant la ligne A B.

Perturbation du front polaire



Perturbations cycloniques et nuages associés.

Les perturbations des zones tempérées se déplacent d'ouest en est. À l'approche du front chaud (coupe CD), on observe des nuages élevés (Ci), puis des nuages de l'étage moyen (As), enfin des nuages bas (Ns) donnant des pluies. À l'arrivée du front froid, l'air chaud se soulève et des nuages à développement vertical apparaissent (Cb, Cu), suivis de nuages auxquels sont associées pluies ou neige. Lorsque l'air froid postérieur rattrape l'air froid antérieur (coupe AB), l'air chaud intermédiaire est rejeté en altitude (occlusion).

Mesure des précipitations

Mesure de la hauteur d'eau précipitée

- 1,5 m du sol
- Sol gazonné
- Obstacle
- Pluviomètre (200, 400 à 2000 cm²)
- Pluviographe
 - Pluviogramme
 - Tableau P horaire
 - Hyétogramme

Le pluviomètre



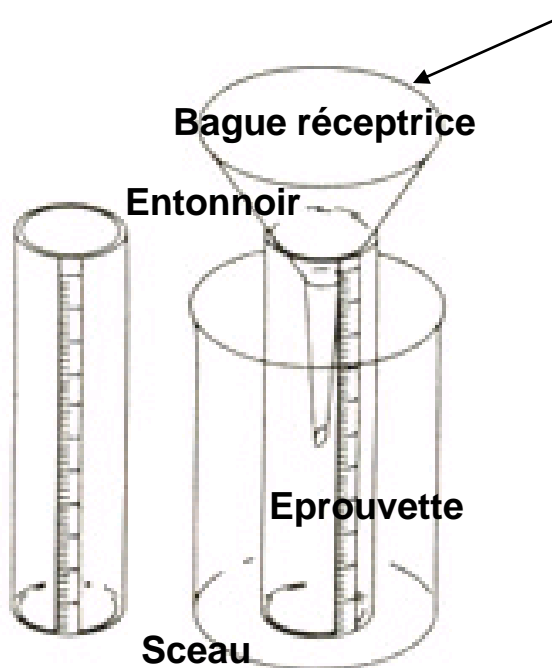
Le pluviographe



Pluviographe Cet appareil mesure à la fois la quantité de pluie tombée et son intensité. La pluie tombe dans l'entonnoir, s'écoule dans la chambre collectrice et fait remonter le flotteur.

Mesure des précipitations

Mesure de la hauteur d'eau précipitée cumulée sur une durée



En France, type
SPIEA (Diam. :
400 cm²)

Support (à 1.5 m)



Unité : mm (correspond à 1 litre par m²)

Résolution : 0,1 ou 0,2 mm

Précision : Erreur relative variable en fonction du vent.

Périodicité : Cumul sur 6, 12, 24 heures.

Mesure des précipitations

Mesure de la hauteur d'eau précipitée cumulée sur une durée

Relevés 1 fois par jour (6h en France, 7h30 en Suisse, ...)

La pluie mesurée à J est attribuée à $J-1$

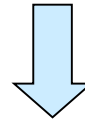
Choix d'un site représentatif



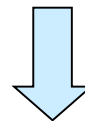
Pluviomètre Hellmann (Suisse) $D = 200 \text{ cm}^2$



Neige ou
grêle



on procède à
une fusion

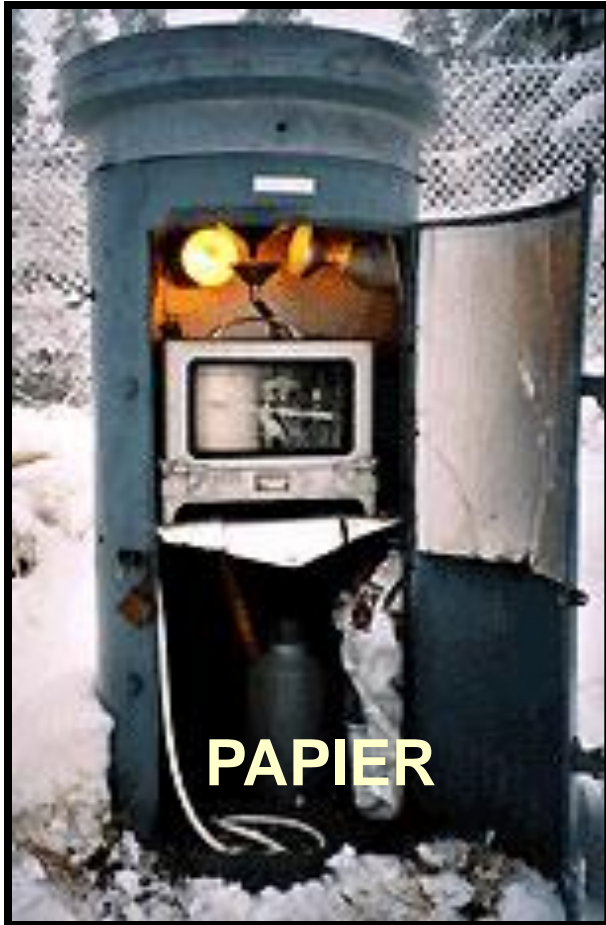


Mesure d'un
équivalent
« liquide »

Mesure des précipitations

Mesure de la hauteur d'eau précipitée cumulée sur une durée

Le pluviographe



10-20 g d'eau
= 0.1 ou 0.2 mm d'eau

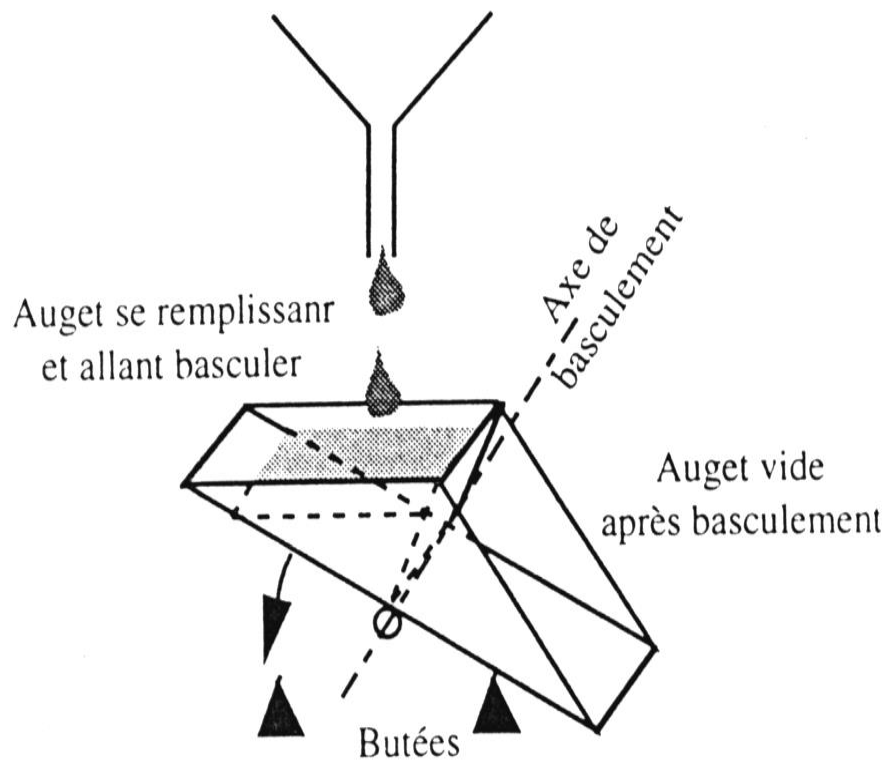


Mesure des précipitations

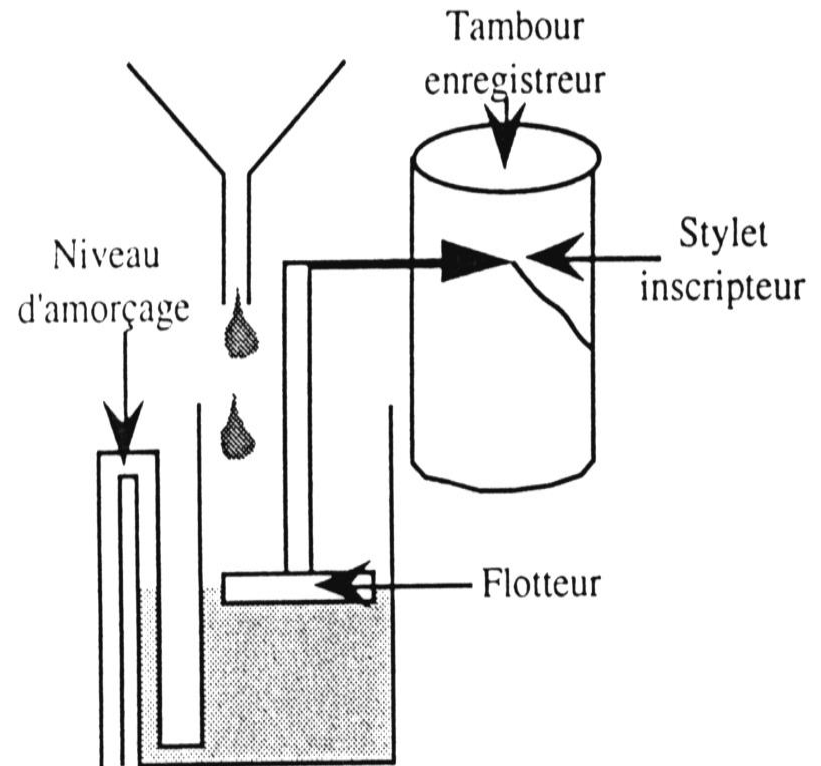
Mesure de la hauteur d'eau précipitée cumulée sur une durée

Le pluviographe

Pluviographe à augets basculeurs



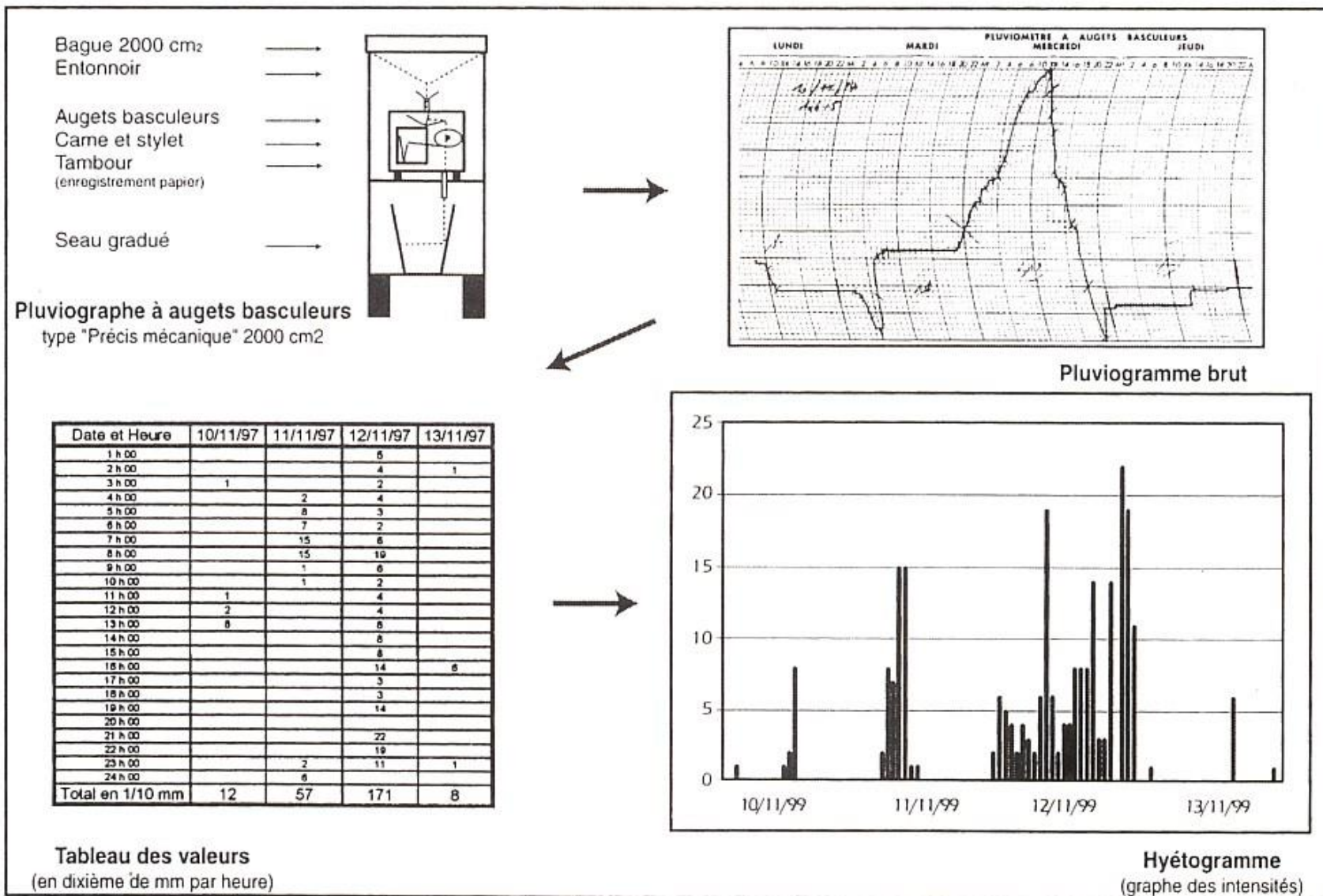
Pluviographe à siphon



Mesure des précipitations

Du pluviogramme au hyétogramme

Mesure de la hauteur d'eau précipitée cumulée sur une durée



Mesure des précipitations

Expression des données pluviométriques

- Pmm horaire
- Pmm jour. = Σ Pmm horaires
- Pmm mois = Σ Pmm jour
- Pmm année = Σ Pmm mois
- **Pmm interannuelle = moyenne Pmm années**
- nbe de jours de Pmm = $P > 0.1$ mm
- Durée des Pmm
- Intensité en mm/h ou pluviosité
- Nivrosité ou % neige/total des Pmm

Département	Station météorologique	Date de l'événement	Précipitations en 24 h
Pyrénées Orientales	Saint-Laurent-de-Cerdans	17 octobre 1840	1 000 mm
Pyrénées Orientales	Llau	17 octobre 1840	840 mm
Ardèche	Joyeuse	9 octobre 1827	792 mm
Corse	Col de Bavella	3 octobre 1993	780 mm
Gard	Mont Aigoual	24 février 1964	520 mm
Hérault	Le Caylar	21 septembre 1992	448 mm
Vaucluse	Châteauneuf-du-Pape	30 juillet 1991	265 mm
Lozère	Villefort	20 septembre 1980	344 mm

Tableau 2 : Quelques pluies records de la France méditerranéenne pour une durée de 24 h

Notion d'averses et d'intensités

Averse

Ensemble de pluies associé à une perturbation météorologique bien définie. La durée et la superficie varient.

=> averse : épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité.

Notion d'averses et d'intensités

Intensité

L'intensité moyenne : rapport entre la hauteur de pluie observée et la durée t de l'averse :

$$i_m = \frac{h}{t}$$

i_m : intensité moyenne de la pluie [mm/h, mm/min] ou ramenée à la surface [l/s.ha],

h : hauteur de pluie de l'averse [mm],

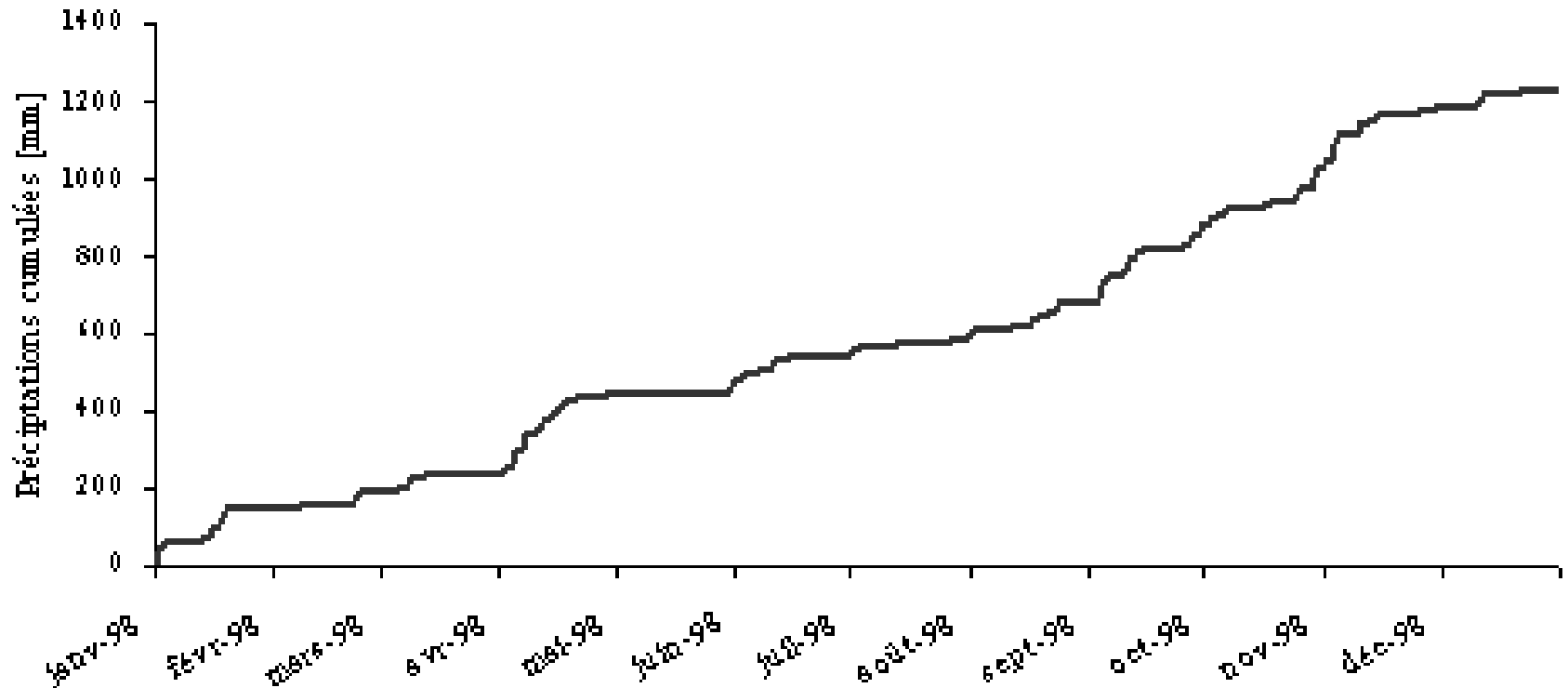
t : durée de l'averse [h ou min].

Notion d'averses et d'intensités

Intensité

Intensités observés par intervalle de temps :

- la courbe des hauteurs de pluie cumulée,

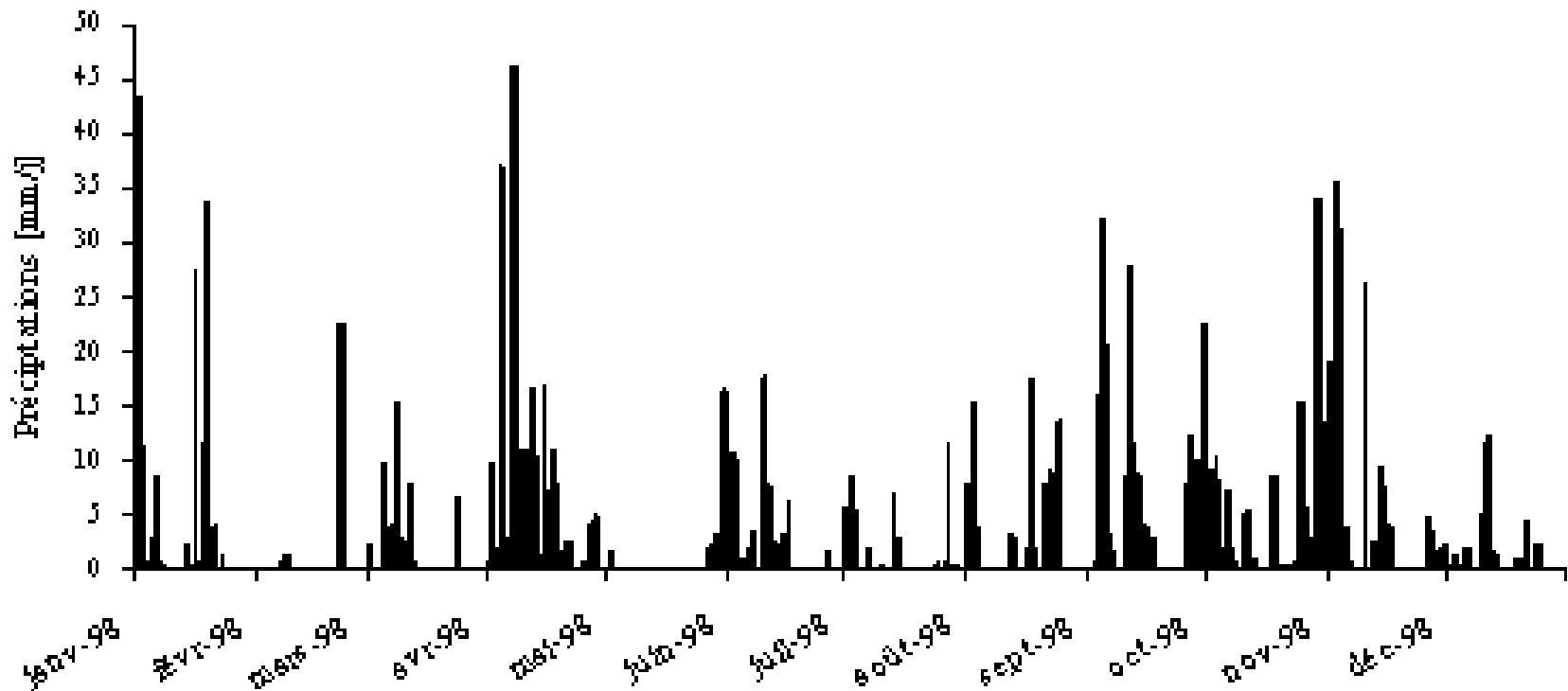


Notion d'averses et d'intensités

Intensité

Intensités observés par intervalle de temps :

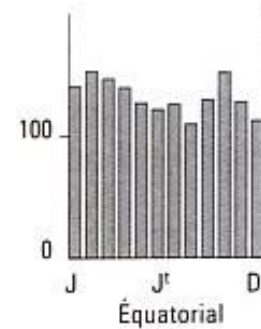
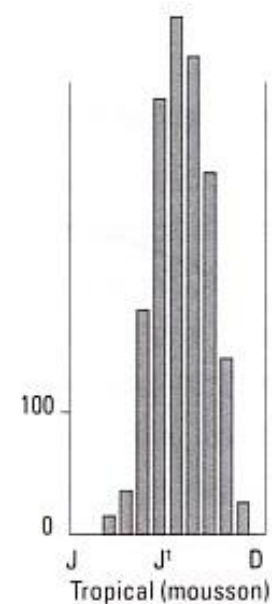
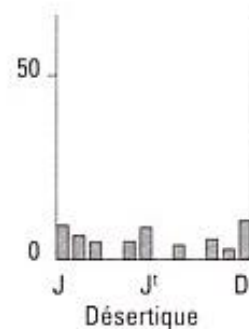
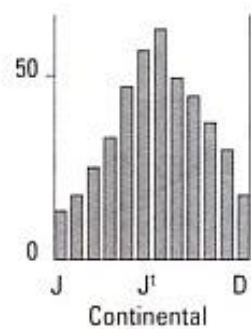
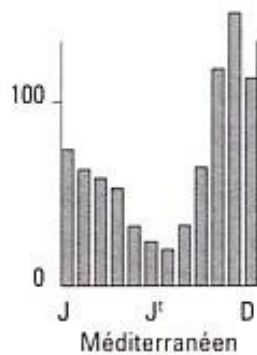
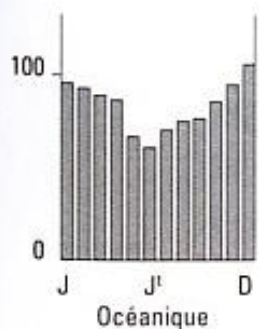
- la courbe des hauteurs de pluie cumulée,
- le hyétogramme.



Régimes pluviométriques

Pluviométrie seule

Différents types de régimes pluviométriques de l'hémisphère boréal



Hauteur des précipitations en mm

Régimes pluviométriques

Pluviométrie seule

Différents types de régimes

Nom	Caractéristiques
Régime équatorial humide	<ul style="list-style-type: none">- plus de 200 cm de précipitations annuelles moyennes- à l'intérieur des continents et sur les côtes- région typique de ce régime : bassin de l'Amazone
Régime subtropical humide en Amérique	<ul style="list-style-type: none">- entre 100 et 150 cm de précipitation annuelle moyenne- à l'intérieur des continents et sur les côtes- région typique de ce régime : pointe sud-est de l'Amérique du Nord
Régime subtropical sec	<ul style="list-style-type: none">- moins de 25 cm de précipitation annuelle moyenne- à l'intérieur des continents et sur les côtes ouest- région typique de ce régime : le sud du Maghreb
Régime intertropical sous l'influence des alizés	<ul style="list-style-type: none">- plus de 150 cm de précipitation annuelle moyenne- sur des zones côtières étroites ; humidité- région typique de ce régime : côtes est de l'Amérique centrale

Régimes pluviométriques

Pluviométrie seule

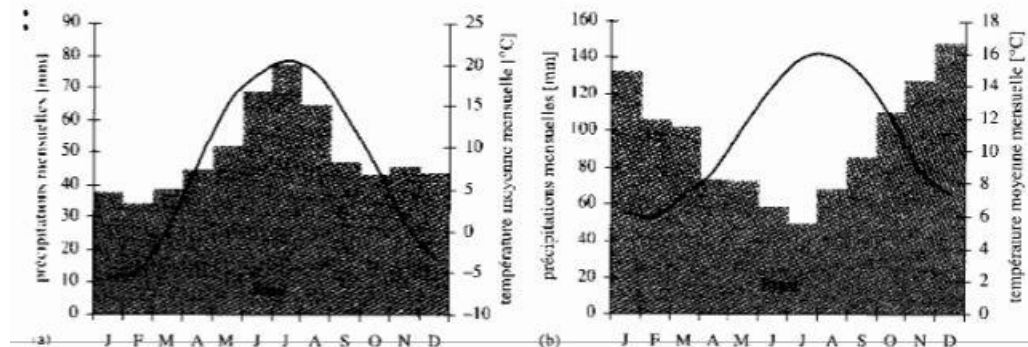
Différents types de régimes

Nom	Caractéristiques
Régime continental tempéré	<ul style="list-style-type: none">- entre 10 et 50 cm de précipitation annuelle moyenne- à l'intérieur des continents ; il en résulte des déserts ou des steppes- région typique de ce régime : plaines de l'ouest du continent nord-américain
Régime océanique tempéré	<ul style="list-style-type: none">- plus de 100 cm de précipitation annuelle moyenne- sur les côtes ouest des continents- région typique de ce régime : la Colombie britannique, l'Europe
Régime polaire et arctique	<ul style="list-style-type: none">- moins de 30 cm de précipitation annuelle moyenne- se situe au nord du 60e parallèle ; formation de grands déserts froidsrégion typique de ce régime : le Grand Nord canadien

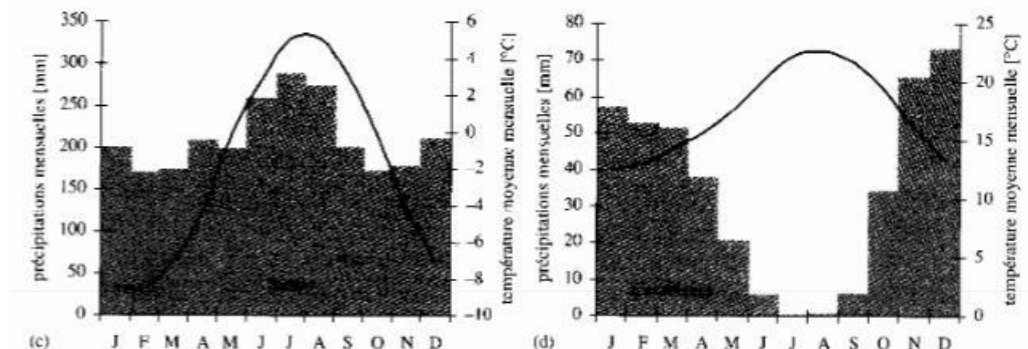
Régimes pluviométriques

Pluviométrie

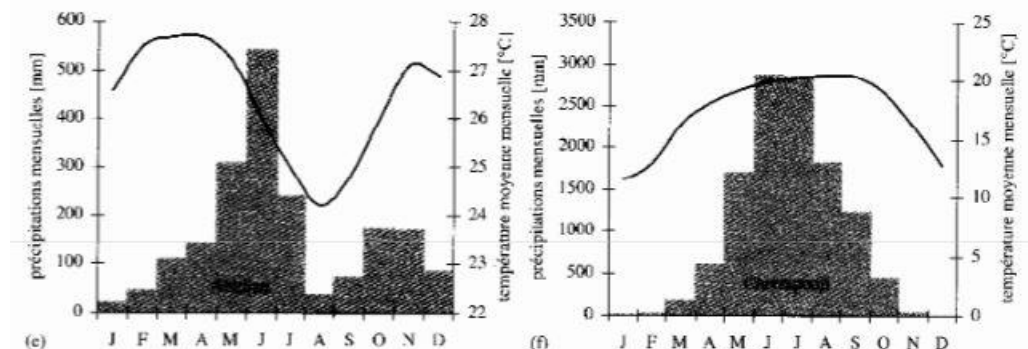
Climat continental de steppe
Climat océanique



Climat tempéré de montagne
Climat méditerranéen



Climat équatorial
Climat de mousson



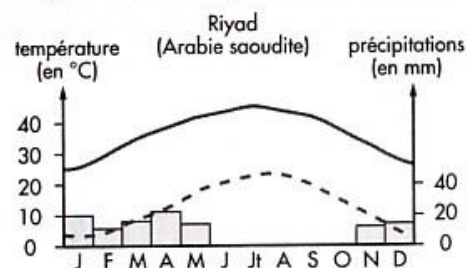
Régimes pluviométriques

Pluviométrie combinée avec la température

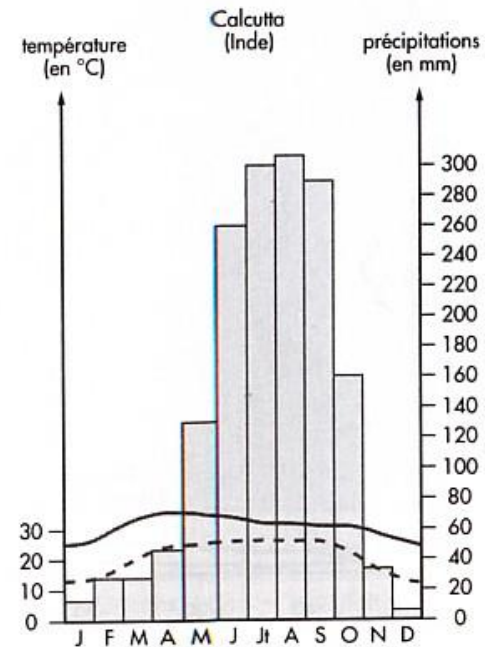
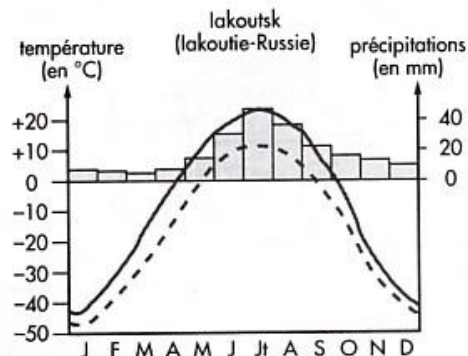
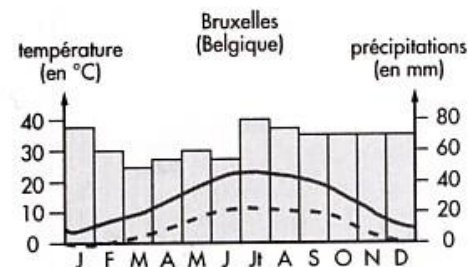
Diagramme ombro-thermique

- réf. de la station
- Période d'observation
- Données moyennes
- $P=2T$
- Tracer droites moyennes
- Saisonnalité thermique
- Saisonnalité pluviale

Diagramme climatique I



— moyenne mensuelle des températures maximales
- - - moyenne mensuelle des températures minimales



Régimes pluviométriques

Pluviométrie combinée avec la température

Climogramme

- réf. de la station
- Période d'observation
- Données moyennes
- Forme du polygone
- Saisonnalité thermique
- Saisonnalité pluviale

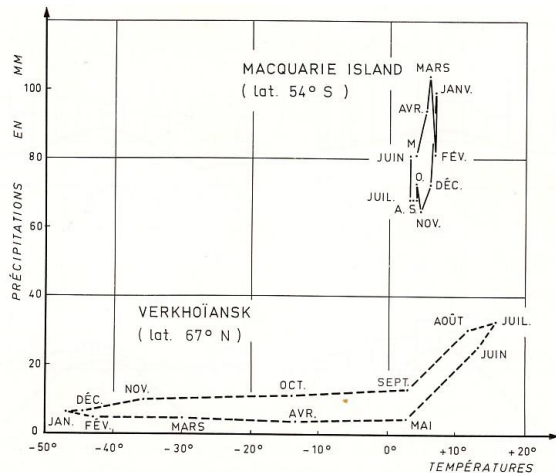
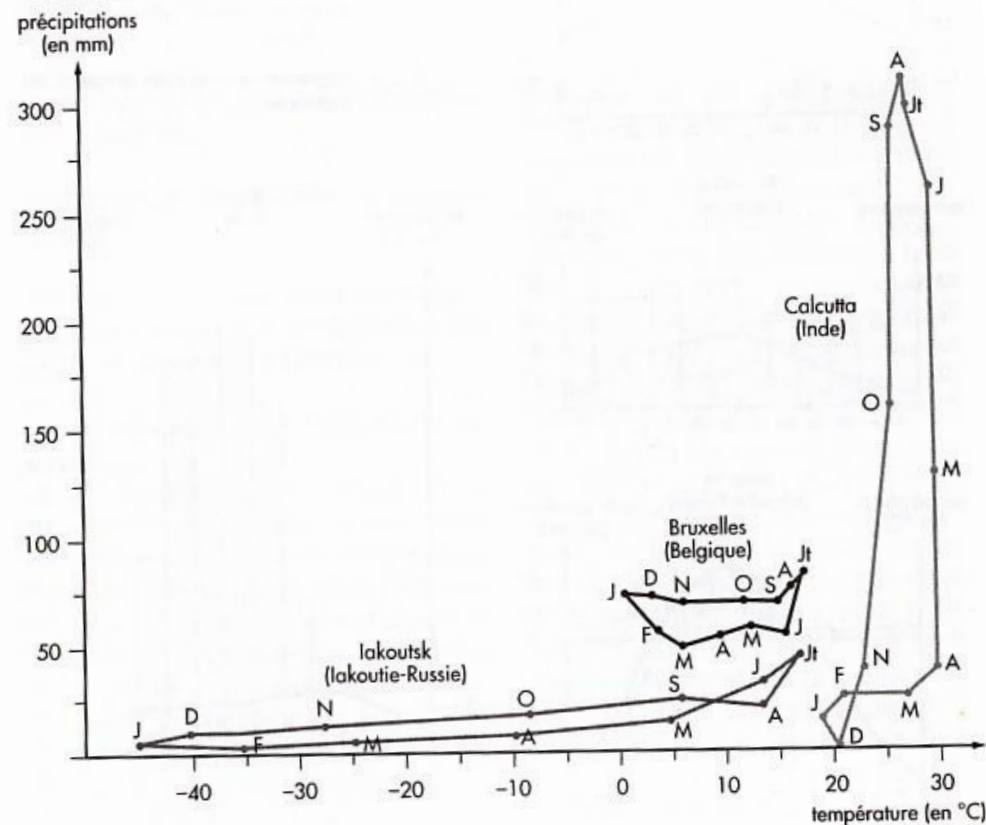


Fig. XII-15. — DEUX CLIMOGRAMMES DE STATIONS DE HAUTES LATITUDES.

Diagramme climatique 2



Régimes pluviométriques

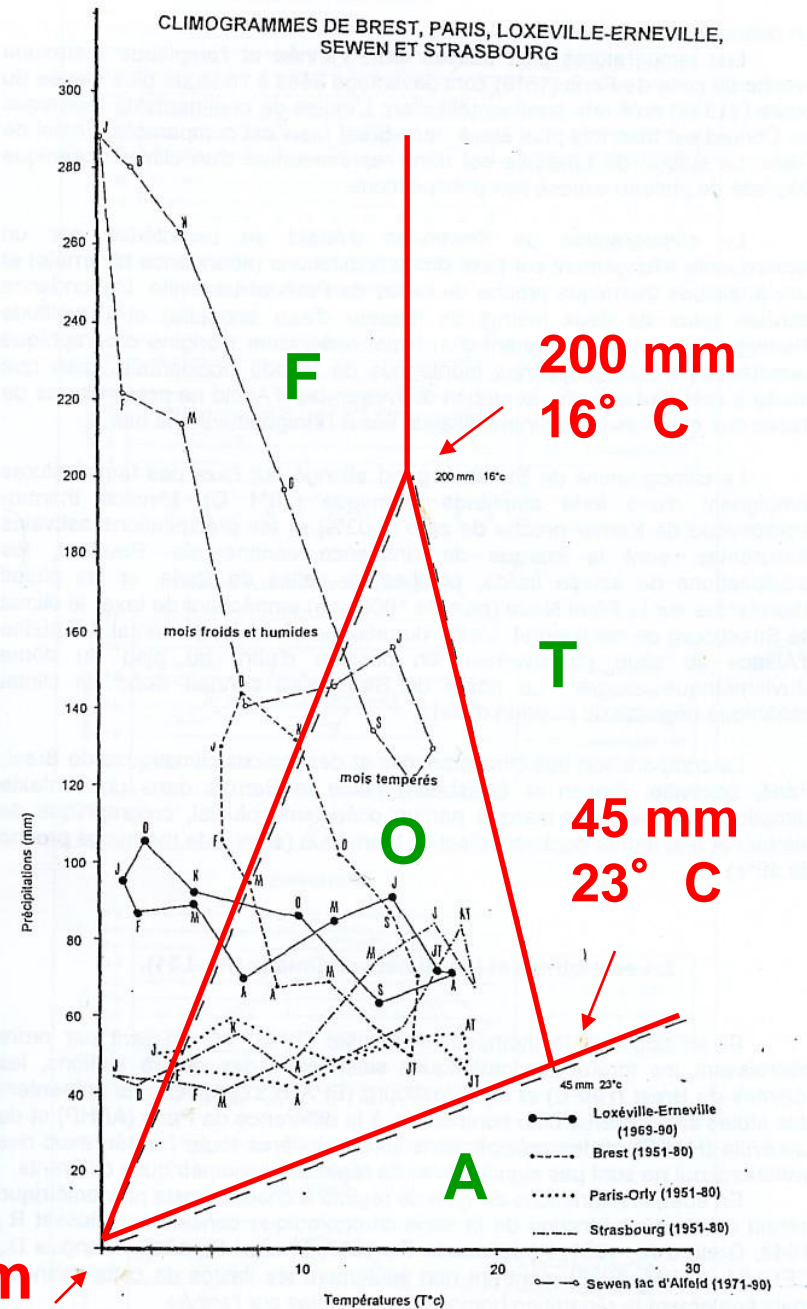
Pluviométrie combinée avec

Climogramme de
De Martonne-Pégny

- 5 Secteurs
- F = froid et humide
- G = glacial
- O = tempéré
- T = tropical
- A = aride

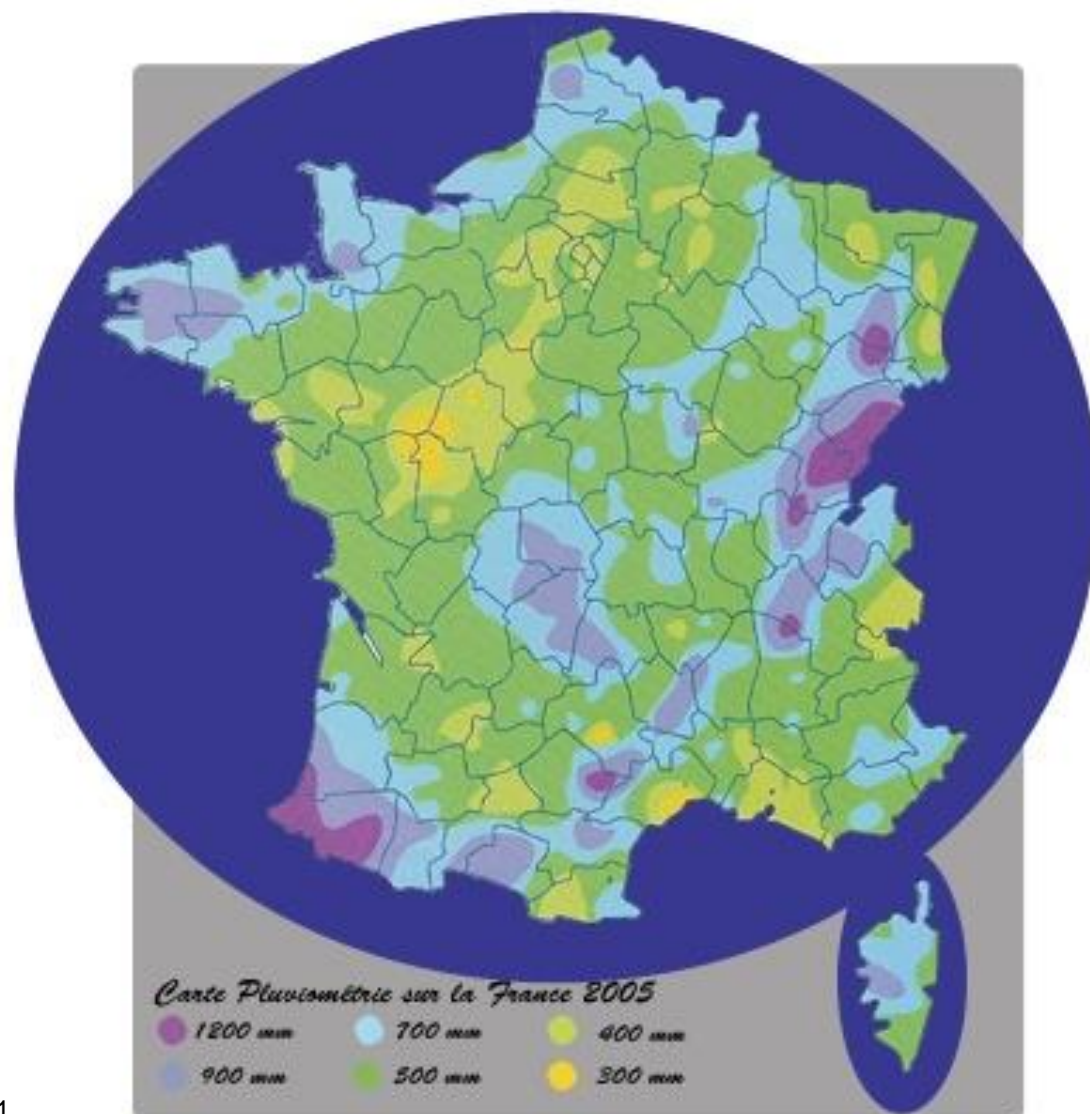
G
-5° C

0 mm
0° C



Répartition des précipitations

Cartes pluviométriques



Répartition des précipitations

Calcul des précipitations moyennes sur un secteur

Méthode des polygones de Thiessen : calcul de la moyenne pondérée

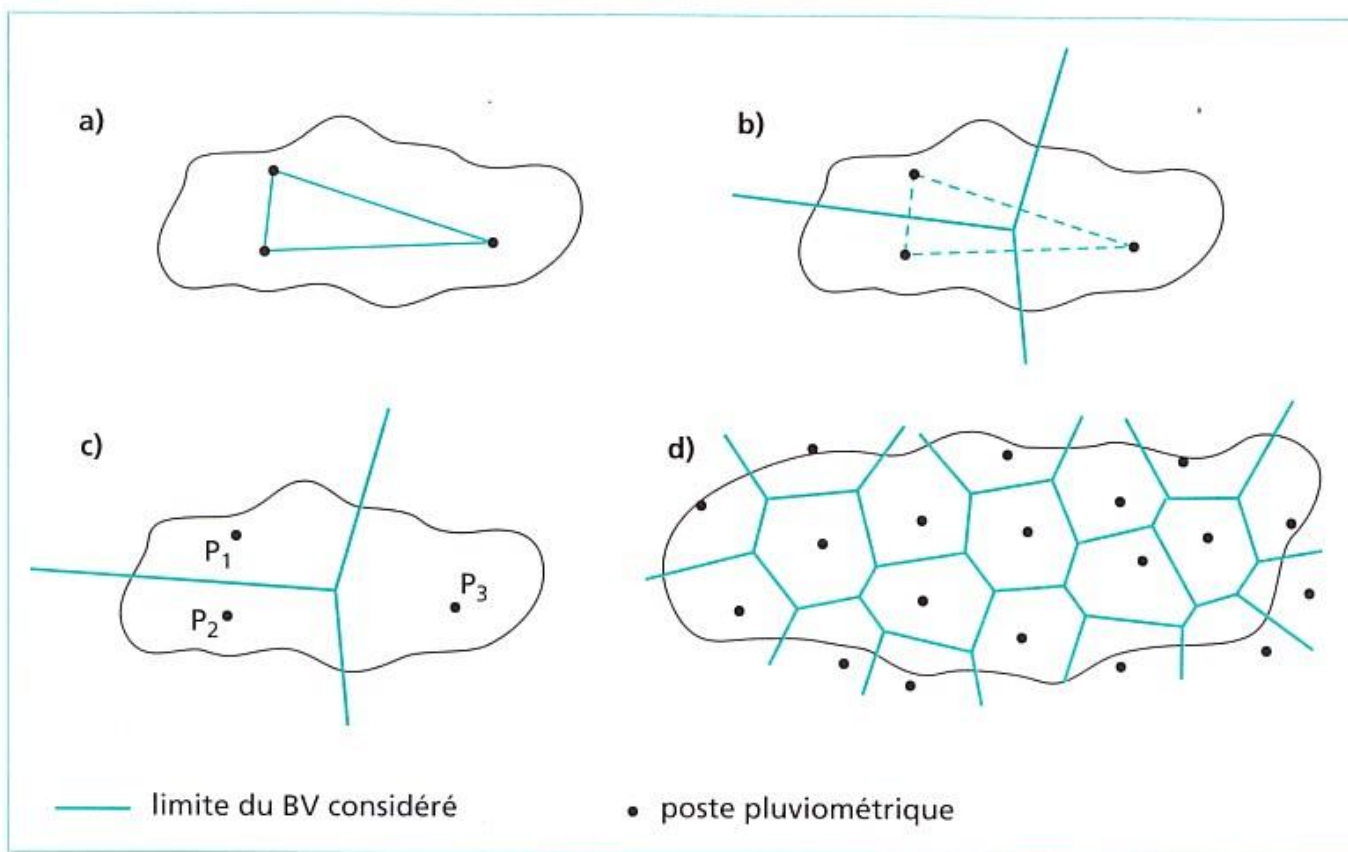


Figure 10 : exemple théorique de détermination des polygones de Thiessen (adapté d'après Viessman et Lewis, 1996) : a) Connecter les postes pluviométriques ; b) Dessiner les bissectrices perpendiculaires ; c) Calculer les poids (P_1 , P_2 , P_3) selon la formule de Thiessen ; d) Compléter pour l'ensemble du réseau disponible.

Répartition des précipitations

Calcul des précipitations moyennes sur un secteur

Méthode des polygones de Thiessen : calcul de la moyenne pondérée

$$P_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{A}$$

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin,

A_i : aire totale du bassin

P_i : précipitation enregistrée à la station i ,

A_i : superficie du polygone associée à la station i .

Répartition des précipitations

Calcul des précipitations moyennes sur un secteur

Construire les courbes isohyètes

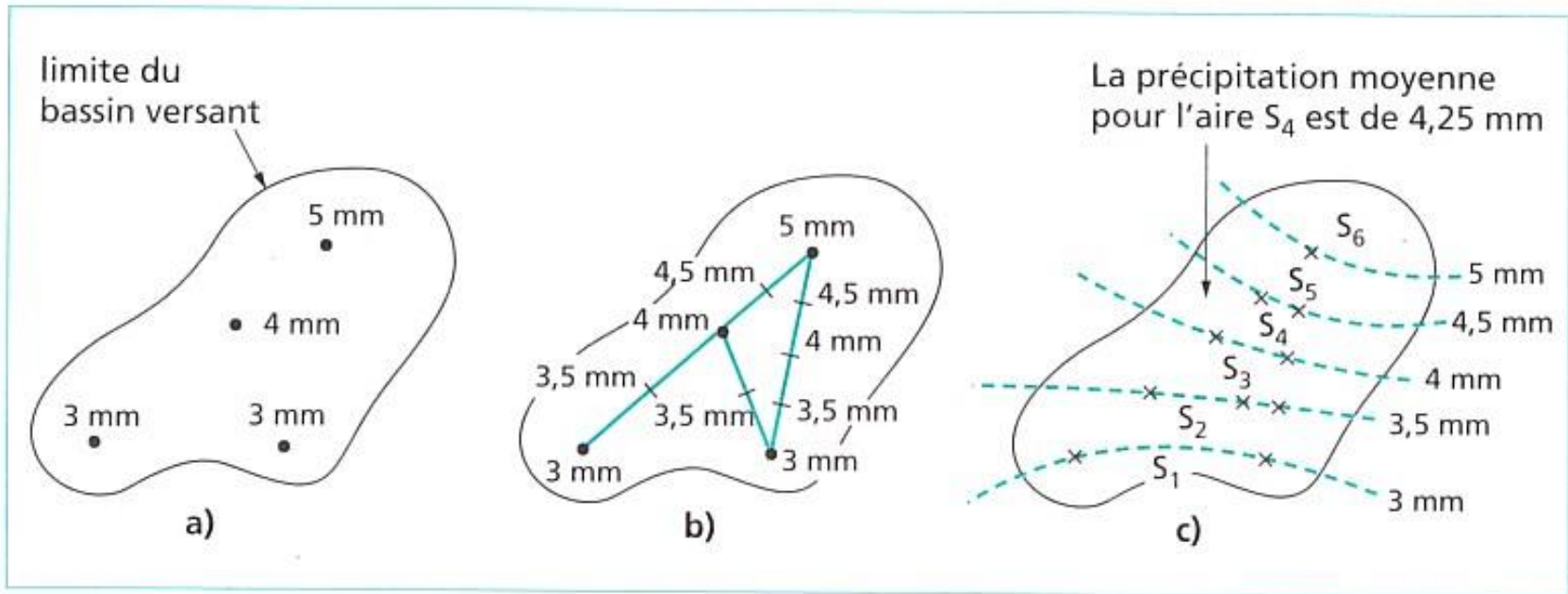


Figure 11 : construction théorique d'une carte isohyétale : a) Localiser les postes pluviométriques et les valeurs ponctuelles correspondantes ; b) Calculer l'interpolation entre les postes ; c) Dessiner le champ d'isohyètes.

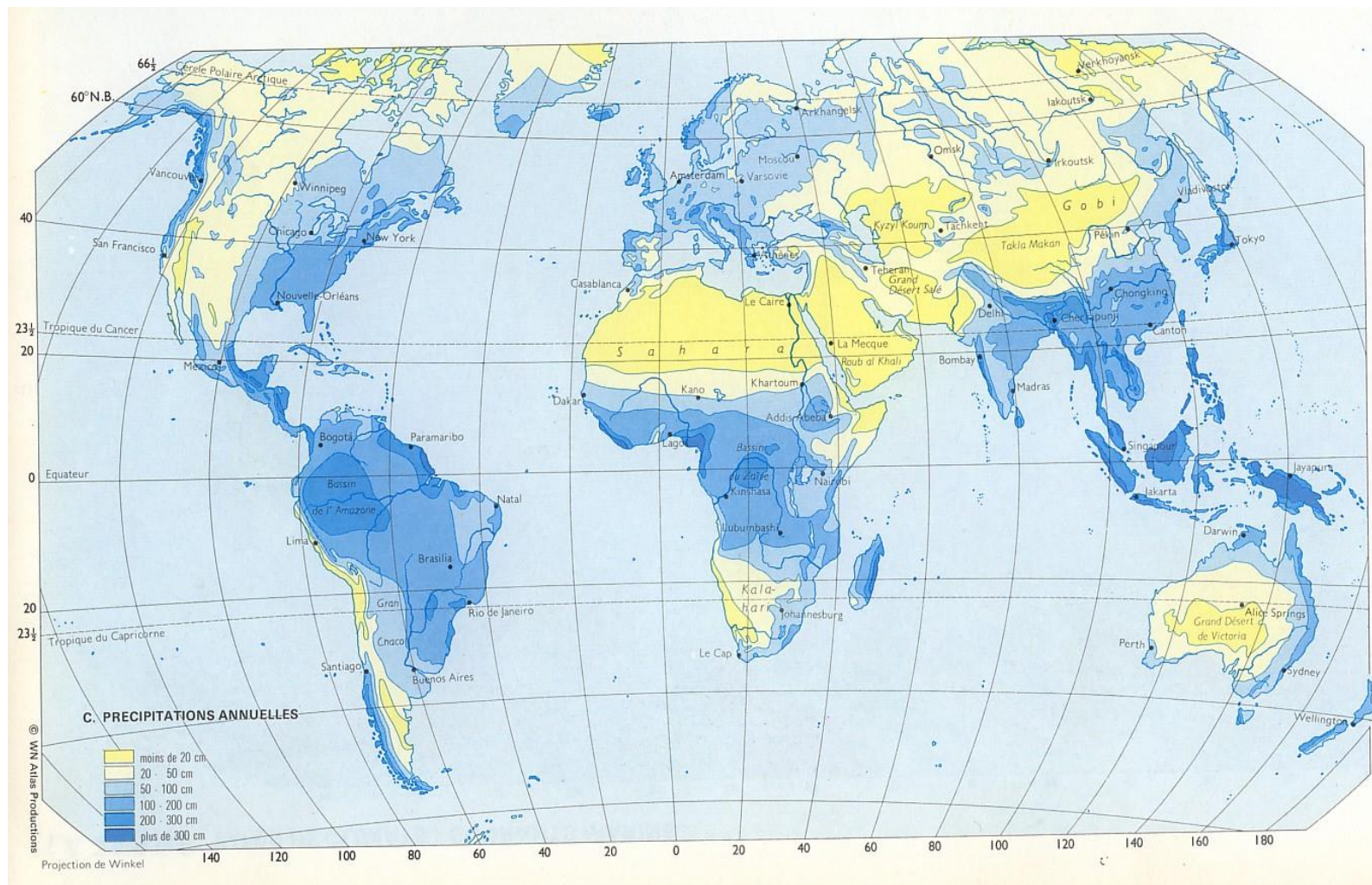
(Source : d'après Viessman et Lewis, 1996)

$$P_{\text{bassin}} = (P_1 \times S_1) + (P_2 \times S_2) + \dots + P_n \times S_n$$

Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

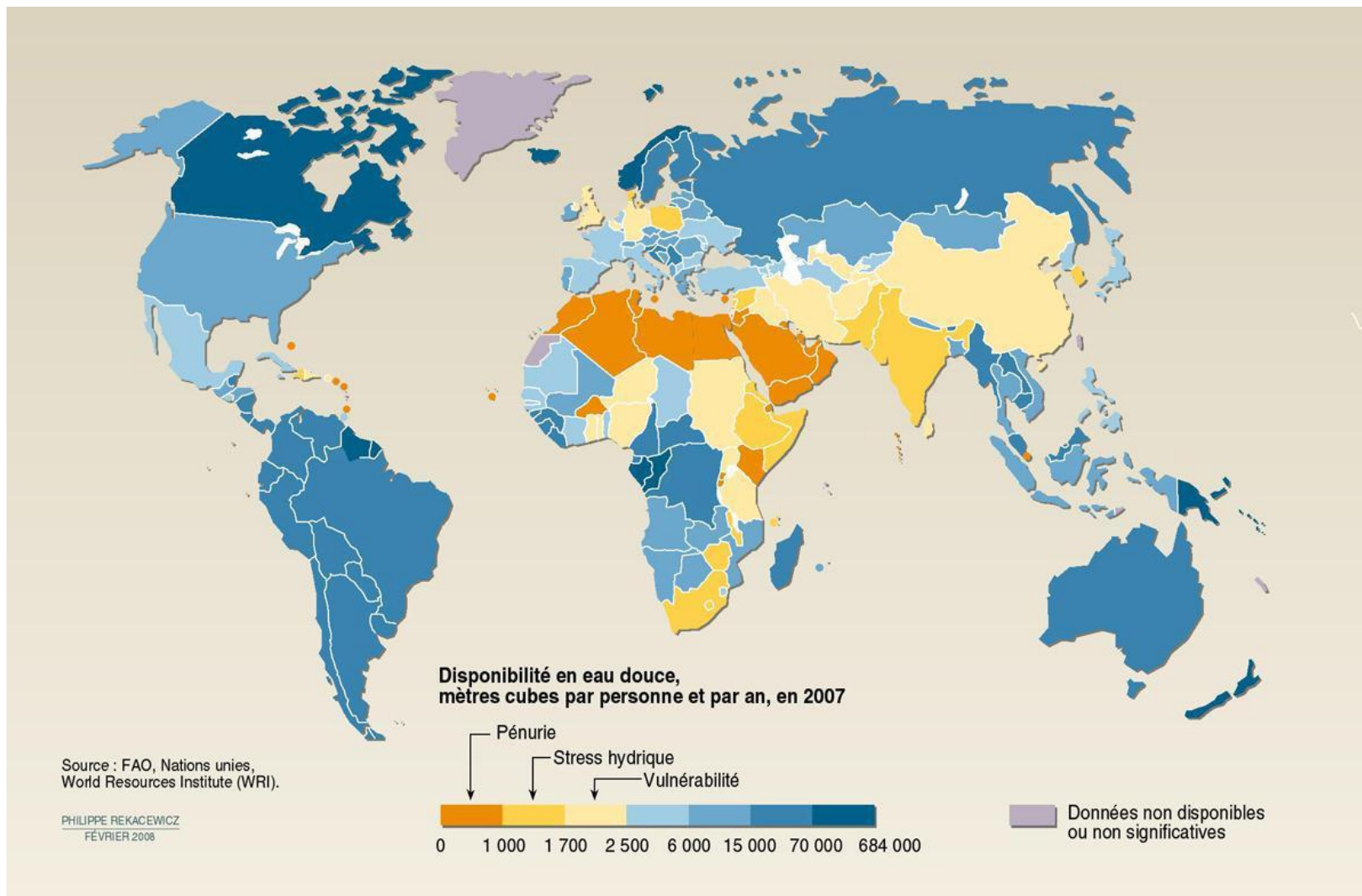
Distribution des précipitations : les cartes



Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

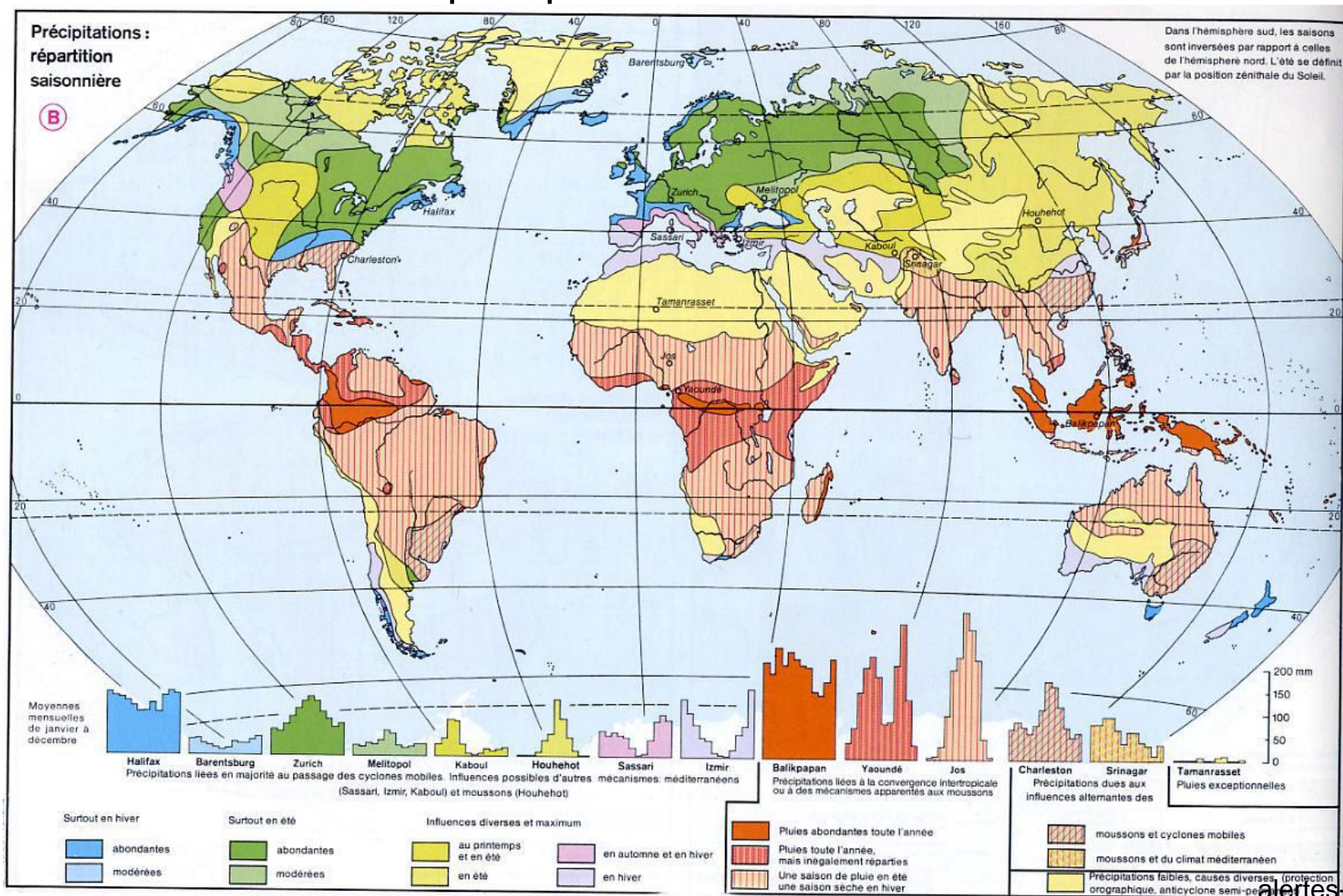
Distribution des précipitations : les cartes



Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

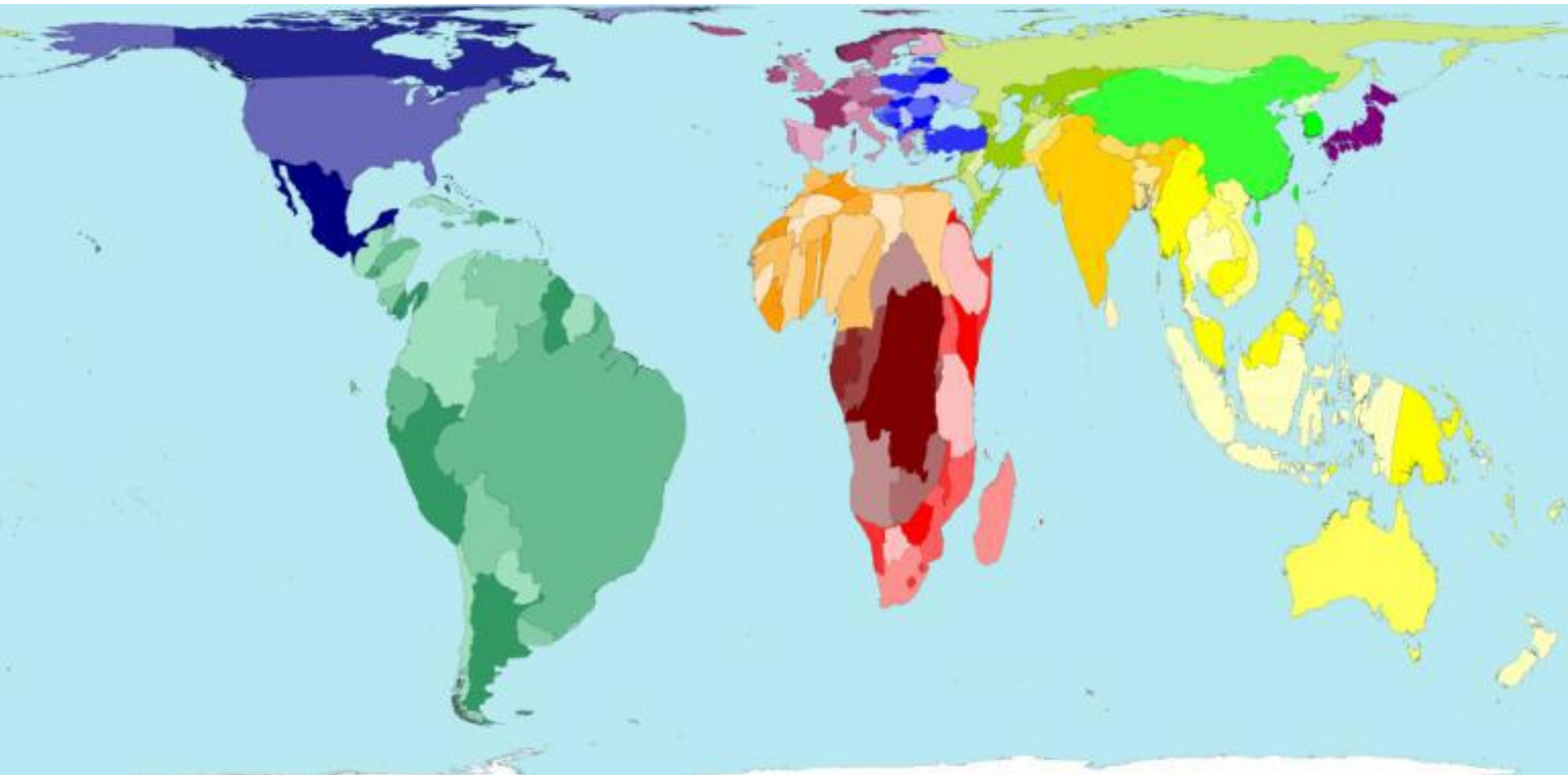
Distribution des précipitations : les cartes



Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

Distribution des précipitations : les cartes



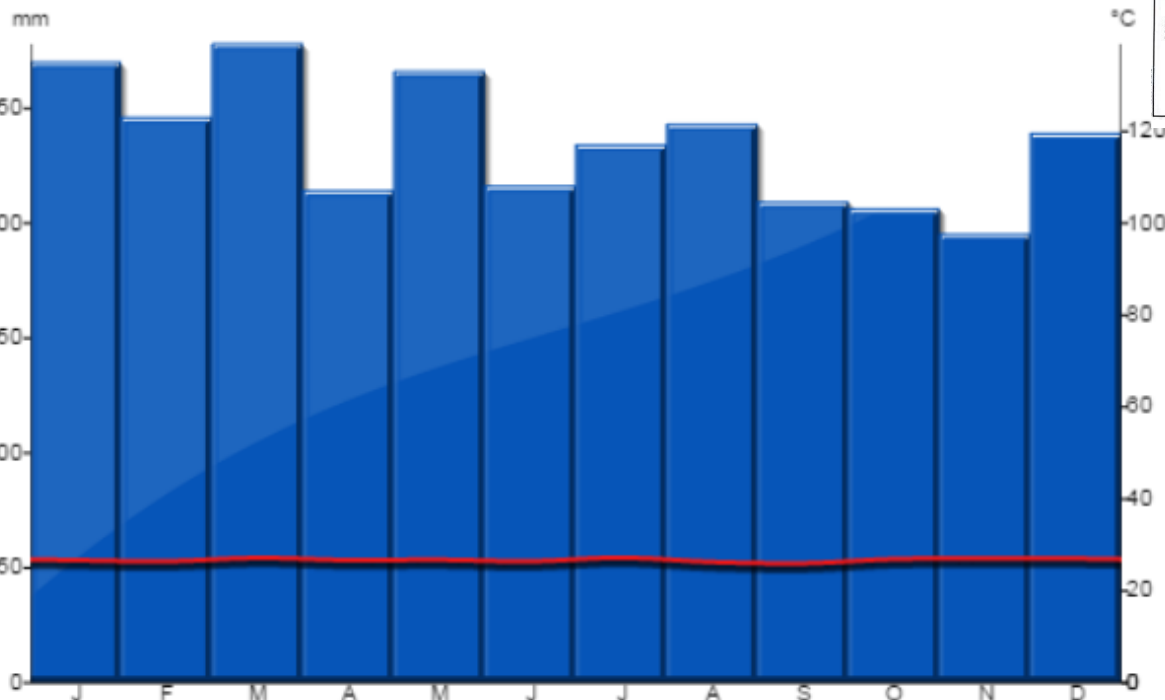
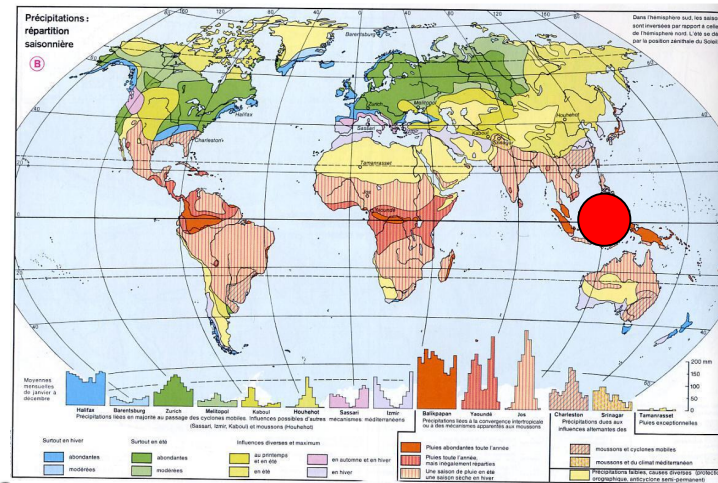
Carte en anamorphose : la taille des pays en fonction du volume des précipitations

Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

Distribution des précipitations : les cartes

Biak (Indonésie)



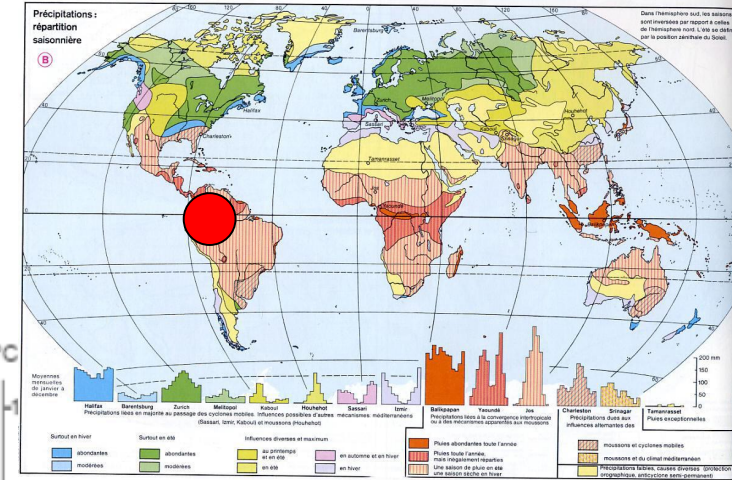
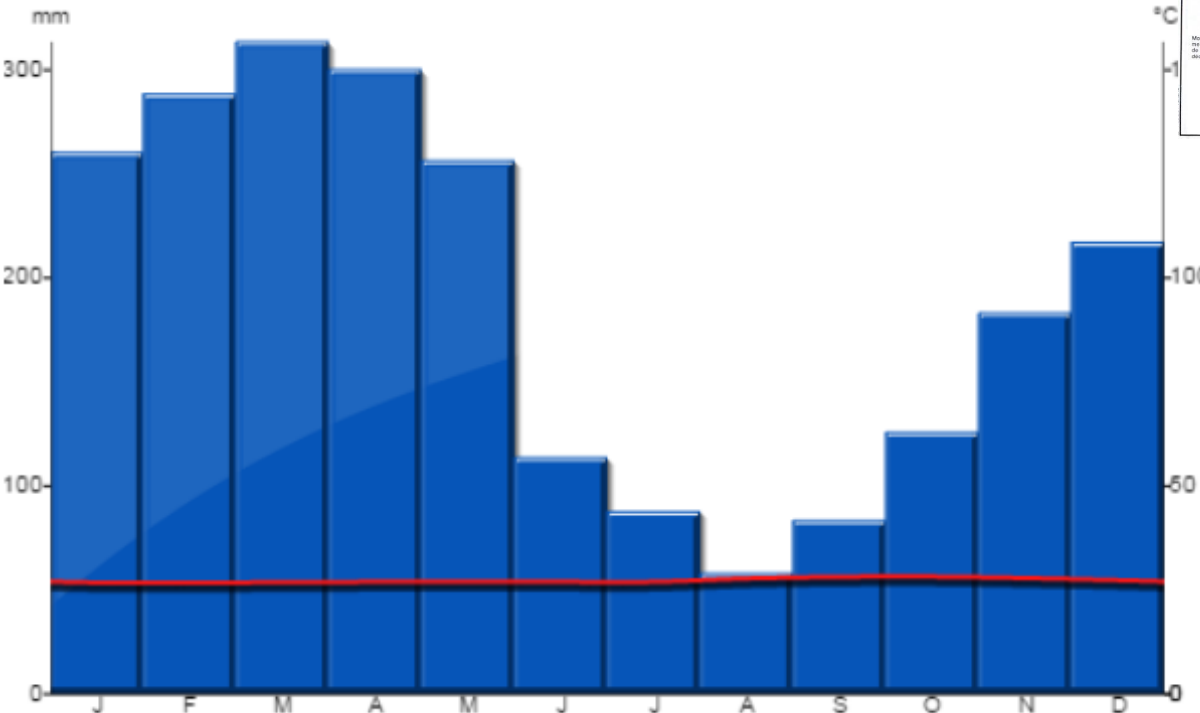
P annuelles : 2 816 mm

Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

Distribution des précipitations : les cartes

Manaus (Brésil)



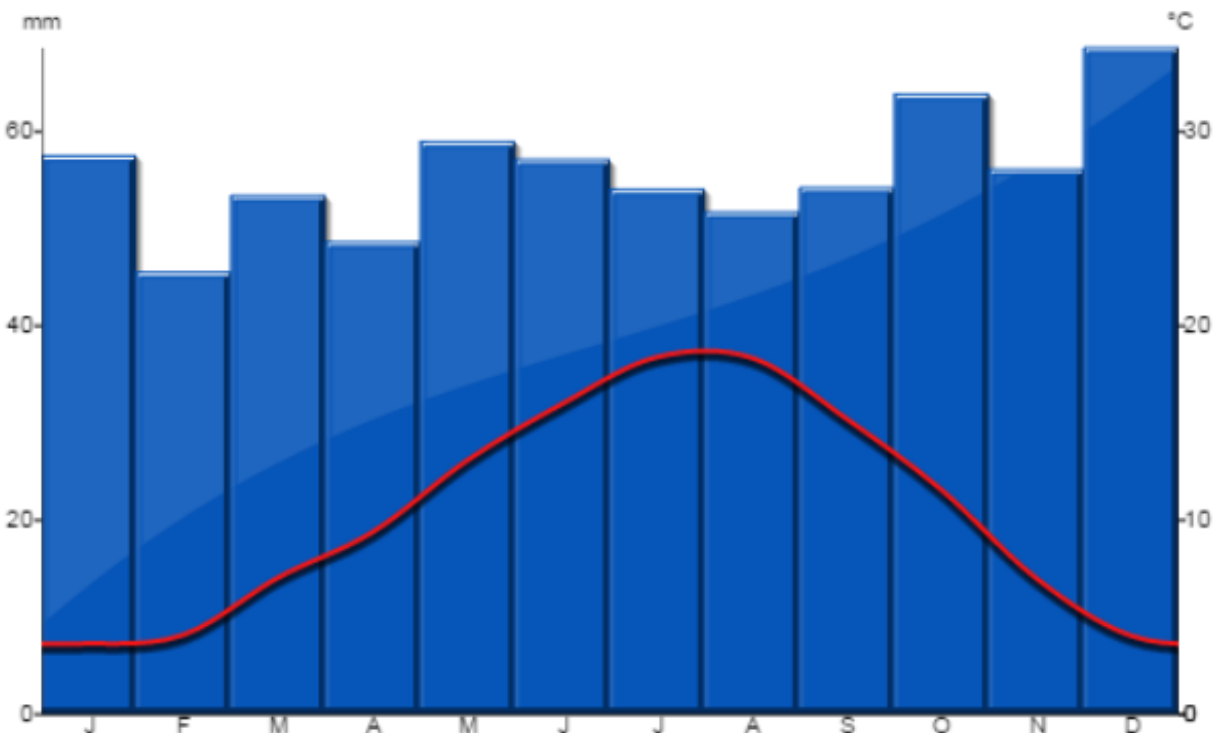
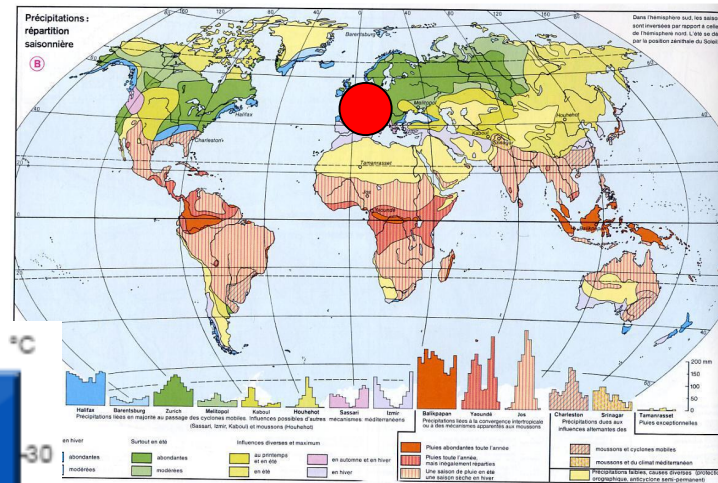
P annuelles : 2 286 mm

Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

Distribution des précipitations : les cartes

Beauvais
(France)

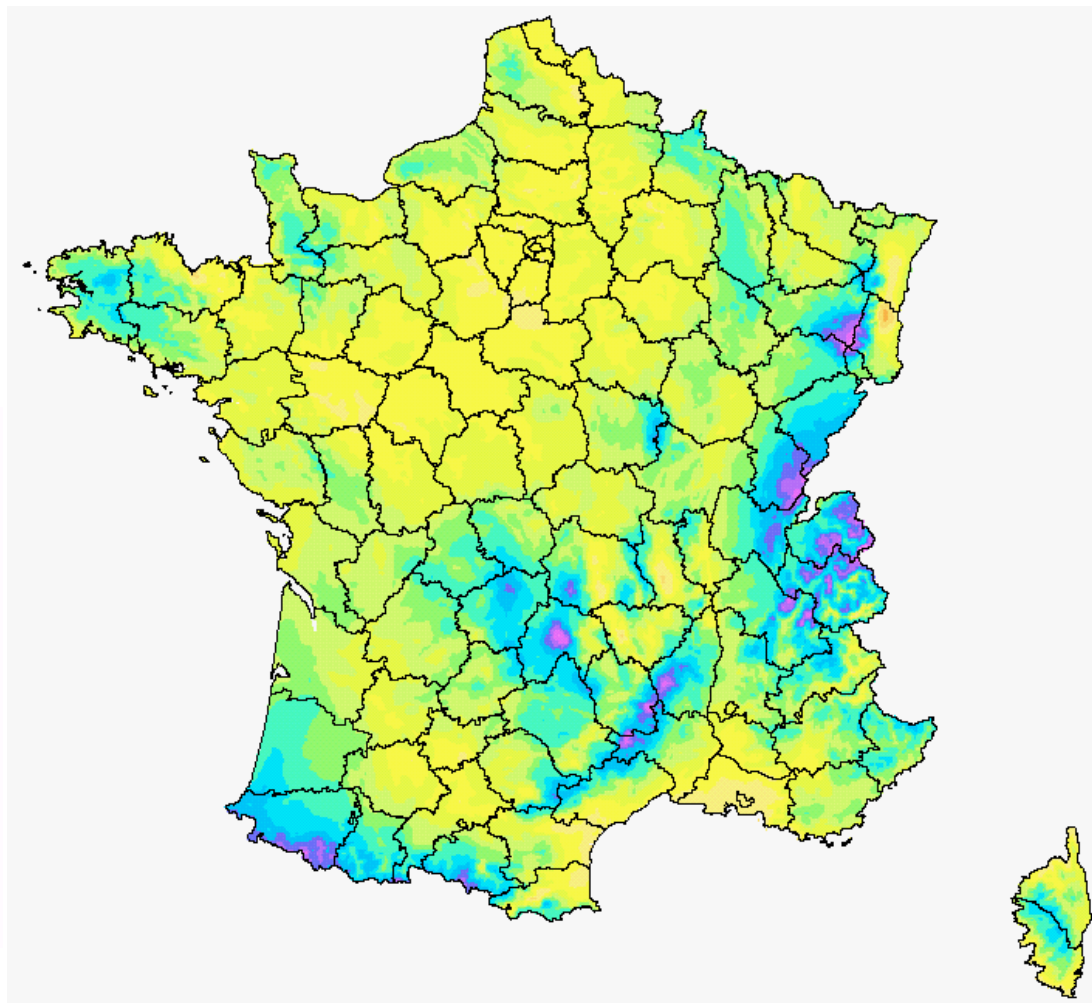
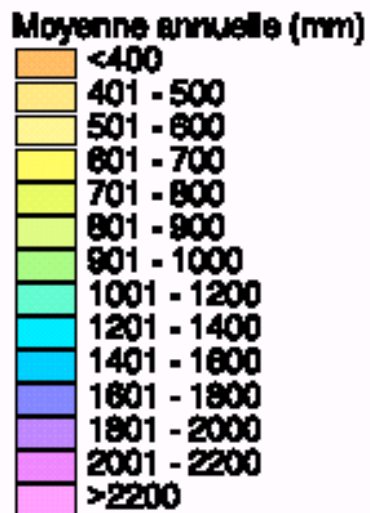


P annuelles : 670 mm

Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

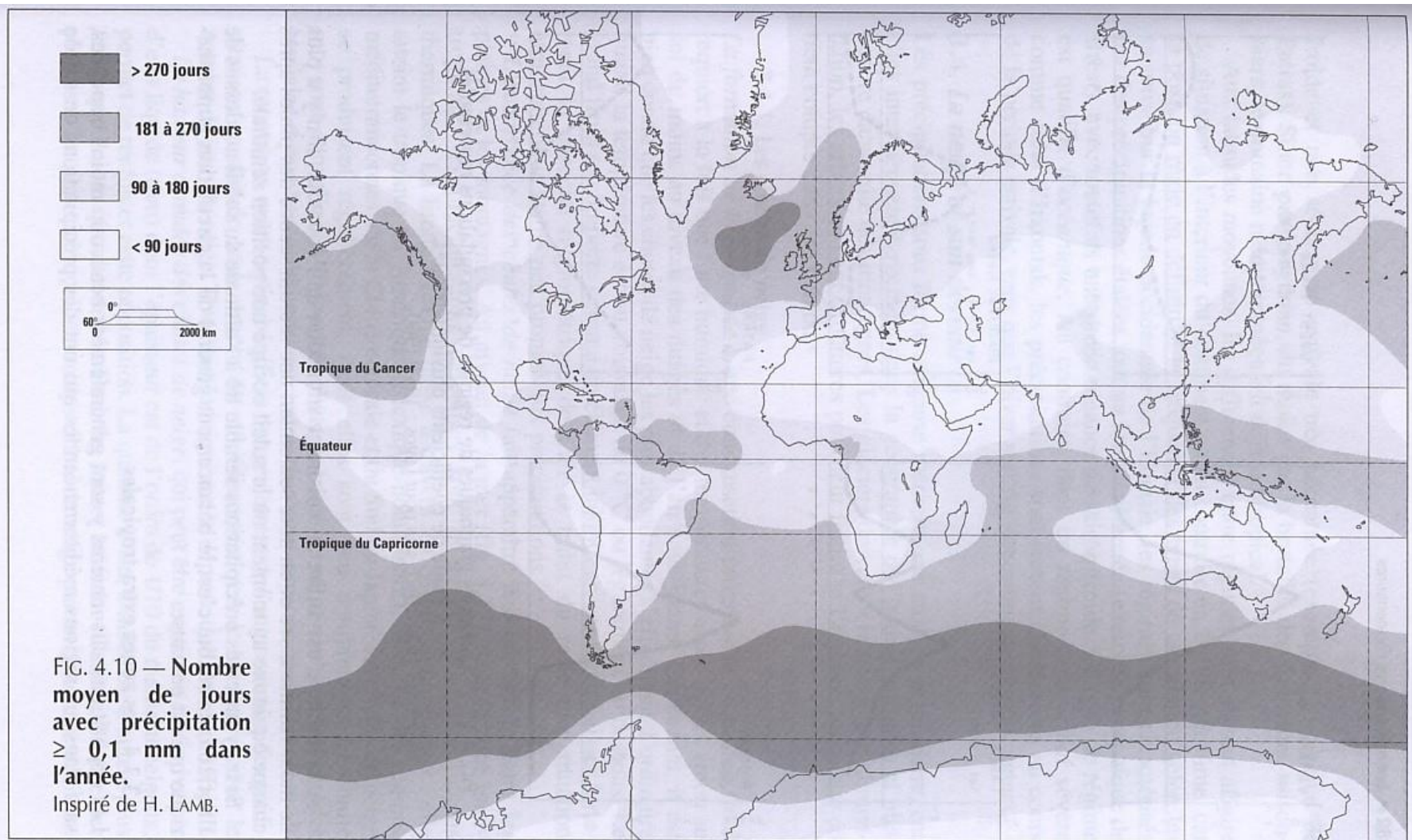
Distribution des précipitations : les cartes



Répartition des précipitations

Publication des données pluviométriques

Distribution du nombre moyen de jours de précipitations



Répartition des précipitations

Les facteurs de répartition mondiale des précipitations annuelles

❑ *La latitude*

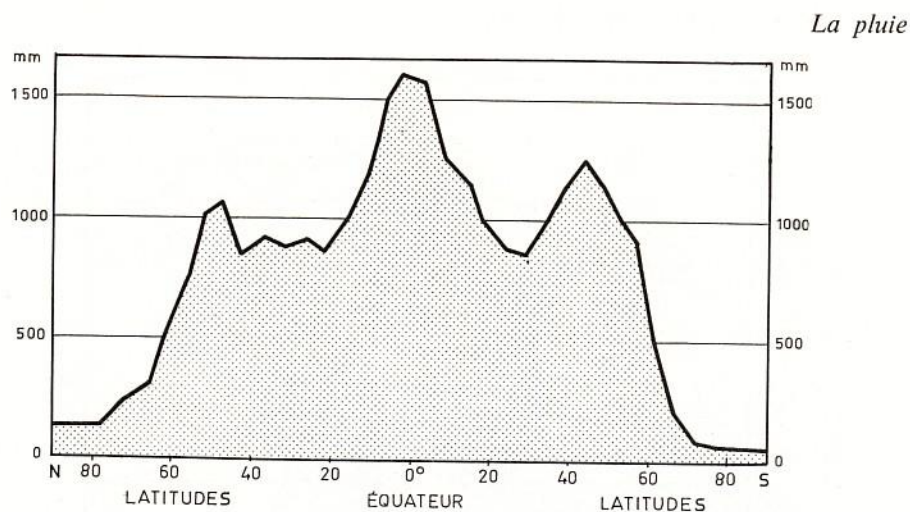


Fig. VI-4. — DISTRIBUTION DES PRÉCIPITATIONS SELON LES LATITUDES.
D'après BROOKS et HUNT.

❑ *Dissymétrie des façades de continents*

❑ *Le relief*

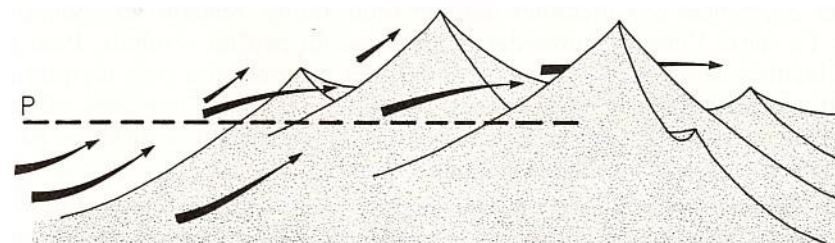


Fig. VI-6. — L'OPTIMUM PLUVIOMÉTRIQUE EN MONTAGNE.
Le niveau P se place un peu en dessous des plus hauts sommets.

- **Gradient pluviométrique**
(50 à 200 mm/100m en Europe)
- **Optimum pluviométrique**
- **Exposition au vent et sous le vent**
- **Ombre pluviométrique**
- **Contrastes de rugosité de relief**

Types de précipitations au regard du bilan hydrologique

Pluie brute (ou incidente)

**Pluie nette : Pluie brute – (interception)
ou Pluie brute – (interception + stockée)**

Pluie interceptée

Pluie utile : Pluie brute – (interception + évapot. + ruissellement)

Pluie efficace :

Partie de la pluie qui contribue au ruissellement (Glossaire International d'Hydrologie, 1992)

Fraction des précipitations génératrice d'écoulement, immédiat ou différé, superficiel ou souterrain (Margat et Cosandey, 2001)

En agriculture partie de la pluie qui reste dans le sol (Glossaire International d'Hydrologie, 1992)

Fraction de l'eau des précipitations qui répond aux besoins en eau des cultures (Brouwer et Heibloem, 1987)