

Manuel du cours de

CLIMATOLOGIE

1AS météo

Version : 2003

par : **Said EL KHATRI**

Direction de la Météorologie Nationale
Centre National de Recherches Météorologiques
Service Etudes Climatiques
B.P. 8106; Casa-Oasis; Casablanca
Tél: +212.0.22.91.36.99
Fax: +212.0.22.90.48.98
E-Mail: elkhatri@mail.com

Table des matières

Chapitre 1: Concepts fondamentaux de la CLIMATOLOGIE	5
I. Définitions:	5
I.1. La climatologie:	5
I.2. Le temps et le climat:	5
I.3. Eléments et Facteurs du climat:.....	5
I.4. Le système climatique:.....	6
I.5. Notions d'échelle d'espace et de temps:	6
II. Buts de la climatologie et démarche climatologique:	9
III. Mission de la climatologie:	10
IV. Problèmes rencontrés en climatologie:	10
Chapitre 2: Les facteurs du climat:	11
I. Composition de l'air:	11
II. La latitude et l'énergie solaire:	11
III. Le bilan général de la radiation solaire :	13
IV. La nature de la surface du sol et de son revêtement :	14
V. Le facteur "évolution de l'eau dans l'atmosphère" :	14
VI. Le facteur "relief" :	15
VII. Le facteur "circulation générale atmosphérique" :	15
Chapitre 3: Les éléments du climat:	16
I. Le rayonnement solaire:	16
II. La nébulosité:	16
III. La température de l'air:	16
IV. Les précipitations:	17
V. Evaporation:	17
VI. L'humidité de l'air:	18
VII. La pression atmosphérique:	18
VIII. Le vent:	18
IX. La transparence de l'air (ou la visibilité horizontale):	18
Chapitre 4: Observation météorologique:	19
I. Buts et qualité d'une observation:	19
II. Contraintes dans l'implantation d'un réseau météorologique:	19
III. Les observations météorologiques - réseau du Maroc associé:	21
III.1. Observation en surface:.....	21
III.2. Observation en altitude:	21
III.3. Observation satellitaire:.....	22
III.4. Observation radar:	22
III.5. Observation marine:	22
IV. La veille météorologique à la Direction de la météorologie nationale du Maroc	24
IV.1. Etat du réseau national du Maroc: (à la date 2001)	25

IV.2. Plan de développement :	26
V. Régionalisation de la DMN :	27
V.1. Actions entamées :	28
V.2. Actions futures :	28
Chapitre 5 : Les Données Climatologiques	29
I. Calcul des moyennes:	29
II. Calcul des totaux:	30
II.1. Précipitation:	30
II.2. L'insolation:	30
III. Calcul des fréquences:	30
IV. Classement:	31
V. Les normales climatiques:	31
VI. Homogénéité des observations :	31
Chapitre 6 : La Banque de Données Météorologiques	32
I. Analyse de l'existant	32
I.1. Organisation et attributions du service banque de données climatologiques	32
I.2. Les procédures d'alimentation de la base actuelle	32
II. Evaluation de la situation actuelle de la BDC	34
II.1. La gestion	34
II.2. Techniques	35
III. Définition et conception du futur système	35
III.1. Scénario de mise en œuvre	35
III.2. Etapes de réalisation du projet	38
Chapitre 7 : Recettes Climatologiques classiques	40
I. Les tracés graphiques:	40
I.1. Diagramme polaire:	40
I.2. Diagramme en bâton:	41
I.3. Histogramme:	41
I.4. Polygone et polygone cumulatif:	41
I.5. Courbe	41
I.6. Climatogramme:	41
I.7. Nuage de points d'observation:	41
I.8. Cartogrammes:	41
II. Erreurs à éviter:	41
Annexe I: Le Système Mondial de Télécommunication (SMT)	42
I. Les fonctions assignées au système mondial de télécommunications météorologiques....	42
II. Le réseau du SMT	42

Remarques importantes:

- 1) Le présent manuel du cours de Climatologie est le mariage entre la première partie du cours de Climatologie de l'ENM de Météo-France réalisé par Mme Maryse DESROSIERS et Mme Victorine PERARNAUD et des informations développées dans d'autres publications sur la climatologie (voir références à la dernière page). Par ailleurs, il adapte le reste du cours au contexte du Maroc avec la participation d'autres collègues notamment :
 - Mr. B. BOURHIM pour la partie réseau marocain d'observation
 - Mlle H. KAMILE pour la partie banque de données
- 2) La version actuelle n'est pas définitive. Des améliorations seront introduites prochainement. N'hésitez donc pas de transmettre vos remarques et suggestions afin d'améliorer le présent manuel.

CHAPITRE 1: CONCEPTS FONDAMENTAUX DE LA CLIMATOLOGIE

I. Définitions:

I.1. La climatologie:

La climatologie est la science du climat. Mais son domaine d'application n'est pas restreint au climat. Il s'agit d'une discipline beaucoup plus vaste. Elle emprunte à d'autres sciences des notions ou des résultats dont elle a besoin en faisant appel à des moyens techniques de plus en plus sophistiqués... On peut en citer quelques unes: toutes les sciences concernant l'atmosphère comme la physique, la chimie, mais également la biologie, l'agronomie, l'hydrologie, l'économie, l'informatique .. et surtout les statistiques pour le traitement et l'utilisation rationnelle des données.

I.2. Le temps et le climat:

Le TEMPS est considéré comme l'état physique de l'atmosphère en un lieu donné et à un moment donné. Il se décrit en fonction de divers éléments météorologiques exprimés en valeurs instantanées (pression, température, ...) ou en valeurs moyennes ou cumulées sur des courtes périodes (vent: moyen du vent sur 10 minutes, durée d'insolation au cours d'une journée, etc.).

Le CLIMAT est l'aspect du temps sur une longue période en un domaine spatial déterminé. C'est un ensemble ordonné des états de l'atmosphère et de leurs interactions avec la surface sur une période donnée et sur une étendue déterminée.

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) définit le climat comme:

un ensemble d'éléments météorologiques
pris sur une *période donnée* qui concourent à donner caractère et *individualité météorologiques*
à un domaine spatial déterminé.

Le climat sera donc caractérisé par différents critères statistiques des paramètres météorologiques. Ces paramètres sont appelés éléments du climat.

I.3. Eléments et Facteurs du climat:

Les éléments du climat: des paramètres physiques et des observations visuelles qui caractérisent le climat: ils résultent :

soit directement de la lecture ou de l'enregistrement d'un appareil de mesure: thermomètre, pluviomètre, ...

soit des observations visuelles codifiées directement par l'observateur: on peut citer par exemple la détermination de la couverture nuageuse ou de la morphologie du type de nuages.

D'autres éléments interviennent dans la caractérisation climatique mais ne font pas l'objet de relevés systématiques dans les stations météorologiques: champ électrique de l'atmosphère, radioactivité de l'air, sa composition chimique, sa teneur en micro-organismes, etc.

Les facteurs du climat: ceux sont des facteurs qui agissent sur la variabilité des éléments du climat. On distingue:

les facteurs astronomiques : qui font intervenir la rotation de la Terre sur elle-même et autour du soleil, entraînant une variation de la quantité d'énergie solaire reçue au niveau de la surface terrestre au cours d'une journée et au cours de l'année.

les facteurs météorologiques : qui tiennent compte de la circulation générale, de l'effet des masses d'air, etc.

les facteurs géographiques : qui regroupent l'effet d'altitude, de la position par rapport à la mer, etc.

les facteurs anthropogéniques : parmi lesquels le rejet de gaz carbonique dans l'atmosphère tient un rôle important.

Remarques:

- La distinction entre les éléments du climat et les facteurs du climat est assez artificielle. Elle n'est d'ailleurs pas toujours bien nette.
- Ceux sont les facteurs climatiques relativement constants qui permettent de déterminer la partie prévisible des variations atmosphériques.

I.4. Le système climatique:

Le système climatique comprend:

l'atmosphère: constitué par l'enveloppe gazeuse (air sec, vapeur d'eau, impureté et autres gaz: gaz carbonique, ozone, etc.)

l'hydrosphère: comprend l'ensemble de toutes les étendues liquides (océans, mers, cours d'eau, étendues lacustres, fleuves, ..)

la cryosphère: constituée par l'enveloppe glaciaire ou neigeuse (calottes glaciaires, polaires ou montagneuses, banquises et glaces de mer, étendues neigeuses,...).

la lithosphère: comprend les éléments de l'enveloppe corticale rocheuse (masses continentales) et les aérosols.

la biosphère: constituée par l'ensemble des êtres vivants (couvert végétal, monde animal, activités humaines ...)

Remarque: Ces différents éléments du système climatique ont été rangés par ordre d'importance décroissante sur le climat à échelle globale de la planète. Mais, à échelle plus réduite, chacun de ces éléments peut tenir un rôle déterminant.

I.5. Notions d'échelle d'espace et de temps:

Il est nécessaire en climatologie de bien préciser l'échelle d'espace et l'échelle de temps choisis. Les valeurs représentatives des éléments du climat sont fonction de la période et du domaine spatial étudiés.

Il est d'usage en climatologie de définir quatre échelles spatio-temporelles principales, associées à quatre termes désignant le climat:

L'échelle globale ou planétaire: associée au terme « climat global »:

Echelle de temps: 1 semaine et plus.

Echelle d'espace: 10 000 kilomètres à tout le globe.

Pour indiquer les processus et les phénomènes qui s'étendent sur toute l'atmosphère, on dit que ce sont des phénomènes à l'échelle hémisphérique ou à l'échelle globale. On peut citer comme exemple les changements saisonniers qui se produisent simultanément sur tout le

globe, la circulation générale, l'échange d'énergie par rayonnement entre la Terre et l'espace qui l'entoure, etc.

La grande échelle ou échelle synoptique: associée au terme « climat régional »:

Echelle de temps: 12 heures à une semaine.

Echelle d'espace: 100 à 10 000 kilomètres.

Les phénomènes synoptiques ou à grande échelle sont, par exemple, des dépressions qui se déplacent avec leurs systèmes frontaux.

L'extension de chaque climat régional est variable: elle dépend de la disposition du relief, de la proximité d'une zone océanique, etc.

La moyenne échelle ou méso-échelle: associée au terme « topo climat » ou « climat local »:

Echelle de temps: 1 à 12 heures.

Echelle d'espace: 1 à 100 kilomètres.

A cette échelle, le climat subit l'influence de la disposition géographique du relief ou topographie.

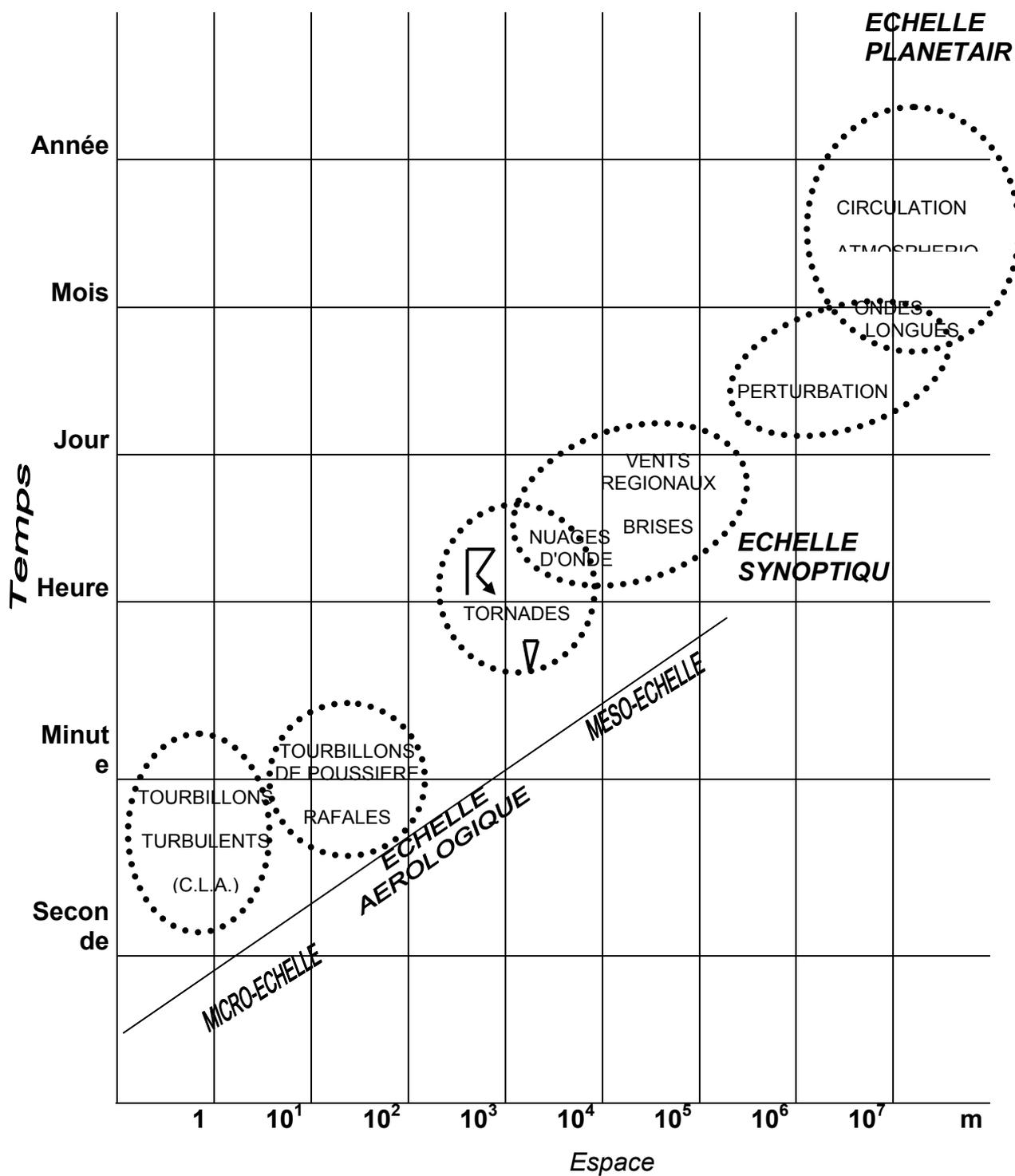
Les processus à échelle moyenne engendrent des orages et des tornades ainsi que des phénomènes tels que la brise de Terre et la brise de mer ou encore la formation de nuages lenticulaires au sommet des pics montagneux.

La petite échelle ou micro échelle: associée au terme « microclimat » :

Echelle de temps: 1 seconde à 1 heure.

Echelle d'espace: inférieure à un kilomètre.

Les phénomènes qui peuvent être observés en un lieu donné sont des phénomènes à petite échelle: échauffement ou refroidissement sur la paroi d'un bâtiment, évaporation au-dessus d'un bassin qui modifie les caractéristiques de la masse d'air sus adjacente, refroidissement au dessous d'un arbre le jour quand l'air est calme, turbulence mécanique engendrée par un bosquet, etc.



CLASSIFICATION DES ECHELLES DE PHENOMENES METEOROLOGIQUES

Remarques:

- a) Les limites temporelles et spatiales des diverses échelles sont approximatives. Il n'est pas possible de fixer des limites rigoureuses pour chaque type d'échelle. Mais, il est important de retenir qu'il se produit dans l'atmosphère des processus, des phénomènes et des événements qui ne peuvent être discernés qu'en se référant à des échelles appropriées de temps et d'espace. Ainsi, ce qui est perceptible à une échelle ne l'est pas toujours à une autre: par exemple, l'effet de brise n'est pas perceptible à l'échelle globale. D'où l'intérêt en climatologie de préciser à quelle échelle on veut travailler et de se référer à des données représentatives de cette échelle.
- b) On peut indiquer qu'une station météorologique satisfaisant aux règles internationales relatives à son environnement est représentative de son propre topo climat, c'est à dire dans un rayon d'une dizaine de kilomètres autour du site de mesures. Mais il est exclu d'extrapoler les résultats au niveau station pour fournir des renseignements à micro échelle pour un usager de la région. L'intéressé doit installer sur son site, pendant une période déterminée, une station d'observation effectuant des mesures au pas de temps adéquat.
- c) Lors d'une étude climatologique, on doit avoir conscience que les effets des processus à une certaine échelle peuvent être modifiés par une activité marquée dont l'échelle est plus grande: par exemple, une brise de mer à échelle moyenne ne peut pas se développer lors du passage d'une perturbation à échelle synoptique.

II. Buts de la climatologie et démarche climatologique:

La climatologie a essentiellement pour but:

- a) l'analyse des éléments météorologiques qui constituent le climat,
- b) la recherche des causes qui expliquent les différents climats et les fluctuations qui les accompagnent,
- c) l'étude de l'interaction du climat et des sols, des matériaux, des êtres vivants, des techniques et de l'activité économique et même sociale.

Dans la démarche climatologique, on distingue plusieurs phases associées à ces différents buts:

- 1) la **climatologie descriptive** (ou **analytique**): c'est l'étude géographique des conditions météorologiques caractérisant chaque région. Elle permet, à partir d'observation, à la description des évolutions de l'atmosphère aux différents points du globe,
- 2) la **climatologie explicative** (ou synthétique): elle consiste à étudier les propriétés et l'origine des fluctuations ou des événements climatiques avec une interprétation physique ou dynamique. Elle englobe ainsi:
 - la **climatologie physique**: qui tente à mettre en évidence des mécanismes physiques du comportement atmosphérique, à partir d'un jeu de données d'observation,
 - la **climatologie dynamique**: qui consiste à retrouver ce que révèle l'observation par tous les moyens appropriés et en particulier par la modélisation numérique. C'est une branche théorique de la climatologie basée sur nos connaissances de la mécanique des fluides, de la turbulence, des transferts énergétiques, des conditions régissant les échanges entre milieux différents ... et sur les résultats des statistiques. Le but de la climatologie dynamique est de mieux connaître les mécanismes de la circulation générale atmosphérique et les échanges énergétiques au niveau du système « Terre atmosphère » afin de mieux comprendre les variabilités ainsi que les changements du climat à longue échéance. La climatologie dynamique est un moyen de base pour l'élaboration de prévision à moyen et long terme (principalement la prévision saisonnière),

- 3) la **climatologie appliquée**: c'est l'application de la climatologie à des domaines autres que l'atmosphère elle-même puisque le climat agit constamment sur diverses sortes d'activités. À partir des données climatologiques, il est possible de réaliser des travaux permettant d'apporter une aide à l'amélioration des activités humaines variées tributaires du climat. Ainsi existe: l'*agroclimatologie*, l'*hydroclimatologie*, la *bioclimatologie*, la *climatologie aéronautique*, la *climatologie marine* ...

III. Mission de la climatologie:

Pour accéder à ses différents buts, un service climatologique a plusieurs missions à remplir:

- 1) Collecter des données: rassembler, contrôler et conserver toutes les informations météorologiques disponibles,
- 2) Archiver: transférer ces informations sur supports traitables informatiquement. Constituer une banque de données. Contrôler, gérer, conserver et mettre à jour cette banque,
- 3) Traiter les données: exécuter, éventuellement à la demande, des travaux statistiques ou d'études générales de synthèse destinées à affiner les connaissances acquises sur le climat,
- 4) Communiquer l'information: mettre les archives et les différents travaux à la disposition des usagers. Publier, périodiquement ou en cas de besoin, les informations sous forme de rapports
- 5) Gérer les réseaux climatologiques,
- 6) Participer à différents programmes internationaux de recherche en climatologie.

IV. Problèmes rencontrés en climatologie:

Parmi les problèmes rencontrés en climatologie:

- 1) des travaux doivent être menés à partir de données imparfaites (série trop courtes, ou non homogènes, valeurs manquantes, ...)
- 2) certaines études climatologiques nécessitent l'analyse de paramètres qui ne font pas l'objet de relevés systématiques ou qui ne sont pas archivés sur support traitable,
- 3) les paramètres relevés en station et le pas de temps des mesures ne sont pas toujours pertinents pour l'ensemble des utilisations potentielles et pour des études à différentes échelles spatio-temporelles,
- 4) il est souvent difficile de cerner les besoins climatologiques des différents usagers. Ceci demande une connaissance approfondie du domaine concerné par l'assistance.

CHAPITRE 2: LES FACTEURS DU CLIMAT:

Les phénomènes qui intéressent le temps (et donc le climat) d'une manière directe siègent dans les 10 premiers kilomètres de l'atmosphère à partir du niveau sol. L'ensemble des phénomènes qui influencent le climat directement ou indirectement se manifeste dans les 40 premiers kilomètres.

A cause de l'effet de la pesanteur, 50% du poids de l'atmosphère se trouve dans les 5 premiers kilomètres qui englobent 90% de la vapeur d'eau existante dans l'atmosphère. Ainsi les facteurs du climat sont essentiellement la composition de l'air, la rotation de la Terre.

I. Composition de l'air:

a) l'air sec:

L'air sec est composé essentiellement d'Azote (78,09%) et d'Oxygène (20,95%). Le un pour cent restant comporte d'autres gaz, tel que : Argon, Anhydride carbonique, Néon, Hélium, Krypton, Hydrogène, Xénon, Ozone et le Radon.

La composition de l'air sec est pratiquement constante en terme de proportion jusqu'à une altitude de 80 kilomètre. Cependant on note que:

- la teneur de l'air en gaz carbonique est très variable, elle dépend de l'activité industrielle dans les basses couches,
- la proportion d'Ozone au voisinage de la mer est très faible, elle devient plus importante en altitude dans la couche d'Ozone qui s'étend en moyenne entre 15 et 40 kilomètres

b) la vapeur d'eau:

Le pourcentage de la vapeur d'eau dans l'air est très variable dans le temps et dans l'espace. Il dépend de plusieurs conditions. Mai le volume occupé par la vapeur d'eau ne peut dépasser 4 à 5%.

On note par ailleurs que l'eau existe dans l'air sous ses autres formes: état solide et liquide constituant ainsi les divers types de nuages.

c) Les impuretés (pollution atmosphérique):

Les impuretés dans l'atmosphère sont de deux sortes:

- Les aérosols: les causes sont soit naturelles (vents de sable, poussière volcanique, pollen, ..) soit dues aux activités humaines (fumées d'usines, ...)
- Les gaz polluants: anhydride sulfureux, oxyde de carbone, hydrocarbure, les Chloro-Fluoro-Carbones (CFCs), les Hydro-Fluoro-Carbones (HFCs), ...

II. La latitude et l'énergie solaire:

La radiation solaire est la première source d'énergie pour le système Terre - atmosphère. L'énergie solaire reçue sur un point de la Terre change en fonction de l'espace et du temps à cause:

- du mouvement de la Terre autour de son axe,
- et du mouvement de la Terre autour du soleil.

Ces deux mouvements engendrent:

a) une durée inégale des jours et des nuits:

Le vecteur directeur de l'axe de rotation de la Terre est fixe et forme avec le plan écliptique (plan de l'orbite de la Terre autour du soleil) un angle constant de 66°33'.

Ce qui donne que:

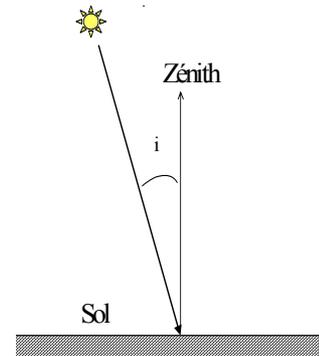
- à l'équateur: la durée du jour est égale à la durée de la nuit toute l'année,
- dans les autres régions, la durée du jour est différente de celle de la nuit, sauf aux équinoxes (21 Mars et 23 Septembre). Cependant on note que:

- sur la zone tropicale (entre les tropiques du Cancer [23°27'Sud] et du Capricorne [23°27'Nord]), il y a peu de variation entre la durée du jour et celle de nuit,
- sur les zones tempérées (entre 23°27' et 66°33'): l'inégalité entre la durée du jour et celle de la nuit augmente en fonction de la latitude
- sur les zones glaciales (arctique: pôle nord, et antarctique: pôle sud): on parle du jour polaire et de nuit polaire qui durent aux pôles 6 mois chacun.

b) une incidence variable des rayons solaires: i

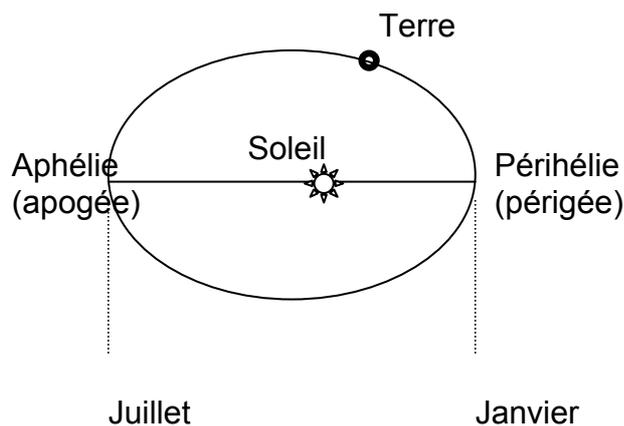
Soit i : l'angle d'incidence et w : la quantité d'énergie reçue sur le sol horizontal

- w est proportionnel à $\cos(i)$,
- la masse de l'atmosphère traversée est proportionnelle à l'angle i ,
- à midi on a:
 - à l'équateur: $i=0^\circ$ aux équinoxes et $i \leq 23^\circ 27'$ au cours de l'année,
 - au pôle nord: $i=90^\circ$ (w est donc nul) aux équinoxes, il descend à $66^\circ 33'$ pendant l'été. Pendant l'hiver w est négatif.



c) une distance Terre - Soleil variable: (à cause de la forme elliptique de l'orbite de la Terre autour du soleil). On note que:

- La Terre reçoit 7% moins d'énergie en Juillet qu'en Janvier,
- La durée de l'hiver boréal (i.e. été austral) dépasse de 7.5 jours celle de l'été boréal (i.e. hiver austral)



III. Le bilan général de la radiation solaire :

La radiation solaire est l'énergie transmise, par rayonnement solaire, au globe Terrestre et à son atmosphère.

On distingue:

a) le bilan radiatif global : qui est nul

Ce qui explique que le système "Terre - Atmosphère" est en équilibre énergétique et donc le climat global de la Terre est stable vis à vis des échanges énergétiques entre le système "Terre - Atmosphère" et son extérieur.

$$S + R + T = 0$$

Avec :

S: rayonnement solaire incident reçu sur la surface sommet de l'atmosphère

$$S = 175 \text{ milliard de Mégawatts, } = 343 \text{ Watts/m}^2$$

R: rayonnement solaire réfléchi, diffusé vers l'espace

$$R = -53 \text{ milliard de Mégawatts } = 30\% \text{ de } S$$

T: rayonnement infrarouge Terrestre (rayonnement propre au globe Terrestre)

$$T = -122 \text{ milliard de Mégawatts } = 70\% \text{ de } S$$

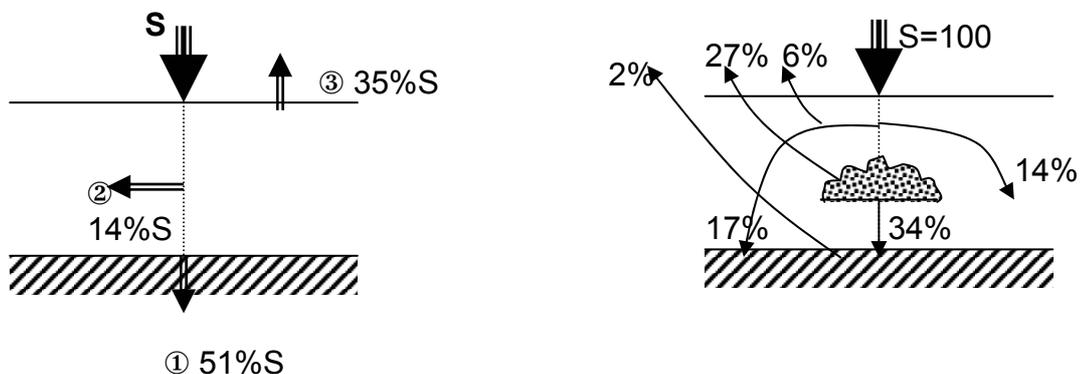
Remarques:

- le bilan radiatif à un instant donné en un point donné du globe n'est pas nul. En effet:
 - S: dépend de l'angle d'incidence des rayons solaires (i) qui varie en fonction de la latitude, la saison et l'heure du jour. i peut être calculé mathématiquement.
 - R: dépend de la couverture végétale, de la composition de l'atmosphère et de la réflectivité du sol (mesurée par l'albédo)
 - T: dépend de la matière
- En moyenne annuelle, le bilan radiatif est positif aux basses latitudes [40 Sud, 40 Nord] et négatif près des pôles.

b) la radiation solaire totale: (S)

La radiation solaire total reçue par le système "Terre - Atmosphère" est répartie en

- ① Radiation solaire absorbée par la Terre: cette radiation est formée d'une partie du rayonnement solaire direct (34%) et d'une partie du rayonnement diffusé par l'atmosphère (17%)
- ② Radiation solaire absorbée par l'atmosphère (14% de S)
- ③ Radiation solaire diffusée vers l'espace (35% de S dont 27% dus aux nuages, 6% dus aux rayonnement diffusé par l'atmosphère vers l'espace et 2% dus à l'albédo)



- c) Le rayonnement global (qui intéresse le sol) = le rayonnement solaire direct + rayonnement diffusé par l'atmosphère.
N.B. Le rayonnement global n'est pas entièrement absorbé par le sol, mais partiellement réfléchi et diffusé.
- d) L'albédo: le rapport, exprimé en pourcentage, entre le flux d'énergie non absorbée par le sol sur le flux d'énergie incident.
L'albédo dépend en premier lieu des caractéristiques de la surface du sol et du rayonnement (intensité et angle). Il est de l'ordre de 80 à 90% pour la neige fraîche, 13 à 18% pour le sable et 7 à 9% pour un sol cultivé et végétation.

IV. La nature de la surface du sol et de son revêtement :

Comme facteur du climat, la surface du sol se caractérise par: son albédo, sa capacité calorifique, son degré d'humidité et de perméabilité, sa couleur, son revêtement végétal, son exposition, son orientation et sa forme. Ces éléments interviennent dans les échanges d'énergie calorifique et d'humidité entre l'atmosphère et la Terre.

Il est à noter que:

- Le sol présente une faible conductivité thermique: seule la couche superficielle qui s'échauffe puis cède sa chaleur à l'atmosphère (par contact, par conductivité et par rayonnement).
- La température au voisinage du sol est commandée essentiellement par les échanges d'énergie entre le sol et l'atmosphère.
- La végétation qui recouvre le sol réduit l'échauffement (le jour) ainsi que le refroidissement du sol (la nuit). Ce qui donne une amplitude diurne de température moins importante pour un sol couvert que pour un sol nu.
- La température des mers s'élève et s'abaisse plus lentement que celle du sol, ce qui donne naissance aux phénomènes de brise de mer et de brise de terre et fait que les mers jouent un rôle de régulateur du climat pour les zones voisines (brassage de l'air entre la terre et la mer), mais aussi à l'échelle globale: on rappelle que la surface du globe est constituée de 71% de mer et de 29% de terre. Cette répartition devient (respectivement) 60% et 40% pour l'hémisphère nord et 82% et 18% pour l'hémisphère sud.
- L'amplitude thermique $T_x - T_n$ est plus faible près des mers que loin d'elles.

V. Le facteur "évolution de l'eau dans l'atmosphère" :

Il est bien connu que l'eau suit un cycle de vie en passant par ses différentes phases (état gazeux, liquide, solide). La transformation de l'eau d'un état à un autre est accompagnée d'un échange d'énergie entre l'air et l'eau dans l'atmosphère. On cite par exemple:

- Le processus d'évaporation permet à l'air de perdre sa chaleur reçue par rayonnement. Ce processus fait que les zones tropicales seraient moins chaudes que s'il n'y a pas de mers.
- Le processus de condensation permet à l'air de gagner de la chaleur. Ce processus fait que les zones de haute latitude seraient moins froides que si la vapeur d'eau ne leur arrive pas (grâce à la circulation atmosphérique générale)
- Par analogie, les autres processus d'évolution de l'eau dans l'atmosphère permettent des échanges énergétiques entre l'eau et l'atmosphère: fusion, solidification, sublimation, ...

La vapeur d'eau transporte l'énergie calorifique et absorbe le rayonnement solaire et le rayonnement Terrestre.

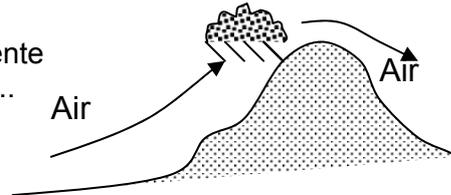
VI. Le facteur "relief" :

A un accroissement d'altitude correspond une diminution de pression et de température et une modification des précipitations. Par ailleurs, les courants aériens sont perturbés par le relief à cause du frottement et génèrent des actions thermiques (effet des turbulences sur la température, ..) et des actions dynamiques qui dépendent de la forme du relief, la vitesse et la direction du courant ainsi que la stabilité de l'air.

On note au passage :

- le phénomène bien connu sous le nom: effet de Föhn:

un mouvement ascendant provoqué par la pente entraîne la condensation de la vapeur d'eau ...



- l'augmentation de la vitesse du vent dans le cas de vallée de plus en plus étroite dans le sens de la direction du vent.

VII. Le facteur "circulation générale atmosphérique" :

La circulation générale atmosphérique a pour effets:

- la modification de la répartition des masses nuageuses et des constituants de l'atmosphère (essentiellement la vapeur d'eau)
- le rétablissement de l'équilibre thermique entre les différents points de la Terre grâce au mouvement de l'air et au transport de l'énergie par la vapeur d'eau.

Les causes principales qui provoquent et maintiennent la circulation générale atmosphérique sont:

- la rotation de la Terre
- l'inégalité du bilan thermique à la surface Terrestre
- (+ la distribution des mers et des continents, + les influences géographiques, ...)

N.B. En allant vers des altitudes plus élevées, la circulation devient de plus en plus régulière, rapide et zonale

CHAPITRE 3: LES ELEMENTS DU CLIMAT:

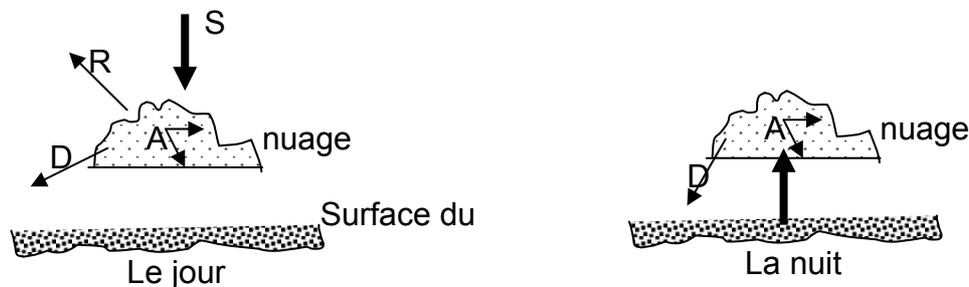
I. Le rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire est caractérisé par la durée d'insolation et l'intensité de la radiation globale.

La durée d'insolation pour un jour donnée est fonction de la latitude du lieu de mesure et du jour de l'année. Elle peut être réduite par le relief, la nébulosité, la brume, le brouillard, la fumée dense, ...

II. La nébulosité:

Au cours de la journée et en contact avec une masse nuageuse, le rayonnement solaire (S) est réparti en rayonnement réfléchi (R), rayonnement diffus (D) et rayonnement absorbé (A) et donc seule une partie de l'énergie solaire atteint la surface du sol. Ainsi, au cours de la journée, un ciel nuageux permet la diminution du réchauffement de la surface Terrestre.



Au cours de la nuit, un ciel nuageux permet la réduction de la perte d'énergie de la Terre par rayonnement infra - rouge et donc diminution du refroidissement de la Terre.

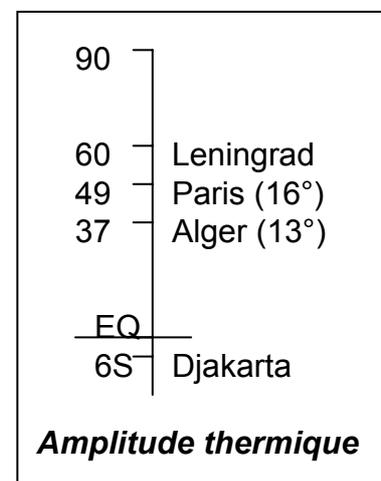
III. La température de l'air:

La température de l'air usuelle est la température de l'air mesurée à l'ombre, dans un abri météorologique, à une altitude de 1m50. Le choix de ce niveau d'altitude revient au fait que l'air s'échauffe en contact direct avec le sol. Ainsi, la température de l'air est maximale près du sol; elle s'affaiblit en altitude avec un gradient fort près du sol. Ce gradient devient nul près de 1m50.

Dans les premières couches d'air au dessus du sol, la température du sol est supérieure à celle de l'air pendant le jour et inférieure pendant la nuit.

Remarques:

- Si la mesure de T est faite au soleil, on risque de mesurer la température du matériel thermomètre.
- La T_{min} se produit vers le lever du soleil (ou peu après le lever du soleil [une demi heure]).
- La T_{max} se produit deux heures après le méridien (le midi-soleil).
- La température de l'air sous abri ne correspond pas étroitement aux sensations de chaleur (ou du froid) par les êtres vivants (l'homme par exemple). Cette sensation est, certes, liée à la température, mais aussi à l'humidité, vent, ... (i.e. indice de confort)
- Nombreux facteurs agissent sur la variation diurne de la température; on peut citer la nébulosité, l'altitude, la latitude,



la saison, la nature du sol, le relief avec toutes ses caractéristiques (forme, exposition, orientation), le degré de continentalité, l'état de l'atmosphère.

- L'amplitude thermique annuelle augmente en fonction de la latitude.

IV. Les précipitations:

Les précipitations constituent avec la température les éléments les plus importants qui définissent le climat d'un lieu donné. Ils ont une grande influence sur la vie de l'homme et des animaux ainsi que sur les économies des pays.

D'après certains auteurs, rien qu'avec le cumul annuel des précipitations on peut classer les climats en:

- climat désertique	:	RR < 120 mm
- climat aride	:	120 mm < RR < 250 mm
- climat semi aride	:	250 mm < RR < 500 mm
- climat modérément humide	:	500 mm < RR < 1000 mm
- climat humide	:	1000 mm < RR < 2000 mm
- climat excessivement humide:		RR > 2000 mm

Mais les précipitations sont caractérisées non seulement par leur quantité, mais aussi par: leur nature physique (pluie, neige, grêle, grésil), leur fréquence (une fois par ans ou 100 fois par an ?!), leur durée de chute (dix minute ou 24 heures?!), leur intensité (10mm/heure ou 100mm/heure?!), leur répartition dans le temps (exp. jours successifs) et dans l'espace (échelle locale ou synoptique?!). Cet ensemble de caractéristiques influence sur l'absorption du sol, le drainage, les crues des cours d'eau, l'utilité agricole, la sécurité humaine, etc.

Remarques: (en général)

- Les quantités des précipitations augmentent en se rapprochant de la mer (à latitude égale)
- Elles augmentent avec l'altitude: les cartes des précipitations coïncident avec celles hypsométriques (cartes d'altitude).
- Au relief, les versants "au vent" sont plus arrosés que les versants "sous le vent" (pour des pentes assez élevées. Bien entendu, pour des vents apportant de l'air humide.
- La distribution des précipitations à la surface du globe est caractérisée par:
 - entre 20S et 20N : fortes précipitations (1500 mm - 3000 mm)
 - entre 20 et 30° latitude : zones sèches (< 200 mm) avec quelques régions pluvieuses.
 - entre 30 et 40° latitude : entre 400 et 800 mm
 - aux hautes latitudes > 70°: faibles précipitations (< 200 mm)

V. Evaporation:

L'évaporation concerne aussi bien les précipitations qui arrivent au sol que l'eau contenu dans le sol. Elle a un rôle biologique puisqu'elle influence la respiration et la transpiration. Elle est liée à différents facteurs tel que: la température (même sens de variation), humidité relative, pression, mouvement de l'air (vent, turbulence), forme et dimension de la surface d'évaporation, épaisseur de la lame d'eau.

L'évaporation peut être estimée à partir de la vitesse du vent, la radiation solaire, la tension de vapeur d'eau, etc. ...

Remarques:

- L'évaporation augmente si l'air est peu humide et plus agité.
- L'évaporation provoque la formation du brouillard et des nuages,

VI. L'humidité de l'air:

Elle s'exprime par la tension de la vapeur d'eau (e) et par l'humidité relative (U : exprimée en pourcentage [degré hygrométrique])

La variation de U et de e en fonction du temps et de l'espace est très complexe, mais en général:

- e et U ont une distribution zonale,
- $e = 20$ mm de mercure dans les zones équatoriales; $e < 5$ mm dans les zones polaires.
- U est de l'ordre de 85% sur les zones équatoriales, très faible sur les zones subtropicales (notamment sur les zones continentales) et élevée dans les moyennes latitudes et dépend de la saison.

VII. La pression atmosphérique:

La pression est le poids de la colonne d'air qui surmonte l'unité de surface sur laquelle elle s'exerce. Sa variation temporelle est liée à celle de la température et son gradient génère le vent (force et direction).

VIII. Le vent:

Le vent est le résultat de la différence de pression entre deux zones voisines. Il provoque le déplacement des masses d'air et transporte ainsi les caractères climatiques. On rappelle par exemple les moussons indiennes qui sont de deux sortes: les moussons humides et pluvieuses dont l'air circule de l'océan vers le continent et les moussons sèches dont l'air circule du continent vers l'océan.

Remarque:

Un vent fort, en contact avec la surface de l'eau ou du corps humain favorise le phénomène de l'évaporation (l'énergie cinétique est perdue en chaleur).

IX. La transparence de l'air (ou la visibilité horizontale):

Elle change en fonction de l'humidité de l'air, sa pureté et sa stabilité. Ainsi une diminution de la visibilité est produite par l'absorption et la diffusion de la lumière (par les constituant de l'atmosphère).

On météorologie, on parle de brouillard lorsque la visibilité est inférieure à 1000 m et de brume lorsqu'elle est comprise entre 1000m et 5000m.

La stabilité de l'atmosphère, en présence d'un air humide ou impure, favorise une mauvaise visibilité.

CHAPITRE 4: OBSERVATION METEOROLOGIQUE:

I. Buts et qualité d'une observation:

L'observation météorologique a pour buts:

- 1) l'étude du temps présent: les observations effectuées à un instant donné par le réseau global d'observation permet de décrire l'état physique de l'atmosphère,
- 2) la prévision du temps: à partir des observations et, bien sur, d'outils numériques ou statistiques, on peut prévoir le temps futur,
- 3) l'étude climatologique: à partir de l'étude des données historiques d'observation pendant une période suffisamment longue...

II. Contraintes dans l'implantation d'un réseau météorologique:

La création d'une nouvelle station d'observation ou la modification dans l'exploitation d'une station existante est confrontée à plusieurs contraintes:

- la contrainte économique:
L'implantation d'une nouvelle station d'observation est tributaire de budget alloué à la Direction de la Météorologie Nationale. D'autre part, certaines observations, ne peuvent être effectuées dans toutes les stations en raison de leur coût: exemple de l'appareil de mesure du rayonnement direct, le pyréliomètre ..
- la contrainte technologique:
L'équipement en appareil de mesure spécial doit être adapté à la demande. Il est inutile d'équiper deux stations voisines de radars ou de radiosondage ! Par ailleurs, plus l'erreur d'estimation d'un appareil de mesure est grande (exemple capteur d'humidité) plus la distance entre les stations (effectuant sa mesure) doit être grande.
- les caractéristiques géographiques de la région:
Le réseau de station météorologique doit couvrir tous les types de relief et de terrain. Ainsi l'existence de plusieurs stations sur un site ayant un horizon dégagé constitue un facteur important de point de vue synoptique et climatologique, mais un tel réseau doit être complété par des stations auxiliaires situées dans des sites moins dégagés (vallées, forêts, ..).
Dans les régions où les conditions géographiques sont assez uniformes, une station par 1000 km² est largement suffisante pour satisfaire la plupart des besoins climatologiques. Cependant un tel réseau ne permettra pas de prendre en compte des phénomènes locaux, comme les averses, les orages.. Il sera donc nécessaire de créer des postes pluviométriques.
- la variabilité spatio-temporelle des éléments:
Tant que le nombre de stations qui effectuent la mesure d'un paramètre est grand tant que l'analyse de la répartition spatiale dudit paramètre est plus complète. Mais la densité idéale d'un réseau dépend dans une large mesure de l'élément à étudier et de sa variabilité dans l'espace et dans le temps. Ainsi un réseau peu dense peut suffire à l'étude des pressions atmosphériques, tandis que l'étude des régimes de vent ou des précipitation exige un réseau plus dense... De plus les fréquences de mesure des paramètres doivent tenir compte de leurs variabilités temporelles. Par exemple, la température de l'air varie plus remarquablement au sol qu'à 500hpa.

- les besoins climatologiques de la région:
Pour satisfaire au mieux l'utilisateur, il est nécessaire de connaître, à priori, ces besoins en données météorologiques avant l'établissement du réseau d'observation.
En agro météorologie, la température au niveau du couvert végétal a plus d'intérêt que la température sous abri.
On peut, également envisager la prise de mesures "spécifiques" dans des stations expérimentales avec un échantillonnage dans le temps très fin et durant une période assez limitée. C'est l'exemple de mesure de pollution urbaine dans le but d'étudier les indices de confort en fonction de l'état atmosphérique et la teneur de l'air en gaz et particules polluants à Casablanca.
- les contraintes sur l'exploitation des données:
Même si les moyens techniques concernant l'acquisition des données se développent de plus en plus, les problèmes concernant toute la chaîne de traitement limiteront le nombre de paramètres saisis, augmentent le pas de temps entre l'observation et l'archivage. Le problème est encore plus marqué quand il s'agit des données du réseau auxiliaire. De même pour les stations automatiques, même si elles peuvent être interrogées à tout moment, les données archivées ne sont archivées qu'au mieux chaque demi-heure.

III. Les observations météorologiques - réseau du Maroc associé:

III.1. Observation en surface:

Les principaux paramètres météorologiques observés en surface sont:

Paramètre	Unité de mesure	Moyen de mesure + remarques
La pression:	Hectopascal (hpa)	baromètre
Le vent	<ul style="list-style-type: none"> direction : 0-360° vitesse m/s 	<ul style="list-style-type: none"> Girouette anémomètre
Température de l'air sous abri + Tmin + Tmax + Température du point de rosé (Td) + éventuellement: T10cm et T dans le sol	1/10 °C	Thermomètre Sonde thermique Thermomètre mouillé (psychromètre) => agriculture
Humidité de l'air	0-100%	(T et Td) Hygromètre Sonde d'humidité
Précipitation	1/10 mm	pluviomètre
Visibilité horizontale	10m	
Les nuages	Identification Nébulosité (en 1/8) Hauteur (en 100m)	Altimètre
Temps passé- temps présent	Caractère général	
Evaporation	1/1000+1/10.000 mmd'eau	Evaporomètre (Piche)
Insolation	En heures +1/10 heure	Héliographe
Rayonnement solaire global		Pyranomètre (global = direct +diffus)
" " direct		Pyrhéliomètre
" " diffus		Pyranomètre
" total		Pyrradiomètre (total=solaire+terrestre+atmos)

Les paramètres observés peuvent être classés en :

1. éléments mesurables: P, T, H, V, ...
2. éléments estimés: nébulosité, VISI, ...
3. éléments résultant d'une totalisation: évaporation, insolation, neige, RR, ...

III.2. Observation en altitude:

Elle se fait par :

- Le radiosondage (à 00TU et 12TU): la radiosonde permet de mesurer la température, la pression, l'humidité et le vent
- Le radio-vent (à 06TU et 18TU) mesure le vent

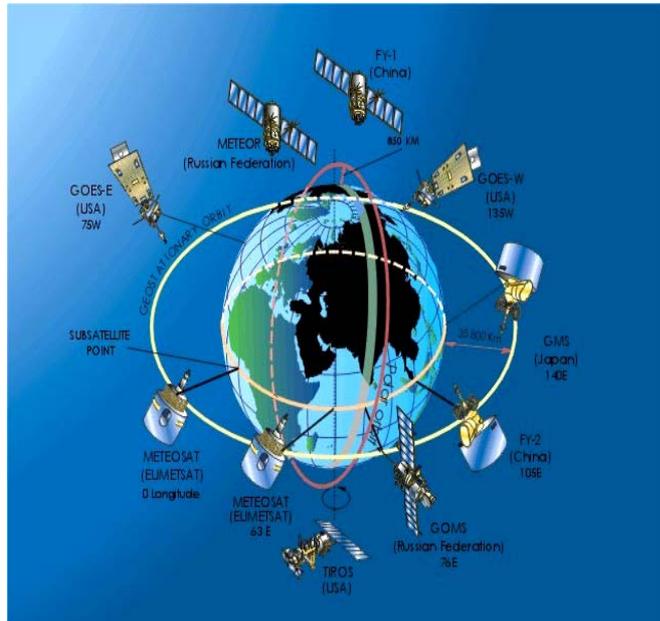
III.3. Observation satellitaire:

Deux types de satellites sont utilisés:

- Satellites géostationnaires
- Satellites défilent

Les "images" envoyées par les satellites nous informent sur :

- la couverture nuageuse
- la température de surface
- les mouvements atmosphériques
- les températures de surface de la mer
- le vent



III.4. Observation radar:

Les radars permettent de faire des mesures estimatives des précipitations (quantité et intensité) d'une manière quasi instantanée. Ils permettent surtout de suivre l'évolution spatiale des systèmes pluvieux et orageux (via l'analyse de la distribution spatiale des masses nuageuses précipitantes) et ils jouent un grand rôle dans la prévision météorologique immédiate (une heure à 6 heures) qui aidera à, l'assistance aux gestionnaires de l'eau et des réseaux urbains d'assainissement et à la protection civile.



III.5. Observation marine:

En dehors des observations en surface et des observations en altitude classiques, les observations en mer comportent d'autres éléments:

- des mesures bathythermiques sont effectuées en certains points des mers et océans jusqu'à une profondeur de 450 mètres (le plus souvent)
- l'état de la mer (hauteur, direction, période de la mer du vent et de la houle)
- des enregistrements de houle sont également effectués (bouées accélérométriques)

Le réseau d'observation en mer se comporte de:

a) Navires météorologiques stationnaires: NMS

De plus des observations marines décrites plus haut, les NMS effectuent des observations horaires de surface et des observations en altitude.

b) Bateaux feux

Les bateaux feux sont des unités qui exécutent presque toutes les observations synoptiques de surface et occupent en permanence des points fixes en zones littorales ou proches du littoral où les conditions météorologiques diffèrent de celles régnant à la cote ou au large.

c) Navires sélectionnés

Ce sont des navires de la marine marchande ou des navires de pêche. Ils font au cours de leurs voyages sur toutes les mers des observations météorologiques aux heures

synoptiques qu'ils consignent dans un carnet et qu'ils transmettent après codage par voies radioélectriques.

d) Bouées fixes ou dérivantes

Les bouées sont munies de stations météorologiques automatiques et interrogées par satellite. Elles fournissent les valeurs des paramètres courants : V, P, T, houle et, éventuellement pour celle qui se déplacent, une idée des courants superficiels

Remarques:

1. Répartition des données marines:

La majorité des données des observations marines provient de stations sur navire mobiles (en déplacement: voyage, marchandise, ..). Ce qui fait que la distribution de ces observations dans le temps et dans l'espace est assez irrégulière: elles sont concentrées le long des routes maritimes. Il existe, ainsi, de vastes espaces océaniques qui ne sont jamais traversés par des navires et les données de ces bouées dérivantes sont trop peu nombreuses

2. Calcul des données climatologiques:

On note tout d'abord que dans les régions mal desservies, il faut interpréter les paramètres statistiques décrivant les caractéristiques climatiques avec une grande prudence. On a, souvent, recours à l'exploitation des données satellitaires pour combler ces nombreuses lacunes.

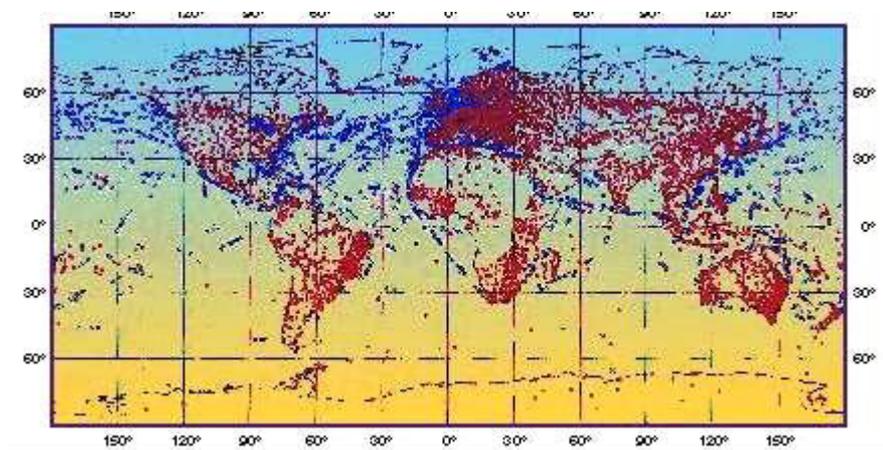
Rappelons que l'étude du climat nécessite d'avoir une longue série d'observation en un point donné. Mais il est très rare d'avoir plus d'une observation pour exactement la même position. Pour remédier à ce problème, on travaille par "carrés" délimités par des parallèles et des méridiens. Ainsi le carré correspond à une station "fixe" bien que les observations qui y sont effectuées sont réalisées par des observateurs différents sur des stations mobiles différentes et en des intervalles de temps irréguliers.

IV. La veille météorologique à la Direction de la météorologie nationale du Maroc

La veille sur l'évolution de l'état de l'atmosphère, la protection de l'environnement, la sécurité des personnes et des biens, l'efficacité et la rentabilité de nombreuses activités sensibles aux conditions météorologiques, exigent toutes une gamme de services météorologiques. Pour pouvoir fournir ces services, la DMN est obligée de disposer des données d'observation nécessaires, ainsi que d'analyses et de prévisions pour diverses échelles (de l'échelle locale à l'échelle globale) et à différentes échéances (de la prévision pour l'immédiat à la prévision à longue échéance). Le programme de la Veille Météorologique Mondiale (VMM) est une entreprise internationale concertée conçue pour rassembler et diffuser, à l'échelle du globe, cette information météorologique indispensable à laquelle tous les pays peuvent avoir accès.

Le système mondial d'observation (SMO) a pour but de fournir des données d'observation normalisées et de qualité, en provenance de toutes les parties du monde, pour la préparation d'analyses, de prévisions et d'avis météorologiques et d'apporter un appui à d'autres programmes de l'OMM (Organisation Mondiale de la Météorologie) et aux programmes pertinents d'autres organisations internationales. Il s'agit d'un système composite regroupant divers moyens pour l'observation en mer, sur terre et dans l'atmosphère des éléments météorologiques et d'autres paramètres relatifs à l'environnement.

Par ailleurs, de par ses caractéristiques géographiques, le climat du Maroc a plusieurs composantes. Sa caractérisation n'en est que plus complexe. Si au Sud quelques stations peuvent suffire, étant donnée l'uniformité orographique, il en va autrement pour le nord. Les chaînes montagneuses impriment aux différents paramètres météorologiques, une importante variabilité spatiale.



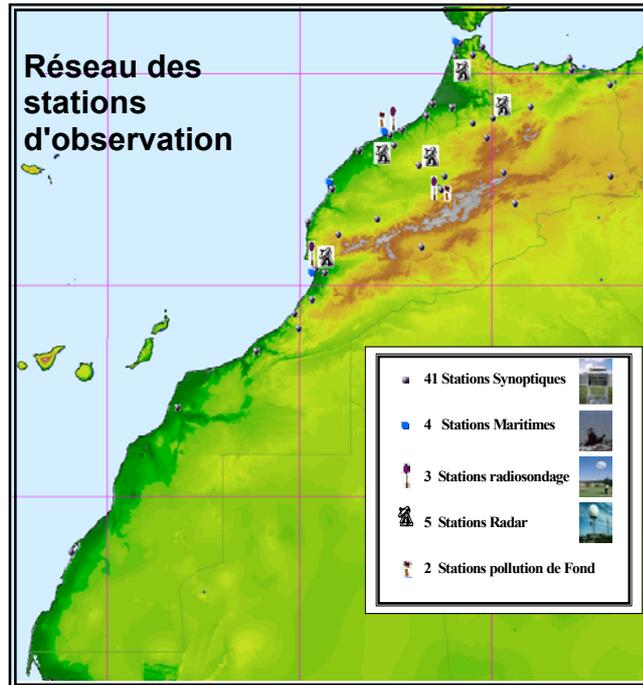
Réseau d'observation
mondial

IV.1. Etat du réseau national du Maroc: (à la date 2001)

Le réseau se compose d'un réseau de base principal (réseau synoptique) et d'un réseau de soutien auxiliaire (réseau climatologique). Le réseau synoptique se distingue du réseau climatologique par sa gestion directe par la DMN, aussi bien en terme de ressources humaines que financières, par le nombre d'instruments de mesure et par la fréquence de la mesure.

Le réseau synoptique se compose de 44 stations dont

- * 5 équipées de radars,
- * 5 équipées de stations automatiques,
- * 4 font la mesure en altitude, 5 effectuent des mesures maritimes,
- * 12 des mesures radiométriques,
- * 2 dotées des moyens de mesure de pollution de fond
- * et une pour la mesure d'ozone.



Le réseau climatologique est composé de 528 postes:

- * 432 pluviomètres,
- * 44 de type C1 (pluviomètre et mesure des températures minimale et maximale),
- * 20 de type C2 (C1+relevés de l'humidité à 07 heures et 18 heures),
- * 24 de type C3 (C2+relevé de l'humidité à 13 heures)
- * et 8 de type C4 (C3+enregistreurs et instruments spéciaux).

La DMN y contribue par l'instrumentation et le contrôle a posteriori des données. La gestion est assurée par d'autres organismes: Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Equipement, etc...

La constitution, la gestion et la consistance spatiale du réseau d'observation appellent quelques remarques:

- Si au nord d'El Jadida le réseau est relativement dense, au sud de celle-ci, dans la montagne et à l'est du pays, il est peu représentatif, voire inexistant.
- L'usage des stations automatiques est peu développé, il pourrait résoudre le problème de couverture des régions à accès difficile et répondre aux besoins d'utilisateurs exigeant des informations relatives à ces zones.
- Quelques stations synoptiques sont envahies par l'urbanisme, ce qui influence leurs conditions de servitude qui doivent répondre aux normes de l'OMM.