# REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

# MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

#### UNIVERSITE D'ADRAR

# FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE

# **MEMOIRE DE MASTER**

Spécialité : Physique Energétique

#### THEME

REALISATION D'UNE PETITE STATION METEOROLOGIQUE
DESTINEE A UNE APPLICATION EOLIENNE

#### Présenté par :

- DJAAFERI Younes
- **GUERROUT Ahmed**

Soutenu le 12 /06/2012 Devant le jury composé de :

Dr.OMARI Boumediene Mr.BOUSSOUKAIA Tahar Mr.MASMOUDI Mohamed Président Rapporteur Examinateur

Juin 2013

# Résume

Depuis toujours, l'avenir des hommes est lié aux variations du temps et c'est pourquoi, au cours des siècles, les hommes ont essayé de le comprendre et de le prévoir. Trois grandes périodes se distinguent : la météorologie primitive, la météorologie populaire et la météorologie moderne.

Une plus grande partie sera consacrée à cette dernière période, puisque c'est pendant ce temps que la météorologie est devenue une science et c'est aujourd'hui, sous cette forme, qu'elle rend service aux hommes.

Une station météorologique permettant de faire des relevés de mesures de température, de précipitations, mais aussi des relevés relatifs à la force et à la direction du vent. Les instruments de mesure qui nous permettent d'obtenir des valeurs objectives des paramètres atmosphériques.

Cette étude présentera une vue Global sur les sciences météos, les équipements installées dans un siège éolienne avec une tentative de créer un circuit de thermomètre pour être installé dans notre petite station météorologie.

# Dédicaces

Avec tous nos affections, nos profondes reconnaissances,

Nous dédions ce modeste travail :

A nos très chers parents

A nos familles

A tous mos collègues

# Remerciements

Le présent travail a été effectué dans le département des sciences de la matière, de la faculté des sciences et de la technologie d'université d'Adrar.

Nous exprimons toute nos gratitudes à Monsieur T. Boussoukaia maitre-assistant au département de nous avoir dirigé au cours de ce travail. Ces remarques et précieux conseils ont contribué à faire progresser nos recherches le long de cette tâche ainsi que les membres de jury pour leurs critiques constructives.

Nous exprimons nos vifs remerciements à monsieur M. Amraoui et toutes personne qui de près ou de loin nous aidons et soutenu pendant cette formation.

# Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Science météorologique et phénomènes atmosphériques	
I. Science météorologique	2
I.1 Introduction	2
I.2.définition	2
I.3Historique des études météorologique	4
I.4 Atmosphère terrestre	4
I.4.1 Définition4	
I.4.2 Structure et composition	4
I.4.3 Effet de serre, définition	6
I.4.4 Les gaz à effet de serre	6
I.4.5 Nuage, formation et rôle	7
I.5 Phénomènes météorologiques	8
I.5.1 Le Vent	8
I.5.1.1 Définitions et unités	8
I.5.1.2 Formation du vent	9
I.5.1.3Mesure et historique	10
I.5.1.4 Distribution des vents à l'échelle de la Terre et sur la région "O3E"	11
I.5.2 Température	12
I.5.2.1 Échelles	12
I.5.2.1 le Kelvin	13
I.5.2.2 le Celsius	13
I.5.2.3 les échelles centigrades	14
I.5.2.4 l'échelle Fahrenheit	14
I.5.2.5 l'échelle Rankine	14
I.5.2.6 Conversion	14
I.5.3 Pression atmosphérique	15
I.5.3.1 Définition et unités	15
I.5.3.2 Haute pression et basse pression	15
Chapitre II :Énergie éolienne et Sillage éolien	
II .Énergie éolienne	16
II .1.Introduction	17
II.2 Principe de fonctionnement d'une éolienne	17
II. 2.1 Ailes ou pales d'une éolienne	17
II. 2.2 La tour ou le mât d'une éolienne	18
II. 2.3 la nacelle	18
II. 2.4 La partie électrique d'une éolienne	18
II.3 Le vents, les différentes façons d'en profiter un maximum	20
II.3.1 Premièrement l'effet de tunnel	20
II.3.2 Deuxièmement, l'effet de colline	21
II.4 Sillage éolien et interaction entre machines	21
Chapitre III : Construction D'une Station Météorologique	
III. Construction D'une Station Météorologique	22
III.1.Introduction	23
III.2 définition	23
III.3 Station météo Internet, Wi-Fi et intégrées	24
III.4.Le choix de l'emplacement	26
III 5 Les instruments à installer dans un simple station météorologique	26

III.6. Le thermomètre	26
III.6.1 Historique	27
III.6.2 Les Type des Thermomètres	28
III.6.2.1 Les thermomètres à mercure	28
III.6.2.2 Thermomètre à alcool	28
III.6.2.3 Thermomètre à cadran et aiguille	28
III.6.2.4 Thermomètre à cristaux liquides	28
III.6.2.5 Thermomètre électronique	28
III.6.2.6 Thermomètre à usage professionnel	29
III.6.2.7Thermomètreinfrarouge	29
III.6.2. 8 Thermomètre medical	31
III.6.2.9 Thermomètre à minimum et maximum	32
III.5.2.10 Thermomètre de Galilée	33
III.6.3 Thermocouple	33
III.6.3.1 Généralités	33
III.6.3.2 Historique	33
III.6.3.3 Explications	34
III.6.3.4 MESURE DES TENSIONS DE THERMOCOUPLE	35
III.6.3.5 Différents types de thermocouples	36
III.6.3.5.1 Thermocouples à base de métaux usuels	38
III.6.3.5.2 Thermocouples à base de métaux nobles	39
III.6.3.5.3 Thermocouples à base de métaux réfractaires	
III.6.4 Le baromètre	41
III.6.4.1 Historique	42
III.6.4.2 Les différents baromètres	43
III.6.4.2.1 Le baromètre à mercure	44
III.6.4.2.2 Les baromètres à eau	44
III.6.4.2.3 Les baromètres à gaz	45 45
III.6.4.2.4 Les baromètres anéroïdes	45 46
III.6.4.2.5 Barographes	40 47
III.6.5 Explication scientifiques sur la pression atmosphérique III.6.6 Anémomètre	47 49
III.6.6.1 Les types des anémomètres	50
III.6.6.1.1 Anémomètre à coupelles	50
III.6.6.1.2 Anémomètres à hélice	50
III.6.6.1.3 Anémomètre à ultrason	51
III.6.6.1.4 Anémomètre à tube	51
III.6.6.1.5Anémomètre à fil chaud	51
Chapitre IV : Réalisation pratique	51
IV.1.Introduction	52
IV.2 thermomètre	52
IV.2.1 L'alimentation	54
IV.2.2 L'oscillateur	55
IV.2.3 Le circuit de RESET	56
IV.2.4 LM35	56
IV.2.5 Fonctionnement	56
IV.3 Girouette	57
IV.4 Anémomètre	57
Conclusion générale	59

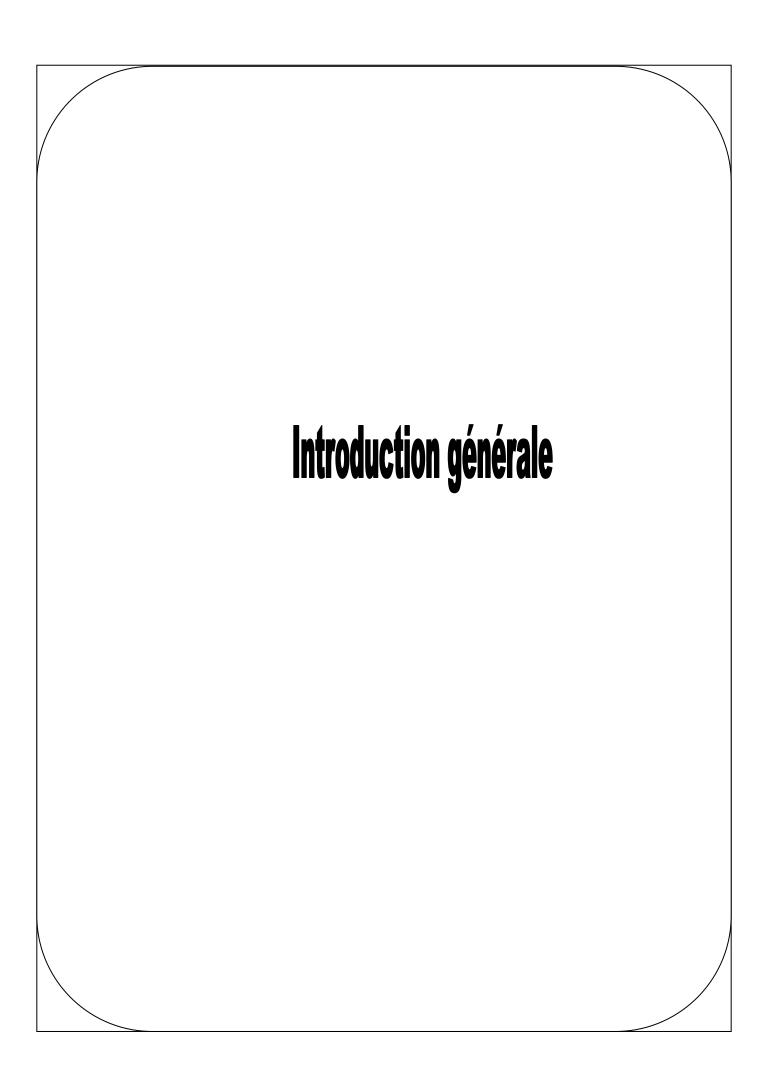
# fiste des figures

# CHAPITRE I

Figure I.1 Structure verticale de l'atmosphère					
Figure I.2 Exemple de nuage en fonction de leur altitude					
Figure I.3 Principaux vents au niveau mondial					
Figure I.4 le point triple de l'eau					
Figure I.5 Exemple de carte isobare avec représentation des fronts					
Figure I.6 Anticyclone et dépression dans l'hémisphère Nord	16				
CHAPITREII					
Figure II.1 Composition d'une éolienne	17				
Figure II.2 l'effet de tunnel					
Figure II.3 l'effet de colline	21				
CHAPITREIII					
Figure III.1 Exemple des stations WIFI	25				
Figure III.2 des stations plus avance	25				
Figure III.3 thermomètre à cristaux liquides					
Figure III.4 thermomètre infrarouge					
Figure III.5 Thermomètre médical, ancien modèle à mercure					
Figure III.6 thermomètre MIN MAX					
Figure III.7 thermomètre de Galilée					
Figure III.8 thermocouple	34				
Figure III.9 le circuit électrique équivalente au thermocouple					
Figure III.10 block Isothermique	37				
Figure III.11 baromètre	43				
Figure III.12 Baromètre à mercure					
Figure III.13 Baromètres à eau de Goethe					
Figure III.14 baromètres anéroïdes					
Figure III.15 les capsules anéroïdes					
Figure III.16 Anémomètres	50				
CHAPITRE IV					
Figure IV.1: le schéma synoptique de circuit thermomètre	53				
Figure IV.2: schéma électrique pour l'alimentation	54				
Figure IV.3: le circuit oscillateur	55				
<b>Figure IV.4 :</b> le schéma électrique de circuit d'alimentation et de reset <b>Figure IV.5</b> : Image final de thermomètre	55 56				
	57				
Figure IV.6 : Une simple girouette  Figure IV.7 : Anémomètre réalisée	57 58				
PIPULE IV./: AUCHOHICHE TEAUSCE	18				

# £istedes tables

Tableau I.1Composition de l'atmosphère sèche		
<b>Tableau I.2</b> Relation force de Beaufort, vitesses et effets sur la mer et la terre	9	
Tableau III.1 différent métal et différent mesure	35	
Tableau III.2 des différents coefficients en fonction du type de thermocouple		
et pour les plages de mesure	40	
<b>Tableau IV.1</b> la vitesse de vent en fonction de l'angle	58	



# Introduction générale

L'intense industrialisation des dernières décennies et la multiplication des appareils domestiques électriques ont conduit à des besoins planétaires en énergie électrique considérables. Face à cette demande, toujours croissante de nos jours, les pays industrialisé sont massivement fait appel aux centrales nucléaires. Cette source d'énergie présente l'avantage indéniable de ne pas engendrer de pollution atmosphérique contrairement aux centrales thermiques, mais le risque d'accident nucléaire, le traitement et l'enfouissement des déchets sont des problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures. Sans oublier que des événements climatiques récents, comme la canicule de l'été 2003 en France, ont soulevé de nouvelles interrogations sur la viabilité du nucléaire, notamment à cause du réchauffement local de la température de l'eau des fleuves utilisée pour refroidir les réacteurs.

Face à ces problèmes, et de façon à limiter l'emploi de centrales nucléaires, certains pays, aidés par la déréglementation, se sont tournés vers de nouvelles formes d'énergie dites "renouvelables" faisant appel, de façon directe ou indirecte, à l'énergie solaire. Parmi celles-ci "l'éolien" apparaît clairement en bonne place, non pas en remplacement des sources conventionnelles, mais comme énergie d'appoint complémentaire à l'énergie nucléaire. En effet l'énergie potentielle des masses d'air en mouvement représente, au niveau mondial, un gisement considérable.

Actuellement, plusieurs pays sont déjà résolument tournés vers l'énergie éolienne. Ce dernier est produite par la force que le vent exerce sur les pales d'une éolienne, qui dépend de la météo (pression atmosphérique, température.... etc.) alors le météo est un critère important à la production de l'énergie éolienne due vient l'importance de la station météorologique dans l'étude et le développement de l'énergie éolienne.

Dans cette mémoire intitulé réalisation d'une petite station météorologique destinée à une application éolienne, notre objective est la conception et le fabrication d'une station météorologique simple afin de bien comprendre le fonctionnement et la composition de ces machine qui sans elles la météorologique n'a aucun valeur dans le domaine professionnel.

# **Chapitre I** Science météorologique

#### I.1.Introduction

Pour assurer la rentabilité de l'implantation d'une éolienne, il est nécessaire de pouvoir évaluer les différents paramètres météorologiques spécialement le potentiel de vent dont on dispose sur un site particulier. Il s'agit, enfin, de l'énergie de base sans laquelle le projet n'aura pas de sens.

Dans ce chapitre, nous allons voir une introduction sur la science météorologique qui est indispensables à amélioration du rendement et performances d'une éolienne.

#### I.2.définition

La météorologie est l'étude des phénomènes atmosphériques tels que les nuages, le vent...ect. Dans le but de comprendre comment ils se forment et évoluent en fonction des paramètres mesurés tels que la pression, la température et l'humidité. La science météorologique est de trouver les lois régissant la dynamique du fluide que l'on nomme l'air et de pouvoir prédire son comportement futur. L'air est un fluide compressible, formé de différents gaz et se trouvant dans une mince couche à la surface d'un référentiel en rotation (la Terre). La météorologie étant une branche de la physique, la théorie des fluides, le calcul des forces et la thermodynamique sont mises à profit pour expliquer le comportement de l'atmosphère.

la météorologie est devenue un lieu d'application des différents type des lois et disciplines comme la mécanique des fluides ,la thermodynamique et même des différentes branches de la physique et chimie.

La météorologie moderne permet d'établir des prévisions de l'évolution du temps en s'appuyant sur des modèles mathématiques à court comme à long terme. La météorologie a des applications dans des domaines très divers comme les besoins militaires, la production d'énergie, les transports (aériens, maritimes et terrestres), l'agriculture, la médecine, la construction, la photographie aérienne ou le cinéma. Elle est également appliquée pour la prévision de la qualité de l'air.

# I.3. Historique des études météorologique

le premier ouvrage concernant la météorologie est le NeiJing Su Wen (Dans l'Antiquité chinoise fin du Ier millénaire av. J.-C.), comprenant des observations et même des prévisions. Mais le terme météorologie a été crée par le philosophe grec Aristote pour décrire ce qu'on appellerait les Sciences de la Terre de façon générale et non le domaine exclusif de l'étude de l'atmosphère.

après la disparition de l'Empire romain (Moyen Âge) et a couse de mutation et de réorganisation, les savoirs gréco-romains sur le climat ont été abandonne en Europe il y a vé peu de place aux libres penseurs seulement Le monde arabo-musulman assimile avec plus de

perspicacité l'héritage gréco-romain et perpétue, voire développe, des savoirs cohérents jusqu'au XIVe siècle (L'arc-en-ciel qui est un photo-météore, fut ainsi correctement appréhendé en premier lieu, par le savant arabe Ibn Al Hayathem, il explique aussi les phénomènes de réfraction atmosphérique et comprend pourquoi la Lune et le Soleil apparaissent agrandis à l'horizon. Plus tard Theodoric de Freiberg au XIVe siècle, a approfondi l'explication de la formation des arcs-enciel)

La période de la Renaissance permis une redécouverte des savoirs antiques, En 1607 Galilée construit un "thermoscope" et en 1644, Evangelista Torricelli, un contemporain de Galilée, créa le premier vide artificiel et utilisa le concept pour créer le premier baromètre(Le tube de Torricelli) pour mesure la pression et suit a des recherche sur ce dernière Blaise Pascal découvre en 1648 que la pression diminue également avec l'altitude et en déduit qu'il y a un vide au-delà de l'atmosphère.

En 1667, le scientifique britannique Robert Hooke construit "l'anémomètre" pour mesurer la vitesse du vent, un instrument essentiel à la navigation et en 1686, Edmund Halley "cartographie les alizés" et en déduit que les changements atmosphériques sont causés par le réchauffement solaire. Il confirme ainsi les découvertes de Pascal sur la pression atmosphérique

En 1780, Horace-Bénédict de Saussure construit un "hygromètre" à cheveu pour mesurer l'humidité de l'air. Il s'agit d'un instrument complémentaire au thermomètre et à l'anémomètre pour quantifier les variables atmosphériques.

En 1802-1803, le britannique Luke Howard écrit "On the Modification of Clouds" dans lequel il donne les noms que nous connaissons maintenant aux nuages. En 1806, Francis Beaufort introduit son échelle descriptive des vents destinée aux marins.

En 1837 et suit de l'invention du télégraphe le "Smithsonian Institution" sous la direction de son directeur et physicien "Joseph Henry" commence à mettre sur pied un réseau de stations météorologiques d'observation aux États-Unis d'Amérique en 1849.

En 1860, le vice-amiral "Robert FitzRoy" utilise le télégraphe pour colliger les données météorologiques quotidiennes venant de toute l'Angleterre et tracer les premières cartes synoptiques. La variation de ces cartes dans le temps lui permet d'établir les premières prévisions qu'il publie dans le journal "The Times" à partir de 1860.

En 1853, une première conférence des représentants de dix pays se réunit à Bruxelles pour formaliser une entente et normaliser le codage des données météorologique. En 1873, "l'Organisation météorologique internationale" est fondée à Vienne par les pays ayant un service météorologique.

# I.4. Atmosphère terrestre

#### I.4.1.Définition

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse entourant la Terre. Près de la moitié de sa masse est contenue dans les 5000 premiers mètres. C'est bien peu, comparé aux 6'400'000 mètres du rayon terrestre. En comparaison, si la Terre avait la taille d'une orange, l'épaisseur de l'atmosphère serait équivalente à celle d'une feuille de papier. Et pourtant, c'est l'atmosphère qui crée les conditions favorables à l'épanouissement de la vie à la surface de notre planète .

## I.4.2.Structure et composition

En fait, notre atmosphère est divisée en plusieurs couches caractérisées entre autres par leur profil vertical de température. Ainsi, le domaine de la basse atmosphère s'identifie à la troposphère, riche en vapeur d'eau et en nuages, au sein de laquelle la température décroît dans l'ensemble assez régulièrement avec l'altitude. L'épaisseur de cette troposphère varie sous les effets de la rotation du système Terre-Lune et les interférences gravitationnelles de la Lune et du Soleil. Elle se réduit à 7 kilomètres aux pôles alors qu'elle frôle la vingtaine audessus de la zoné équatoriale. C'est aussi au sein de la troposphère que se trouve la couche limite. C'est la couche de la troposphère directement influencée par la surface terrestre où l'écoulement de l'air est turbulent. En moyenne, elle est comprise entre la surface terrestre et une hauteur généralement de quelques centaines de mètres à généralement 1500 m, parfois jusqu'à 2000 m.

Vient ensuite le domaine de la moyenne atmosphère, qui superpose la stratosphère (jusqu'à une cinquantaine de kilomètres d'altitude) et la mésosphère. C'est dans la stratosphère à environ 25km d'altitude que se situe la couche d'ozone. C'est d'ailleurs, les réactions photochimiques induites par la présence d'ozone qui fournit à l'air un apport de chaleur, de sorte que lorsqu'on s'élève dans la stratosphère, la température devient d'abord constante, puis se met à croître. Ce n'est que plus haut, dans la mésosphère, que le profil thermique vertical est à nouveau décroissant.

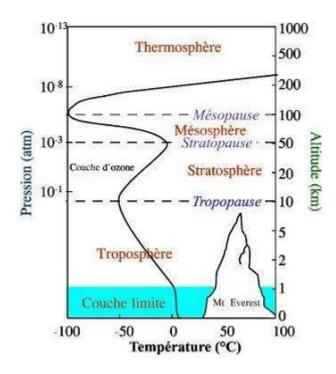


Figure 1 : Structure verticale de l'atmosphère [12]

Au-delà débute le domaine de la haute atmosphère où, dans la thermosphère, des transformations physiques et chimiques affectent de plus en plus profondément un air devenu très raréfié et soumis à une température considérablement croissante avec l'altitude. La thermosphère est prolongée par l'exosphère, où l'altitude est désormais suffisante pour qu'une part notable des particules ionisées constituant alors l'atmosphère échappe à l'attraction de la gravitation terrestre.

Le tableau ci-dessous décrit la composition chimique de l'atmosphère sèche. A cela, il faut ajouter la vapeur d'eau (H2O) dont la concentration varie entre 1 et 4 %, surtout dans les basses couches de l'atmosphère. Azote, oxygène, argon et autres gaz rares sont en proportions très stables dans l'atmosphère. Seules les teneurs en gaz liés à l'activité humaine (gaz carbonique, ozone, etc) et la vapeur d'eau sont variables. L'atmosphère terrestre a permis l'apparition et le maintien de la vie mais en retour, la présence de la vie a fortement modifié la composition de l'atmosphère. À titre d'exemple, l'activité humaine contribue à modifier la composition de l'atmosphère en y accroissant par émission, l'importance de certaines substances (ex : le gaz carbonique) et en y injectant de nouvelles. Dans son ensemble, l'atmosphère pèse près de 5 millions de milliards de tonnes. Une masse pourtant 3000 fois plus faible que la seule masse de toute l'eau du monde

Tableau 1: Composition de l'atmosphère sèche [3]

Gaz	Pourcentage [%]	Pourcentage [ppmv <sup>1</sup> ]
Azote (N <sub>2</sub> )	78, 08	780 840
Oxygène (O <sub>2</sub> )	20,946	209 460
Argon	0,934	9 340
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	0.0386	386
Ozone (O <sub>3</sub> )	Entre 0,000001 et 0,000007	Entre 0,01 et 0,07
Méthane	0,0001745	1,745
Autres gaz (néon, hélium,)	0,0020	20

#### I.4.3. Effet de serre, définition

À la distance qui la sépare du Soleil, la Terre devrait être une planète de glace (-18°C). Pourtant la température moyenne à la surface du globe est de +15°C. Pourquoi ? Parce que l'atmosphère qui nous enveloppe joue le rôle d'une vitre, à travers laquelle le Soleil réchauffe le sol et qui empêche cette énergie de repartir dans l'espace. C'est cela, l'effet de serre. Plus précisément, on peut quantifier les échanges d'énergie. La Terre reçoit de l'énergie (environ 340W/m2) du Soleil sous forme d'ondes électromagnétique. Alors qu'une partie de ce (65 W/m2) et les constituants atmosphériques (15 W/m2) vers l'espace, le reste est absorbé pour un tiers (80 W/m2) par l'atmosphère et ses gaz à effet de serre (vapeur d'eau, méthane, dioxyde de carbone) et pour les deux tiers par la surface terrestre. L'albédo moyen de la surface terrestre renvoie environ 50 W/m qui se répartissent entre 20 W/m définitivement renvoyés vers l'espace et 30 W/m2retournant à la surface terrestre. C'est ce réchauffement causé par l'absorption et la rediffusion de ces 30 W/m2 par les gaz a l'effet de serre que l'on nomme effet de serre, C'est donc un phénomène naturel qui favorise le développement de la vie sur Terre.

# I.4.4.Les gaz à effet de serre

La vapeur d'eau contenue dans l'air est responsable des deux tiers de l'effet de serre. Mais certains gaz (CO2, méthane, ozone, CFC,...) même présents en très très faible quantité , participent aussi à cet effet. Dans l'atmosphère, le temps de résidence de certains gaz à effet de serre peut atteindre plusieurs milliers d'années.

La vapeur d'eau (H2O) est produite par l'évaporation des plantes, des sols, des cours d'eau et des océans. Une faible quantité est aussi libérée par les volcans (c'est ainsi que s'est formée l'atmosphère terrestre primitive).

Le gaz carbonique (CO2) peut être d'origine naturelle (respiration, éruption volcanique, ...) ou anthropique (industrie, voitures,...). Cette présence de CO2 dans l'air est régulée par l'océan capable d'en absorber de grandes quantités.

Le méthane (CH4) d'origine naturelle est libéré par la décomposition des matières organiques en milieu privé d'oxygène : le pourrissement dans les marais, les mangroves, les sols dégelés des régions arctiques, les fond marins ou encore la digestion les animaux. Il s'en échappe aussi lors des éruptions volcaniques.

L'ozone (O3) peut être d'origine naturelle (incendie) ou anthropique (industrie,...). L'ozone est de l'oxygène, mais sa molécule ne comporte pas 2 atomes, comme le dioxygène utile à notre respiration (O2), mais 3. Cet ozone de la basse atmosphère (troposphère), est un véritable poison pour les plantes, la peau et le système respiratoire (crises d'asthme). Alors que l'ozone stratosphérique (vers 20 ou 30 km) est au contraire très utile : il nous protège des rayons solaires ultraviolets, dangereux pour la vie.

Le protoxyde d'azote (N20) est un des produits de la transformation des nitrates par les bactéries du sol. Il s'échappe alors dans l'atmosphère et réagit pour produire du monoxyde d'azote (NO).

#### I.4.5. Nuage, formation et rôle

La vapeur d'eau, forme gazeuse de l'eau, peut se transformer en gouttelettes liquides ou en fins cristaux de glace dans des conditions favorables de température et de pression. Lorsque de grandes quantités de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace sont présentes, elles perturbent suffisamment le passage de la lumière pour nous permettre de les apercevoir: elles forment des nuages. La forme des nuages est modelée par les vents verticaux, alors que les vents horizontaux les déplacent.

Les nuages nous renseignent sur la température, les conditions de vent, les mouvements des masses d'air et sur l'humidité présente dans l'atmosphère. L'observation des nuages est très utile pour prévoir le temps. De plus, ils jouent un rôle complexe dans le système climatique. Ils sont la source de précipitations, influencent la quantité d'énergie solaire qui atteint la surface de la Terre, et isolent celle-ci ainsi que les couches basses de l'atmosphère.

Bien sûr, les conditions régnant sur Terre influencent la quantité et le type de nuages qui seforment au-dessus. Les activités humaines peuvent également influencer les conditions nuageuses. Un exemple typique est la formation de traînées de condensation linéaires dû aux avions à réaction.

Généralement, le nombre, l'altitude et la forme de nuages, ainsi que la forme et le nombre de trainées sont décrites et quantifiées. Il existe trois principaux types de familles de nuages, les cumulus ou cumulo de forme bouffie ou gonflée, les stratus ou strato qui sont des nappes étendues et les cirrus ou cirro, toujours situés en haute altitude.

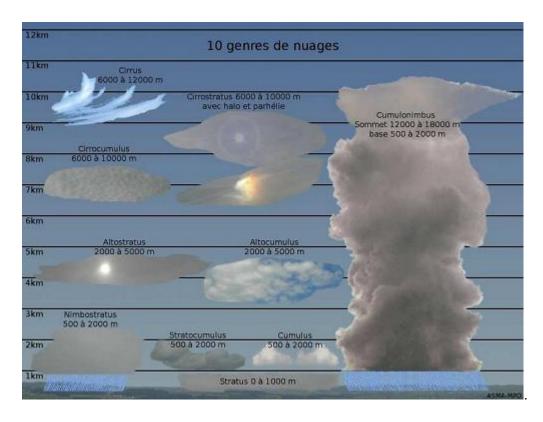


Figure 2 : Exemple de nuage en fonction de leur altitude [3]

# I.5. Phénomènes météorologiques

#### I.5.1.Le Vent

#### I.5.1.1.Définitions et unités

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît de la différence de pression. Le vent se déplace des hautes pressions (anticyclones) vers les basses pressions (dépressions). Direction et vitesse du vent sont des grandeurs mesurables dont la connaissance est nécessaire à l'étude de la dynamique des masses d'air. La direction indique d'où souffle le vent. Ses unités sont soit les points cardinaux (N, S, E, O) ou les degrés centigrades. Un "vent de sud-ouest" signifie que l'air est en mouvement du sud-ouest vers le nord-est. La vitesse s'exprime soit en mètre par seconde (m/s), soit en kilomètre par heure (km/h) soit en nœud (kt, 1 nœud correspond à une distance de 1 mille nautique parcouru en 1 heure, soit 1,852 km/h). 1 m/s équivaut à 3,6 km/h et environ 2 nœuds. Sont généralement mesurées : la vitesse moyenne, la vitesse maximale et minimale durant un intervalle de temps donné. L'échelle Beaufort, utilisée en météorologie marine, classe les vents en 13 classes en fonction de leur vitesse et des effets qu'ils génèrent sur l'état de la mer, d'où le terme de force.

Tableau 2: Relation force de Beaufort, vitesses et effets sur la mer et sur la terre [3]

Force	Termes	Vitesse en nœuds	Vitesse en km/h	État de la mer	Effets à terre
0	Calme	moins de 1	moins de 1	La mer est comme un miroir	La fumée monte verticalement
1	Très légère brise	1 à 3	1 à 5	Quelques rides, mais sans aucune écume	La fumée indique la direction du vent.
2	Légère brise	4 à 6	6 à 11	Vaguelettes ne déferlant pas	Les feuilles bougent.
3	Petite brise	7à10	12 à 19	Très petites vagues.	Les drapeaux flottent bien. Les feuilles sont sans cesse en mouvement.
4	Jolie brise	11 à 15	20 à 28	Petites vagues, de nombreux moutons	Les poussières s'envolent, les petites branches plient.
5	Bonne brise	16 à 20	29 à 38	Vagues modérées, moutons, éventuellement embruns	Les sommets de tous les arbres sont agités.
6	Vent frais	21 à 26	39 à 49	Crêtes d'écume blanches, lames, embruns	On entend siffler le vent.
7	Grand frais	27 à 33	50 à 61	Trainées d'écume, lames déferlantes	Tous les arbres s'agitent.
8	Coup de vent	34 à 40	62 à 74	Tourbillons d'écumes à la crête des lames	Quelques branches cassent.
9	Fort coup de	41 à 47.	75 à 88	Lames déferlantes grosses à énormes, visibilité réduite par les embruns	Le vent peut endommager les bâtiments.
10	Tempête	48 à 55	89 à 102	Conditions exceptionnelles: Très grosses lames à longue crête en panache.	Gros dégâts.
11	Violente tempête	56 à 63	103 à 117	Lames exceptionnellement hautes. Visibilité réduite	Très gros dégâts.
12	Ouragan	égal ou supérieur à 64	supérieur à 118	Conditions exceptionnelles: La mer est entièrement blanche. Visibilité fortement réduite	Dégâts très importants.

#### I.5.1.2. Formation du vent

Il est impossible de parler de vent sans parler de pression. En effet, l'origine des vents est liée à la différence de distribution de la pression atmosphérique. Ces variations sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire reçue à la surface de la Terre, et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans. Par exemple, durant la journée, les terres auront tendance à être plus chaudes que les mers. L'air se met alors en mouvement, car l'air situé au-dessus des continents sera chauffé, il augmentera de volume ,deviendra plus léger et s'élèvera. Il s'écoulera par-dessus l'air plus froid et plus lourd, qui lui sera aspiré sur le continent. Plus la différence de pression sera grande, plus le vent soufflera fort .

Si la Terre ne tournait pas sur son axe, la circulation serait directe (en ligne droite) entre les centres des hautes et des basses pressions. Cependant, la rotation de la Terre dévie l'air vers la droite de son propre mouvement dans l'hémisphère nord (vers la gauche dans l'hémisphère sud .(On nomme cette déviation force de Coriolis. Cette force est proportionnelle à la distance entre les hautes et basses pressions ainsi qu'à la latitude. Cette force de Coriolis est nulle à l'Equateur et augmente en fonction de la latitude. A l'échelle locale, comme les distances sont faibles, ladéviation due à la force de Coriolis est négligeable. A cet effet, il faut ajouter celui du frottement dela surface pour aboutir à la direction des vents réelle.

# I.5.1.3. Mesure et historique

Pour mesurer la vitesse du vent on se sert d'un anémomètre, la direction du vent est exprimée comme un point de la boussole d'où le vent souffle. De l'air se déplaçant du Sud Ouest au Nord Est s'appelle un vent de Sud ouest. Il peut également être exprimé en degrés (pour un vent de Sud-Ouest : 220°). Pour connaître la direction des vents on se sert soit d'un manche à air, soit d'une girouette, souvent associée à l'anémomètre. On se réfère alors aux quatre principaux points cardinaux pour juger de la direction d'où vient le vent. Aristote reprend, dans Les Météorologiques, les quatre noms des vents cités par Homère (Euros, Notos, Zéphyr et Borée) et complète cette liste en définissant une rose des vents à douze directions.

Ier ou IIème siècle avant notre ère : La tour des vents, construite à Athènes, est un monument octogonal encore visible près de l'Acropole. Chacun des murs est surmonté par une frise où un personnage mythologique porte le nom du vent qui souffle depuis la direction à laquelle il fait face.

Moyen Âge : Des girouettes découpées dans du métal, généralement en forme d'animal, surmontent souvent le clocher des églises. Il s'agit souvent d'éléments décoratifs car à cause des frottements, le vent doit être assez fort pour les faire tourner.

1450 : Le premier anémomètre est décrit par Léon Batista Alberti. Il s'agit d'un anémomètre à pression : la force du vent est estimée d'après l'angle que fait une plaque mobile autour d'un axe horizontal avec la position verticale qu'elle occupe au repos.

1673 : Le premier anémomètre à rotation (la vitesse du vent est déduite de la vitesse de rotation d'un moulinet ou d'une hélice) est décrit dans un livre qui semble être l'œuvre de René Grillet.

1797 : Georg Friedrich Parrot invente une girouette munie d'un contrepoids et de deux plaques écartés d'un angle de 20 degrés. Cela permet d'améliorer la stabilité et la sensibilité pour en faire un instrument scientifique.

1806 : L'amiral anglais sir Francis Beaufort introduit une échelle numérique de la force du vent, de 0 à 12, en utilisant comme référence la voilure d'une frégate à trois mâts.

1835 : C'est dans un article « Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps » que Gaspard-Gustave Coriolis décrivit mathématiquement la force qui porte son nom. 1846 : L'astronome irlandais Thomas Rommey Robinson invente un anémomètre muni d'un moulinet à quatre coupelles hémisphériques, monté sur un axe vertical.

# I.5.1.4 Distribution des vents à l'échelle de la Terre et sur la région "O3E"

Toutes les données météorologiques confirment que la circulation de l'air autour du globe est très variable. Elle est influencée par la nature même de la surface terrestre (continents ou océans) et les chaînes de montagne. Cependant, il existe certaines situations caractéristiques comme le montre la figure ci-dessous. Par exemple, entre le Tropique du Cancer et l'Equateur, les vents de l'hémisphère sont déviés vers l'est, devenant les célèbres alizés du

nord-est. C'est dans cette zone que se développent les cyclones tropicaux. Entre 20° et 60°, la déviation des vents vers l'ouest est accentuée par les courants jets ou jet stream.

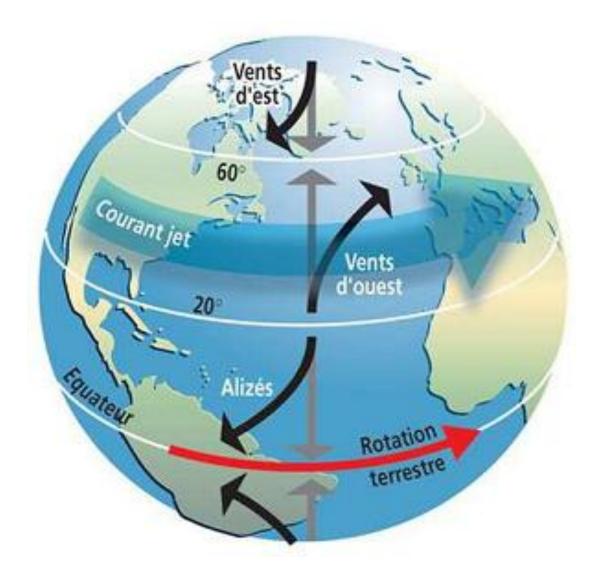


Figure 3: Principaux vents au niveau mondial [3]

# I.5.2.Température

Dans le domaine de la météorologie, la température s'écrit souvent  $T^{\circ}$  et on parle de température éolienne, pour exprimer la température ressentie sous l'effet du vent, aussi connue sous température subjective, impression de chaud ou froid, ou encore température au vent.

# I.5.2.1Échelles

L'unité légale de température dans le système international est le kelvin de symbole K. Il existe d'autres systèmes de mesures antérieurs et toujours utilisés : les échelles Celsius centigrade, Fahrenheit et Rankine.

#### I.5.2.1le Kelvin

Il est défini à partir du point triple de l'eau : un kelvin est égal à 1/273,16 fois la température du point triple de l'eau (point triple de l'eau H2O. La température de 0 K H2O est égale à -273,15 °C et correspond au zéro absolu (le point triple de l'eau est donc à la température 0,01 °C).). Le zéro absolu, correspondrait à la limite à une absence totale d'agitation microscopique et à une température de -273,15 °C ; mais on ne peut jamais l'atteindre (Penser que l'entité physique est plutôt 1/T , et on ne peut jamais atteindre l'infini). Cette unité permet de définir une échelle absolue des températures.

## "Point triple"

Le point triple est, en thermodynamique, un point du diagramme de phase qui correspond à la coexistence de trois états (liquide, solide et gazeux) d'un corps pur. Il est unique et s'observe seulement à une température et une pression données ; dans cet état la variance est nulle.

Exemple : le point triple de l'eau est à : T = 273,16 K (soit 0,01 °C) et P = 611 Pa (soit 0,006 atm).

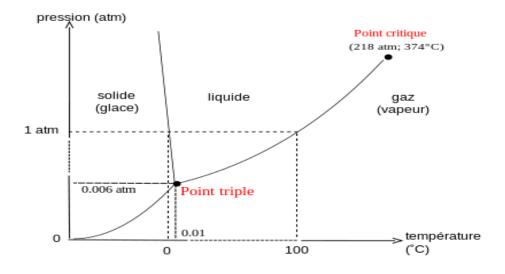


Figure 4 : le point triple de l'eau [4]

#### I.5.2.2.le Celsius

C'est le kelvin auquel on retire 273,15 K. Son unité est le °C. Elle est une simple translation de l'échelle absolue. Le point triple de l'eau y a donc pour valeur 0,01 °C.

# I.5.2.3.les échelles centigrades

L'échelle de mesure est telle que 0 et 100 sont fixés. Elle est appelée centigrade car les deux points de référence sont distants de 100°. Entre les deux, c'est la dilatation du mercure qui définit l'échelle.

**Par exemple** dans l'échelle centigrade de Celsius, le zéro correspond à la température de la glace fondante et 100 degrés centigrades correspond à la température d'ébullition de l'eau sous une pression de 1 atmosphère.

#### I.5.2.4.1'échelle Fahrenheit

Son symbole est °F. Elle attribue une plage de 180 °F entre la température de solidification de l'eau et sa température d'ébullition. On la déduit de l'échelle Celsius. Elle fixe le point de solidification de l'eau à 32 °F et le point d'ébullition à 212 °F.

# I.5.2.5.l'échelle Rankine

C'est une simple homothétie de l'échelle absolue avec un facteur 9/5.

#### I.5.2.6 Conversion

Le tableau ci-dessous résume les formules permettant de convertir une température entre les différentes échelles.

Tableau 3 : conversion entre échelles [9]

À partir de :	Kelvin	Celsius	Fahrenheit	Rankine
$T_{\mathrm{Kelvin}} =$	$T_{ m K}$	$T_{\rm C} + 273, 15$	$\frac{5}{9}(T_{\rm F}+459,67)$	$\frac{5}{9}T_{\mathrm{Ra}}$
$T_{\text{Celsius}} =$	$T_{\rm K} - 273, 15$	$T_{ m C}$	$\frac{5}{9}(T_{\rm F}-32)$	$\frac{5}{9}(T_{\text{Ra}} - 491, 67)$
$T_{\text{Fahrenheit}} =$	$\frac{9}{5}T_{\rm K} - 459,67$	$\frac{9}{5}T_{\rm C} + 32$	$T_{ m F}$	$T_{\rm Ra} - 459,67$
$T_{\text{Rankine}} =$	$\frac{9}{5}T_{ m K}$	$\frac{9}{5}T_{\rm C} + 491,67$	$T_{\rm F} + 459,67$	$T_{ m Ra}$
$T_{\text{Reaumur}} =$	$\frac{4}{5}\left(T_{\rm K}-273,15\right)$	$\frac{4}{5} T_{ m C}$	$\frac{4}{9}(T_{\rm F}-32)$	$\frac{4}{9}(T_{\text{Ra}} - 491, 67)$

#### I.5.3.Pression atmosphérique

#### I.5.3.1.Définition et unités

La pression est une notion physique fondamentale. La pression atmosphérique correspond au poids exercé par une colonne d'air sur une surface donnée. La pression atmosphérique se mesure à l'aide généralement d'un baromètre. Elle a été longtemps mesurée en millimètre de mercure (mm Hg) en raison de l'utilisation courante de baromètre à colonne de mercure. Depuis l'adoption du pascal comme unité de pression, les météorologues utilisent un multiple de cette unité, l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa). La pression atmosphérique mesurée au niveau de la mer varie autour d'une valeur moyenne de 1 013 hPa.

En météorologie, on parle souvent de champ de pression (espace dans lequel les forces sont orientées indépendamment des masses qui s'y trouvent). En pratique, il est matérialisé sur une carte par les lignes d'isobares représentant les lignes d'égale pression. La distance entre deux isobares donne une représentation statique du gradient de pression. Plus les isobares sont serrés plus le gradient de pression sera élevé et plus les vents souffleront fort dans cette région.

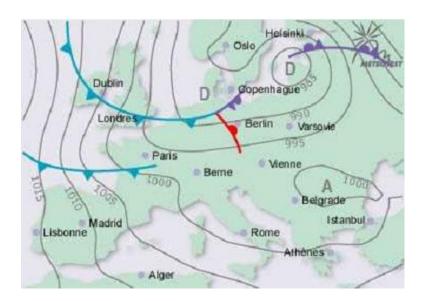


Figure 5: exemple carte isobare [3]

# I.3.3.2. Haute pression et basse pression

Un anticyclone est une zone de circulation atmosphérique autour d'un centre de haute pression (plus de 1013 hPa, notée A). Leur sens de rotation est lié à la force de Coriolis. Les anticyclones généralement apportent du beau temps et des ciels clairs car l'air descendant d'un anticyclone a un effet de dissipation sur les nuages. A l'opposé, une dépression (moins de 1013 hPa, notée D) est une zone où la pression atmosphérique, ajustée au niveau de la mer, diminue horizontalement vers un centre de basse pression, c'est-à-dire un minimum local de pression. On associe les dépressions au mauvais temps, car la dynamique qui entoure une dépression présuppose l'existence de courants ascendants qui augmentent l'humidité relative

pour atteindre le point de condensation provoquant nuages et précipitations. Une des conséquences de cette différentielle **dépression** est le vent. En effet, le vent est de l'air qui se déplace des anticyclones (hautes pressions) vers les dépressions (basses pressions).

Pour bien comprendre les mouvements d'air, il faut savoir que l'air converge, en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère Nord, dans une dépression. Le vent au sol entre dans une dépression, s'élève selon une spirale de plus en plus étroite et s'échappe vers le haut. A l'opposé, l'air diverge dans un anticyclone, c'est à dire que le courant descend sous la forme d'une spirale de plus en plus large en tournant lentement dans le sens des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère Nord. L'air s'étale donc au sol.

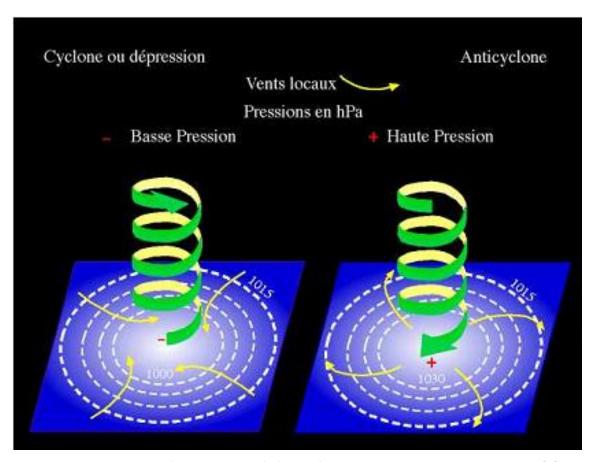


Figure 6 : Anticyclone et dépression dans l'hémisphère Nord, divergence et convergence [3]

# **Chapitre II** Energie éolienne

#### II .1.Introduction

L'énergie **éolienne** est l'énergie produite par le vent, une éolienne est une machine permettant de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de type éolienne. Cette énergie mécanique éolienne a été utilisée au cours des âges pour pomper l'eau ou moudre le grain.

Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité de type éolienne qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau).

# II.2.Principe de fonctionnement d'une éolienne

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple: le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique de type éolienne. L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne.

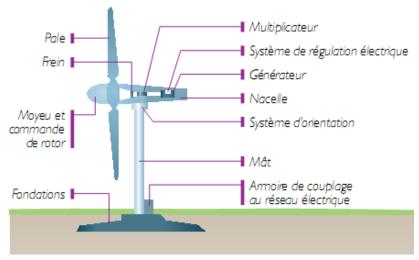


Figure 1: Composition d'une éolienne [18]

# II.2.1. Ailes ou pales d'une éolienne

Les éoliennes modernes sont composées de 2 à 3 ailes, tournant autour d'un rotor à axe horizontal. Les pales de l'hélice d'une éolienne peuvent être en bois lamellécollé, en plastique renforcé de fibre de verre, ou en métal... Le diamètre qu'elles balaient varie de 40 m à 120m.

#### II. 2.2.La tour ou le mât d'une éolienne

L'hélice de l'éolienne est située en haut d'une tour de 50 m à 110 m. le mât peut être des assemblages de croisillons métalliques, en béton ou en métal.

#### II. 2.3 .la nacelle

La nacelle montée du mât, abritant les composants mécaniques, au sommet électroniques, pneumatiques, certains composants électriques et machine. nécessaires au fonctionnement de la La nacelle tourner pour peut orienter la machine dans la bonne direction.

## II. 2.4.La partie électrique d'une éolienne

Dans les éoliennes destinées à produire de l'électricité, l'hélice fait tourner un générateur électrique situé en haut de la tour, dans le prolongement de l'axe de l'hélice de l'éolienne. Entre l'hélice et le générateur électrique de l'éolienne se trouve en général un multiplicateur de vitesse, car l'hélice de l'éolienne tourne à des vitesses d'environ 10 à 60 tours min alors qu'un générateur électrique doit être entraîné à environ 1000 à 1500 tours min.

❖ Le vent est un sous-produit de l'énergie solaire. Il est dû aux différences de pressions engendrées par l'échauffement causé par le rayonnement solaire. Ce qui veut dire que sur toute la terre, le vent représente une quantité colossale d'énergie. Toutefois, seule une petite partie est récupérable.

On peut exprimer l'énergie cinétique du vent comme:

$$E=1/2mv^2$$

$$= 1/2 \rho V v^2$$

$$= 1/2\rho Stv^3$$

m	Masse d'air
ρ	Masse volumique
Volume d'air pa	assant dans l'éolienne
V	vitesse du vent
v Section d'air pa	assant dans l'éolienne
S	

Donc sa puissance instantanée se trouve en divisant par le temps:

$$P = 1/2\rho Sv^3$$

On remarque que la puissance dépend du cube de la vitesse.

Une limite théorique de la puissance extractible existe sous le nom de limite de Betz :

$$P_{max} = \frac{16}{27} 1/2 \rho S v^3$$

$$\approx 0.6 \; 1/2 \rho S v^3$$

Le facteur 16/27 vient du fait qu'on ne peut pas extraire toute l'énergie du vent sous peine de le stopper complètement. Cela est impossible car cela impliquerait que le vent s'accumule derrière l'éolienne.

Le facteur 16/27 vient du fait qu'on ne peut pas extraire toute l'énergie du vent sous peine de le stopper complètement. Cela est impossible car cela impliquerait que le vent s'accumule derrière l'éolienne.

Plusieurs contraintes sont propres à l'énergie éolienne. Tout d'abord le vent est irrégulier temporellement et spatialement. En moyenne faible dans les zones polaires et intertropicales, il est maximal vers ±55° de latitude. À plus petite échelle, il est aussi très irrégulier. Il dépend de l'altitude, de la hauteur au dessus du sol et de la rugosité du relief.

Il faut donc un moyen de stocker l'énergie produite pour pouvoir la restituer en temps voulu. De plus l'emplacement de l'éolienne est très important.

## II.3.Le vents, les différentes façons d'en profiter un maximum

Le choix de l'emplacement des éoliennes n'est pas effectué selon la place disponible mais selon des critères bien précis. Certains lieux sont extrêmement recherchés par les sociétés. La mer en fait partie à cause de son exposition aux vents. Les montagnes sont tout aussi recherchées. Il est vrai que les monts et montagnes freinent et cassent les vents mais ils créent aussi des effets avec ce dernier.

#### II.3.1.Premièrement l'effet de tunnel

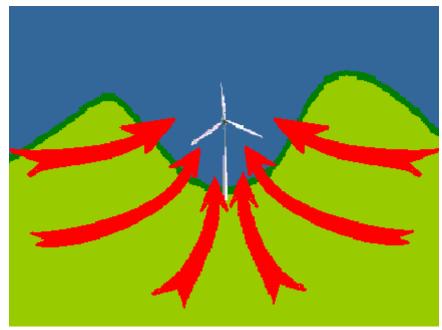


Figure 2: l'effet de tunnel [5]

Comme on peut le voir sur le schéma le vent est compressé dans le tunnel, cela augmente considérablement sa vitesse. Le vent va plus vite donc l'éolienne tournera plus vite, plus longtemps et plus d'énergie électrique sera produite. Mais cela ne fonctionne que si les pentes des monts, ou montagnes, sont douces. Cela signifie que si les pentes sont rugueuses ou accidentées, le vent sera plein de turbulences et il changera de vitesse ainsi que de direction sans cesse et très rapidement. Tout cela risque d'annuler l'avantage de la rapidité du vent ainsi que d'augmenter l'usure de l'éolienne.

#### II.3.2.Deuxièmement, l'effet de colline

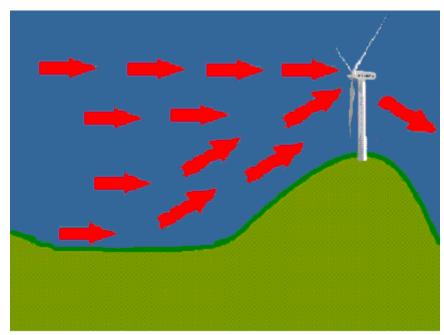


Figure 3: l'effet de colline [5]

Comme on peut le voir sur le schéma, l'éolienne est installée en haut d'un mont, d'une colline. Sur les collines, il existe deux zones de pressions, **les hautes et les basses pressions**.

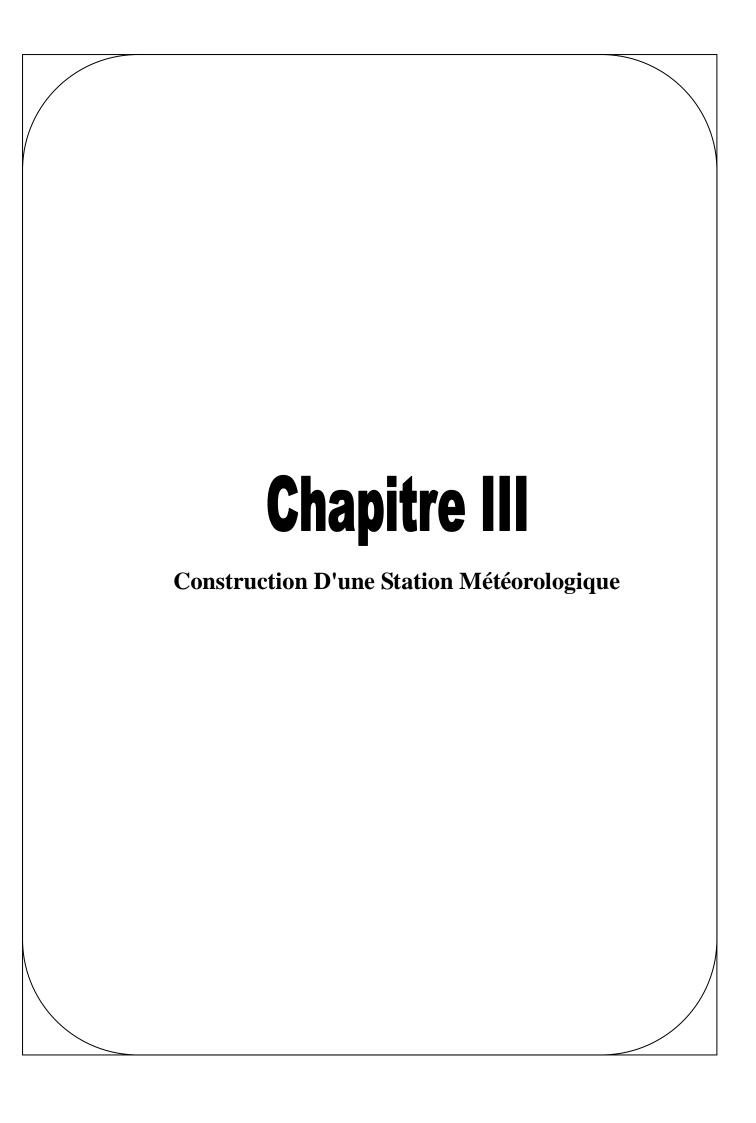
La zone de haute pression se trouve sur la face de la colline exposée au vent. Elle fait monter le vent jusqu'au sommet de la colline où se trouve l'éolienne qui est donc accélérée par la rapidité du vent, déplacé par la haute pression. Puis le vent termine sa course juste derrière l'éolienne stoppé par la basse pression. Mais le même problème se pose tout comme pour l'effet de tunnel, une colline ou un mont accidenté à pentes raides peuvent augmenter l'usure l'éolienne de ainsi qu'à perdre l'avantage de la vitesse du vent.

Donc, les effets de tunnel et de colline sont les effets accélérateurs du vent, ils sont créés grâce à la nature et permettent de multiplier la production de l'éolienne.

### II.4. Sillage éolien et interaction entre machines

Dans les parcs 'éoliens, il est n'nécessaire d'espacer les 'éoliennes afin d''éviter que le sillage et le d'déficit de vitesse existant derrière chaque machine n'affectent trop la production 'énergétique et l'intégrité m'mécanique des 'éoliennes situées plus en aval.

En règle générale, les 'éoliennes dans les parcs sont toutes identiques et la distance entre les machines est définie d'après des règles simples données par les constructeurs, à savoir : cinq à neuf fois le diamètre dans la direction des vents dominants et de trois à cinq fois le diamètre dans la direction perpendiculaire. Ces règles ne constituent 'évidemment pas une garantie d'optimisation de l'implantation des machines et ne permettent pas d''évaluer la prise en compte de la topographie du terrain. Actuellement, la simulation numérique en mécanique des fluides a fait d'énormes progrès et permet de donner des informations intéressantes sur l'écoulement d'air autour des éoliennes. Les codes industriels modernes permettent d'obtenir des résultats quantitatifs satisfaisants. La simulation pourrait donc être un outil appréciable pour analyser le sillage 'éolien et optimiser l'implantation des éoliennes dans un parc en fonction des caractéristiques des machines et de la topographie du site éolien.



#### III.1.Introduction

La météorologie ne serait rien sans instruments de mesure qui nous permettent d'obtenir des valeurs objectives des paramètres atmosphériques. Dans ce chapitre on va situe les équipements essentiel installe au siège éolienne

#### III.2 définition

Les stations météorologiques sont des stations que captent et enregistrent les variations du climat, et faisant des interprétations par des <u>mesures physiques</u>. Les variables à mesurer sont la <u>température</u>, la <u>pression</u>, la vitesse et direction du <u>vent</u>. l'<u>hygrométrie</u>, la hauteur et le type des <u>nuages</u>, le type et l'intensité des <u>précipitations</u> ainsi que la <u>visibilité</u> elles sont aussi connue par les paramètres au bien les phénomènes météorologiques.

Les stations météorologiques sont le plus souvent à des coordonnées fixes (sur les îles, continents) mais elles peuvent également être déplacées pour des usages particuliers comme des expériences scientifiques.

On peut distinguer différent type des stations météorologiques selon les données qu'on en obtient (agro-météorologique, d'aéroport, météoroutière, climatologique, etc.)

Dans les stations, nous trouvons de nombreux instruments statiques et des enregistreurs reliés à des capteurs disposés à l'extérieur Les instruments scientifiques que l'on trouve aujourd'hui dans une station météorologique sont: les différents thermomètres, , l'anémomètre, l'héliographe, le pluviomètre, le ceilomètre ou encore le pyranomètre. En complément les météorologistes utilisent le psychromètre à main qu'ils sortent de la station à l'heure des observations synoptiques.

Certains instruments sont constitués d'éléments très simples comme d'un entonnoir abrité plongé dans un simple cône en verre gradué (le pluviomètre), d'autres utilisent des éléments organiques et complexe (l'hygromètre à cheveux, des photocapteurs, des dispositifs lasers ou des thermocouples reliés à un ordinateur qui reçoit en parallèle les images satellites).

L'installation d'un parc météorologique doit s'effectuer avec rigueur en respectant autant que possible les recommandations de l'**OMM**, l'Organisation Météorologique Mondiale (**WMO**). Cette installation relève d'une étude scientifique et tous les instruments que l'on y place obéissent à des règles internationales de normalisation afin que les mesures effectuée en tous points du globe soient comparables entre elles et puissent être reportées sur les cartes de pointage et analysées sur le plan climatologique à l'échelle mondiale.

Le célèbre abri météorologique par exemple doit respecter certaines normes de construction et de fonctionnement. Il doit être placé à environ 1.50 m au-dessus du sol, gazonné si possible. Ses parois latérales doivent être constituées de persiennes, tandis que le toit comme le

plancher doivent contenir des aérations pour assurer une ventilation naturelle des instruments (thermomètres, hygromètre, etc). Il doit également protéger les instruments contre les rayons directs du Soleil, même lors de l'ouverture de l'abri. C'est pour cette raison qu'il est orienté portes face au nord dans l'hémisphère nord. Dans les zones polaires et tropicales, en raison du déplacement du Soleil de part et d'autre des Tropiques, l'abri doit être muni de portes sur deux faces, ou pouvoir pivoter sur son pied.

Du fait qu'il existe des endroits où l'installation d'un parc météorologique conforme n'est pas possible en raison de la disposition des lieux (comme sur le toit d'un bâtiment). L'OMM accepte une certaine marge de manœuvres. L'installation d'un parc météorologique doit respecter certains règles : disposer d'un espace suffisant pour installer le matériel à l'écart des obstacles, utiliser du matériel agréé et effectuer les relevés à heure fixe. Ce dernier point représente sans doute la contrainte la plus sévère pour une personne seule car la météorologie ne s'interrompt pas durant la nuit ni durant les vacances; les observations doivent avoir lieu toutes les heures ou toutes les 6 heures ainsi que chaque fois qu'un événement (pluie, averse, orage, etc) se manifeste ou s'arrête ou qu'un seuil est atteint (visibilité, plafond). On comprend dans ces conditions que ce travail parfois ingrat soit avant tout assuré par des professionnels, civils et militaires.

## III.3. Station météo Internet, Wi-Fi et intégrées

Avec l'avènement de la micro-informatique et d'Internet, des liaisons san fil (Wi-Fi) et à haut débit, des centaines d'amateurs n'ont pas hésité à acquérir des stations météos intégrées et électroniques et ont créeront leur propre page "météo" sur Internet où ils présentent aux internautes leurs mesures sous différentes formes. Même les universités, des sociétés et même certaines communes ont investi dans ce type d'application.



Figure 1: Exemple des stations WIFI [2]

quelques sites Internet disposant d'une page météo en ligne, essentiellement à des fins de loisir et non professionnelle, chacune étant personnalisée en fonction de la marque du matériel utilisé ou des compétences en programmation de leur propriétaire : les relevés du PNRFO aux abords du Lac d'Orient (F), le réseau V-Météo.net à Luxembourg, la station canadienne

d'Alain Gazon, celle de Philippe Hakke en Suisse ou encore celle du fabricant d'instruments environnementaux Vaisala en Finlande. Ce genre d'installation est en vogue et d'autant plus chez les jeunes passionnés d'informatique.

Il existe bien entendu de nombreux sites Internet dédiés aux prévisions météos.



Deux produits de PCE Instruments. A gauche, station météo active PCE-FWS 20 équipée de ses instruments de mesure. A droite, la station DCF sans fil (Wi-Fi). Cette société propose de nombreux instruments de mesure et des systèmes de contrôle pour différents domaines d'application.

Figure 2: des stations plus avance [2]

Notons que si certains modèles de stations météos intégrées sont fournis avec des capteurs, des sondes Wi-Fi et permettent de gérer les données acquises au fil des jours sur le site, d'autres modèles sont vendus sans aucun capteur ni moyen d'enregistrement ou de mémorisation. Ce sont en fait des stations passives autonomes qui ne font que capter à distance quelques données émises par ondes-courtes et en temps-réel par des stations météos officielles. Elles sont bien sûr faciles à utiliser, même par un enfant, puisqu'elles ne nécessitent que quelques piles et peuvent être placées n'importe où dans la maison.

# III.4 .Le choix de l'emplacement

Le choix de l'emplacement de la station météo est important. Il sera surtout l'affaire de compromis entre l'emplacement idéal et les contraintes locales. Idéalement, la station sera installée sur un terrain plat, constitué de gazon. Elle devrait aussi se trouver à une distance suffisante de tout élément haut (bâtiment, arbre, haie,...), afin de limiter les perturbations.

# Règle

Les obstacles les plus proches doivent se trouver éloignés d'une distance au moins égale à leur hauteur, soit de 6 à 12 mètres pour une maison, 2 mètres pour un mur

et de 15 à 20 mètres pour un grand arbre. Le baromètre, le thermomètre et l'hygromètre devraient se trouver dans un abri météo, ou en tous cas à l'ombre, sur du gazon coupé à 10 cm de hauteur au maximum. La mesure normalisée de la température se fait entre 1.5 et 2 mètres au-dessus du sol. L'anémomètre doit être placée à grande hauteur (au moins 3 mètres) et installée dans un endroit aussi dégagé que possible afin de ne pas être perturbée par des remous d'air dus aux obstacles proches. L'idéal est de placer l'anémomètre à au moins 10 mètres du sol, sur une perche ou un pylône.

### III.5.Les instruments ainstaller dans un simple station météorologique

Une station météo de base devrait posséder les instruments suivants :

- Un thermomètre MIN-MAX
- Un baromètre
- Un pluviomètre
- Une manche à air ou une girouette et si possible un anémomètre

### III.6.Lethermomètre

Un **thermomètre** est un appareil qui sert à mesurer des températures. Ile mesure sa propre température (celle du la thermomètre et le milieu ambiant). Le mot thermomètre du grec (thermos) signifiant « chaleur » et mètre, « mesurer.

Cela signifie par exemple, que si un thermomètre est exposé au <u>Soleil</u>, il sera plus chaud que l'air, et que cet écart de température dépendra entièrement de sa couleur et de sa ventilation, et donc qu'une température mesurée

La mesure des températures peut être basée sur la <u>dilatation</u> des corps (solides, liquides ou gazeux), ou toute autre propriété <u>physique</u> (variations électriques dans le cas du <u>thermocouple</u>, couleur d'émission de <u>lumière</u> pour les hautes températures, etc.) en fonction de la température. Ce principe général est mis en application de façons très diverses selon les besoins (plages de températures à mesurer, nature des <u>matériaux</u> à étudier, etc.). Les thermomètres à <u>liquide</u> usuels sont les thermomètres à mercure et les thermomètres à alcool.

## III.6.1.Historique

Véritable thermomètre étant crée par le "duc de Toscane à Florence" (En <u>1654</u>) en emprisonnant de l'alcool dans un tube de verre hermétique. Il portait 50 graduations. En hiver, il descendait jusqu'à 7 degrés et montait, en été, à 40 degrés. Dans la glace qui fond, il montrait 13 degrés.

C'est dans le courant du XVIIIe siècle que les inventions de différents types de thermomètre prennent leur essor dans plusieurs pays d'Europe.

En 1702, l'astronome "Ole Christensen Rømer" fabrique, un thermomètre à alcool marquant l'eau bouillante à  $60^{\circ}$  et la glace pilée à  $7.5^{\circ}$ .

En 1717, le savant allemand "Daniel Gabriel Fahrenheit" remplace l'alcool par du mercure et donne au thermomètre sa forme définitive. Il propose également la première échelle de températures à être adoptée assez largement, fixant à 32 °F la température de la glace fondante et à 96 °F la température normale du sang : 32 °F est alors le point de fusion de la glace et 212 °F est le point d'ébullition de l'eau sous pression atmosphérique normale.

En 1730, "René-Antoine Ferchault de Réaumur", physicien et naturaliste français, construit un thermomètre à 'esprit de vin' (ancienne dénomination de l'éthanol), pour lequel il utilisait l'échelle 0-80, le zéro étant le point de congélation de l'eau, et le 80 est le point d'ébullition de l'alcool (esprit de vin).

En 1741 Le physicien suédois "Anders Celsius" crée un thermomètre à mercure, gradué de sorte que 0 correspondait au point d'ébullition de l'eau, et 100 au point de congélation de l'eau.

En 1745, "Linné" présenta à l'académie suédoise un thermomètre à mercure qui marquait 0 ° pour la glace fondante et 100 ° pour l'eau bouillante(le célèbre naturaliste suédois Carl von Linné inversèrent l'échelle de Celsius pour lui donner sa forme actuelle).

À la même époque, le secrétaire perpétuel de l'académie des Beaux-Arts de Lyon, "Jean-Pierre Christin" (1683-1755), fit construire par l'artisan lyonnais Pierre Casati un thermomètre à mercure à échelle centésimale ascendante, qu'il présenta le 19 mars 1743 à l'assemblée publique de cette académie.

Le thermomètre suédois de Celsius et le thermomètre lyonnais de Casati n'auraient eu qu'une utilisation restreinte si la Révolution française n'avait donné au monde moderne le système métrique, et si la Commission des poids et mesures, créée par la Convention, n'avait décidé en 1794 que « le degré thermométrique serala centième partie de la distance entre le terme de la glace et celui de l'eau bouillante ».

### III.6.2.Les Type des Thermomètres

### III.6.2.1.Les thermomètres à mercure

Longtemps en usage, ont été progressivement retirés de la vente à cause de la toxicité de ce métal. Le thermomètre médical numérique a remplacé le thermomètre à mercure. Il contient des oxydes métalliques à résistance variable en fonction de la température (thermistor). Ce principe permet une mesure précise sur une gamme de température étroite, bien adapté à l'usage médical.

### III.6.2.2.Thermomètre à alcool

L'alcool a remplacé le mercure dès le XIXe siècle pour des raisons de prix de revient et de santé publique. L'alcool est alors coloré en rouge ou en bleu pour une meilleure lecture. D'autres substituts au mercure ou à l'alcool sont possibles, il est ainsi possible de trouver.

### III.6.2.3. Thermomètre à cadran et aiguille

Il s'agit d'anciens thermomètres, leur principe d'utilisation est simple et compliqué à la fois. Une tige métallique était placée dans un cadran. Plus la température montait et plus la tige se déformait : ce qui faisait bouger l'aiguille sur le cadran.

### III.6.2.4. Thermomètre à cristaux liquides



Figure 3: thermomètre à cristaux liquides [2]

Les thermomètres à cristaux liquides utilisent des cristaux liquides qui changent de couleur selon la température. Souvent, les cristaux liquides dessinent la valeur de la température. Sur d'autres modèles, ils dessinent simplement une échelle juxtaposée à des valeurs chiffrées. Ces thermomètres sont souvent utilisés pour les aquariums (modèles autocollants) ou dans le secteur médical (thermomètres frontaux), mais la mesure peut être inexacte.

### III.6.2.5. Thermomètre électronique

Les thermomètres électroniques sont très précis et performants. Ils permettent les mesures de température de l'air, des liquides, des matériaux, etc. Ils ont également la possibilité de mémoriser des valeurs avec une alarme et la lecture est facilitée grâce à un écran. Les données peuvent également être imprimées pour faire une sauvegarde. On peut lui ajouter différentes sondes en fonction du type de mesure à effectuer, voire des sondes sans fil (radio). Il existe aussi des thermomètres infrarouge pour des mesures à distance ou sans contact.

### III.6.2.6.Thermomètre à usage professionnel

Les thermomètres pour l'usage professionnel sont de très grande précision. Ils ont une très grande étendue de mesure et une grande rapidité d'acquisition. Ils peuvent être utilisés avec un étui de protection contre les chocs, la poussière et l'humidité. Ils sont utilisés avec différentes sondes en fonction de l'utilisation :

- sonde d'ambiance
- sonde pince pour une mesure sur un conduit, plaques, ...
- sonde pour air/gaz/liquide

- sonde de contact
- sonde thermocouple
- sondes d'immersion/pénétration
- sondes de mesure pour température de surface
- etc.

En fonction des besoins, les sondes sont équipées de différents <u>capteurs</u>. Le type de mesure définira le type de sonde. Le choix de la sonde adéquate dépend de différents critères :

- l'étendue de mesure
- la précision
- le temps de réponse
- la robustesse
- sa forme.

Les thermomètres à usage professionnel existent aussi en <u>infrarouge</u> pour des mesures sans contact où à distance.

### III.6.2.7.Thermomètre infrarouge

Un thermomètre infrarouge est un instrument permettant de mesurer la température de surface d'un objet à partir de l'émission de lumière de type corps noir qu'il produit. Un tel thermomètre est parfois appelé à tort thermomètre laser s'il est aidé d'un laser pour viser, ou encore thermomètre sans-contact pour illustrer sa capacité à mesurer la température à distance.



Figure 4 : thermomètre infrarouge [2]

Schématiquement, le procédé consiste à mesurer l'énergie lumineuse (située dans l'infrarouge) sur un détecteur permettant de la convertir en un signal électrique. Cette méthode permet de mesurer la température à distance, contrairement aux autres types de thermomètres comme les

thermocouples. Ainsi il est possible de mesurer la température si l'objet est en mouvement, s'il est entouré d'un champ électromagnétique, s'il est placé dans le vide, etc.

Cette méthode de mesure peut être très précise à condition cependant d'être bien calibrée, le rayonnement mesuré étant dépendant de nombreux paramètres : émissivité de l'objet, uniformité de la source, géométrie du dispositif. La mesure infrarouge (IR) est une mesure optique :

### **Applications**

Ces thermomètres peuvent être utilisés pour de nombreuses applications comme :

- le contrôle de produits alimentaires sous emballage, à condition de ne pas réaliser de mesures dans les poches d'air ;
- le contrôle de la température d'un four ou d'autres équipements ;
- la vérification d'équipements mécaniques ou de circuits électriques (exemple : armoires électriques) ;
- la détection de zones chaudes lors d'un incendie ;
- le contrôle du réchauffement ou du refroidissement de matériaux avec précision ;
- la détection de nuages pour les télescopes.

### III.6.2. 8. Thermomètre médical

Les <u>thermomètres médicaux</u> sont utilisés pour la mesure de la <u>température corporelle</u>, Pendant longtemps la température corporelle n'a fait l'objet d'aucune mesure : la main du praticien seule donnait une appréciation de l'importance de la fièvre au demeurant perçue, non comme un symptôme, mais comme une maladie en elle-même. C'est <u>Sanctorius</u>, de Padoue, qui a employé pour la première fois un appareil pour mesurer la fièvre : il utilisa le thermoscope développé par Galilée en plaçant le globe dans la bouche du patient.

La compréhension des différents états de la température corporelle fait apparaître au XIX<sup>e</sup> siècle. En 1835 d'abord, <u>Antoine Becquerel</u> et <u>Gilbert Breschet</u> démontrent, à l'aide d'un thermocouple de fer et de cuivre, que la température d'un corps humain sain est constante à 37 °C. Cette découverte suscita l'intérêt pour l'utilisation médicale du thermomètre. Mais c'est surtout <u>Carl Wunderlich</u> qui, suite à ses très nombreuses observations, permit le développement de la thermométrie clinique : d'une part il révolutionna la compréhension de la fièvre en tant que telle, vue désormais comme un symptôme et non plus comme une maladie..



### III.6.2.9.Thermomètre à minimum et maximum

Figure 6: thermomètre MIN MAX [2]

Le thermomètre à minimum et maximum est un thermomètre permettant de mesurer les températures maximales et minimales atteintes pendant un intervalle de temps donné. Il a été inventé par James Six en 1782. C'est un instrument couramment utilisé pour les usages domestiques, mais également en météorologie et en horticulture. Il s'agit d'un seul et même thermomètre, dont la tige capillaire est pliée en forme de "U", et porte deux graduations (ce qui fait qu'on a l'impression qu'il y a deux thermomètres). L'ampoule contient de l'alcool, et la tige contient une tranche de mercure.

Il fonction comme suit: quand il fait chaud, l'alcool se dilate et repousse les limites côté vide, et quand il fait froid, le tout se contracte et repousse les limites côté ampoule.

On met dans la tige deux petits marqueurs (en plastique). Ils sont repoussés par le mercure (parce que la tension superficielle du mercure ne lui permet pas d'être facilement pénétré), mais l'alcool (ou le vide) ne les entraînent pas. Quand la limite du mercure se déplace sur eux, ils sont poussés, et quand la limite les délaisse, ils restent sur place.

De cette manière, ils permettent de repérer le maximum (côté vide) et minimum (côté alcool) des températures subies tant qu'on n'a pas fait une remise à zéro.

### III.6.2.10. Thermomètre de Galilée



Figure 7 : thermomètre de Galilée [2]

Un thermomètre de Galilée (du nom du physicien italien Galileo Galilei), est un thermomètre constitué d'un cylindre de verre scellé contenant un liquide transparent et une série d'objets dont les densités sont conçues pour qu'ils coulent un à un, à mesure que le liquide est chauffé et que sa densité diminue.

### III.6.3.Thermocouple

### III.6.3.1.Généralités

Dans un circuit fermé constitué de deux conducteurs de nature différente, il circule un courant lorsqu'on maintient entre les deux jonctions une différence de température. Ce phénomène, lié à l'effet Peltieri (Inverse de l'effet Seebecki), est utilisé pour la réalisation de sondes thermométriques très précises. La force électromotrice qui apparaît dans le circuit dépend de la nature des deux conducteurs et des températures des deux jonctions: celles-ci sont appelées respectivement soudure chaude et soudure froide. Une des jonctions est en général maintenue à une température de référence (par exemple 0 °C), l'autre servant de capteur.

### III.6.3.2.Historique

En 1822-1823, Thomas Seebeck décrit, dans un mémoire à l'Académie des sciences de Prusse, un phénomène qui correspond bien à la découverte du courant thermoélectrique se produisant dans un circuit fermé, formé de conducteurs différents et dont les jonctions sont à

des températures différentes. L'explication par Seebeck de ce phénomène est erronée, mais les classements de matériaux qu'il a établis en fonction de ce que, actuellement, on nomme le pouvoir thermoélectrique sont tout à fait corrects. Seebeck ne manque pas de noter le phénomène provoqué par une différence de température le long d'un conducteur homogène; ce phénomène sera redécouvert trente ans plus tard par William Thomson. Vers 1834, Jean Charles Athanase Peltier publie dans les Annales de physique et chimie un article sur les anomalies de température observées aux jonctions de conducteurs de nature différente. Les expériences de Peltier sont confirmées, en 1838, par Antoine-César Becquerel et surtout Heinrich Lenz, mais les explications de Peltier concernant le phénomène découvert sont incorrectes. Il faut attendre 1857 pour avoir, avec Thomson, une vue d'ensemble convenable des trois effets thermoélectriques (effet Peltier, effet Seebeck et effet Thomson) et une formulation encore admise aujourd'hui. Le calcul des propriétés des circuits thermoélectriques a été, pour la première fois, effectué d'une manière satisfaisante par E. Altenkirch en 1909.

### III.6.3.3.Explications

Lorsque deux fils composés de métaux différents sont raccordés à leurs extrémités et que l'une d'elles est chauffée, il se produit une circulation de courant continu dans le circuit. C'est l'effet Thermoélectrique.

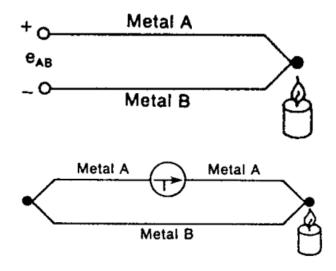


Figure 8: thermocouple [8]

Si on coupe le circuit, la tension apparaissant est fonction de la température et de la composition des deux métaux. Tous les métaux dissemblables présentent cet effet.

Après des recherches de linéarité, de valeur de tension et de gamme de température, les combinaisons les plus courantes sont:

Table 1: different Metal et different measure [8]

Premier métal	Second Métal	Symboles	Туре	Limite en °C	Force électromotrice en µV
Cuivre (Cu)	Constantan (C)	Cu/C	Т	-192 à +400	4277 à 100 °C
Fer (Fe)	Constantan (C)	Fe/C	J	-194 à +870	27390 à 500 °C
Chromel (Cr)	Constantan (C)	Cr/C	Е	+1000 °C	37000 à 500 °C
Chromel (Cr)	Alumel (AI)	Cr/Al	K	+1370	41310 à 1000 °C
Platine (Pt)	Rhodium (Rh)	Pt/Rh	SRB	+1700	10450 à 1000 °C

Pour de petits changements de température, la variation de tension est proportionnelle à la variation de température :  $\Delta eAB = \Delta \alpha T$  - -  $\alpha$  est appelé: coefficient de Seebeck.

Un des thermocouples le plus utilisé est le Chromel-Alumel ou Thermocouple de Type K. Il possède une plage de mesure étendue (-100 à + 1370 °C), une force électromotrice importante (41310  $\mu$ V à 1000 °C avec soudure froide à 0°C) et une courbe que l'on sait très bien linéariser pour obtenir sur toute l'étendue de mesure des précisions meilleures que 0,2%.

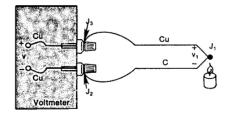
ALUMEL - Alliage composé de 95% de nickel, 2% d'aluminium, 2% de manganèse et 1% de silicium.

CHROMEL - Alliage composé de 80% de nickel et 20% de Chrome.

### III.5.3.4.MESURE DES TENSIONS DE THERMOCOUPLE

On ne peut pas mesurer directement les tensions des thermocouples car le simple fait de le connecter sur un voltmètre crée des nouveaux thermocouples par les liaisons entre les fils du thermocouple et les bornes en cuivre ou en laiton du voltmètre.

Exemple avec un thermocouple cuivre-constantan (Cu/C):



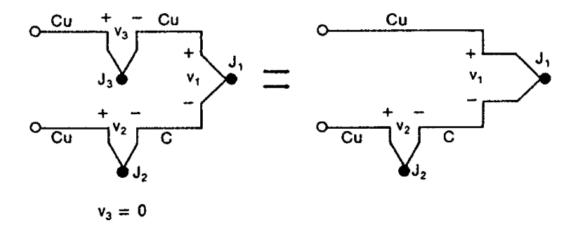


Figure 9: le circuit électrique équivalent au thermocouple [8]

Nous voulons que le voltmètre lise seulement la tension générée par le thermocouple J1, c'est-à-dire V1 mais nous avons créé deux autres jonctions métalliques J2 et J3. Comme J3 est une liaison cuivre sur cuivre, il n'y a pas de création d'effet thermoélectrique. En revanche, J2 est une liaison cuivre constantan qui ajoute la tension V2 en opposition avec V1.

La lecture sur le voltmètre sera proportionnelle à la différence de température entre J1 et J2. Nous ne pourrons connaître la température de J1 que si nous connaissons d'abord celle de J2.

Une manière de déterminer exactement et facilement la température de la jonction J2 est de la plonger celle-ci dans un bain de glace fondante, ce qui force sa température à 0°C, et alors, on pourra considérer J2 comme étant la jonction de référence. Le schéma a donc maintenant une référence 0°C sur J2. La lecture du voltmètre devient: V = (V1 - V2) équivalent à  $\alpha$  (tj1 - tj2). Écrivons la formule avec des degrés Celsius : Tj1 (°C) + 273,15 = tj1

$$V = V1 - V2 = \alpha [(tj1 + 273,15) - (tj2 + 273,15)]$$

$$= \alpha (Tj1 - Tj2)$$

$$= \alpha (Tj1 - 0)$$

$$= \alpha Tj1$$

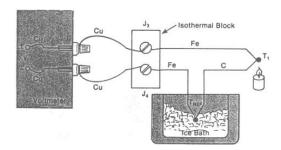
Nous avons utilisé ce raisonnement pour souligner que la tension V2 de la jonction J2, dans le bain de glace, n'est pas zéro volt. C'est une fonction de la température absolue. Cette méthode est très précise car la température 0°C (Point de fusion de la glace), peut être facilement et précisément contrôlée.

Le point de fusion de la glace est utilisé par les organismes de normalisation comme point de référence fondamental pour leurs tables de tension de thermocouple. Ainsi, â la lecture de ces tables, nous pourrons convertir directement la tension V1 en température Tj1.

### **Remarque:**

1- Ce type de ,mesure présentera un erreur due au fait que les 2 bornes de mesure ne sont pas à la même température, cette erreur d'autant est plus importante que la différence de température entre les deux bornes.

Afin de minimiser les erreurs, les fils en cuivre de liaison avec le voltmètre doivent être connectés sur un bloc de jonction**isothermique** qui est un isolant électrique mais un très bon conducteur de la chaleur.



II sert à garder J3 et J4(Cuivre/Fer) à la même température. Donc les deux jonction gênèrent des tensions identiques mais en opposition et nous aurons toujours  $V = \alpha (T1 - Tref)$ 

2- Remplaçons le bain de glace par un autre bloc isothermique.

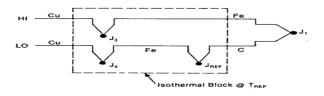
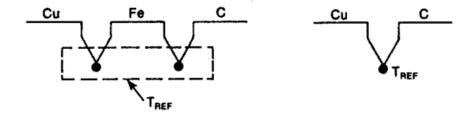


Figure 10: block Isothermique [8]

### loi empirique (Vérifiée expérimentalement): Cette loi dit:

"Un troisième métal inséré entre les deux métaux dissemblables d'une jonction thermocouple n'aura aucun effet sur la tension de sortie tant que les deux jonctions formées par le métal additionnel seront à la même température."



Le thermocouple le plus précis est constitué de platine et d'un alliage platine + 10% de rhodium (couple Le Chatelier); la sensibilité est de l'ordre de 10 microvolts par degré. D'autres couples métalliques fournissent jusqu'à 70 microvolts par degré, mais les jonctions entre des corps tels que tellure ou bismuth, ainsi que les couples formés de cristaux de germanium dopés n et p, délivrent des forces électromotrices beaucoup plus considérables; ils sont toutefois difficilement manipulables. Le thermocouple le plus réfractaire (utilisable jusqu'à 2 800 °C) est formé de tungstène et d'un alliage tungstène et de 26% de rhénium. Dans le domaine on peut cryogénique, atteindre 1 K (environ) avec certains couples, formés, par exemple, d'alliages or-cobalt Schéma de principe d'un thermocouple

### III.6.3.5.Différents types de thermocouples

Il existe différents types de thermocouples, correspondant chacun à une gamme de température ou à une plus ou moins grande précision. Leurs propriétés peuvent également dépendre du type d'isolation (gaine) utilisée pour les fils métalliques. La liste suivante donne la définition des thermocouples suivant les normes internationales.

### III.6.3.5.1. Thermocouples à base de métaux usuels

### Type E

- Composition : Chromel (alliage nickel+chrome (10 %)) / Constantan (alliage nickel + cuivre (45 %))
- Ce thermocouple est intéressant pour la mesure de températures basses. Il a également l'avantage de ne pas avoir de réponse magnétique.
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): Violet / Blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-): Jaune / Orange

### Type J

- Composition : Fer / Constantan (alliage nickel+cuivre)
- Fonctionne bien dans le vide et dans une plage de température de 0 à 750 °C, mais n'est pas recommandé pour les basses températures, à cause de problèmes d'oxydation du fer et de l'azote
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): Noir / Blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-): Jaune / Noir

### Type K

- Composition: Chromel (alliage nickel + chrome) / Alumel (alliage nickel + aluminium (5 %) + silicium)
- thermocouple standard. Il permet une mesure dans une gamme de température large : 250 °C à 1 372 °C. Il est bon marché.
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): Vert / Blanc

• Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-): Jaune / Violet

### Type N

- Composition: nicrosil (alliage nickel + chrome (14 %) + silicium (1,5 %)) / nisil (alliage nickel + silicium (4,5 %) + magnésium (0,1 %))
- sa bonne stabilité et sa bonne résistance aux températures élevées (-270 à 1 300 °C) et à l'oxydation rendent ce thermocouple intéressant pour les mesures à hautes températures et dans le vide.
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): rose / blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-):-

### Type T

- Composition : Cuivre / Constantan (alliage cuivre + nickel)
- Ce thermocouple est particulièrement adapté pour une utilisation à basse température (-200 à 350 °C) comme pour des applications cryogéniques.
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): Brun / Blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-): Jaune / bleu

### III.6.3.5.2. Thermocouples à base de métaux nobles

### Type R

- Composition: Platine-Rhodium (13 %) / Platine
- adapté aux températures élevées (0 à 1 650 °C).
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): Orange / Blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-): Jaune / Vert

### Type S

- Composition: Platine-Rhodium (10 %) / Platine
- adapté aux températures élevées (0 à 1 650 °C).
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): Orange / Blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-): Jaune / Vert

### Type B

- Composition : Platine-Rhodium (30 %) / Platine-Rhodium (6 %)
- adapté aux températures élevées (0 à 1 700 °C), (Mauvaise précision en dessous de 1000degC), utilisé en grande partie en verrerie industrielle.

En règle générale ce thermocouple est composé d'un tube bifilaire en alumine au bout duquel sortent les 2 fils qui sont soudés ensemble forment ainsi une petite boule.

- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-): Gris / Blanc
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-): Jaune / Gris

### III.6.3.5.3. Thermocouples à base de métaux réfractaires

### Type C

- Composition: Tungstène-Rhénium (5 %) / Tungstène-Rhénium (26 %)
- adapté aux températures très élevées (0 à 2 320 °C). Prix élevé, difficile à fabriquer, fragile. Ne doit pas être utilisé en présence d'oxygène au dessus de 260 °C.
- Couleurs selon CEI 584-3 (+/-):
- Couleurs selon NF C 42-323 1985 (+/-):

Table 2: des différents coefficients en fonction du type de thermocouple et pour les plages de mesure [8]

	Type E	Type J	Type K	Type R	Type S	Type T
	Nickel 10% Chrome (+) et Constantan (-)	Fer (+) et Constantan (-)	Nickel 20% Chrome (+) et Nickel 5% Al/Mg/Si (-)	Platine 13% Rhodium (+) et Platine (-)	Platine 10% Rhodium (+) et Platine (-)	Cuivre (+) et Constantan (-)
	-100 °C à 1000°C	0 °C à 760°C	0 °C à 1370 °C	0 °C à 1000 °C	0 °C à 1750 °C	-160 °C à 400 °C
	± 0.5 °C au 9e ordre	± 0.1 °C au 5e ordre	± 0.7 °C au 8e ordre	± 0.5 °C au 8e ordre	± 1 °C au 9e ordre	± 0.5 °C au 7e ordre
a0	0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.263632917	0.927763167	0.100860910
a1	17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150	25727.94369
a2	-282639.0850	-218614.5353	67233.4248	-48840341.37	-31568363.94	-767345.8295
a3	12695339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E +10	8990730663	78025595.81
a4	-448703084.6	-264917531.4	-860963914.9	-4.82704E +12	-1.63565E +12	-9247486589
a5	1.10866E +10	2018441314	4.83506E +10	7.62091E +14	1.88027E +14	6.97688E +11
a6	-1.76807E +11		-1.18452E +12	-7.20026E +16	-1.37241E +16	-2.66192E +13
a7	1.71842E +12		1.38690E +13	3.71496E +18	6.17501E +17	3.94078E +14
a8	-9.19278E +12		-6.33708E +13	-8.03104E +19	-1.56105E +19	
a9	2.06132E +13				1.69535E +20	

Bien que plusieurs autres instruments de mesure (<u>thermomètre</u>, <u>hygromètre</u>, <u>anémomètre</u>, <u>girouette</u>, pour ne nommer qu'eux) aient eu un rôle à jouer dans la genèse scientifique de la météorologie, il est clair que le baromètre est d'une importance toute spéciale. Le baromètre mesure une propriété mécanique de l'atmosphère, la pression, qui, contrairement au vent, à la température, ou même à l'humidité, échappe généralement à nos sens. Dès son invention, les scientifiques ont soupçonné l'importance de la pression comme paramètre météorologique, mais les progrès menant à une compréhension réelle ont été lents. On a parfois donné à la lecture du baromètre une importance mal placée, fondée sur des observations empiriques d'une exactitude qui de nos jours paraît discutable.

En effet, jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, la mécanique atmosphérique était encore mal comprise. C'est qu'il était difficile, avant la multiplication des liens de communications, de mesurer l'état de l'atmosphère à une échelle comparable à celle des grands systèmes

météorologiques. Les scientifiques du XIX en étaient donc le plus souvent réduits à tenter de relier empiriquement les fluctuations locales de pression avec le caractère du temps et du vent.

De nos jours, le baromètre conserve une importance fondamentale parmi une batterie grandissante d'instruments. Les mesures de pression, de vitesse du vent, de température et d'humidité prises à la surface et en altitude sont communiquées partout dans le monde. Ces mesures prises in-situ ont bien sûr une grande valeur intrinsèque pour l'observation météo mais cette valeur est multipliée lorsqu'on considère qu'elles servent aussi à l'étalonnage et à la validation d'instruments de mesure à distance qui opèrent à partir de satellites, d'avions ou de la surface terrestre. Le baromètre joue ainsi un rôle fondamental dans l'explosion en cours du volume des données d'observation de la Terre par mesure à distance.

### III.6.4.Le baromètre

La pression atmosphérique résulte des chocs des molécules d'air entre elles et avec les objets dans atmosphère. C'est, avec la température, un paramètre fondamental en météo pour prévoir le temps qu'il fera. Historiquement, les premières mesures de la pression atmosphérique ont été effectuées par TORRICELLI dans les canaux de VENISE. De là fut mis au point un instrument pour la mesurer, le baromètre. Celui-ci utilise du mercure (Hg) pour mesurer la pression atmosphérique. La première unité de mesure de la pression atmosphérique fut le millimètre de mercure (mmHg) ou le pouce de mercure (InHg) pour les Anglo-saxons.

Dans le système international d'unités, la pression se donne en Pascal. En météo il est plus pratique d'utiliser l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa). On utilise également le millibar (1 mbar = 1 hPa).

### III.6.4.1.Historique

Le baromètre mesure la pression atmosphérique. Il peut, de façon secondaire, servir d'altimètre pour déterminer, de manière approximative, l'altitude. Il existe différents type de baromètres. Le baromètre à mercure où la pression atmosphérique est équilibrée par une colonne de mercure surmontée d'un espace clos et vide. Les baromètres à gaz utilisent la variation de volume d'un certain volume de gaz sous l'effet des variations de la pression atmosphérique. Le principe de mesure du baromètre anéroïde est basé sur la déformation d'une capsule anéroïde, membrane métallique élastique dont une face est en contact avec le vide et l'autre avec l'air atmosphérique. La capsule est déformable mais l'écrasement est empêché par la forme de la capsule agissant comme un ressort. Un système mécanique permet d'amplifier les mouvements qui résultent des variations de pression pour les rendre visibles sur un cadran ou les enregistrer sur une bande de papier millimétré. Finalement, les

baromètres électroniques traduisent en valeurs numériques les déformations d'une capsule à vide.

1643 : le premier baromètre a été inventé par Torricelli. Voulant mesurer les variations du poids de l'air, Torricelli remplit de mercure un tube de verre d'un mètre de long, fermé à une extrémité. Il le retourne et le plonge dans une cuvette remplie de mercure. Il constate alors que le niveau de mercure dans le tube s'abaisse, laissant un espace de vide au dessus de lui. Il vient de découvrir la pression atmosphérique.

1647 : Descartes ajoute une échelle graduée au tube de Torricelli.

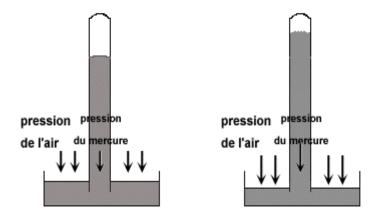
1648 : Pascal et son beau-frère Florin Périer réalisent l'expérience décisive qui confirme les variations de la pression atmosphérique avec l'altitude. Ils mesurent en effet la hauteur de mercure dans un tube de Torricelli à Clermont-Ferrand et au sommet du Puy de Dôme et constatent la baisse de pression avec l'altitude.

1663 : Robert Hooke construit le baromètre à cadran, premier instrument de mesure à cadran indicateur. D'autres baromètres sont ensuite construits dans l'optique de les transporter en mer ou en montagne.

1838 : William Reid publie sa controversée Law of Storms qui décrit le comportement des dépressions. Son ouvrage divise la communauté scientifique durant dix années.

1843 : l'ingénieur Lucien Vidie construit le premier baromètre anéroïde.

Fin du XIX ème siècle : Sur ce principe, des barographes, aussi appelés baromètres enregistreurs, sont inventés. Ils sont composés de plusieurs capsules de Vidie empilées et reliées à un stylet qui inscrit les variations au cours du temps de la pression atmosphérique sur un cylindre enregistreur. Avec ces instruments, la mesure quantitative de la pression n'est pas très bonne mais sa variation temporelle est facilement visible.



Le principe physique du fonctionnement du baromètre est l'équilibre des forces. La colonne de mercure contenue dans le tube cherche à descendre sous l'effet de son poids. Cependant, l'air environnant pousse sur le mercure dans le bassin. La colonne de mercure cesse de bouger lorsque ces deux forces de poussée sont égales. Lorsque la pression de l'air environnant augmente, elle pousse sur le mercure dans le bassin et fait remonter une certaine quantité de mercure dans le tube de verre. De façon contraire, une baisse du mercure dans le tube sera causée par une diminution de la pression atmosphérique. En observant la hauteur de la colonne de mercure dans le tube, nous disposons donc d'une mesure de la pression de l'air.

### III.6.4.2. Les différents baromètres

Il existe différents types de baromètres :

- le baromètre à mercure est le plus ancien ; dans cet instrument, la pression atmosphérique est équilibrée par une colonne de mercure surmontée d'un espace clos et vide
- les baromètres à gaz utilisent la variation de volume d'un gaz sous l'effet des variations de la pression atmosphérique
- le baromètre anéroïde est composé d'une capsule métallique hermétiquement close dans laquelle on a fait un vide partiel ; cette enceinte métallique se déforme selon les changements de pression atmosphérique
- les baromètres à air ou sympiésomètres
- les baromètres numériques.

### III.6.4.2.1.Le baromètre à mercure

Le tube de Torricelli, baptisé par la suite baromètre, est un tube en U lié à une graduation de référence permettant de mesurer la différence de niveau entre les deux surfaces libres du mercure.

Un tube en U contient du mercure comme précédemment et une zone de vide du côté fermé, mais la branche ouverte contient un liquide non volatil de plus faible densité dont le niveau dépend de celui du mercure. Descartes avait déjà réalisé des appareils de cette sorte. En choisissant convenablement les sections des tubes, on peut ainsi obtenir une amplification de l'ordre de 10, ce qui rend la lecture beaucoup plus facile et précise. Cette technique permet en outre d'éviter l'oxydation lente du mercure par l'oxygène de l'air.

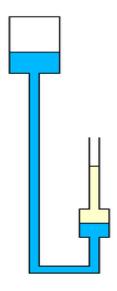


Figure 12: Baromètre à mercure [2]

### III.6.4.2.2.Les baromètres à eau

Selon un document de 1619, un Hollandais, <u>Gijsbrecht de Donckere</u>, aurait inventé un baromètre à eau. L'air enfermé dans une partie de l'appareil se dilate ou se contracte selon la pression qu'il subit, produisant une variation de niveau relativement importante dans le tube fin relié à l'air libre. <u>Johann Wolfgang von Goethe</u>, vers 1792-93, aurait réinventé un appareil de ce type, à partir des principes de Torricelli. Lorsque la pression atmosphérique augmente, le niveau du liquide dans le tube descend. Inversement, lorsque la pression baisse, il y a moins d'appui sur l'eau et le liquide monte.

Les indications des baromètres à eau sont évidemment très liées à la température, et on ne se sert plus de ces appareils qu'à des fins décoratives.



Figure 13: Baromètres à eau de Goethe [2]

### III.6.4.2.3.Les baromètres à gaz

Le baromètre Eco-Celli est un instrument dont la précision peut être comparée avec celle d'un baromètre de Torricelli. Son fonctionnement est totalement différent puisqu'il ne contient pas de mercure. Comme les baromètres à eau, cet instrument mesure la pression atmosphérique

grâce à la compressibilité d'un volume de gaz enfermé qui se comprime ou se détend en fonction de la pression atmosphérique. Le volume du gaz dépend également de la température ambiante et il faut donc faire une correction. Celle-ci est réalisée très simplement en déplaçant l'échelle d'un curseur jusqu'à ce que l'index métallique soit au même niveau que le liquide bleu du thermomètre. Par rapport à un baromètre à mercure simple, le baromètre Eco-Celli permet une amplification de 4 fois, ce qui rend la lecture plus précise et surtout plus facile.

Le baromètre inventé par le BritanniqueAlexandreAdie en 1818 est nettement plus petit qu'un baromètre de Torricelli. Il est composé de deux éléments, un tube en forme de U (liquide rouge) et un thermomètre (liquide bleu) qui sont mis en parallèle. Une baisse de pression fait monter le liquide rouge du baromètre et une hausse le fait descendre. Le thermomètre permet de faire les corrections nécessaires.

### III.6.4.2.4 .Les baromètres anéroïdes

L'idée de mesurer la pression atmosphérique en évaluant les déformations d'une boîte métallique hermétique dans laquelle a été fait au préalable le vide le plus complet possible revient à l'ingénieur mécanicien français Lucien Vidie (1805-1866) ; celui-ci expérimenta en 1843 un instrument de ce genre, logiquement appelé un baromètre anéroïde : dans ce baromètre , des ressorts empêchaient que la boîte ne s'écrase et tempéraient ainsi ses déformations, de façon qu'elles soient plus ou moins accentuées selon que la pression exercée par l' air sur les parois était plus ou moins forte.

Les capsules anéroïdes (ou capsules de Vidie) fonctionnent de nos jours suivant le même principe : ce sont de petites capsules étanches en forme de disque à parois minces, dans lesquelles le vide a été fait afin de mesurer la pression atmosphérique ; cette mesure s'effectue là aussi par l'intermédiaire d'un ressort de retenue qui s'allonge ou se contracte en fonction des déformations élastiques imposées à la capsule par les variations de la pression. Les baromètresanéroïdes courants recourent à un système mécanique d'amplification des mouvements de déformation d'une capsule, ou bien de plusieurs capsules empilées : commodes et robustes, de tels appareils conviennent non seulement à l'enregistrement en continu des variations de la pression — ils jouent alors un rôle de baromètres enregistreurs ou barographes — , mais aussi à une présence familière à l'intérieur des maisons.

En météorologie, cependant, les baromètres numériques actuels, tout en se fondant sur le même principe, font appel à des phénomènes physiques spécifiques — variations de la fréquence propre d'un quartz, variations de capacité du condensateur formé par les faces de la capsule, etc. — pour convertir de manière très précise les déformations de capsules (ou de minicapsules) en signaux électriques.

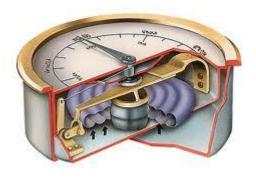


Figure 14: baromètres anéroïdes[2]

### III.6.4.2.5 .Barographes

Le système le plus ancien de baromètre enregistreur fut inventé par l'Anglais Moreland en 1670 mais c'est la capsule de Vidie qui est le « moteur » de la plupart des appareils actuels. Pour obtenir un déplacement et des efforts plus importants on utilise un empilement de capsules, généralement cinq. Les baromètres enregistreurs sont encore appelés barographes. Beaucoup sont présentés comme des objets « de luxe » dans une boîte vitrée aux montants d'acajou ou d'autre bois précieux mais il existe aussi des modèles beaucoup plus rustiques. Dans les barographes plus récents, la capsule est remplacée par un capteur piézorésistif et le tambour par un écran LCD.



Figure 15 : les capsules anéroïdes [2]

Cet ensemble s'écrase ou se détend selon les changements de pression atmosphérique. Les mouvements de la boîte sont amplifiés par un système de levier relié à une aiguille qui tourne autour d'un point central.

La mesure se fait en hectopascals (hPa) ou en millibars (mb). L'échelle de graduation peut également afficher la pression en millimètres de mercure (mmHg).

### III.6. Explication scientifiques sur la pression atmosphérique

Lorsque l'on s'élève, la pression diminue ; pas de façon linéaire, mais de moins en moins vite. Elle dépend aussi du profil de température qui règne au-dessus du lieu où on la mesure. Dans les observations météorologiques, on indique généralement trois valeurs : la *pression au niveau de la station*(appelée « QFE »), mesurée par un baromètre bien étalonné ; la pression réduite au niveau moyen de la mer dans l'atmosphère standard (appelée « QNH »), c'est-à-dire celle qui régnerait théoriquement, au même endroit, à l'altitude zéro de référence (le *niveau moyen de la mer* n'est pas facile à définir...) ; et enfin la *pression réduite au niveau moyen de la mer* dans l'atmosphère réelle (appelée « QFF »).

La formule ci-dessous permet de calculer la pression réduite dans l'atmosphère standard. Dans une telle atmosphère imaginaire, il règne toujours une température de 15 °C (= 288,15 K) à l'altitude zéro (si la température est sensiblement différente, la réduction comportera une erreur non négligeable.

la température diminue de 6,5 °C par km (donc de 0,0065 °C par mètre) jusqu'à l'altitude de 11 km ;la pression au niveau zéro vaut 1 013,25 hPa ;l'accélération due à la pesanteur est partout constante et vaut 9,80665 m/s2 ;il n'y a absolument pas d'eau.

$$p_{red} = QFE + 1013, 25 \left[ 1 - \left( \frac{288, 15 - 0,0065h}{288, 15} \right)^{5,255} \right]$$

avec QFE = pression absolue [hPa],  $p_{red}$  = pression réduite au niveau moyen de la mer [hPa] et h = altitude au-dessus du niveau moyen de la mer [m].

Il est toujours utile d'avoir des ordres de grandeur. À basse altitude, si l'on monte de 10 m, la pression baisse d'environ 1,25 hPa.

Un baromètre, quel qu'il soit, donne toujours la pression qui correspond à l'altitude où il se trouve. La pression atmosphérique donnée par les stations météo est toujours ramenée au « niveau moyen de la mer », afin d'avoir un point de référence.

Quant à la pression réduite au niveau moyen de la mer dans l'atmosphère réelle, elle peut se calculer grâce à la formule suivante (car, contrairement à la formule de réduction dans l'atmosphère standard qui est universelle, la formule utilisée pour l'atmosphère réelle varie d'un pays à l'autre) :

$$QFF = QFE.exp(gz/RT)$$

QFF = pression réduite au niveau moyen de la mer

QFE = pression de la station en hPa

 $z_2$  = altitude de la station en mètres

 $T = (T_2 + T_1) / 2$  en kelvins

 $T_1 = 288,15 - 0,0016$   $Z_2$  température moyenne au niveau de la mer ajustée à l'altitude

 $T_2$  = température moyenne de la station sur 12 heures en kelvins ou  $(T_{max}+T_{min})/2$ 

g = accélération locale due à la pesanteur = de 9,77 à 9,83 m/s<sup>2</sup>

R = 287,0529 J/kgK = constante massique des gaz parfaits pour l'air sec

R = R\* / Ma

 $R^* = constante molaire des gaz parfaits = 8,31432 J K^{-1} mol^{-1}$ 

 $Ma = masse molaire de l'air sec = 28,9644 g mol^{-1}$ 

En gros, à basse altitude, la pression diminue de 1 hPa quand on monte de 8,3 m ou augmente de 1 hPa quand on descend de 8,3 m (pour une température de 283 K c'est-à-dire 10 °C).

### Remarque importent

A un endroit donné, l'indication donnée par un baromètre varie continuellement, de façon très rapide sous l'action du vent, surtout s'il souffle en rafales, mais aussi à plus long terme (quelques minutes, quelques heures ou de façon quotidienne) sous l'effet d'autres causes liées à divers phénomènes météorologiques ou climatiques.

Il est généralement impossible de faire une très bonne prévision à partir d'une simple lecture de baromètre en un lieu donné. Toutefois, il est bon de savoir que l'approche d'une <u>dépression</u> ou d'un <u>creux barométrique</u> se traduit par une tendance de pression à la baisse sur une période de l'ordre de 3 à 12 heures. La valeur et la rapidité de la baisse de pression sont des indicateurs valables de l'intensité de la perturbation atmosphérique qui s'approche.

### III.6.6 . Anémomètre

Le terme « *anemos* », en français « vent ») et du suffixe « mètre » (« mesure »), est un appareil permettant de mesurer la <u>vitesse</u> ou la <u>pression</u> du vent.

Les anémomètres peuvent être divisés en deux classes :

- 1. Ceux qui mesurent la vitesse ;
- 2. Ceux qui mesurent la pression du vent.

Le premier anémomètre a été inventé par "Leone Battista Alberti% au XVe siècle.

### III.6.6.1.Les types des anémomètres

### III.6.6.1.1. Anémomètre à coupelles (dit de Robinson)



Figure 16: Anemometres [5]

Il se compose de trois demi-coquilles (de la taille d'une balle de tennis) disposées sur des bras horizontaux disposés à 120 degrés et montées sur un axe vertical équipé d'un dispositif de comptage de tours ; la vitesse de rotation de l'anémomètre est proportionnelle à la vitesse du vent.

### III.6.6.1.2Anémomètres à hélice

Ressemblant à de petits avions, ils sont couplés à une girouette et s'orientent dans la direction du vent. L'hélice, qui mesure la vitesse du vent, tourne autour d'un axe horizontal.

Parmi les types d'anémomètres moins courants, on trouve des anémomètres constitués de deux hélices tournant autour de deux axes fixes, horizontaux et perpendiculaires. On calcule la force et la direction du vent en corrélant les vitesses de rotation des deux hélices. C'est également le cas sur les éoliennes.

### III.6.6.1.3Anémomètre à ultrason

Il existe aussi des anémomètres à ultrasons. La mesure du vent est basée sur la mesure de la durée de déplacement d'une onde ultrasonore. Deux couples de transducteur ultrasonore sont alternativement émetteurs et récepteurs d'un train d'onde ultrasonore. Les temps de transits aller et retour sont mesurés et on en déduit, par différence, la vitesse du vent le long de l'axe formé par les deux transducteurs. L'intérêt de ce type d'anémomètre est de ne pas avoir de pièces en mouvement et de pouvoir mesurer un vent turbulent.

### III.6.6.1.4Anémomètre à tube

L'anémomètre de Lind consiste simplement en un tube en U contenant un liquide avec une extrémité pliée horizontalement pour faire face au vent.

Le vent soufflant dans l'ouverture du tube provoque une pression qui peut se transmettre à n'importe quel instrument. Le tube peut être guidé par une girouette.

Pratiquement, le système peut être sensible à n'importe quel vent qui peut faire tourner la girouette. Son avantage est qu'il peut être installé à des endroits d'accès difficile comme en haut d'un poteau avec le dispositif d'enregistrement à son pied.

Il peut être installé sans avoir besoin d'entretien durant des années.

### III.6.6.1.5Anémomètre à fil chaud

Le capteur (sonde de température) est chauffé en continu à une température supérieure à la température ambiante refroidi l'écoulement de l'air et par régulation Sa température est maintenue constante circuit de par Le courant de chauffage est proportionnel à la vitesse d'écoulement de l'air.

Une autre technique consiste à utiliser deux fils chauds, l'un placé faceau vent et l'autre sous le vent, Plus le vent est fort, plus le fil chaud sous le vent se refroidit ; L'écart de température entre les deux fils donne la vitesse du vent

- ❖ On peut nomes beaucoup plus des types des anémomètres comme:
  - Anémomètre à plaque
  - Anémomètre à boule

# **Chapitre IV** Réalisation pratique

### IV.1.Introduction

Ce chapitre a pour finalité de montrer une station météorologique permettant de faire des relevés de mesures de température, et des relevés relatifs à la force et à la direction du vent par un construction d'un circuit thermomètre électronique, girouette et un anémomètre.

### IV.2.Thermomètre

Nous allons réaliser un thermomètre électronique à affichage numérique constitué de:

- microcontrôleur PIC 16F876A
- afficheur LCD
- capteur de température LM35
- circuit pour assure une alimentation de 5v stable
- oscillateur
- circuit de RESET

Premièrement on commence par la partie simulation on utilise le logiciel ISIS PROTEUSE 7 :

Le programme de PIC16F876 est écrit par le logiciel mikroC (voir annexe 01)

Après la compilation nous chargeons le ficher en hexadécimale de programme au PIC On lance la simulation et on obtient les résultats demandes comme montre le figure.

Par l'utilisation du même logiciel on trouve le circuit imprimé.

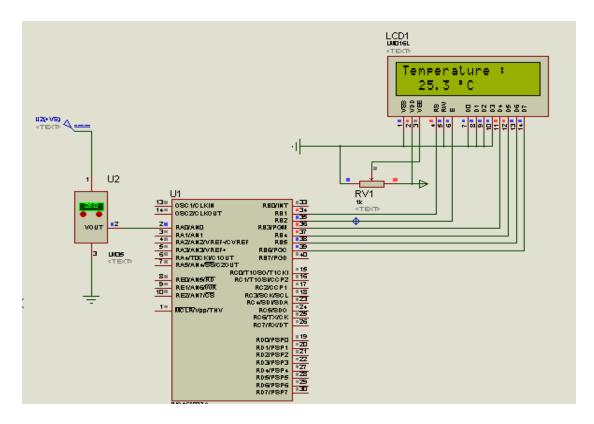


Figure 1: le schéma synoptique de circuit thermomètre

### IV.2.1.L'alimentation

Pour alimenter le circuit, une source continue d'environ 9V fera Parfaitement l'affaire .La régulation et l'adaptation à un niveau de 5V requis par le PIC incombent au régulateur 7805.

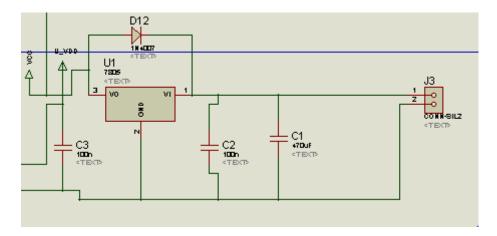


Figure 2: schéma électrique pour l'alimentation

Remarque : pour que celui-ci fonctionne correctement, la tension d'alimentation doit être supérieure d'au moins 2 ou 3 volts à la tension régulée, donc 5+2= 7 Volts. La diode D1 protège le circuit contre les inversions accidentelles de polarité (diode type 1N4001 ou 1N4007 par exemple). Les condensateurs C1 et C2 sert de « réservoir » au régulateur. Dans notre cas, un condensateur électrochimique de 470 avec une tension d'au moins 16V convient

parfaitement .Le condensateur C3, C9 et C12 nous permet de découpler le régulateur du reste du circuit : il absorbe les variations de tension parasite qui pourraient remonter vers le régulateur. Le couple R6–D2 sert de témoin de mise sous tension, et accessoirement décharge les condensateurs C3, C9 et C12 lorsque l'alimentation est coupée .Avec une tension d'alimentation de 9V, on prendra pour R1 une valeur de 10k ohm.

### IV.2.2.L'oscillateur

Il est constitué de X2, un quartz « parallèle » dont la fréquence d'oscillation nominale peut aller jusqu'à 8MHz, et des condensateurs C1 et C2 pour lequel on prendra une valeur de 22pF, conformément aux indications de la documentation de Microchip.

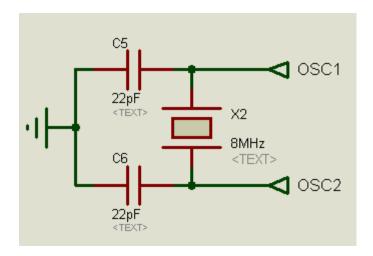


Figure 3 : le circuit oscillateur

### IV.2.3.Le circuit de RESET

La ligne de reset MCLR (le pin 1 du PIC) est simplement reliée à une tension qui sera nul lorsque on appuie sur le bouton pussoir.et ceci sert à redémarrer le PIC et reset l'afficheur LCD.

### IV.2.4. LM35

La tension de sortie du circuit intégré LM35 est proportionnelle à la température en °C. Chaque 10 mV correspondent à 1 °C. Cette tension est appliquée directement à l'entrée analogique du microcontrôleur.

### IV.2.5.Fonctionnement

Les valeurs de température sont obtenues en lisant directement la tension analogique en sortie des capteurs de température LM35. Ces derniers délivrent une tension qui est proportionnelle à la température, à raison de 10 mV par °C (100 mV pour 10 °C, 270 mV pour 27 °C, etc.). Il est important de comprendre que la précision de mesure que l'on peut espérer ici est faible pour les basses températures, à cause du pas de mesure du convertisseur A/N intégré au PIC. Ce dernier travaille en effet sur 10 bits (1024 pas de quantification) et pour une pleine échelle de mesure de 5 V cela donne environ 5 mV de résolution. Ce qui est une valeur élevée en regard de nos 10 mV par °C, surtout entre 0 °C et +10 °C. Dans la pratique, la valeur affichée est précise au degré près, et on peut compter sur un affichage correct à partir de +5 °C (mais soyons raisonnables et disons à partir de +10 °C). Côté valeur température maximum, on est limité par la valeur max que le LM35 peut délivrer, qui est d'un peu plus de 100 °C, ce qui donne donc une tension de 1 V. On peut donc dire pour résumer que la plage de température mesurable avec une précision "correcte" (à 1 °C près) est comprise entre +5 °C et +100 °C.

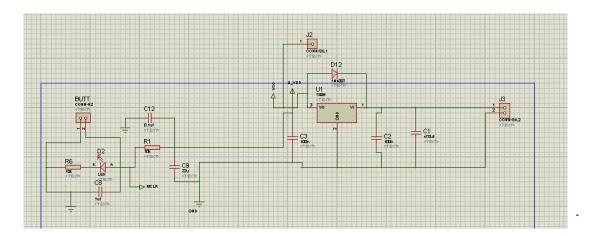


Figure 4 : le schéma électrique de circuit d'alimentation et de reset

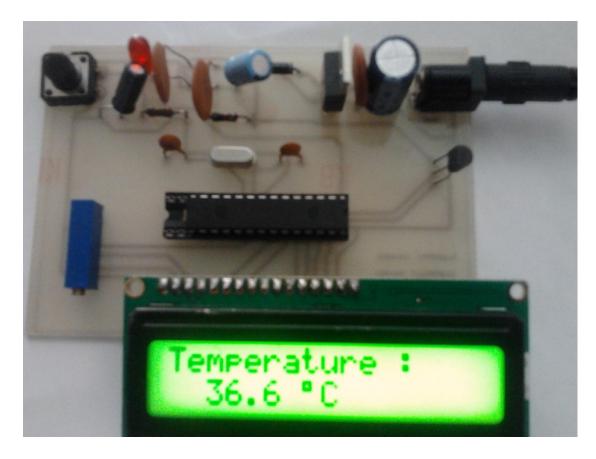


Figure 5 : Image final de thermomètre

### IV.3. Girouette

Une girouette est un outil sert à détermine la direction de vent, alors il suffit de fixer une plaque sur une axe vertical rotative pour être dirigé par le vent. Dans notre exemple nous allons fixer un fiche cartonné sous forme d'un flèche pour être dirigé et peut être oriente par un faible vent.

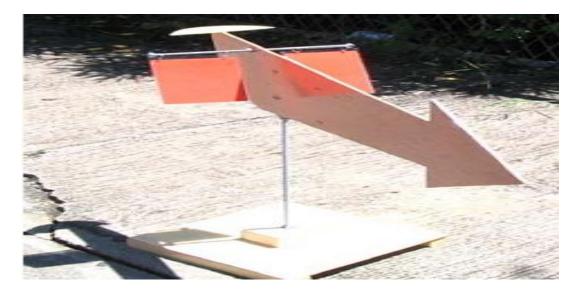


Figure 6 : Une simple girouette

### IV.4. Anémomètre

### Matériel nécessaire :

- Un rapporteur.
- 30 cm de ficelle suffisamment rigide.
- Une balle de ping-pong.
- Du scotch.

### Marche à suivre :

- Scotcher une extrémité de la ficelle à la balle de ping-pong, l'autre à l'origine du rapporteur. La ficelle doit être tendue.
- Fixer avec du scotch le rapporteur sur un bord horizontal.

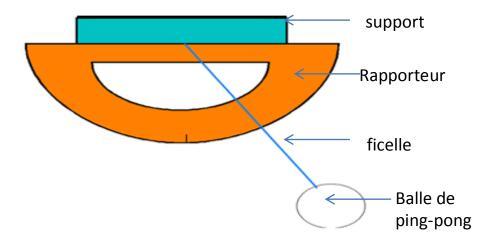


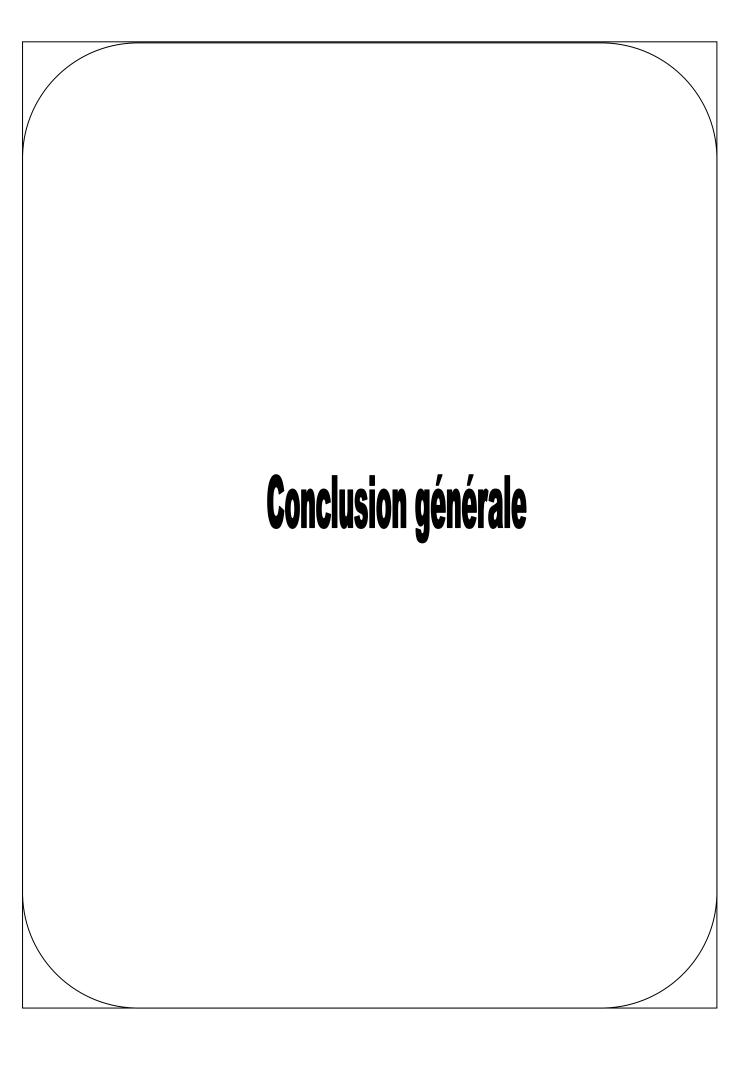
Figure7: Anémomètre réalisée

- Se mettre à l'extérieur dans la direction du vent qu'indique la girouette. La balle se soulève, il faut maintenir le niveau à bulle horizontal et lire l'angle que prend le balancier. Il faut noter que si la ficelle est trop souple la mesure sera difficile.
- Pour connaître la vitesse du vent se rapporter au tableau suivant :

Tableau 1 : la vitesse de vent en fonction de l'angle

Angle (deg.)	90	80	70	60	50	40	30	20
Vitesse (km/h)	0	13	19	24	29	34	41	52

Cette réalisation pratique nous a permis de prendre une bonne aperçue sur le principe de fonctionnement des différents éléments d'une station météorologique : thermomètre, anémomètre et girouette.



# Conclusion générale

Les ressources de la terre sont en train d'arriver à sa fin et nous devons l'aider. Les énergies renouvelables comme son nom le dit sont renouvelable et donne un « souffle » à notre planète.

Les sources d'énergie renouvelables sont de plus en plus importantes dans la recherche et le développement dans la plupart des pays du monde, de nos jours. L'énergie renouvelable est une énergie qui peut être une source de non épuisement des sources d'énergie et, en général, non polluant contrairement aux combustibles fossiles des sources d'énergie.

L'énergie éolienne est considérée comme une des options les plus durables parmi les possibilités futures, les ressources du vent étant immenses. On considère que l'énergie éolienne annuellement récupérable au niveau mondial se chiffre à environ 53 000 TWh (TéraWattheures), soit 4 fois la consommation mondiale actuelle d'électricité.

Le plus grand problème de l'énergie éolienne est son caractère intermittent : elle n'est pas produite à la demande, mais selon les conditions météorologiques.

L'évolution dans le météorologique impose un impact positif sur l'exploitation de l'énergie renouvelable grâce a l'utilisation de certains paramètre se trouvant au niveau de la nature.

Dans ce projet, notre objectif était la réalisation d'une station météorologique, nous avons arrivé à réalise un thermomètre électronique ,une simple girouette et une anémomètre et nous souhaitons que cette réalisation sera utiliser comme une point de départ pour la construction d'une station météorologique professionnel plus compliquée et plus sophistiquée afin d'utiliser dans les recherche relative à l'énergie éolienne .

# **Bibliographie**

- [1] Olivier Gergaud «Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé auréseau et associé à un accumulateur»
- [2] Mylène Civiate et Flavie Mandel «Fiche descriptive sur les instruments de mesure météorologique»
- [3] Vincent Luyet «Stations météo»
- [4] André L'Espérance «Centre d'énergie éoliennes le plateau SRI»
- [5] B. Legras «Météorologie»
- [6] F. Genevey « Station météo à l'école»
- [7] Frédéric Willot et Didier Vanderperre « Meteorologie»
- [8] Dominique Ottello « Les Thermocouples»
- [9] Microship« Le Microcontrôleur PIC 16F876A»
- [10] A.Tounzi« Utilisation de l'énergie éolienne dans la production de L'électricité. »
- [11] Travis Ferguson « Mesurer des températures par thermocouples».

### Site web

	[12	2]	http://	www	.atmo	-franc	he-co	mte.	org
--	-----	----	---------	-----	-------	--------	-------	------	-----

- [13] http://www.noxyben.fr/Electronique/Electro.html
- [14] www.ecotherm-mesures.fr
- [15] <a href="http://pascal.baudouin.pagesperso-orange.fr/salles\_eolien.htm">http://pascal.baudouin.pagesperso-orange.fr/salles\_eolien.htm</a>
- [16] <a href="http://www.cndp.fr/savoirscdi/cdi-outil-pedagogique/base-initiatives/initiatives-pedagogiques/ppcp-sur-la-realisation-dune-station-meteorologique.html">http://www.cndp.fr/savoirscdi/cdi-outil-pedagogique/base-initiatives/initiatives-pedagogiques/ppcp-sur-la-realisation-dune-station-meteorologique.html</a>
- [17] <u>http://www.mtaterre.fr/dossier-du-mois/archives/681/Comment-ca-marche-l-energie-eolienne</u>
  - [18] <a href="http://www.energieeolienne.fr/">http://www.energieeolienne.fr/</a>
  - [19] <a href="http://fr.oregonscientific.com/cat-Stations-%C3%A9t%C3%A9o.html">http://fr.oregonscientific.com/cat-Stations-%C3%A9t%C3%A9o.html</a>
  - [20] http://www.meilleurduchef.com/cgi/mdc/l/fr/boutique/produits
- [21] http://www.leroymerlin.fr/v3/p/produits/terrasse-jardin/outillage-a-main/thermometres-pluviometres-et-stations-meteo-l1308217353
  - $[22]\ http://www.gommeetgribouillages.fr/CP/Thermometre.pdf$
  - [23] http://galileo.cyberscol.qc.ca/InterMet/pression/pression4.htm
  - [24] http://www.energies-renouvelables.org/barometre.asp
  - [25] http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1743
  - [26] http://leventsombre.cottet.org/

### Annexe 1 : Programme de PIC 16F876

```
// LCD module connections
 2 sbit LCD RS at RB1 bit;
 3 sbit LCD EN at RB2 bit;
 4 sbit LCD D4 at RB3 bit;
 5 sbit LCD D5 at RB4 bit;
   sbit LCD D6 at RB5 bit;
 6
    sbit LCD D7 at RB6 bit;
 7
    sbit LCD RS Direction at TRISB1 bit;
 8
 9
   sbit LCD EN Direction at TRISB2 bit;
10
    sbit LCD D4 Direction at TRISB3 bit;
11
    sbit LCD D5 Direction at TRISB4 bit;
   sbit LCD D6 Direction at TRISB5 bit;
12
13 sbit LCD D7 Direction at TRISB6 bit;
14 // End LCD module connections
15 const unsigned short VREF = 5;
16 unsigned int temp res = 0;
17
   float temp;
18 char txt[15];
19 void main() {
20
     ADC Init();
                                           // Initialize ADC
                                           // Initialize LCD
21
     Lcd Init();
22
     Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
                                           // Clear display
23
     Lcd Cmd ( LCD CURSOR OFF);
                                           // Cursor off
24
     Lcd Out(1, 1, "Termometre");
25
     Lcd Out(2, 1, "Digital");
26
     delay ms(1000);
27
     Lcd Cmd( LCD CLEAR);
28
     Lcd_Out(1, 1, "Realiser par:");
     Lcd_Out(2, 1, "Djaafri Younes");
29
30
      delay_ms(1000);
31
     Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
     Lcd_Out(1, 1, "realiser par:");
Lcd_Out(2, 1, "Guerrout Ahmed");
32
33
     delay_ms(1000);
34
     Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
35
                                          // Clear display
      Lcd_Out(1, 1, "Temperature :");
36
     Lcd_Chr(2,8,223);
37
                                         // Different LCD displays have different
                                        // char code for degree
// Display "C" for Celsius
38
39
     Lcd_Chr(2,9,'C');
40
     temp res = 0;
41
     do {
                                          // Get 10-bit results of AD conversion
42
       temp_res = ADC_Get_Sample(0);
       temp = (temp_res * VREF)/10.240; // Calculate temperature in Celsuis
43
44
       FloatToStr(temp, txt);
                                          // Convert temperature to string
4.5
       txt[4] = 0;
46
       Lcd_Out(2,3,txt);
                                          // Write string in second row
47
        Delay_ms(300);
    } while(1);
48
49 }
```

# Annexe 2 : nomenclature des composant électroniques utilisées

Code circuit	type	composant	
C1	Condensateur	470 UF	
C2	Condensateur	100 NF	
C3	Condensateur	100 NF	
C5	Condensateur	22 PF	
C6	Condensateur	22 PF	
C8	Condensateur	1 UF	
C9	Condensateur	22 UF	
C12	Condensateur	0.1 UF	
D12	Diode	1N4007	
D2	Diode	LED	
R1	Résistance	10 K	
R6	Résistance	10 K	
U1	Régulateur	7805	
RV1	Résistance variable	1 K	
X2	quartez	8 MHZ	
U2	Capteur température	LM35	
U	PIC	16F876A	
BUTT	Bouton passoire		
J2	Connecteur DC		

Annexe 3 : Liste des abréviations

ABREVIATION	SIGNIFICATION		
H2O	La vapeur d'eau		
CFC	Les chlorofluorocarbures		
CO2	Le gaz carbonique		
CH4	Le méthane		
O3	L'ozone		
O2	L'oxcegène		
N20	Le protoxyde d'azote		
NO	monoxyde d'azote		
(N, S, E, O)	les points cardinaux		
O3E	Observation de l'Environnement à but Éducatif à l'École		
HPA	l'hectopascal		
PA	pascal		
OMM	'Organisation Météorologique Mondiale		
WMO	'Organisation Météorologique Mondiale		
PNRFO	Le Parc naturel régional de la Forêt d'Orient		
IR	infrarouge		
Hg	mercure		
mmHg	le millimètre de mercure		
InHg	le pouce de mercure		
Mbar	millibar		
Mb	millibar		
QFE	la pression au niveau de la station		

# Résume

Depuis toujours, l'avenir des hommes est lié aux variations du temps et c'est pourquoi, au cours des siècles, les hommes ont essayé de le comprendre et de le prévoir. Trois grandes périodes se distinguent : la météorologie primitive, la météorologie populaire et la météorologie moderne.

Une plus grande partie sera consacrée à cette dernière période, puisque c'est pendant ce temps que la météorologie est devenue une science et c'est aujourd'hui, sous cette forme, qu'elle rend service aux hommes.

Une station météorologique permettant de faire des relevés de mesures de température, de précipitations, mais aussi des relevés relatifs à la force et à la direction du vent. Les instruments de mesure qui nous permettent d'obtenir des valeurs objectives des paramètres atmosphériques.

Cette étude présentera une vue Global sur les sciences météos, les équipements installées dans un siège éolienne avec une tentative de créer un circuit de thermomètre pour être installé dans notre petite station météorologie.