La pression et les mouvements de l'air

Les forces à l'origine du vent

Table de matières

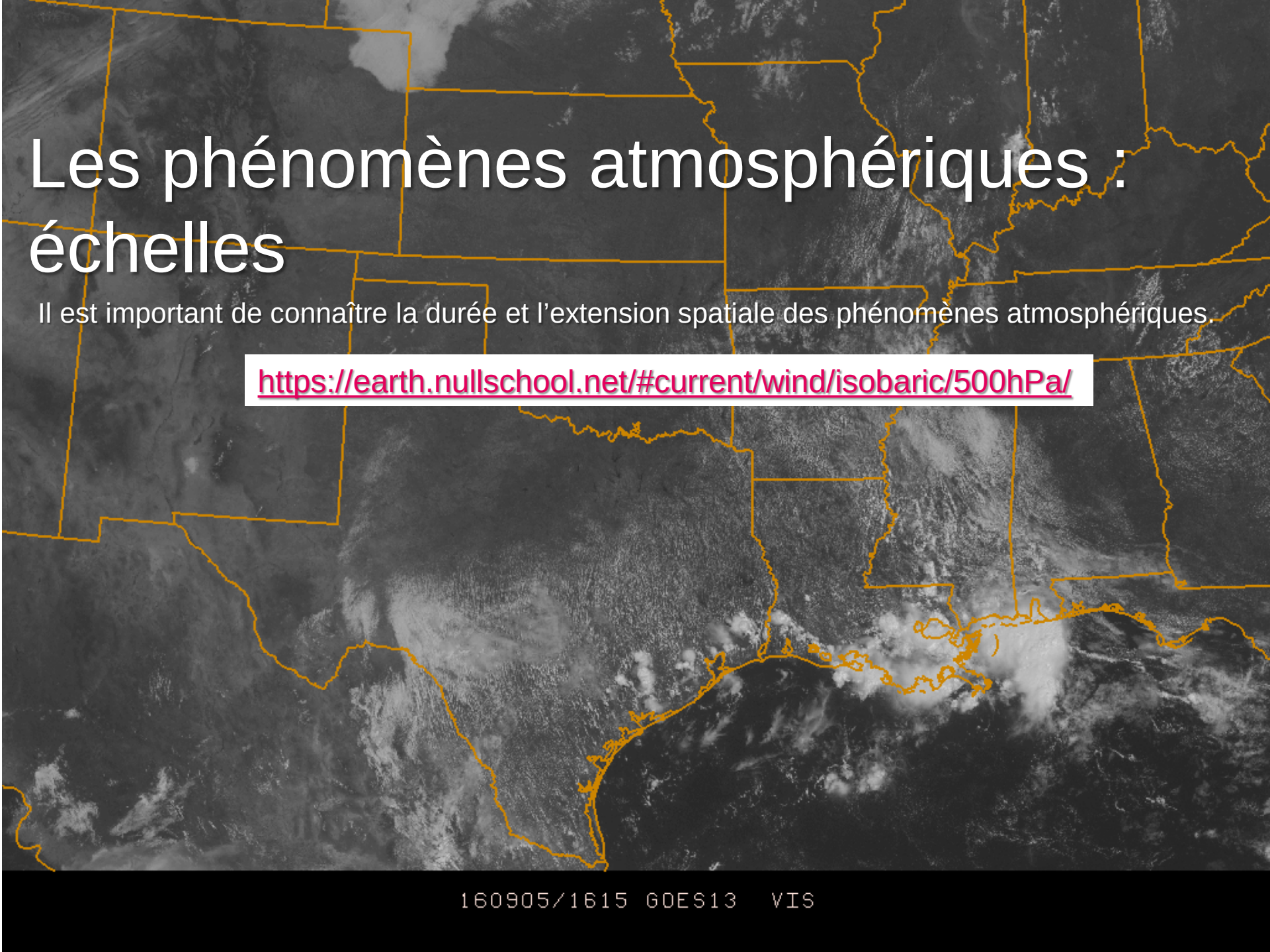
- Échelles caractéristiques des phénomènes météorologiques
- Éléments de météorologie dynamique
  - La deuxième loi de Newton
    - Les forces fondamentales et réels : elles existent dans tous les référentiels de mesure.
      - La force du gradient de pression
      - La force de frottement
      - La force de gravité
    - Les forces d'inertie : elles sont «crées» par l'accélération du référentiel de mesure. Elles n'existent pas dans un référentiel en mouvement inertiel (en mouvement uniforme ou au repos)
      - La force de Coriolis
      - La force centrifuge

Approfondissement de cette matière :
Cours SCA4622 – Dynamique de l'atmosphère

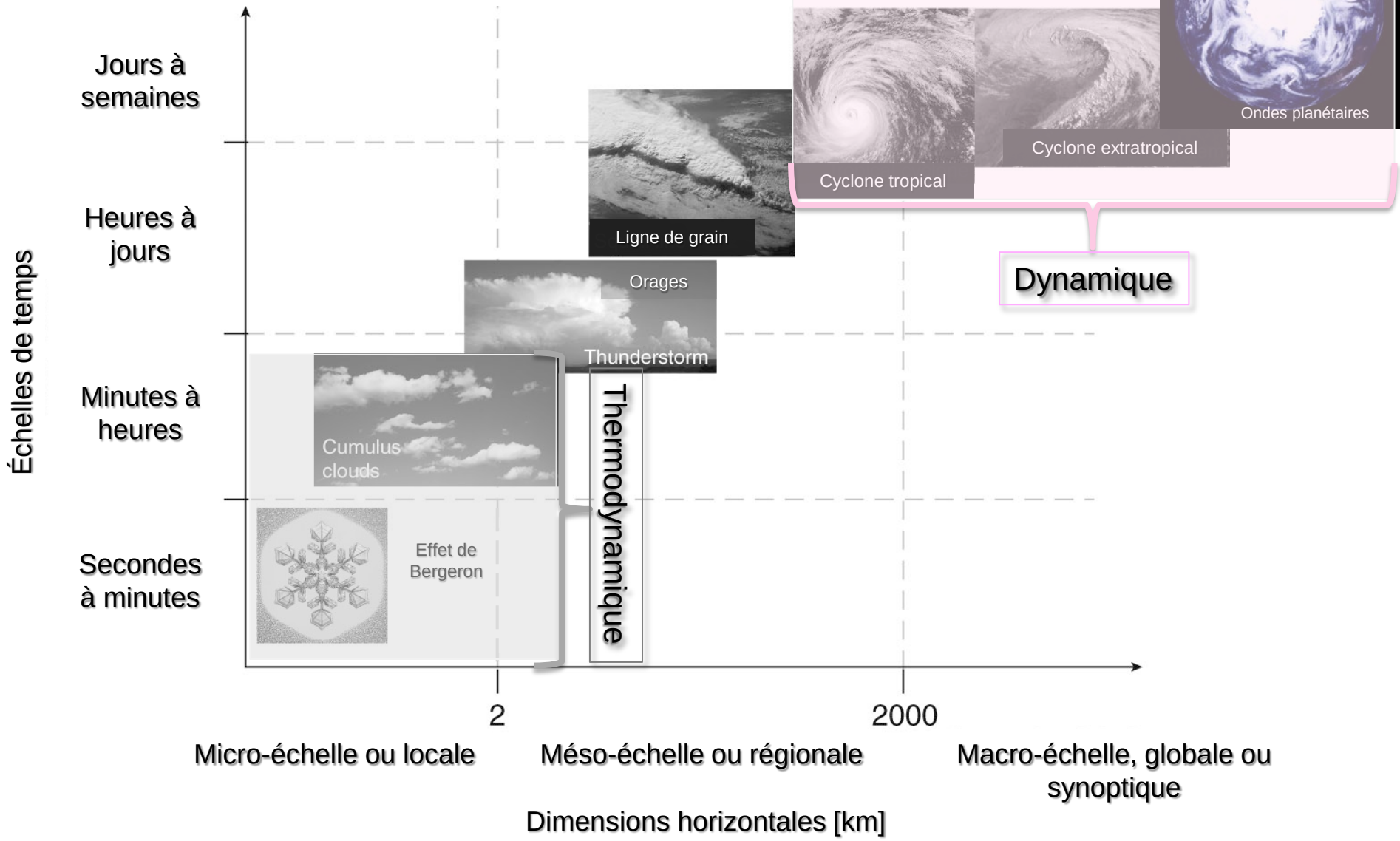
Les phénomènes atmosphériques : échelles

Il est important de connaître la durée et l'extension spatiale des phénomènes atmosphériques.

https://earth.nullschool.net/#current/wind/isobaric/500hPa/



Échelles caractéristiques des phénomènes météorologiques étudiés dans ce cours



Physique : Dynamique et mécanique des fluides

La **dynamique** est une discipline de la **mécanique classique** qui étudie les corps en mouvement sous l'influence des actions (forces) qui leur sont appliquées.
La ***mécanique des fluides*** est un domaine de la physique dédié à l'étude du comportement des fluides (liquides, gaz et plasmas) et des forces associées. C'est une application de lois de la mécanique aux fluides.

- Qu'est-ce que la vitesse d'un objet ? $\vec{V}$
  - *Distance parcourue* dans un temps donné (1 s, 1h, etc), ET…
  - la *direction* dans laquelle l'objet se déplace.
  - Donc, la *vitesse* est un vecteur, .
- En physique, lorsque la vitesse d'un objet change (en grandeur et/ou en direction), on dit qu'il y a *accélération*, $\vec{a} = d\vec{V}/dt$
  - Il y a accélération lorsque :
    - seulement la direction de la vitesse change, ou
    - seulement la grandeur de la vitesse change, ou
    - les deux, grandeur et direction de la vitesse, changent.

Physique élémentaire : Les lois de Newton

- Un objet ne change pas son état de mouvement si la résultante des forces exercées sur l'objet est nulle.

- La force résultante (ou nette) exercée sur un objet est égale à la masse de l'objet multipliée par son accélération.

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

- Toute accélération d'un objet est le résultat d'une *force* nette agissant sur l'objet (si la résultante des forces est nulle, la vitesse de l'objet restera constante et en grandeur, et en direction).

- Donc si un objet va plus vite, ou s'il va moins vite, ou s'il change de direction, il est accéléré, et cela est dû à une force nette non nulle agissant sur lui.

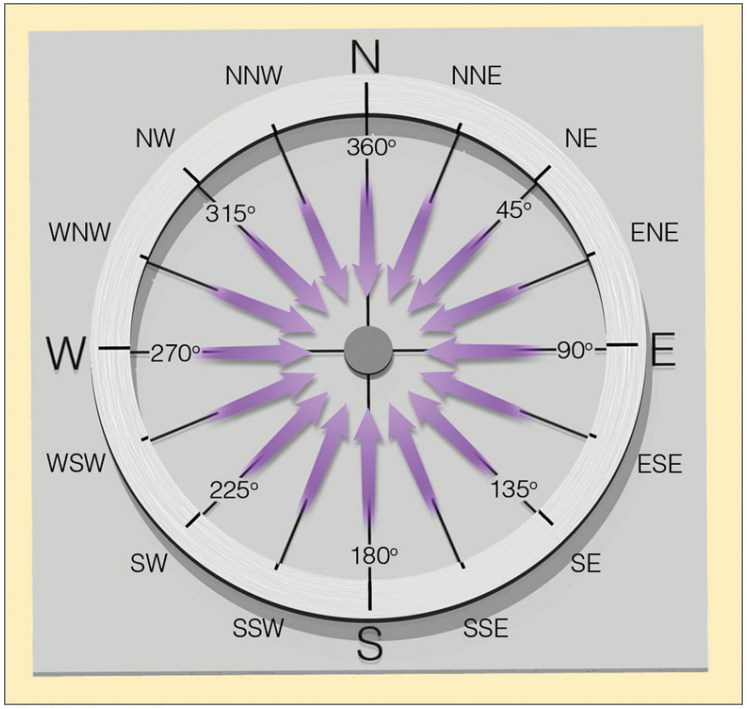
- La direction et la vitesse du vent dépend donc de la nature des forces agissant sur l'air.

Quelle est la force ***nette*** agissant sur une voiture se déplaçant à une vitesse constante de 160 km/h ?

Les vents

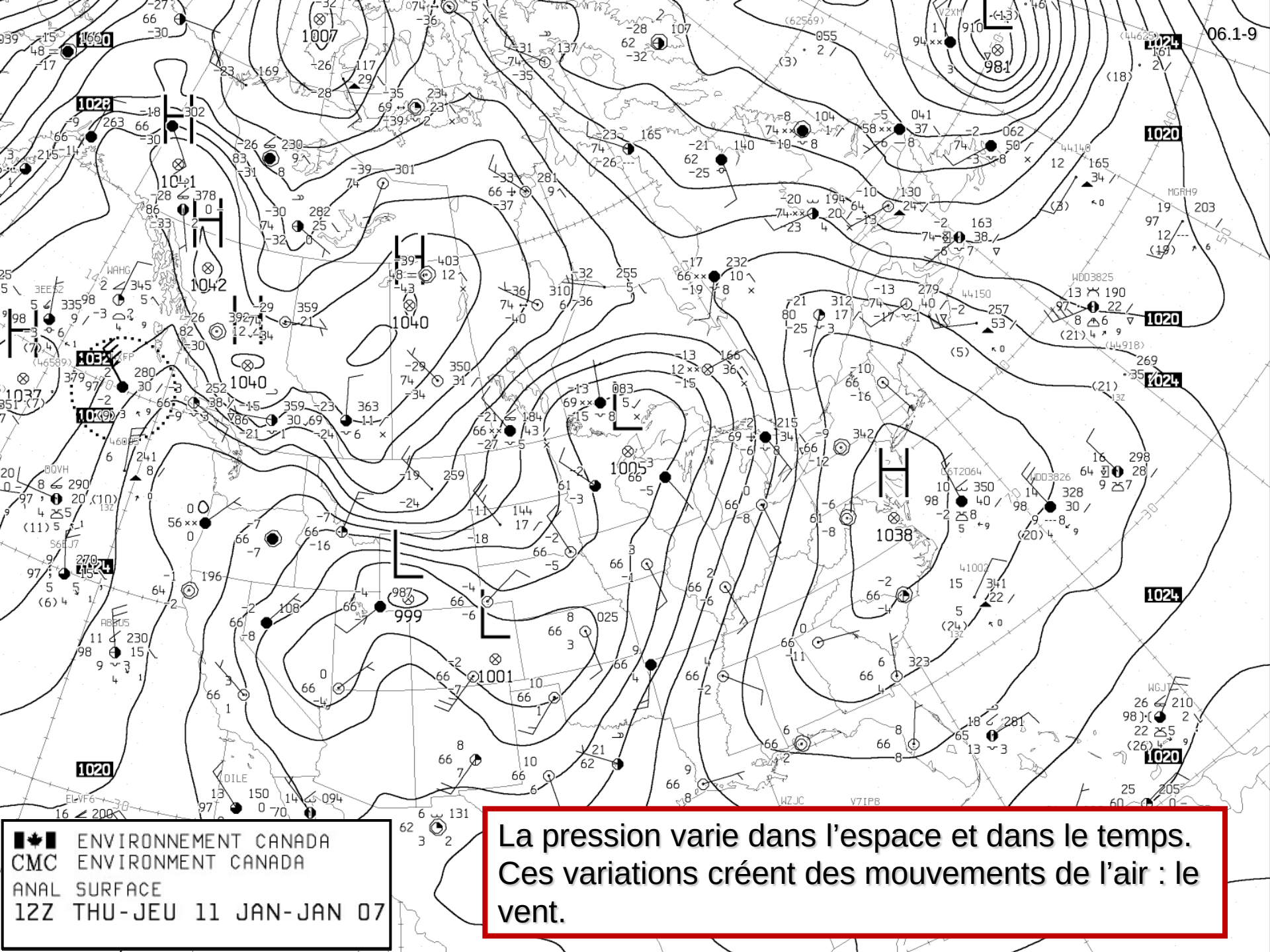
Le vent est un déplacement de l'air. Il possède une **vitesse** et une **direction**. La vitesse est exprimée en m/s, km/h ou en noeuds (1 noeud représente 1,852 km/h). La direction indique d'où provient le vent et elle s'exprime en fonction de la rose des vents comme celle illustrée ici.

Source : http://footage.framepool.com/



© Brooks/Cole, Cengage Learning

Quelle est l'origine des vents? Les forces qui agissent sur l'air.

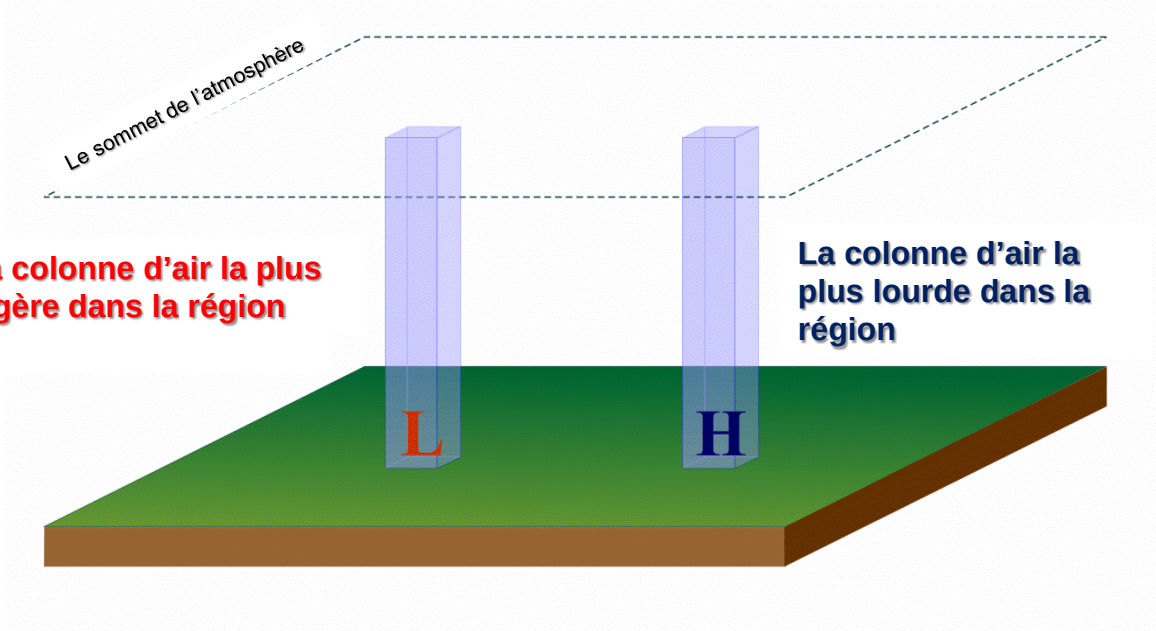


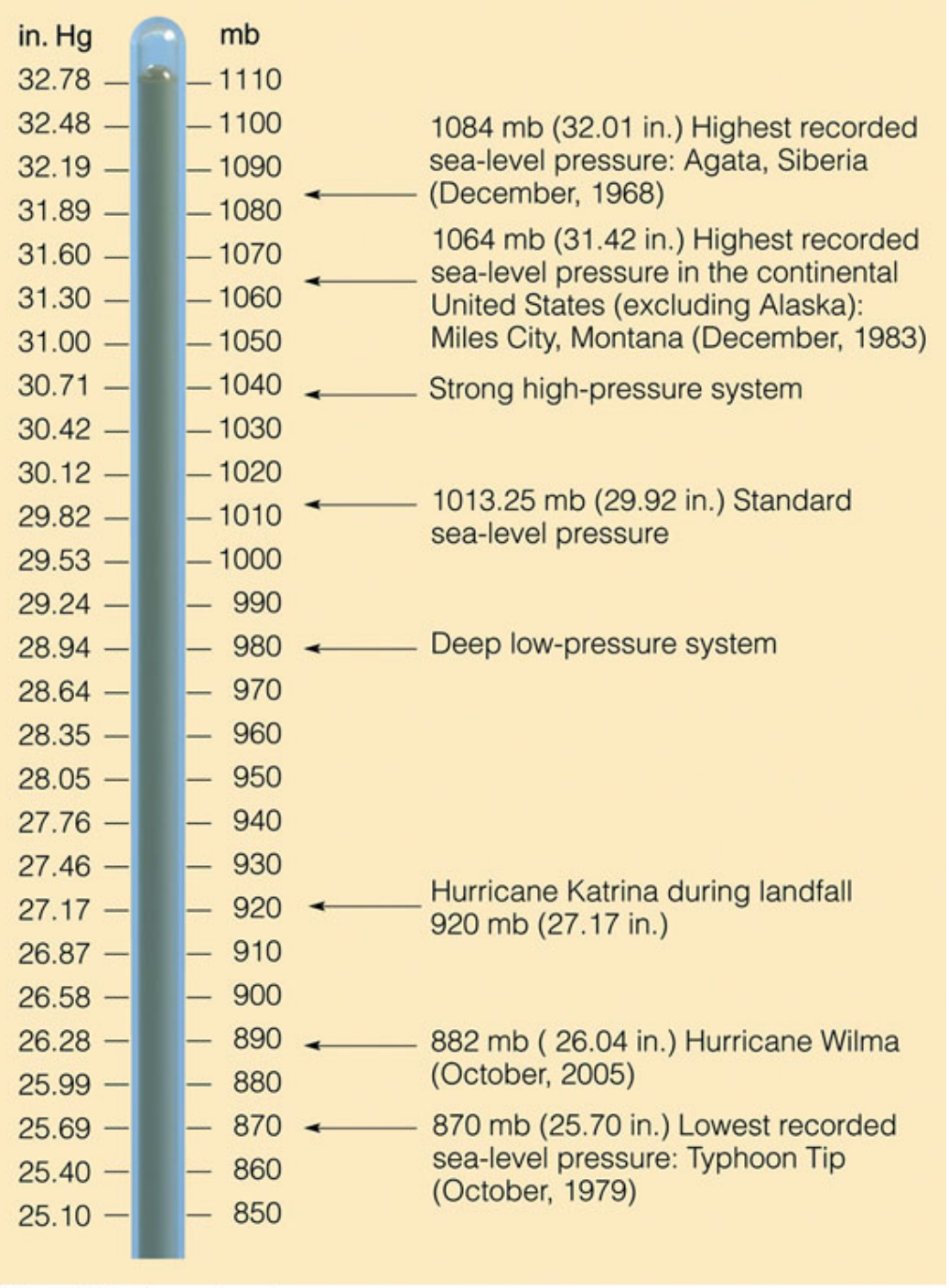
La pression varie dans l'espace et dans le temps. Ces variations créent des mouvements de l'air : le vent.

La pression atmosphérique

La pression atmosphérique à un point donnée est approximativement égale au poids par unité de surface de la colonne d'air qui s'étend du niveau où se situe le point de mesure jusqu'au «sommet» de l'atmosphère. Elle est égale à ce poids seulement dans le cas où l'atmosphère est en équilibre hydrostatique, cependant, l'atmosphère ne s'éloigne jamais trop de cet état d'équilibre.

Les variations de la pression à la surface reflètent la distribution horizontale de la masse d'air atmosphérique.





© Brooks/Cole, Cengage Learning

1 mb = 1 hPa = 100 Pa

Certaines valeurs de pression atmosphérique au niveau moyen de la mer, qui nous donnent une idée de l'ordre de grandeur de la pression atmosphérique à la surface.

L’évolution de la vitesse de l’air

$$m \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}_{GP} + \vec{F}_C + \vec{F}_f + m\vec{g} \Rightarrow \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\vec{F}_{GP}}{m} + \frac{\vec{F}_C}{m} + \frac{\vec{F}_f}{m} + \vec{g}$$

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$$

Les forces qui agissent sur l'air

- L'air est en mouvement parce qu'il y a des forces qui agissent sur celui-ci :
  - **La force de gravité** : équilibrée par la composante verticale de la force du gradient de pression.
  - **La force de frottement** : existe seulement quand l'air est déjà en mouvement et dans la couche limite atmosphérique (~ 1 km d'épaisseur).
  - **La force du gradient de pression** : existe quand la pression varie dans l'espace. La composante vertical de cette force est équilibrée par la force de gravité. À cause de ce fait, souvent, en sciences de l'atmosphère, quand on parle de **force de gradient de pression on fait référence aux composantes horizontales de la force de gradient de pression.**

Les forces fondamentales

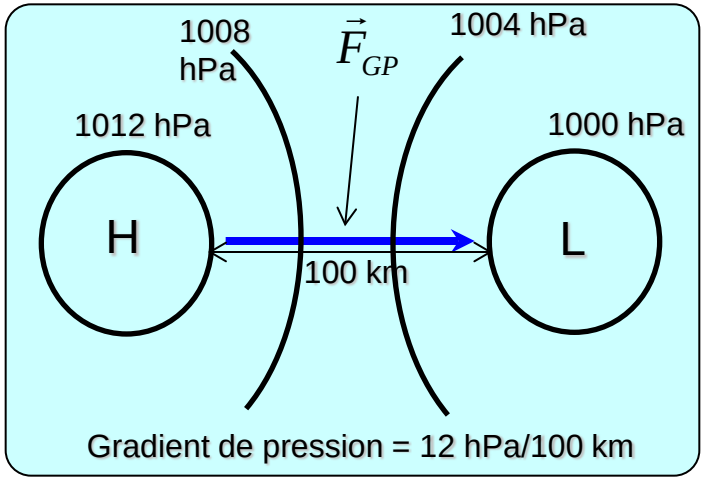
Deuxième loi de Newton

$$m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$$

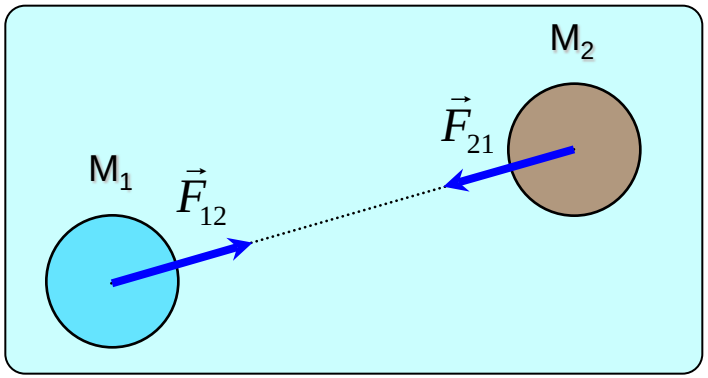
m : masse de la parcelle
$\vec{a}$: accélération de la parcelle dans un **référentiel inertiel***
$\vec{F}_i$: forces extérieures exercées sur la parcelle

* **Référentiel inertiel** : système de référence (système de coordonnées) sans accélération.

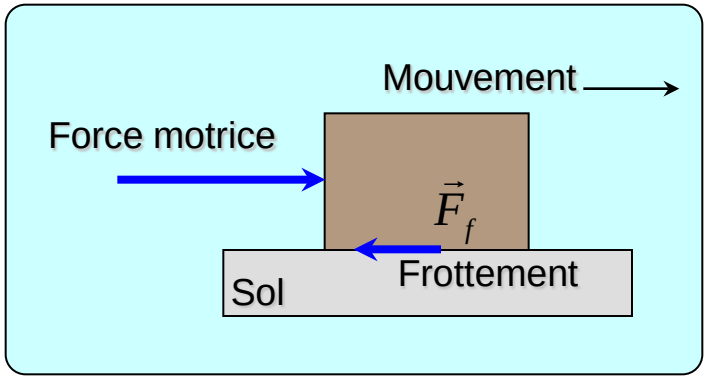
• La force du gradient de pression



• La force de gravité



• La force de frottement

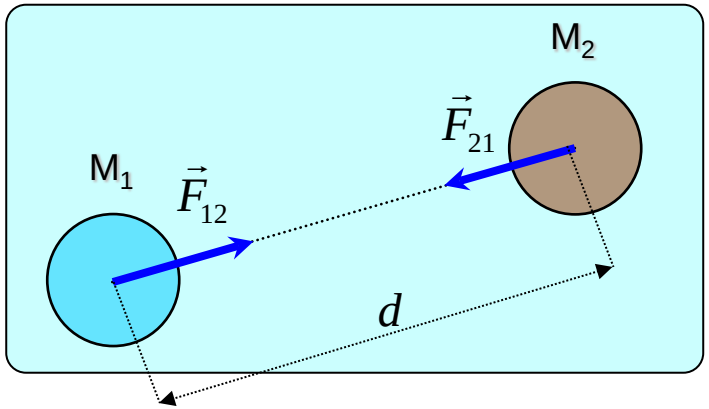


Force de gravité

$$F_{12} = F_{21} = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

$$G = 6,67384 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$$

G est la constante de gravitation universelle



Grandeur : la force de gravité est proportionnelle aux masses et inversement proportionnelle à la distance entre les deux centres de masse au carré.
Direction : la ligne d'action de la force de gravité est celle qui unit les deux centres de masse.

Accélération de la gravité planétaire : force par unité de masse du corps sur lequel la force d'attraction gravitationnelle planétaire agit.

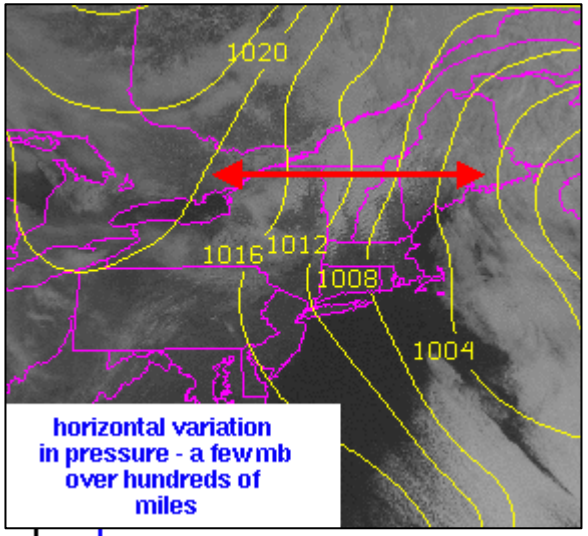
$$mg = G \cdot \frac{m \cdot M_{Planète}}{\left(R_{Planète} + z\right)^2}$$

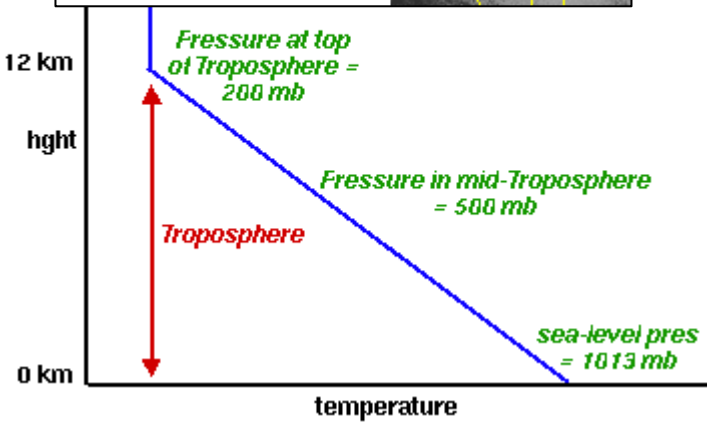
$$g = G \cdot \frac{M_{Planète}}{\left(R_{Planète} + z\right)^2} \cong G \cdot \frac{M_{Planète}}{R_{Planéte}^2},\ \text{si } z \ll R_{Planète}$$

Grandeur : proportionnelle à la masse de la planète et inversement proportionnelle au carré du rayon de la planète.
Direction : l'accélération de la gravité est dirigée vers le centre de la planète

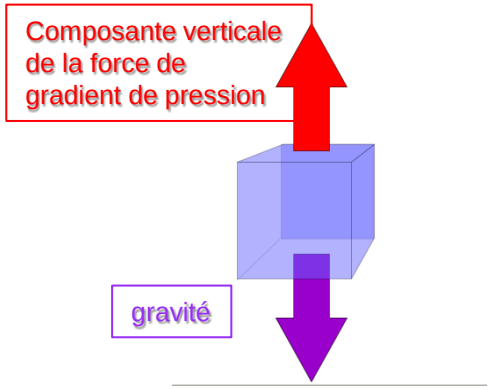
Les gradients de pression

- Rappelons-nous que la variation de pression est bien plus élevée
  - quand on se déplace verticalement : $\Delta p/\Delta z$ ~ 1000 hPa / 10 km…
  - …que quand on se déplace horizontalement : $\Delta p/\Delta x \sim \Delta p/\Delta y \sim$ 10 hPa/1000 km.





Les variations de pression sont à l'origine des mouvements de l'air. Les variations verticales sont plus importante que les variations horizontales, cependant ce sont ces dernières qui sont à l'origine du vent ! Pourquoi?



Parce que la force crée par le gradient de pression vertical est en quasi équilibre avec la force de gravité. La résultante est quasi-nulle.

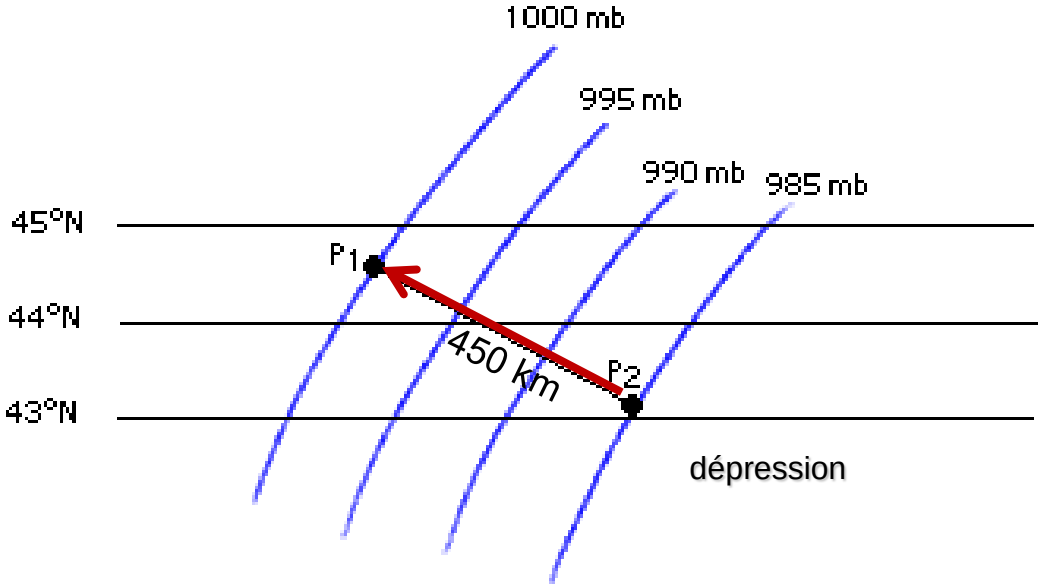
La force de gradient de pression

En termes plus scientifiques, pour définir le vent, nous devons parler du gradient de pression. Le gradient de pression est la différence de pression existant entre deux points divisée par la distance qui les séparent. Sa grandeur est donc, (p1-p2)/distance . Mais, il a aussi une direction : des valeurs plus basses vers les valeurs plus élevées.

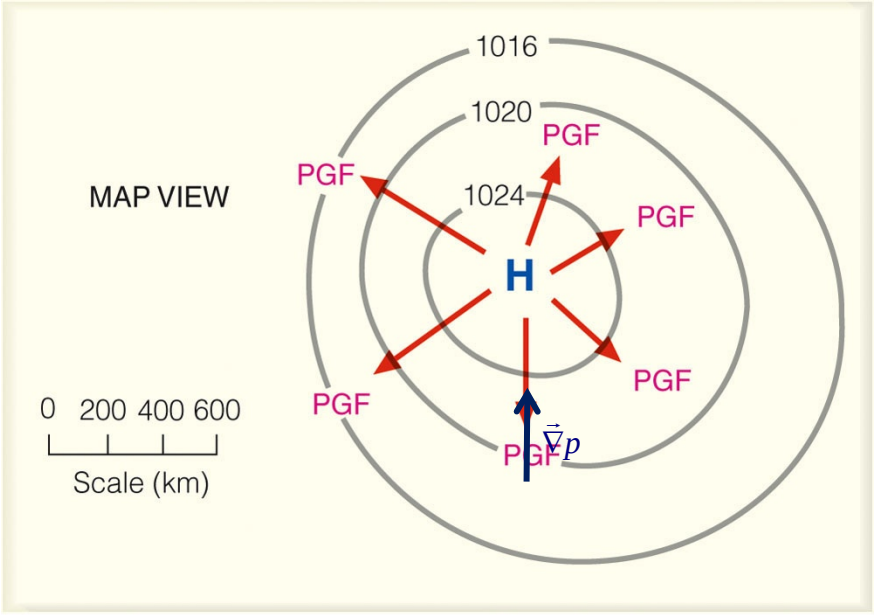
$$\left|\vec{\nabla} p\right| = \left|\frac{p_2 - p_1}{\text{distance}}\right| = \left|\frac{98500[Pa] - 100000[Pa]}{450[km]}\right| = 3{,}3 Pa/km$$

C'est donc la différence de pression entre deux points qui crée une force nommée force du gradient de pression. Plus la force du gradient de pression est élevée plus le vent est fort.

Donc, ou bien la différence «p1-p2» est grande ou bien la distance «d» est faible.



La F_{GP} et les isobares



© Brooks/Cole, Cengage Learning

$$\frac{\vec{F}_{GP}}{m} = -\frac{1}{\rho}\cdot\vec{\nabla}p = -\frac{1}{\rho}\cdot\left(\frac{\partial p}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y}\vec{k} + \frac{\partial p}{\partial z}\vec{k}\right)$$

- Sur une carte de surface, la force du gradient de pression F_{GP} (PGF = « pressure gradient force ») est toujours dirigée des hautes pressions vers les basses pressions (de signe contraire au gradient de pression)
- Plus les isobares sont rapprochées, plus la F_{GP} (PGF) est grande
- La F_{GP} (PGF) est perpendiculaire aux isobares et en sens contraire du gradient de pression.

Grandeur : proportionnelle au gradient de pression et inversement proportionnelle à la densité.

$$\left|\frac{\vec{F}_{GP}}{m}\right| = \left|\vec{a}_{GP}\right| = \frac{1}{\rho}\cdot\left|-\vec{\nabla}p\right|$$

Direction : en sens inverse du gradient de pression.

$$-\vec{\nabla}p = -\left(\frac{\partial p}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y}\vec{k} + \frac{\partial p}{\partial z}\vec{k}\right)$$

La force de gradient horizontal de pression

$$\frac{\vec{F}_{GP}}{m} = -\frac{1}{\rho}\cdot\vec{\nabla}p = -\frac{1}{\rho}\cdot\left(\frac{\partial p}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y}\vec{k} + \frac{\partial p}{\partial z}\vec{k}\right)$$

$$\left|\frac{\vec{F}_{GP}}{m}\right| = \left|\vec{a}_{GP}\right| = \frac{1}{\rho}\cdot\left|-\vec{\nabla}p\right| = \frac{1}{1\left[kg/m^3\right]}\cdot\frac{10^3\left[Pa\right]}{10^6\left[m\right]} = 10^{-3}\left[\frac{kg\cdot m^{-1}\cdot s^{-2}}{kg\cdot m^{-2}}\right] = 10^{-3}\ m/s^2$$

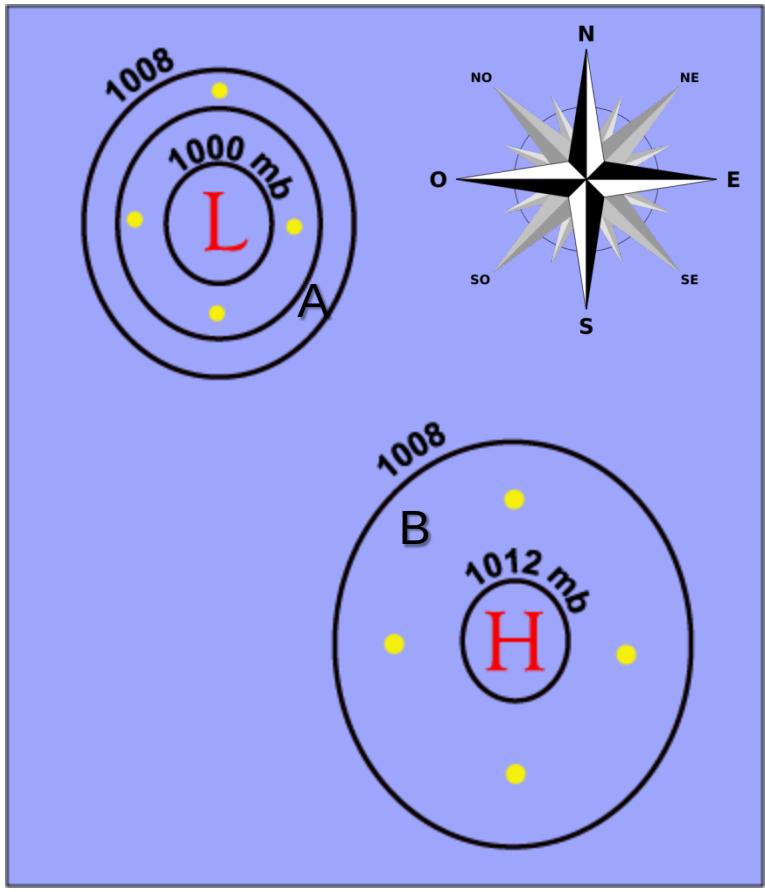
- Ordre de grandeur : Un gradient de pression de 10 hPa sur 1000 km donne une force de l'ordre d'**un dix millième de la force de gravité**.

$$-\vec{\nabla}p = -\left(\frac{\partial p}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y}\vec{k} + \frac{\partial p}{\partial z}\vec{k}\right)$$

- En l'absence d'autres actions, l'air coulerait des hautes pressions vers les basses pressions.

La force du gradient de pression

La force du gradient de pression au tour d'un centre de basse pression (dépression, L) et d'un centre de haute pression (anticyclone, H)

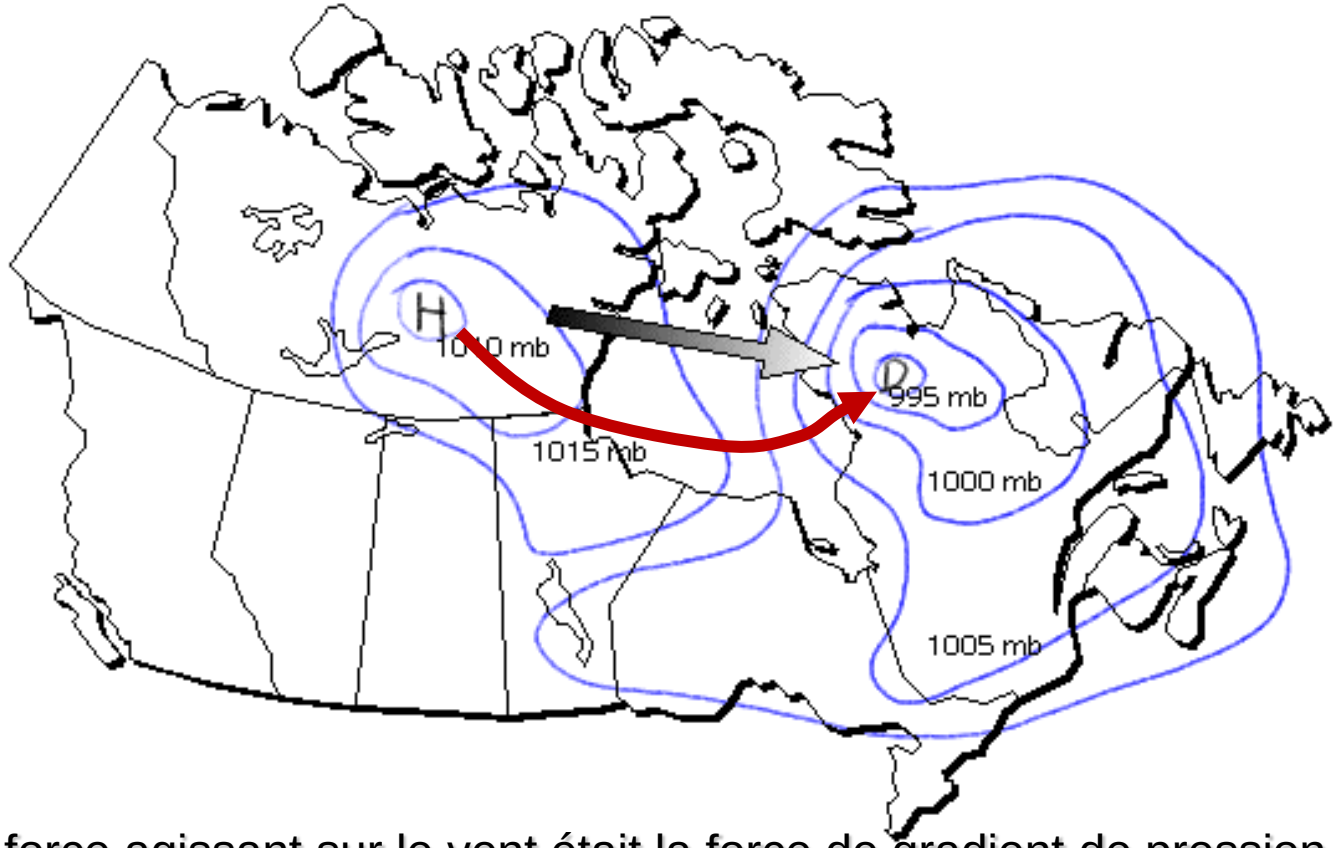


- Q : Quelle est la direction de la force du gradient de pression au SE (A) de la dépression? Du SE vers le NO

- Q : Quelle est la direction de la force du gradient de pression au NO (B) de l'anticyclone? Du SE vers le NO

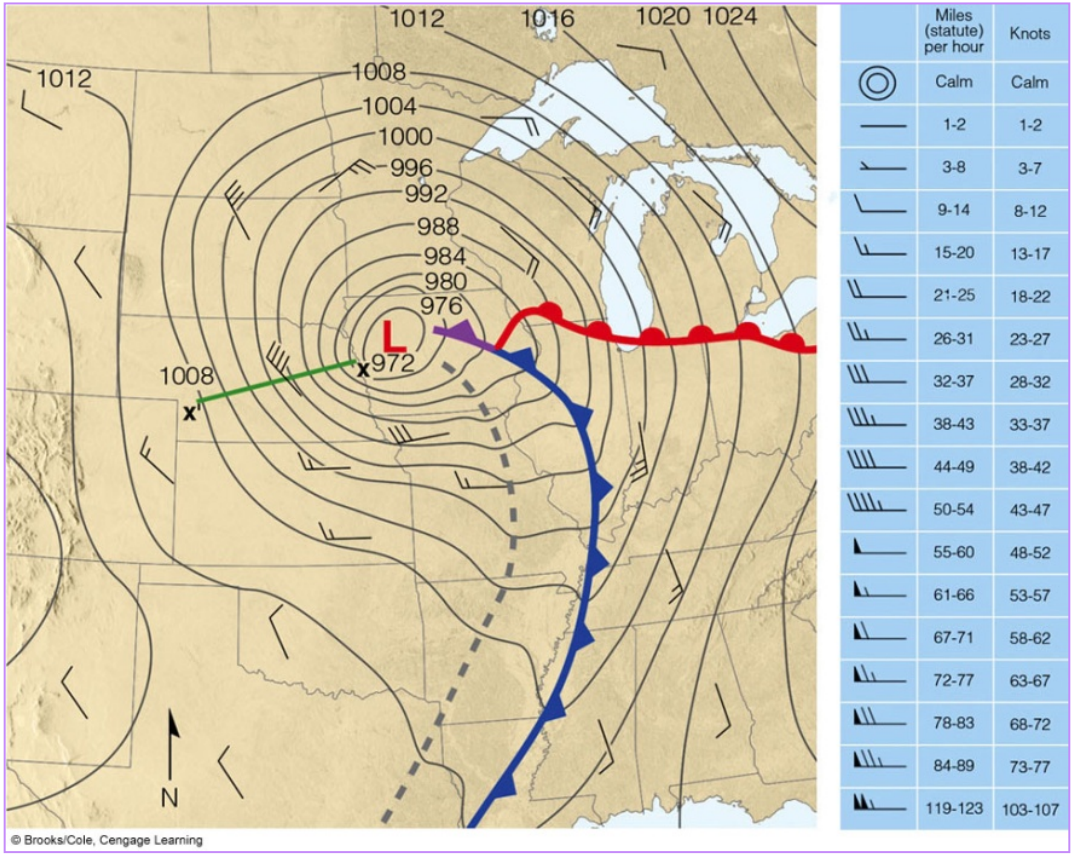
- Q : Dans le cas représenté dans la figure où est-ce que la force du gradient de pression est plus élevée : au tour de la dépression où autour de l'anticyclone? Au tour de la dépression

La force de gradient de pression



Si la seule force agissant sur le vent était la force de gradient de pression et que la terre n'était pas en mouvement accéléré, le vent proviendrait des hautes pressions et se dirigerait vers les basses pressions dans le but de combler (éliminer) la baisse de pression.

La FGP et la force du vent



	Miles (statute) per hour	Knots
	Calm	Calm
	1-2	1-2
	3-8	3-7
	9-14	8-12
	15-20	13-17
	21-25	18-22
	26-31	23-27
	32-37	28-32
	38-43	33-37
	44-49	38-42
	50-54	43-47
	55-60	48-52
	61-66	53-57
	67-71	58-62
	72-77	63-67
	78-83	68-72
	84-89	73-77
	119-123	103-107

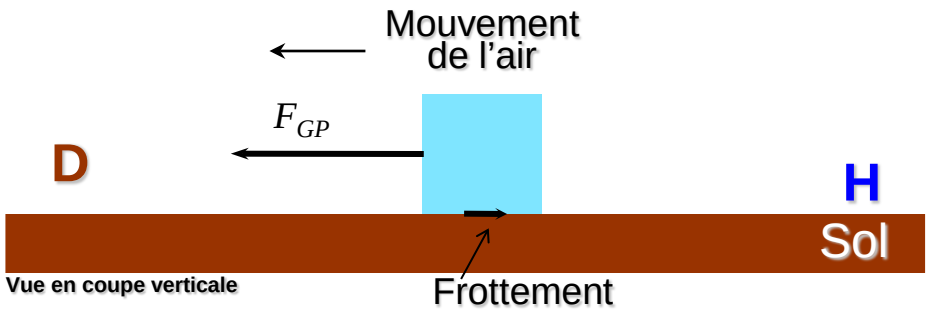
- Les isobares rapprochées correspondent à de forts vents
- Les isobares plus lâches correspondent à des vents plus faibles

Mais pourquoi les vents n'ont pas la même direction que la force de gradient de pression?

Une autre force apparaît dès que l'air est en mouvement : **la force de frottement ou de friction.**

La force de frottement proche de la surface

- Près de la surface, pour décrire le mouvement horizontal des parcelles d'air, il faut tenir en compte non seulement de l'action du gradient horizontal de pression, mais aussi du frottement.

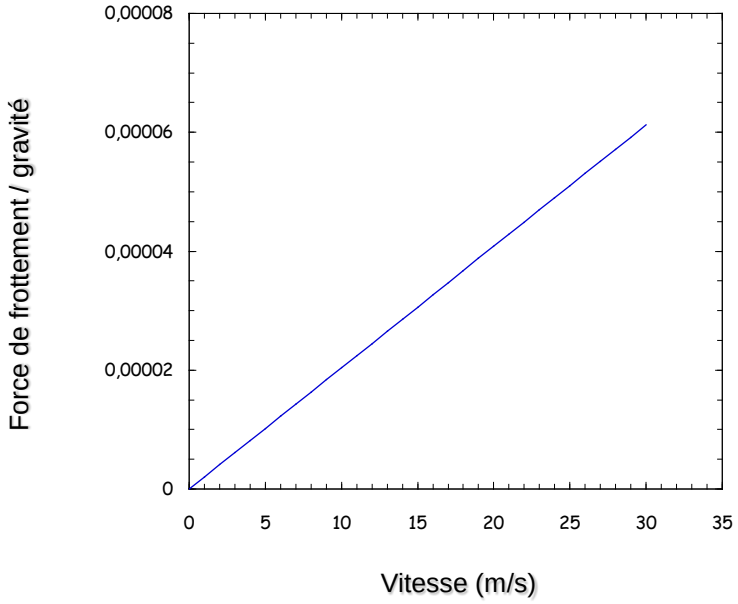


- La force de frottement est fonction de la vitesse horizontale, v, et de direction opposée :

$$\vec{F}_f = -K \cdot f(v) \cdot \frac{\vec{v}}{\|\vec{v}\|}$$

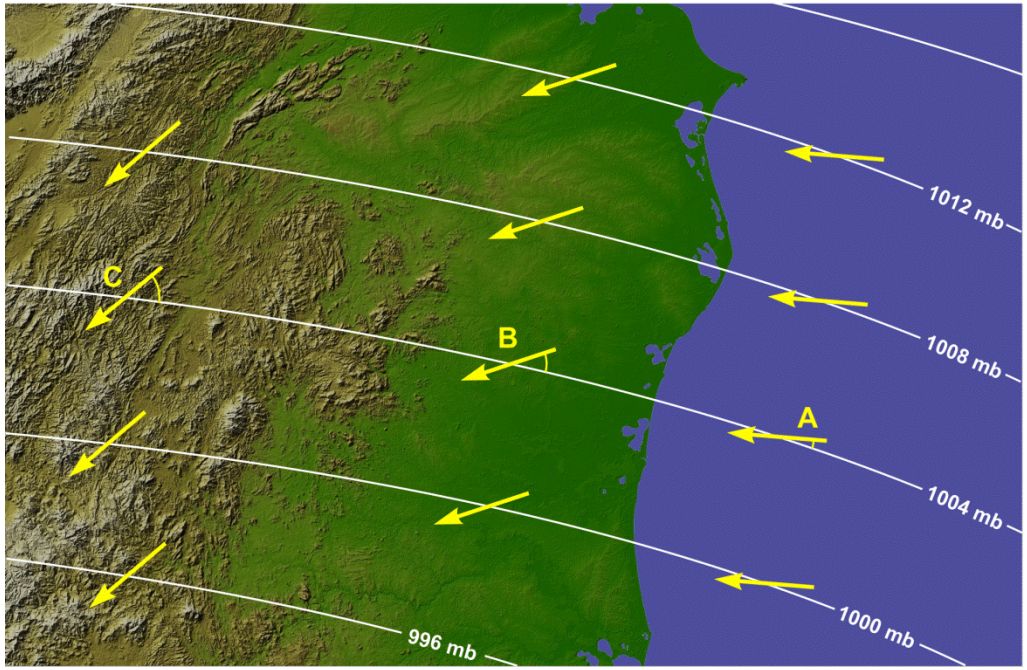
K , le coefficient de frottement, dépend de la surface. Ce coefficient est plus élevé quand les surfaces sont rugueuses.

F_f , est de l'ordre d'une **fraction d'un dix millième de la gravité**.



Le frottement contribue à diminuer la vitesse du vent mais il agit dans la direction du vent…

Les vents à la surfaces croisent les isobares vers les basses pression selon un angle qui dépend de la rugosité du terrain. Mais leur direction n'est pas selon la force de gradient de pression. Pourquoi?

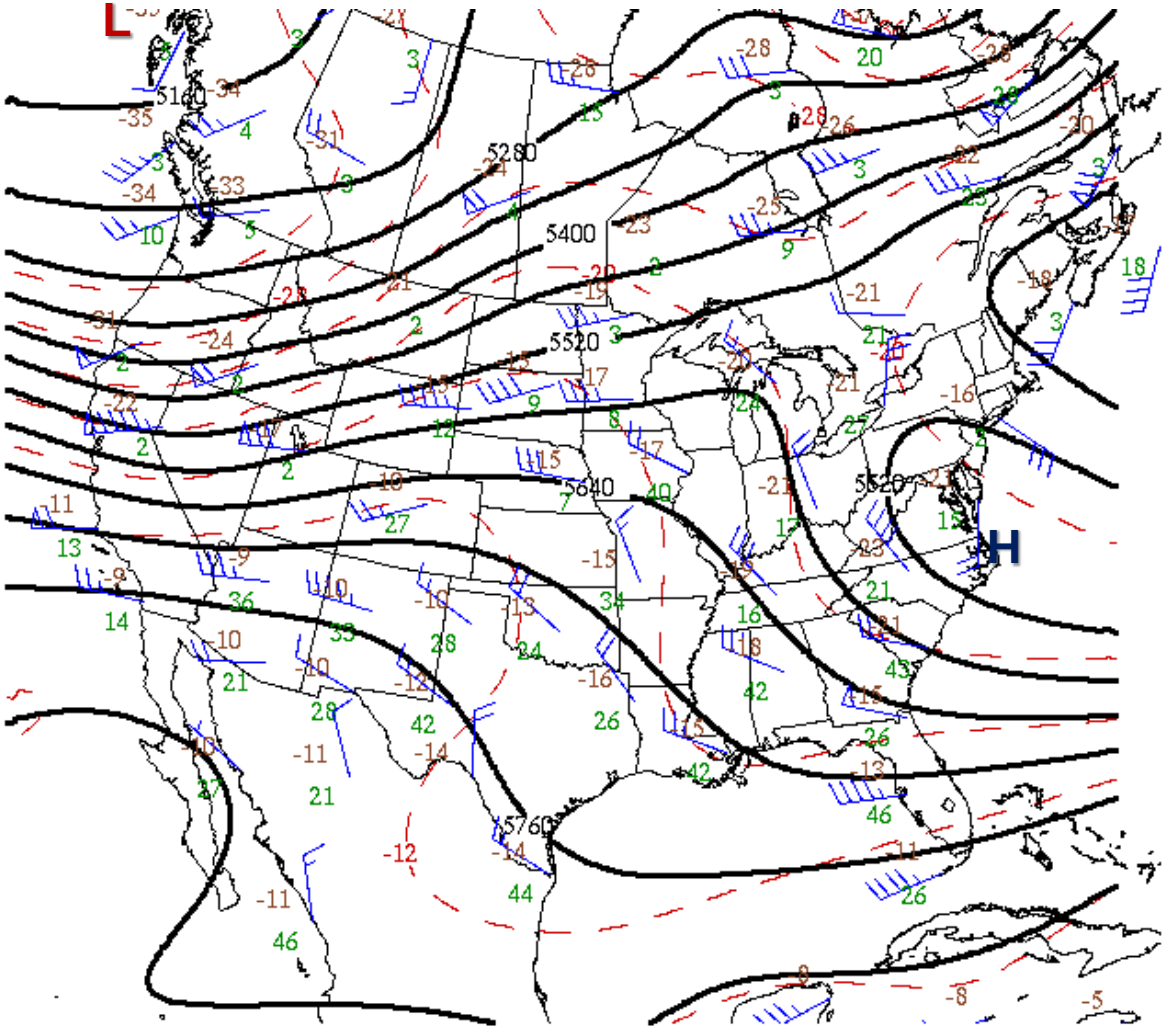


Quelle force contribue à changer la direction du vent?

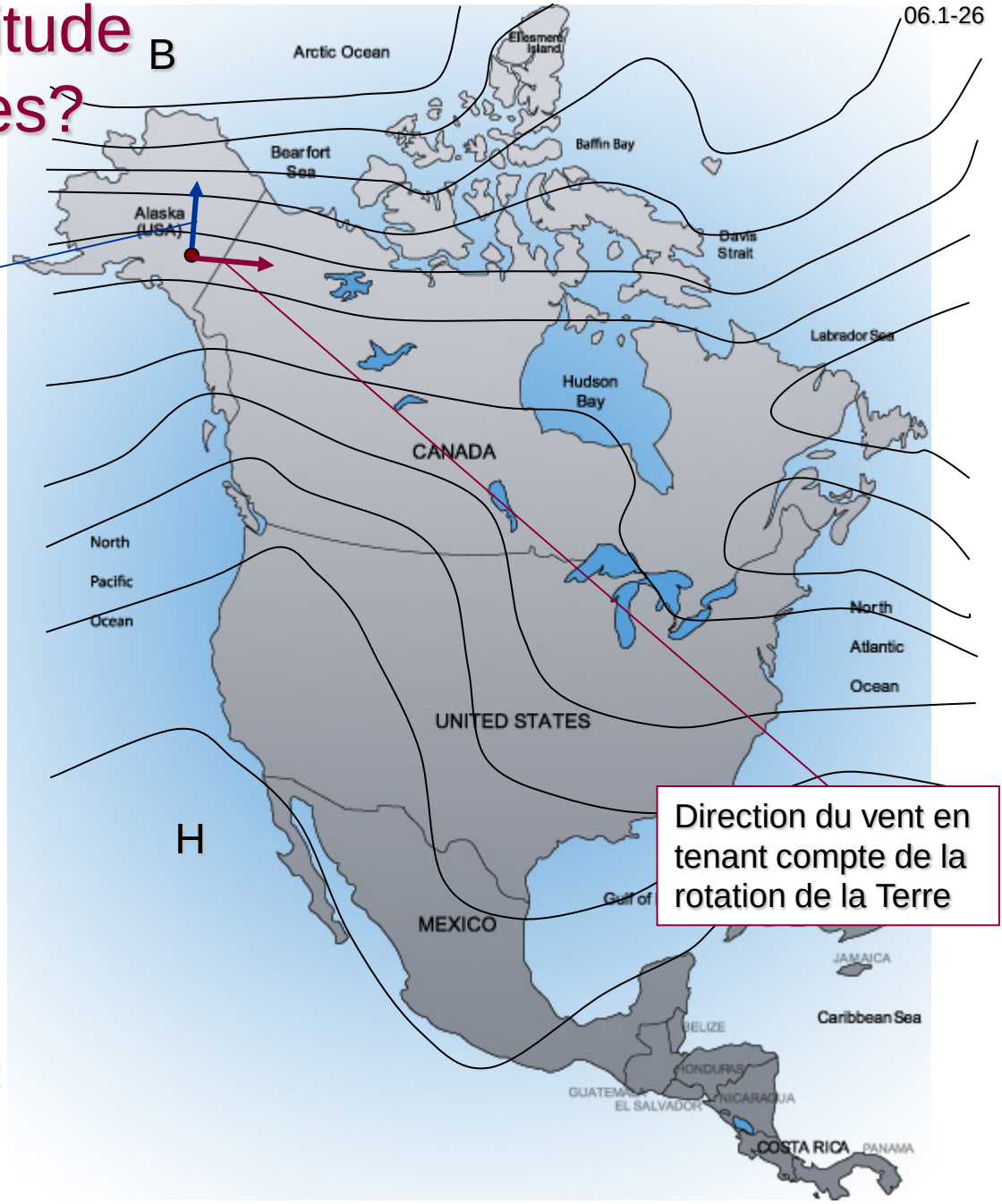
Écoulement au niveau de pression de 500 hPa

À 500 hPa ~ 5000 m d'altitude, la force de frottement est négligeable.

Le vent est quasi parallèle aux isobares…



Pourquoi le vent en altitude est parallèle au isobares?



Direction du vent prévue par la seule action du gradient de pression

Direction du vent en tenant compte de la rotation de la Terre

- La FGP est la cause d'origine du vent
- En altitude, l'effet du frottement avec la surface est négligeable
- Dès que l'air se met à bouger à cause de la FGP, il se dirige effectivement vers la basse pression…
- … mais comme la Terre tourne, l'air «manque» sa cible…
- Tout se passe comme s'il existait une force que dévie le vent : on l'appelle la *force de Coriolis*.

Les forces apparentes

- Deuxième loi de Newton $m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$

  m : masse de la parcelle

  a = a' + a_R : accélération de la parcelle dans un référentiel inertiel est égale à somme de l'accélération mesurée dans un référentiel accéléré (a') et l'accélération du référentiel non inertiel (a_R).

  $\boldsymbol{F_i}$: forces extérieures exercées sur la parcelle

et la deuxième loi de Newton peut prendre la forme

$$m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$$

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_R$$

$$m\vec{a}' = \sum_i \vec{F}_i - m\vec{a}_R$$

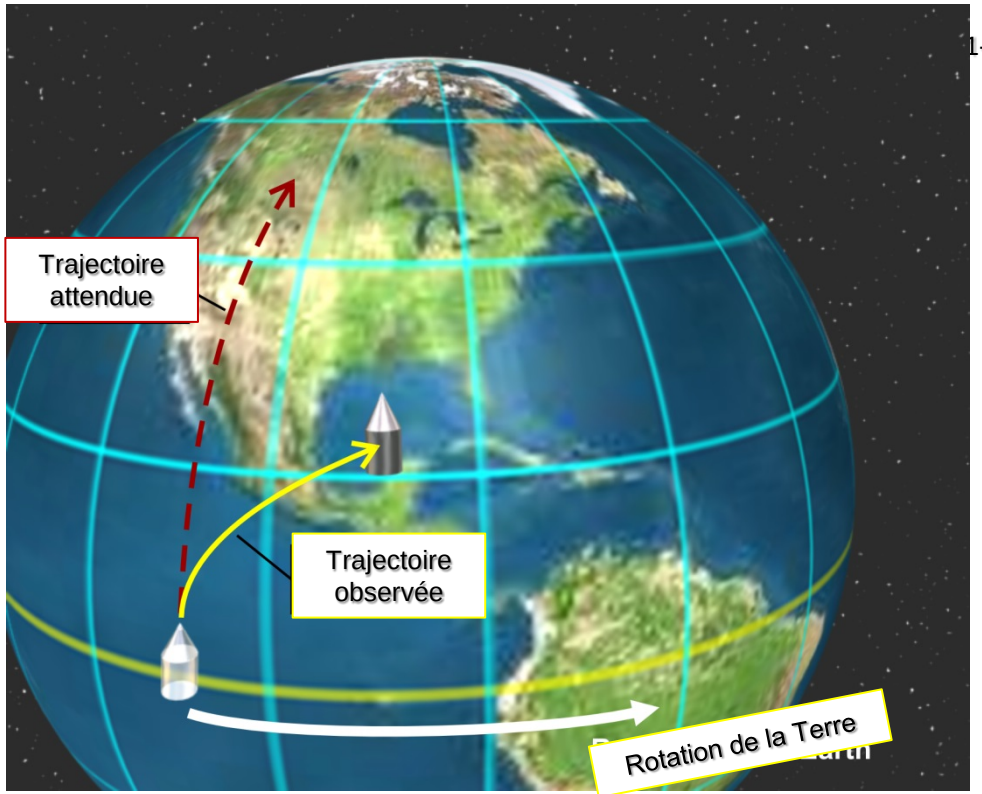
Accélération du référentiel non inertiel

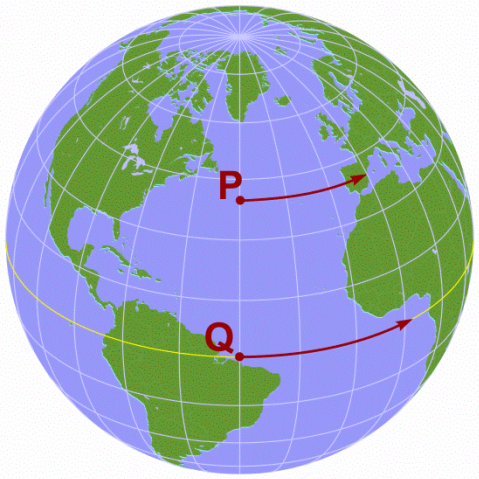
Accélération mesurée dans le référentiel non-inertiel

où $-m\vec{a}_R$ est une **force apparente**. Des exemples de forces apparentes sont **la force de Coriolis** et **la force centrifuge**.

Force de Coriolis? D'où vient-elle?

- La force de gradient de pression (F_{GP}) imprime une accélération à la parcelle d'air vers le nord.
- Mais la parcelle d'air a déjà une vitesse propre (direction ouest vers est) puisque elle tourne à la même vitesse que la Terre.
- La vitesse de la Terre est plus élevée à l'équateur et diminue vers les pôles où elle est nulle.





- Au fur est à mesure que l'air se déplace vers le nord sous l'action de la F_{GP}, sa composante de vitesse latitudinale est plus élevée que la vitesse de la surface terrestre.
- Vue de la Terre, l'effet net est une déviation vers la droite dans l'hémisphère nord.
- La déviation arrête quand la trajectoire de la parcelle d'air est perpendiculaire à la force de gradient de pression.

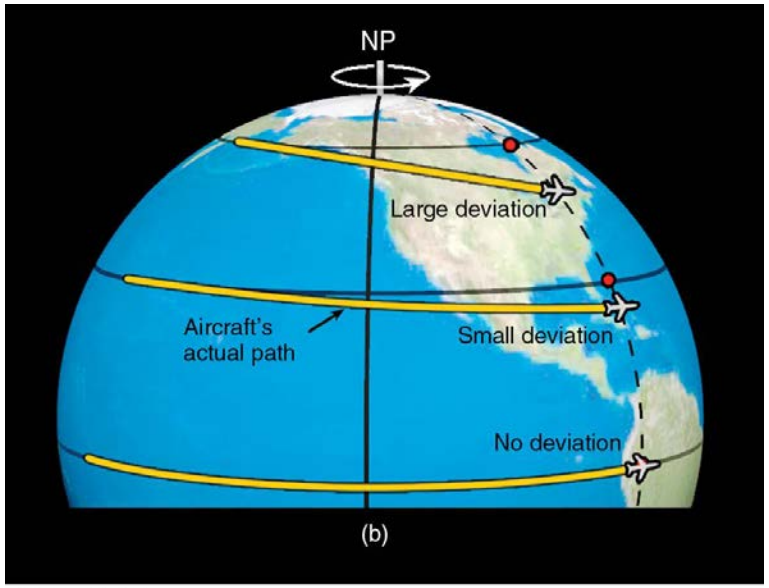
Pour nous, qu'observons le mouvement à la surface dans un référentiel en rotation, tout se passe comme si une force obligeait l'air à se dévier vers la droite (dans l'hémisphère nord) jusqu'à l'attente d'un équilibre dans le référentiel en rotation.

Force de Coriolis

La force de Coriolis existe parce que la Terre est en rotation :

Propriétés de la force de Coriolis :

- Agit sur les objets qui ne sont pas en rotation solide avec la surface terrestre (attachés à la surface terrestre).
- Sur Terre, agit toujours en déviant l'objet vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud.
- Pour la même grandeur de vitesse est maximale aux pôles et nulle à l'équateur.
- Dépend de la vitesse angulaire de la rotation de la planète. Augmente avec le taux de rotation planétaire.
- Si la planète ne tournait pas, il n'aurait pas de force de Coriolis.



© 2007 Thomson Higher Education

- Plus la vitesse objets, par rapport à la surface de la planète est grande, plus la force de Coriolis est élevée. Elle est nulle si l'objet est au repos.
- La force de Coriolis est négligeable si la vitesse ou la distance parcourue par l'objet sont faibles.

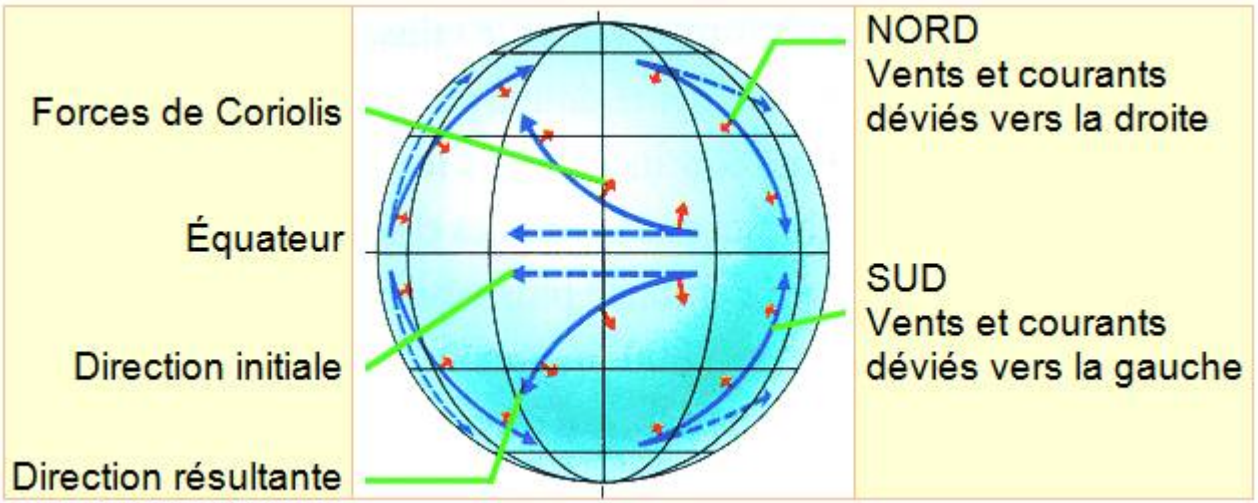
Tourbillon d'évier : Pourquoi il ne peu pas être expliqué par la rotation de la Terre?

De fait, la force de Coriolis s'applique aux lavabos (comme aux cyclones), **mais elle y est négligeable par rapport à toutes les autres causes qui déterminent le sens de rotation de l'écoulement** : géométrie du lavabo, remplissage qui induit des courants d'eau qui persistent très longtemps, retraite du bouchon...

Finalement, qu'est-ce qu'on en conclu ? Quelque soit l'hémisphère dans lequel vous vous trouvez, la rotation de l'eau dépendra surtout de votre lavabo…

La force de Coriolis

Gaspard-Gustave Coriolis



Source - http://villemin.gerard.free.fr/Scienmod/Coriolis.htm

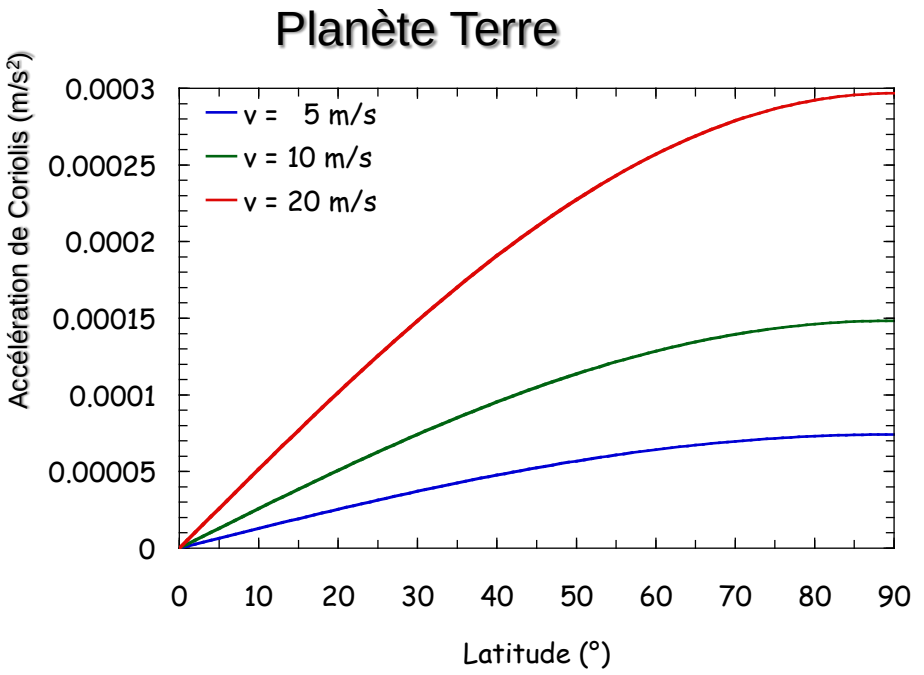
La force de Coriolis : https://www.youtube.com/watch?v=i2mec3vgeaI

Source – A world of weather

Expression de la force de Coriolis

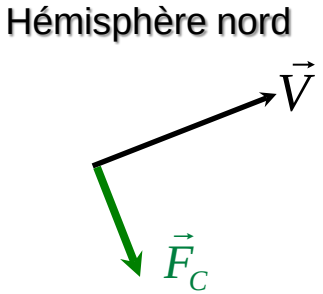
- La force de Coriolis sur un objet se déplaçant au-dessus d'une planète en rotation dépend de
  - la *vitesse de rotation* de la planète
  - la *latitude*
  - la *vitesse* de l'objet

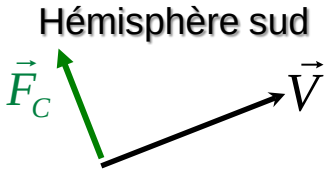
- La force de Coriolis ne change que la *direction* du vent, jamais la *grandeur* puisqu'elle est une force apparente. Elle ne peut pas changer l'énergie cinétique de l'air. Elle est perpendiculaire à la vitesse.



Grandeur : $\left|\vec{a}_C\right| = 2 \cdot \Omega \cdot \sin\varphi \cdot \left|\vec{V}\right|$

Direction : perpendiculaire à la vitesse
HN – à droite du vent
HS – à gauche du vent





$a_C = 2 \cdot \Omega \cdot \sin\varphi \cdot \left|\vec{V}\right|$

$a_C = 2 \cdot \Omega \cdot \sin\varphi \cdot \left|\vec{V}\right|$

La force de Coriolis

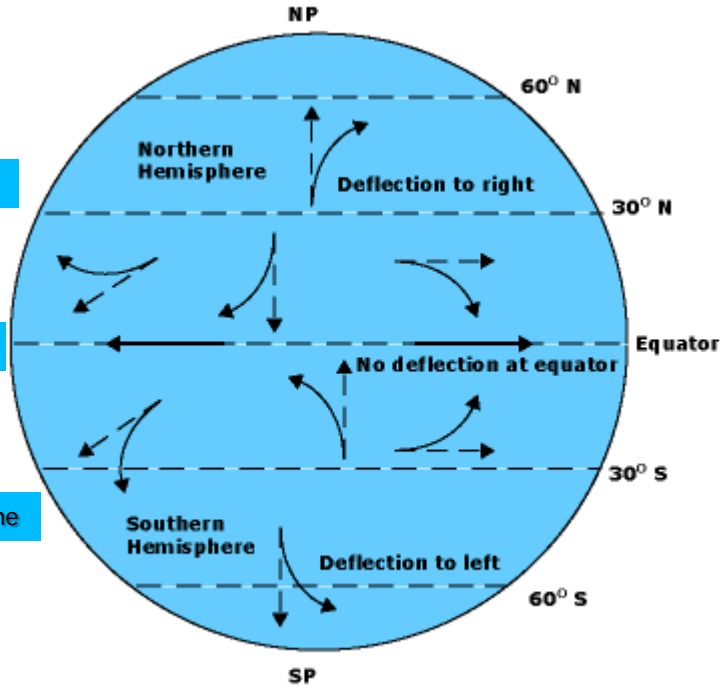
Trajectoires d'un corps non-accéléré sur une sphère en rotation.

HN : Déviation vers la droite

Aucune déviation à l'équateur

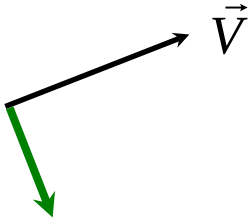
HS : Déviation vers la gauche

Déviation maximum aux pôles



Déviation maximum aux pôles

Composante horizontale de la force de Coriolis par unité de masse : $\left|\vec{a}_C\right| = 2\Omega \sin\varphi \, |\vec{V}|$

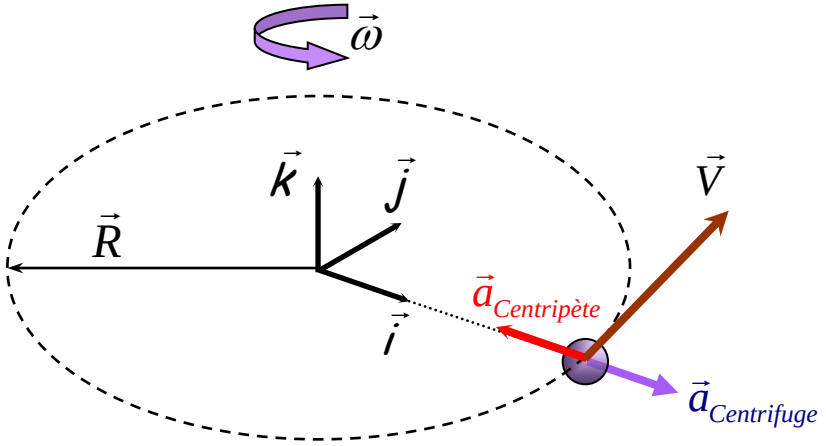


- Pour la même grandeur de vitesse, la composante horizontale de la force de Coriolis est maximum aux pôles (φ = 90°) et nulle à l'équateur (φ = 0°)
- La force de Coriolis est de l'ordre du **dix millième de la gravité**.
- À **grande échelle** l'action de la force de Coriolis sur les mouvements de l'air est comparable à celle du gradient de pression. Son effet se fait ressentir lentement et il est essentiel pour comprendre le comportement du vent.

La force centrifuge

Un point fixe de la planète en rotation décrit un cercle dont le rayon R dépend de la latitude. La vitesse tangentielle de la Terre, V, est constante en grandeur à chaque latitude.

Rappelons que, en physique, le **mouvement circulaire uniforme** caractérise le déplacement d'un point matériel dont la trajectoire dans le référentiel considéré est un cercle et dont la vitesse est constante en norme. L'accélération est purement centripète (perpendiculaire à la trajectoire).



$V = \omega R$

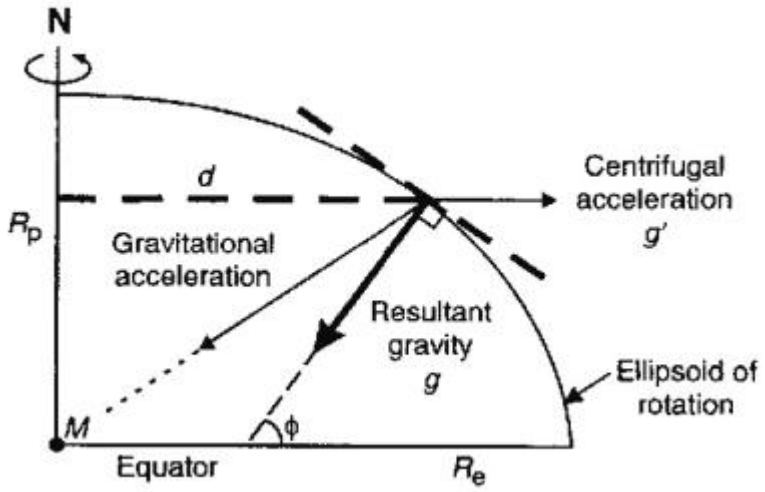
- V : vitesse
- R : Rayon de courbure
- ω : Vitesse angulaire

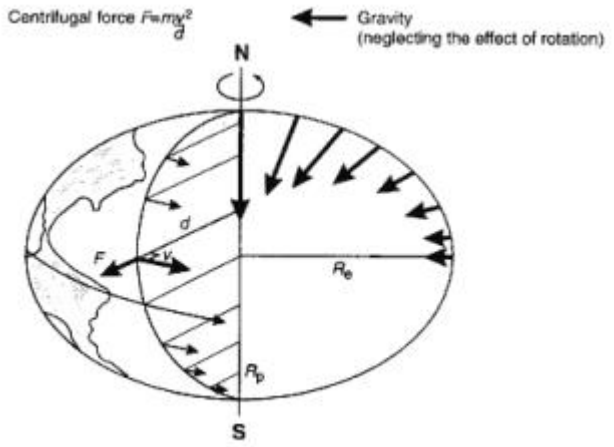
Dans le référentiel en rotation on défini l'accélération centrifuge comme :

$$\vec{a}_{Centripète} = -\frac{V^2}{R}\frac{\vec{R}}{\|\vec{R}\|} = -\omega^2 R\frac{\vec{R}}{\|\vec{R}\|}$$

$$\vec{a}_{Centrifuge} = -\vec{a}_{Centripète} = \frac{V^2}{R}\frac{\vec{R}}{\|\vec{R}\|} = \omega^2 R\frac{\vec{R}}{\|\vec{R}\|}$$

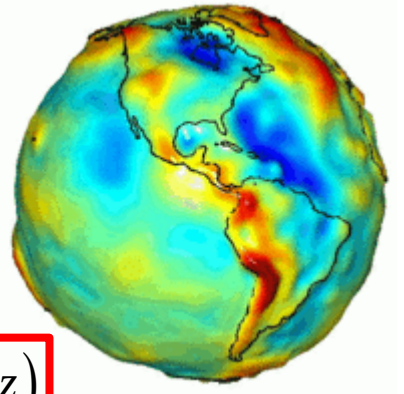
Accélération de gravité effective, g





http://www.ukm.my/rahim/gravity%20lecture%28MSc%29.htm

La formule suivante donne une valeur approchée de la valeur normale de l'accélération de la pesanteur en fonction de la latitude et pour une altitude faible devant le rayon terrestre (typiquement : quelques milliers de mètres) :



Source : wikipédia

$$g = 9,780327 \cdot \left(1 + 5,3024 \cdot 10^{-3} \cdot \sin^2\left(\varphi\right) - 5,8 \cdot 10^{-6} \cdot \sin^2\left(2 \cdot \varphi\right) - 3,086 \cdot 10^{-7} \cdot z\right)$$

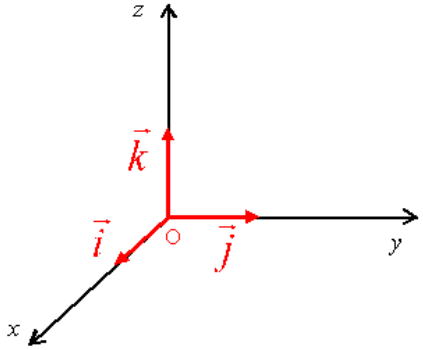
avec :

- g en m/s² ;
- z, altitude en m ;
- φ, latitude en radians.

L'évolution de la vitesse de l'air dans le référentiel terrestre

$m \cdot \vec{a} =$ force du gradient de pression
+ force de Coriolis
+ force de frottement
+ force de pésanteur

$$\vec{a} = \frac{\vec{V}}{dt}$$



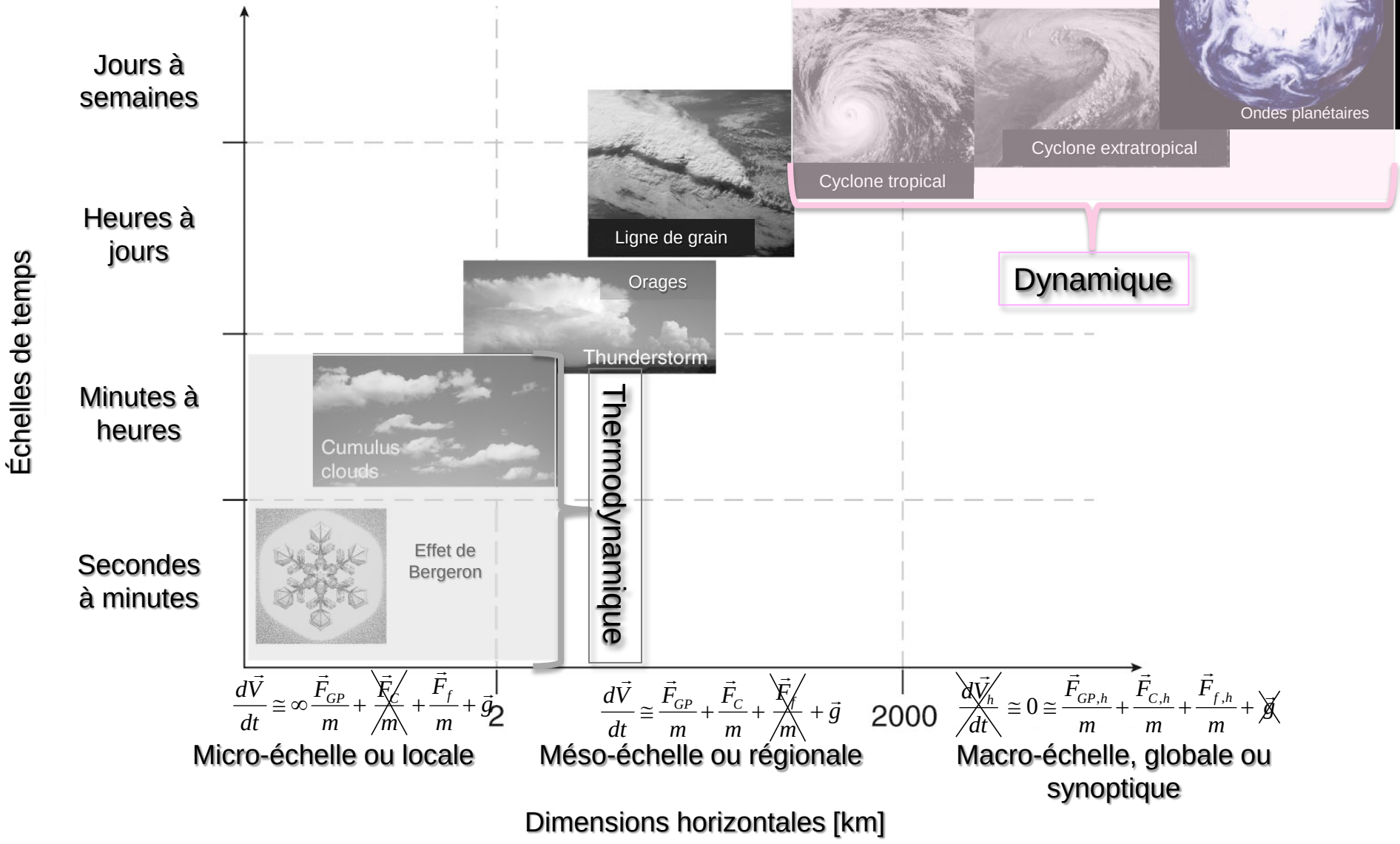
Référentiel attaché à la surface terrestre (accéléré)

$$m \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}_{GP} + \vec{F}_C + \vec{F}_f + m\vec{g} \Rightarrow \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\vec{F}_{GP}}{m} + \frac{\vec{F}_C}{m} + \frac{\vec{F}_f}{m} + \vec{g}$$

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$$

L'importance de chacun des termes de cette équation dépend de l'échelle du phénomène en étude

Échelles caractéristiques des phénomènes météorologiques étudiés dans ce cours



Les forces qui déterminent le vent à grande échelle : vent quasi-horizontal

- **La force horizontale du gradient de pression** est à l'origine du vent.
- **La force de frottement** exercée par l'écoulement de l'air près de la surface terrestre s'oppose constamment au vent et le ralentit.

  Le frottement est généralement négligeable en altitude.
- **La force de Coriolis** est essentielle pour expliquer la direction du vent.
- La force de Coriolis et le frottement ne sont pas à l'origine des vents, mais apparaissent plutôt lorsque le vent est déjà présent. Leur action modifie la direction et la vitesse du vent.

Dans la couche limite : $$0 \cong \frac{\vec{F}_{GP,h}}{m} + \frac{\vec{F}_{C,h}}{m} + \frac{\vec{F}_{f,h}}{m}$$

En altitude : $$0 \cong \frac{\vec{F}_{GP,h}}{m} + \frac{\vec{F}_{C,h}}{m}$$

Résumé : Les forces

- Force de gravité effective (ou force de pesanteur)
  - force du à l'accélération de la pesanteur mesurée dans le référentiel terrestre. Cette force est la somme de la force de gravitationnelle et de la force centrifuge, force apparente due à la rotation de la Terre.
- Force du gradient de pression
  - Produite par la différence de pression elle-même créée par des gradients de température.
- Force de Coriolis (force apparente)
  - Force apparente due à la rotation de la Terre. Dévie la circulation atmosphérique vers la droite dans l'hémisphère nord à cause de la rotation de la terre.
- Friction
  - Produite par le frottement dû à la surface de la terre.

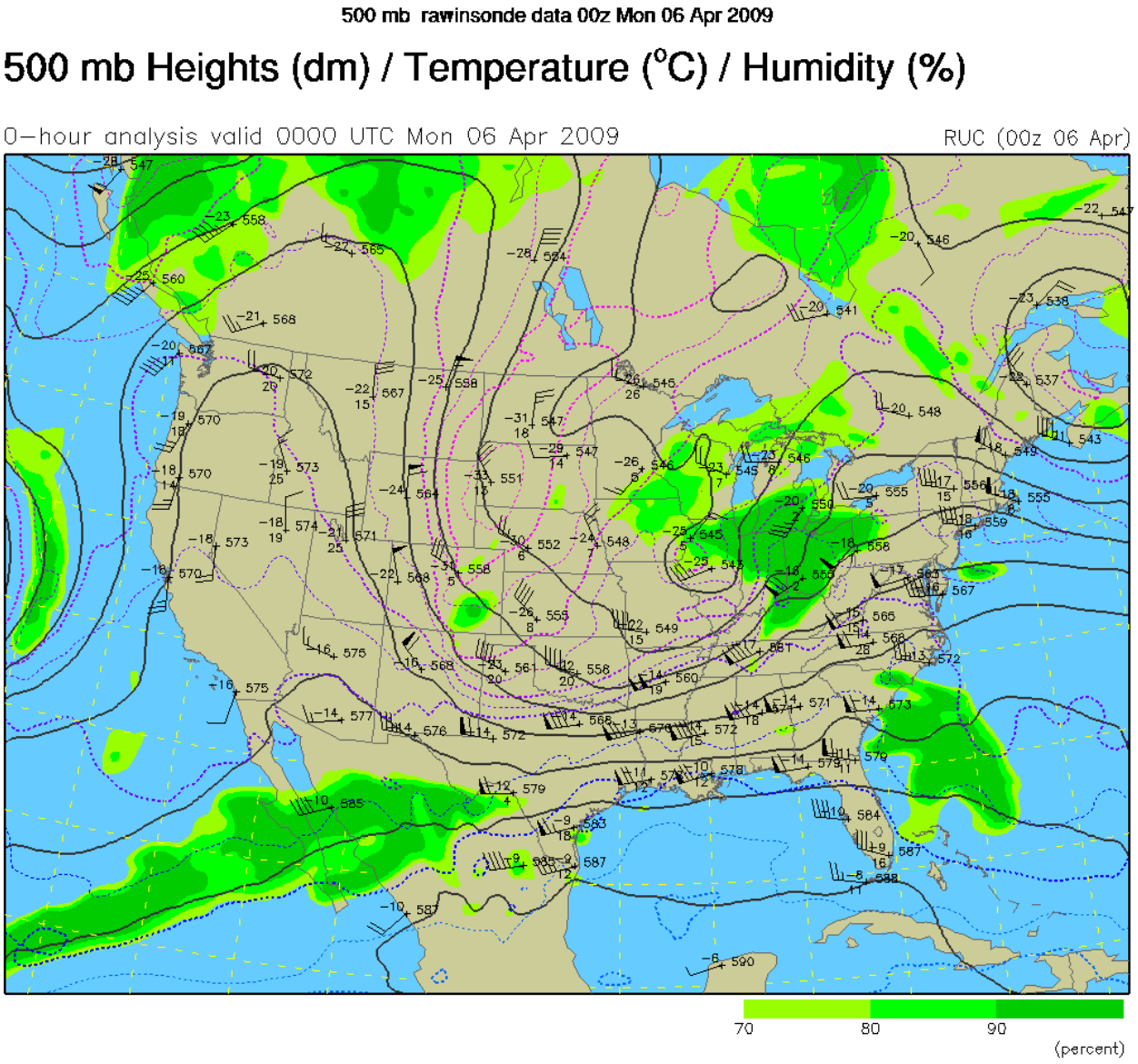
Résumé

- La pression atmosphérique est la pression exercée par la masse d'air au dessus du point de mesure.
- À un endroit donné, la pression atmosphérique change parce que la masse de la colonne d'air, au dessus de l'endroit, de surface = 1 m^2 a changé.
- Les différences de pression sur un plan horizontale créent le mouvement horizontal de l'air : le vent.
- La force du gradient de pression est due aux variations spatiales de pression :
  - Dirigée perpendiculairement aux isobares et toujours dirigée des hautes vers les basses pressions.
  - Proportionnelle au gradient de pression.
  - Est la force qui cause le mouvement de l'air.
- Le mouvement de l'air proche de la surface est ralentit par le frottement .
- La force de frottement diminue au four et à mesure qu'on s'éloigne de la surface. À 1 km cette force est pratiquement négligeable.

Résumé (suite)

- La rotation de la Terre est à l'origine d'une force apparente dans le référentielle terrestre, la force de Coriolis.;
  - Dans l'hémisphère nord elle est dirigée vers la droite du mouvement.
  - Dans l'hémisphère sud elle est dirigée vers la gauche du mouvement.
  - Cette force est proportionnelle à l'intensité du vent et perpendiculaire à sa direction.
  - Il n'y a pas d'effet de Coriolis à l'équateur. L'effet est maximum aux pôles.
  - La force de Coriolis contribue au changement de direction mais non au changement d'intensité du vent.
  - Sont impact est visible seulement sur des grandes distances.
- La force centrifuge crée par la rotation de la Terre est intégrée dans l'accélération de gravité apparente qui dépend de la position de mesure (latitude, longitude et altitude).

À venir…



Les quasi-équilibres dynamiques dans l'atmosphère