

## **Introduction [1]**

L'environnement est l'ensemble des éléments naturels (biophysique) et culturels (humain). La culture humaine en rupture avec l'environnement naturel résulte la pollution globale et locale planétaire.

La planète bleue appelée Terre est une sphère très particulière. Tous les organismes vivants qui l'habitent se trouvent à l'intérieur d'une mince couche composée d'air, d'eau et de terre d'environ 15 kilomètres d'épaisseur, qu'on appelle biosphère. La biosphère peut être divisée en trois couches : l'atmosphère (l'air), l'hydrosphère (l'eau) et la lithosphère (le sol). Toutefois, c'est l'atmosphère, à cause de ses caractéristiques particulières, qui rend la planète habitable par les êtres humains, les animaux et les plantes tels qu'on les connaît.

S'il y a de la vie sur Terre, c'est grâce à l'atmosphère qui, malgré sa fragilité, lui sert de bouclier.

Or, les activités humaines peuvent affaiblir ce bouclier. L'atmosphère protège la Terre; nous devons protéger l'atmosphère. Dans cette région, le déplacement de l'air, par rapport à la surface terrestre, appelé vent résulte de l'équilibre entre les forces en présence

## **I-1 L'atmosphère [1]**

L'atmosphère est un mélange de gaz et de particules qui entourent le globe. Vue de l'espace, elle forme une fine couche de lumière bleue foncée sur l'horizon.

L'atmosphère est constituée de couches qui forment des anneaux autour de la Terre. Elle s'étend sur quelques centaines de kilomètres d'altitude, mais elle est confinée en majeure partie sur une hauteur de 50 kilomètres au-dessus de la surface terrestre.

### **I 1-1 couches de l'atmosphère**

#### **A) 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  $-56^{\circ}\text{C}$  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.

### **B) Stratosphère**

La stratosphère est au-dessus de la troposphère. C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone. Cette dernière est essentielle à la vie sur Terre, car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption 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.

### **C) Mésosphère**

La mésosphère est au-dessus de la stratosphère. Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 ».

### **D) Thermosphère**

La couche la plus haute est la thermosphère. Dans cette couche se trouve la région où près des pôles se forment les aurores boréales et australes. La température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace. La thermosphère devient presque nulle et les molécules d'air sont très rares.

La partie inférieure de la thermosphère est appelée l'ionosphère. L'ionosphère réfléchit les ondes courtes (ondes radio). Ces ondes, émises par un émetteur, rebondissent sur l'ionosphère et sont renvoyées vers la Terre. Si elles sont retournées avec un certain angle, elles peuvent faire presque le tour du globe. L'ionosphère permet donc de communiquer avec des régions très éloignées.

La séparation entre la mésosphère et la thermosphère s'appelle la mésopause.

La séparation entre la troposphère et la stratosphère porte le nom de Tropopause.

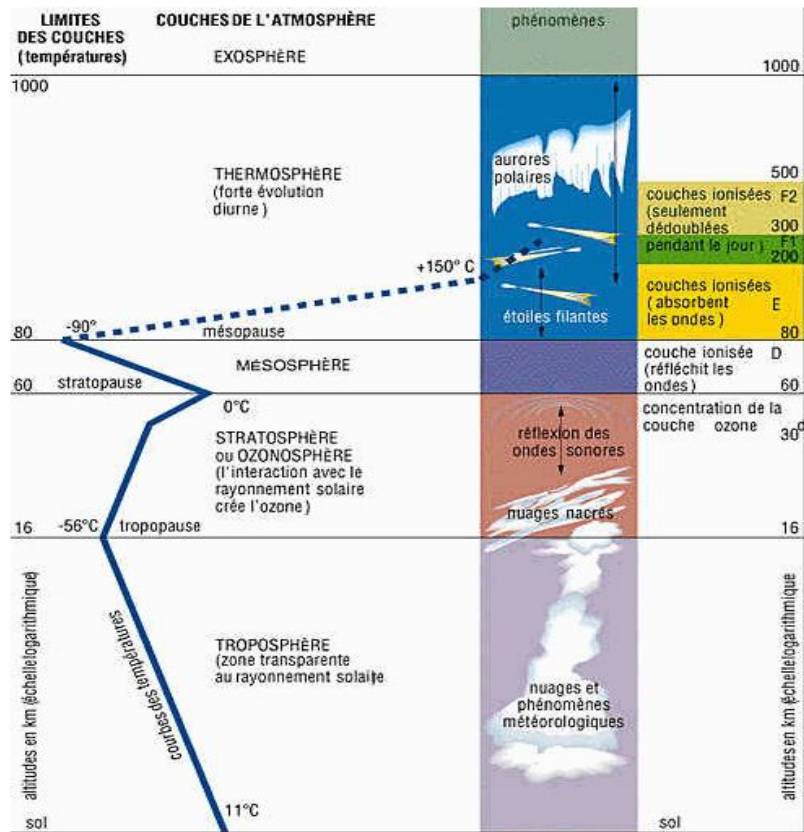


Figure I-1 : Les couches de l'atmosphère [2]

### I-1-2 couche limite atmosphérique (CLA)

Couche limite atmosphérique [3], dont l'épaisseur est d'environ 1000m, est la couche qui contient 10% du recouvrement de la masse d'air totale et où le déplacement d'air est régi par le gradient de pression .elle est contrôlée et modifiée partiellement par le frottement aérodynamique de la surface et l'importance de la stratification de la densité d'air qui résulte des différences de températures entre la surface du sol et l'air ambiant.

Cette couche est fonction de plusieurs paramètres tel que :

- la vitesse du vent.
- la rugosité des sols.
- l'ensoleillement variable suivant les lieux et l'heure de la journée.

Près de la surface terrestre, la présence du sol perturbe l'écoulement de l'air et crée une forte turbulence (vent) alors que dans l'atmosphère libre, l'air sous l'action des forces de pression et de Coriolis est uniforme, horizontal et sa vitesse est constante (vent géostrophique). La couche limite atmosphérique (CLA), peut être divisée en deux sous couche (Figure I-2) à savoir la couche limite de surface (CLS) et la couche limite d'Eckerman.

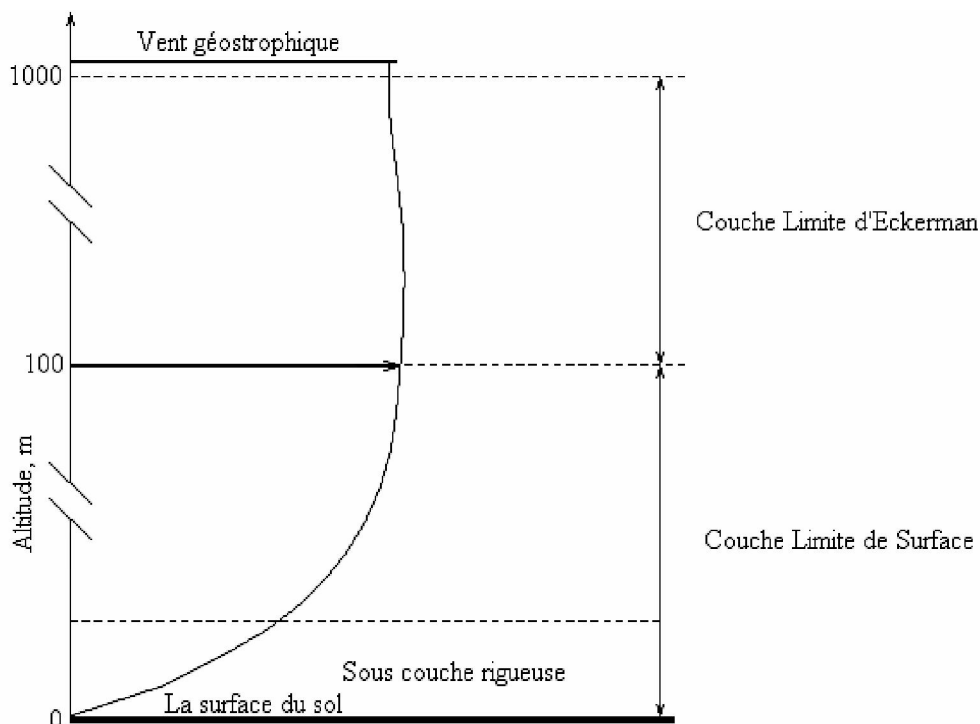
La couche limite de surface, dont l'épaisseur varie entre 50 et 100 m, est la partie basse de la CLA.

Elle est en contact directe avec la surface terrestre. Dans cette région, les effets de la force de Coriolis sont négligeables devant les effets dynamiques engendrés par les frottements au sol ainsi que par la stratification thermique de l'air.

Elle peut être départagée en deux sous-couches :

- Une sous-couche inférieure située au-dessus du sol où les forces de frottement sont prédominantes, par rapport à la stratification thermique de l'air. Dans ce cas, le mouvement de l'air est turbulent et est directement lié à la rugosité du sol.
- La seconde sous-couche se situe juste au dessus de la première. Les effets de frottement y sont négligeables devant la stratification thermique de l'air.

La couche d'Eckerman est la partie supérieure de la CLA. Dans cette zone, la structure du champ de vent est influencée par les frottements sur la surface, la stratification thermique et la force de Coriolis. Si l'altitude augmente, les forces de frottements deviennent négligeables devant la force de Coriolis. La direction du vent subit donc une rotation (vers l'est dans l'hémisphère Nord) et s'aligne à son sommet avec le vent géostrophique.



**Figure I-2:** Vue schématique de la couche limite atmosphérique [4].

### **I-1-3 conditions atmosphériques instables [3]**

Elles interviennent lorsque la température de l'air décroît plus vite que le gradient adiabatique des masses d'air. En s'élevant, ces masses se refroidissent moins vite que l'air environnant. Elles continuent alors à s'élever et sont remplacées par autres masses d'air provenant de la couche supérieure.

Le mouvement de l'air est fortement turbulent. Elles se manifestent durant la journée et spécialement pendant le lever du soleil

### **I-1-4 Les conditions neutres [3]**

Elles interviennent lorsque le gradient de température et le gradient adiabatique sont de même ordre. Ceci implique qu'il n'y a aucune turbulence d'origine thermique. C'est le cas lorsque le temps est nuageux ou par vent fort. Dans ce cas, la turbulence mécanique domine la turbulence d'origine thermique.

### **I-1-5 Les conditions stables [3]**

Elles interviennent lorsque la température de l'air décroît moins vite que le gradient adiabatique des masses d'air. Dans ce cas, elles ont tendance à redescendre vers le sol du fait de leur refroidissement rapide, ce qui entraîne la diminution de la turbulence.

La chaleur est rayonnée loin dans l'espace hors atmosphère et la terre est alors plus froide que l'air de recouvrement. Ces conditions se manifestent particulièrement pendant la nuit quand il y a peu de nuages ou quand les vents sont plutôt faibles.

## **I-2 Le climat**

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période de temps donnée. Il se distingue de la météo qui désigne le temps dans un futur à court terme et dans des zones déterminées. L'étude du climat est la climatologie.

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales: température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse et direction du vent.

Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels. Ceci s'appuie sur des relevés météorologiques historiques, comme sur des mesures relevées par

satellite, mais aussi l'épaisseur du manteau neigeux, le recul des glaciers, l'analyse chimique de l'air emprisonné dans la glace, etc. [5]

### **I-3 La météorologie [1]**

C'est l'étude des phénomènes atmosphériques tels que les nuages, les dépressions et les précipitations.

C'est une discipline qui traite principalement de la mécanique des fluides appliquée à l'air mais qui fait usage de différentes autres branches de la physique et de la chimie.

Elle permet donc d'établir des prévisions météorologiques en s'appuyant sur des modèles mathématiques à court comme à long terme. Elle est également appliquée pour la prévision de la qualité de l'air, pour les changements climatiques et pour l'étude dans plusieurs domaines de l'activité humaine (construction, trafic aérien, etc.)

### **I-4 Le vent**

L'air dont se compose l'atmosphère est un mélange de gaz et de particules solides ou liquides, concentrés dans la troposphère, exerce sur la terre une pression, appelée pression atmosphérique. Sur la surface de la terre, la pression atmosphérique n'est pas la même partout.

Il existe des secteurs où règne une basse pression et des secteurs où règne une haute pression. L'air froid, plus lourd, descend, créant une zone de haute pression (HP). Inversement, l'air chaud, plus léger, monte naturellement dans les couches hautes de l'atmosphère avec pour conséquence la création d'une zone de basse pression (BP). La différence de pression entre ces deux masses d'air est à l'origine du vent. L'air contenu dans la haute pression a tendance à s'engouffrer dans la basse pression qui l'avoisine.

Le vent provient du déplacement d'une masse d'air de la haute vers la basse pression. Plus la haute pression est proche de la basse pression, plus le vent est fort [1].

Dans cette région [3], le déplacement de l'air par rapport à la surface terrestre, appelé vent, résulte de l'équilibre entre les forces en présence.

Pour un observateur à l'arrêt par rapport au sol, il existe quatre forces majeures qui agissent sur une partie élémentaire d'air.

- ✓ La force gravitationnelle.
- ✓ La force due au gradient de pression.
- ✓ La force de Coriolis
- ✓ La force de frottement.

#### **I-4-1 La force Gravitationnelle**

Elle est la conséquence de l'attraction mutuelle des corps, cette force intervient à cause de la grande masse de la terre. Elle est dirigée vers le centre de la terre.

#### **I-4-2 La force de Pression**

Dirigées des hautes pressions vers les basses pressions ces forces sont des gradient de pression résultant de l'échauffement inégal de l'air suivant les latitudes, nature des sols et la répartition des océans et des continents. Ces forces contribuent à mettre l'air en mouvement.

#### **I-4-3 La force de Coriolis**

Cette force est le résultat de la rotation de la terre autour de son axe et est perpendiculaire à la vitesse du vent. Elle intervient dans les déplacements atmosphériques en raison de la faiblesse des forces contribuant à mettre l'air en mouvement.

#### **I-4-4 La force de frottement**

Ces forces traduisent la friction turbulente de l'air avec le sol. Elles interviennent dans la couche limite atmosphérique. La force gravitationnelle et la force du gradient de la pression sont les deux forces qui peuvent initier un mouvement de l'air. Leurs actions se font ressentir près du sol dans une zone appelée couche limite atmosphérique.

#### **I-4-5 Les vents géostrophiques**

On les appelle aussi les vents globaux [1], produit d'écarts de température et des variations de pression. Car Le soleil réchauffe les régions situées autour de l'équateur, à latitude 0, bien plus qu'il ne réchauffe les autres parties du globe. Ayant une densité plus faible que l'air froid, l'air chaud s'élève jusqu'à une altitude d'environ 10 km.

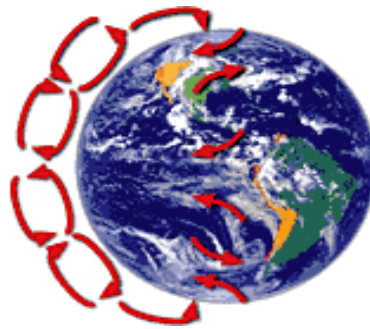
Ensuite il s'étend vers le nord et le sud. Si la terre ne tournait pas, les courants d'air iraient jusqu'aux pôles Nord et Sud avant de redescendre (suite au refroidissement) et de retourner à l'équateur mais L'air s'élève à l'équateur, s'étendant vers le nord et le sud dans la haute atmosphère.

Dans les deux hémisphères, à approximativement 30 degrés de latitude, la force de Coriolis empêche les courants d'air d'aller beaucoup plus loin. L'air commençant de redescendre à cette latitude, il se crée une zone de haute pression (appelée aussi un anticyclone).

Lorsque l'air s'élève à l'équateur, il se crée au niveau du sol une zone de basse pression attirant des masses d'air du nord et du sud. Aux deux pôles, des anticyclones se produisent suite au refroidissement de l'air retenant la force de Coriolis.

La surface du sol n'influe que peu sur la direction et la vitesse de ces vents.

On les trouve à des hauteurs supérieures à 1.000 m au-dessus du niveau du sol. Leurs vitesses peuvent être mesurées en utilisant des ballons-sondes.



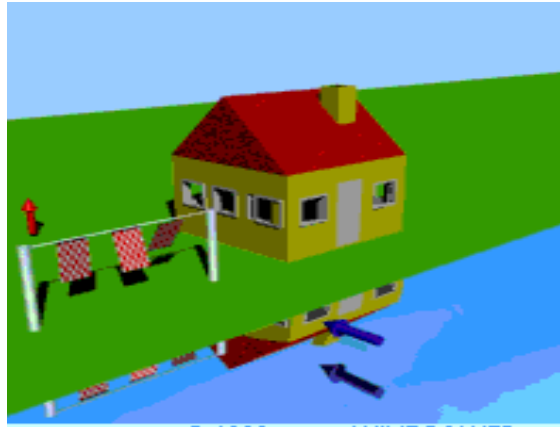
**Figure I-3** : Les vents géostrophiques [6]

#### **I-4-6 Les vents de surface**

Jusqu'à environ 100 m de hauteur [1], l'influence de la surface du sol sur les vents est importante. Ainsi, comme nous allons voir par la suite, la rugosité du terrain ainsi que les obstacles naturels ou artificiels peuvent freiner les vents. A cause de la rotation de la terre, les directions des vents près de la surface diffèrent également un peu de celles des vents géostrophiques (cf. la force de Coriolis).

En matière d'énergie éolienne, ce sont les vents de surface et leur capacité énergétique qui présentent le plus grand intérêt.



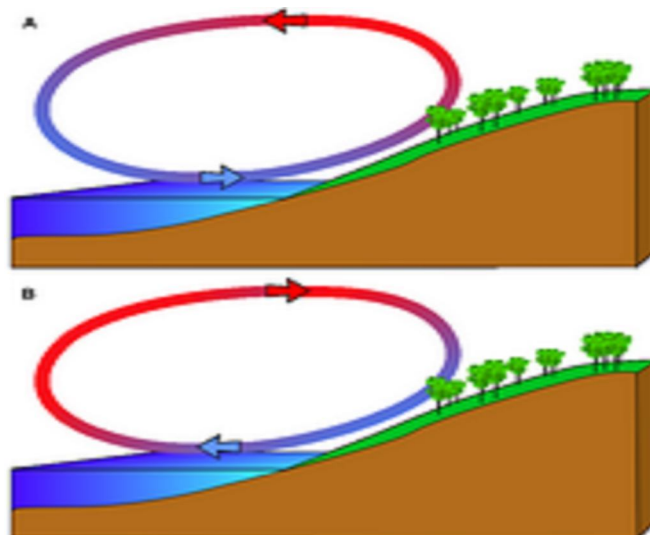


**Figure I-4 :** Les vents de surface [6].

### I-4-7 Les brises

Il existe deux types de brises : les brises de littoral et les brises de montagne. Elles sont toutes les deux dues à l'apparition d'un gradient de température sur une courte distance résultant d'un réchauffement inégal de la surface. Dans la journée, la terre se réchauffe plus rapidement que la mer, et le fond des vallées plus rapidement que les cimes. La nuit, la mer se refroidit moins vite que la terre et les vallées moins vite que les cimes [7].

#### A) Les brises de mer



**Figure I-5 :** A : Brise de mer durant la journée; B : Brise de terre durant la nuit [7].

En cours de journée [1], la terre se réchauffe plus rapidement que la mer, ce qui provoque un soulèvement de l'air chaud qui s'étend ensuite vers la mer. Ainsi, une dépression se crée près de la surface de la terre, attirant l'air froid provenant de la mer. On parle alors d'une brise de mer. Au crépuscule, il se produit souvent une période calme, les températures sur terre et sur mer étant plus au moins égales.

La nuit venue, le vent commence à souffler dans le sens inverse. En général, la vitesse de cette brise de terre est moins forte que celle de la brise de mer étant donné que la différence de température entre la terre et la mer est moins importante la nuit.

### **B) Brises vents de montagne**

Les régions montagneuses donnent naissance à beaucoup de phénomènes climatologiques intéressants. La brise de vallée en est un exemple. Elle se produit sur les versants exposés au sud dans l'hémisphère Nord (au nord dans l'hémisphère Sud). Le réchauffement des versants et de l'air avoisinant fait tomber la densité de l'air. En conséquence, l'air commence à s'élever vers le sommet de la montagne, produisant ce que l'on appelle une brise montante. La nuit, le phénomène s'inverse et une brise descendante se produit.

Si le creux d'une vallée est en pente, on peut observer l'effet dit de canyon, les vents montant et descendant le long des versants qui entourent la vallée.

Les vents s'écoulant le long des versants des montagnes peuvent être très violents. Comme exemple, on peut citer le Sirocco soufflant du Sud de Sahara vers la Méditerranée ainsi que le phénomène de Foehn que l'on trouve dans les Alpes.



**Figure I-6** : Les brises vents de montagne [6]

D'autres exemples de systèmes de vents locaux sont le Mistral qui pénètre dans la vallée du Rhône pour s'étendre ensuite vers la mer Méditerranée

### 1.5 La mesure du vent [7]

La vitesse du vent est mesurée par un instrument appelé anémomètre. Celui-ci est composé de petites spatules fixées autour d'un axe verticale. Il doit à la fois être assez sensible pour détecter la plus légère des brises, et assez résistant pour ne pas se détériorer sous la contrainte des éléments. Il est conçu de manière à ce que la rotation des coupelles soit proportionnelle à la vitesse du vent.

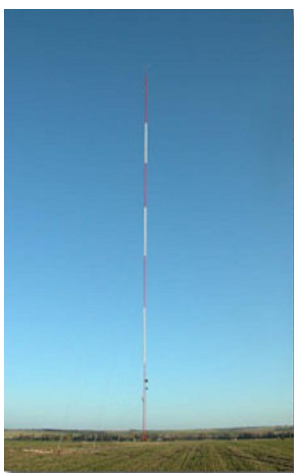
La direction du vent est quand à elle donnée par une girouette qui s'oriente dans le sens du vent. Lorsque l'on indique la direction d'un vent, c'est celle d'où il provient. Ainsi, un vent d'Est ira d'Est en Ouest. L'anémomètre et la girouette sont utilisés sur les mâts de mesure et sur les bouées.



**Figure I-7 :** Anémomètre à coupelles  
(Dit de Robinson) [7]



**Figure I-8 :** Girouette moderne [7]



**Figure I-9 :** Mât de mesure [7]



**Figure I-10 :** Bouée [7]



**Figure I.11 :** Ballon sonde [7]

Pour mesurer les vents d'altitude, en vitesse comme en direction, on utilise des ballons sondes. On suit la localisation de ces ballons à l'aide de radars ou du système GPS, puis on déduit de l'évolution de leur trajectoire la vitesse et la direction du vent dans la zone où ils se trouvent.

Les mâts de mesure ont l'avantage de fournir une information réelle sur le vent en un point donné, mais ils présentent de nombreux inconvénients pour établir des cartes éoliennes. Tout d'abord, d'un point de vue économique, ils sont d'une part chers (entre 15 000 euros sur terre et 750 000 euros en mer), d'autant plus qu'il doit y en avoir un en chaque point qui nous intéresse. D'autre part-ils nécessitent d'attendre au minimum un an, voir plus, pour obtenir des données complètes, ce qui augmente considérablement le prix de l'étude. D'un point de vue physique, les mesures fournies par un mât ne sont représentatives que d'une faible zone autour de celui-ci. La taille de cette zone représentée diminue très rapidement dès que l'on s'éloigne d'un terrain plat et lisse.

## I-6 La rose des vents

Les mesures de vents peuvent être présentées à l'aide d'une rose des vents.

Une rose des vents [1] est un peu comme un compas de navigation qui divise l'horizon en secteurs angulaire. Pour chaque secteur, sont présentés :

- La fréquence du vent, c'est à dire le pourcentage du temps durant lequel le vent souffle dans ce secteur.
- La vitesse moyenne du vent multiplié par sa fréquence.
- La puissance disponible dans le vent.

Plus la valeur est importante, plus le secteur est représenté par un grand rayon depuis le centre de la rose

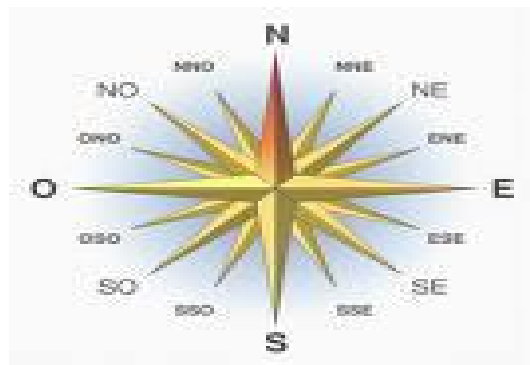


Figure I-12 : La rose des vents [8]

Les roses des vents diffèrent d'une région à une autre. Elles constituent en fait une sorte d'empreinte climatologique.

Cependant, les roses des vents pour deux régions avoisinantes sont souvent très similaires. Pour cette raison, ce sera souvent suffisamment sûr de déterminer les directions du vent en interpolant les roses établies pour les villes voisines ; c.-à-d. en prenant la moyenne des résultats enregistrés. Cependant, de telles estimations s'avéreront souvent insuffisantes s'il s'agit de terrains complexes (régions montagneuses et côtières, entre autres).

Dans tous les cas, la rose des vents indique la distribution relative des directions du vent et non pas la vitesse réelle du vent. Afin de mesurer celle-ci il faut se servir d'un anémomètre.

## **Conclusion**

Le vent est un mouvement de l'atmosphère. Ces mouvements de masses d'air sont provoqués par deux phénomènes se produisant simultanément : un réchauffement inégalement réparti de la surface de la planète par l'énergie solaire et la rotation de la planète.

Les vents sont une source d'énergie renouvelable provenant du déplacement d'une masse d'air de la haute vers la basse pression. Plus la haute pression est proche de la basse pression, plus le vent est fort.

Deux données sont intéressantes dans la connaissance du vent : sa vitesse et sa direction. Pour les connaître en un endroit donné, on peut soit effectuer des mesures physiquement, soit les estimer en les calculant numériquement grâce à des modèles mathématiques.

## Bibliographie / web-graphie

- [1] M. Ben medjahed, « Gisement éolien de la région côtière de Béni Saf Et son impact sur l'environnement », mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelable URMER Tlemcen. 2008.
- [2] <http://www.lyc-richelieu-rueil.ac-versailles.fr/arch>.
- [3] N. Kasbadji merzouk Thèse de doctorat (évaluation du gisement énergétique éolien contribution a la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie) l'université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen (2006).
- [4] P. Navaro. Thèse de doctorat (Aéroacoustique numérique d'un écoulement tourbillonnaire) Laboratoire de Mécanique Université du Havre (2002).
- [5] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Climat>
- [6] S. Krohn. Revu (Visite guidée dans l'univers de l'énergie éolienne) Association de l'industrie éolienne (2002).
- [7] G. Faure et A. Bourdeau, « Rapport de projet, comparaison de modèles d'estimation éolienne sur le Liban en vue de leur intervalidation sur ce territoire » Institut National des Sciences Appliquées Département de génie Mathématique et Modélisation 2009.
- [8] <http://www.traversee-baie.com>