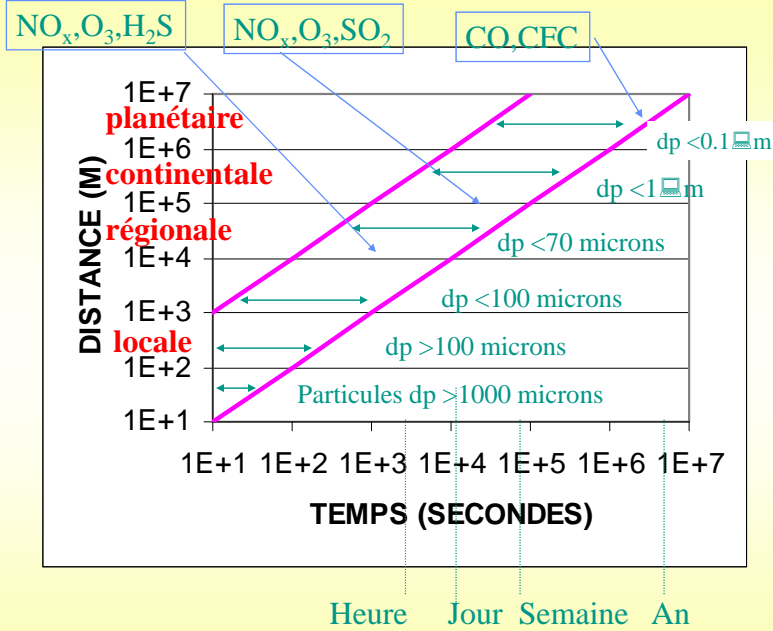
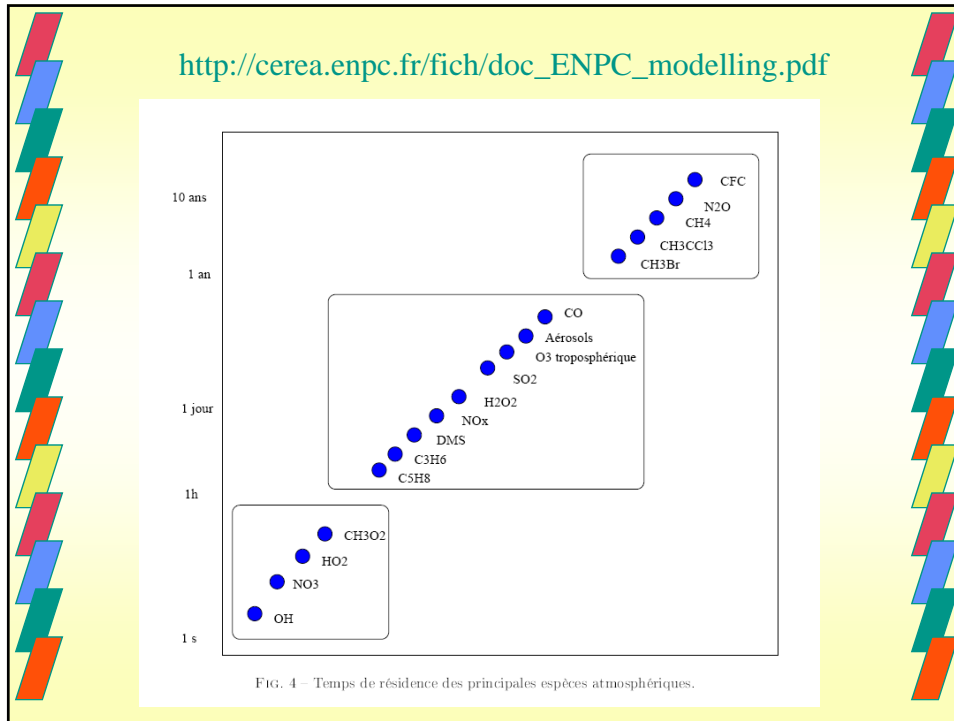


Échelle spatiale de la pollution atmosphérique

Micro Échelle	qq m à 100m	Environs immédiats
Locale	100 à 500m	Proximités des sources : autoroutes, boulevards, usine
Quartier	500 m à 5 km	Petites villes, quartiers urbains
Urbaine ou régionale	5 à 100 km	Villes, grandes métropoles zones rurales
Continentale	100 à 5000 km	Pollution transfrontalière
Planétaire	> 5000 km	Eruptions volcaniques Explosions nucléaires



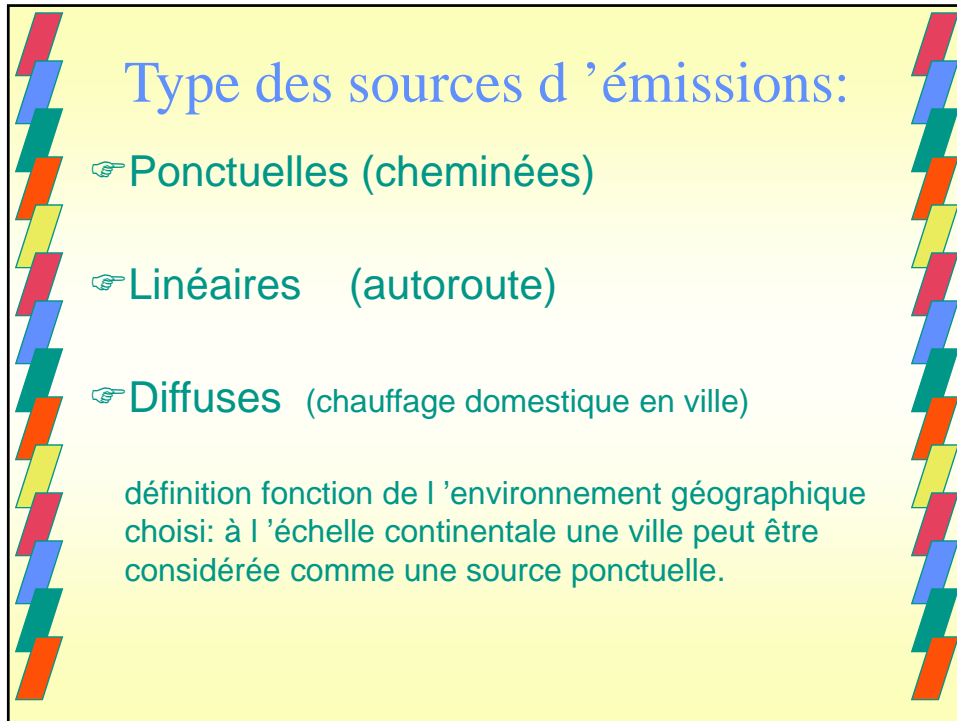
Dispersion des polluants: effets spatial et temporel



http://cerea.enpc.fr/fich/doc_ENPC_modelling.pdf

Transport	Temps caractéristique
Continental	1 semaine
Intercontinental	2 semaines
Hémisphérique	1 mois
Inter-hémisphérique	1 année
Couche limite atmosphérique	1 heure-1 journée
Troposphère libre (≈ 5000 m)	1 semaine
Troposphère	1 mois
Echange troposphère vers stratosphère	5 à 10 ans
Echange stratosphère vers troposphère	1 à 2 ans

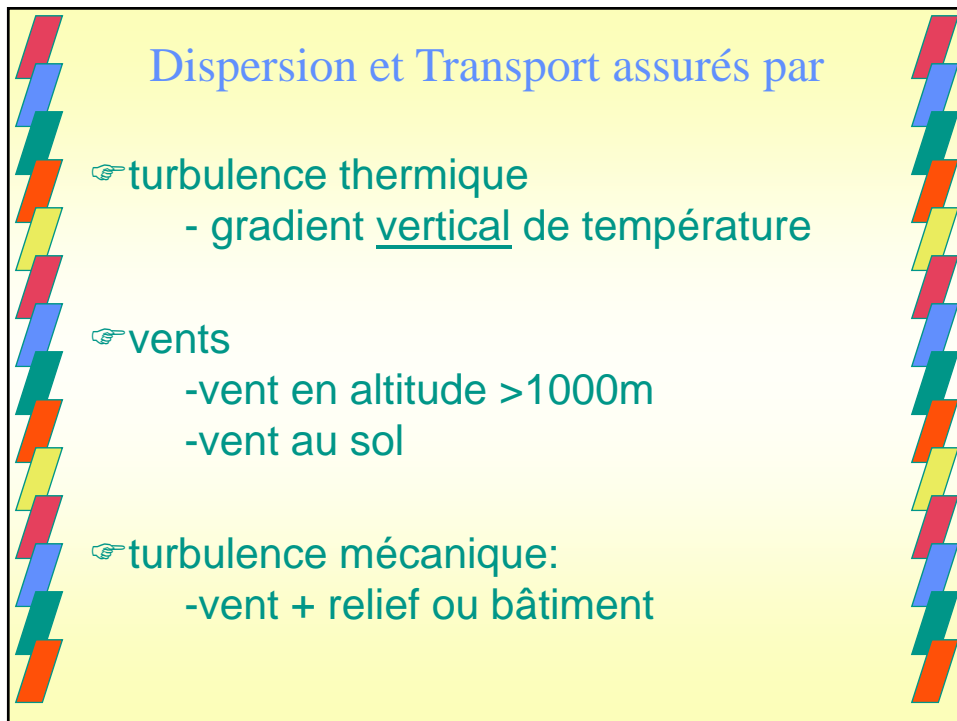
TAB. 2 – Temps caractéristiques du transport atmosphérique



Type des sources d'émissions:

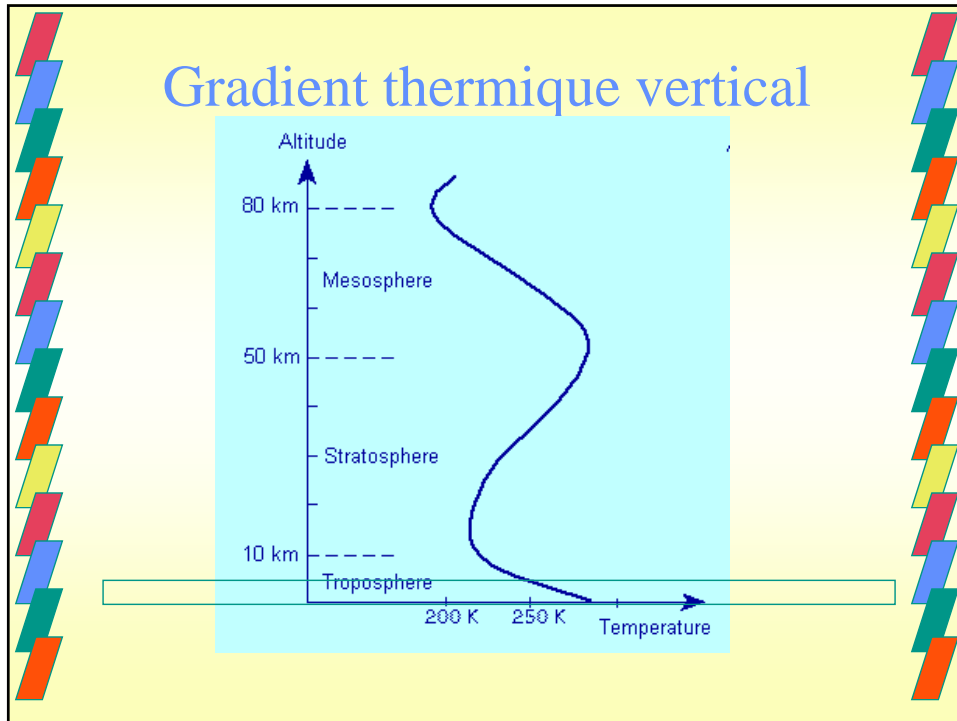
- ☞ Ponctuelles (cheminées)
- ☞ Linéaires (autoroute)
- ☞ Diffuses (chauffage domestique en ville)

définition fonction de l'environnement géographique
choisi: à l'échelle continentale une ville peut être
considérée comme une source ponctuelle.



Dispersion et Transport assurés par

- ☞ turbulence thermique
- gradient vertical de température
- ☞ vents
- vent en altitude >1000m
- vent au sol
- ☞ turbulence mécanique:
- vent + relief ou bâtiment



- ### Gradient thermique: T vs Altitude z
- ☞ la pression diminue quand z augmente
 - ☞ si on détend un gaz alors T ↓
si on comprime un gaz alors T ↑
 - ☞ l'air sec se refroidit de 10°C par km
1°C par 100m: **gradient adiabatique sec**
 - ☞ l'air humide saturé se refroidit de 6.5°C par km: **gradient pseudo-adiabatique humide**

Gradient thermique vertical(suite)

☞ La comparaison entre le gradient réel de la température et le gradient adiabatique sec détermine les conditions de stabilité de l'atmosphère:

CAPACITÉ À LA DISPERSION

(TRÈS) INSTABLE.....(très) bonne
 NEUTRE.....moyenne
 (TRÈS) STABLE(très) faible

NEUTRALITÉ

Position initiale →

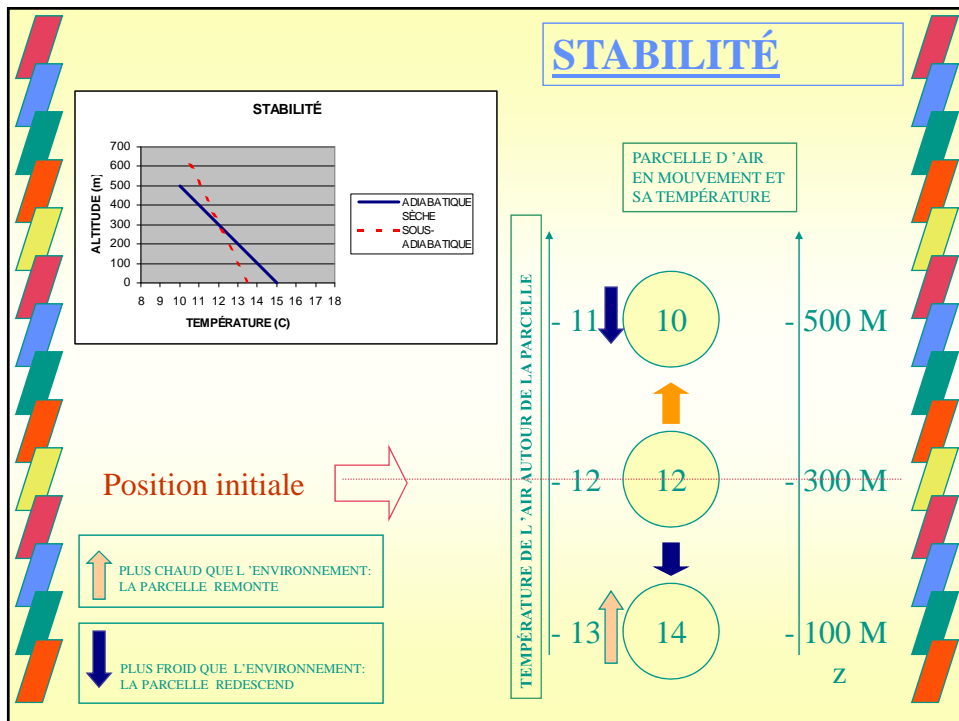
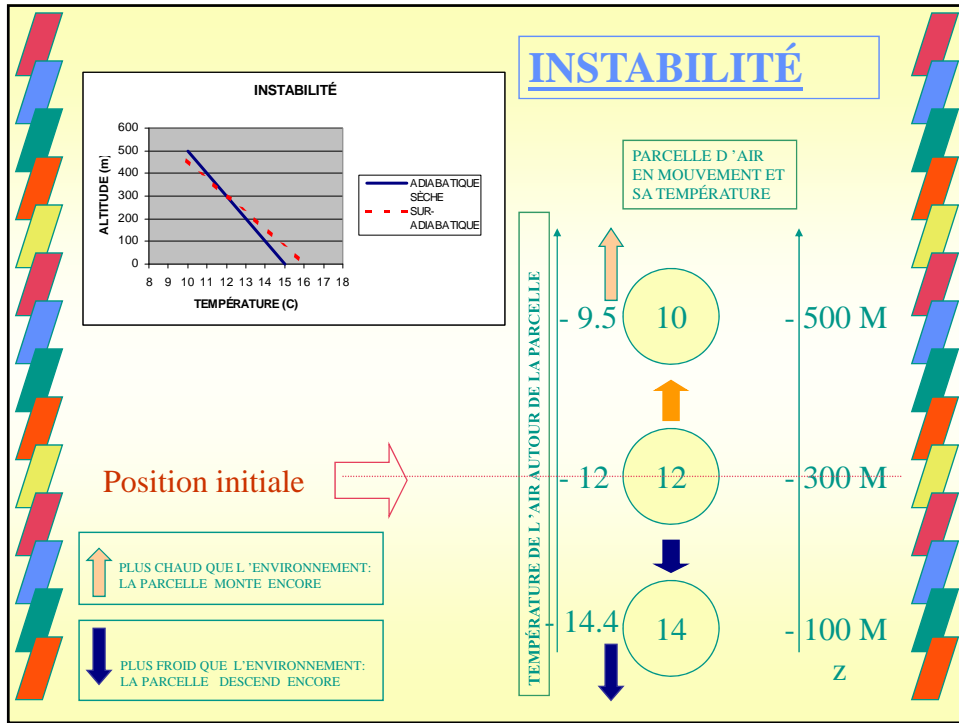
ÉQUILIBRE ↔

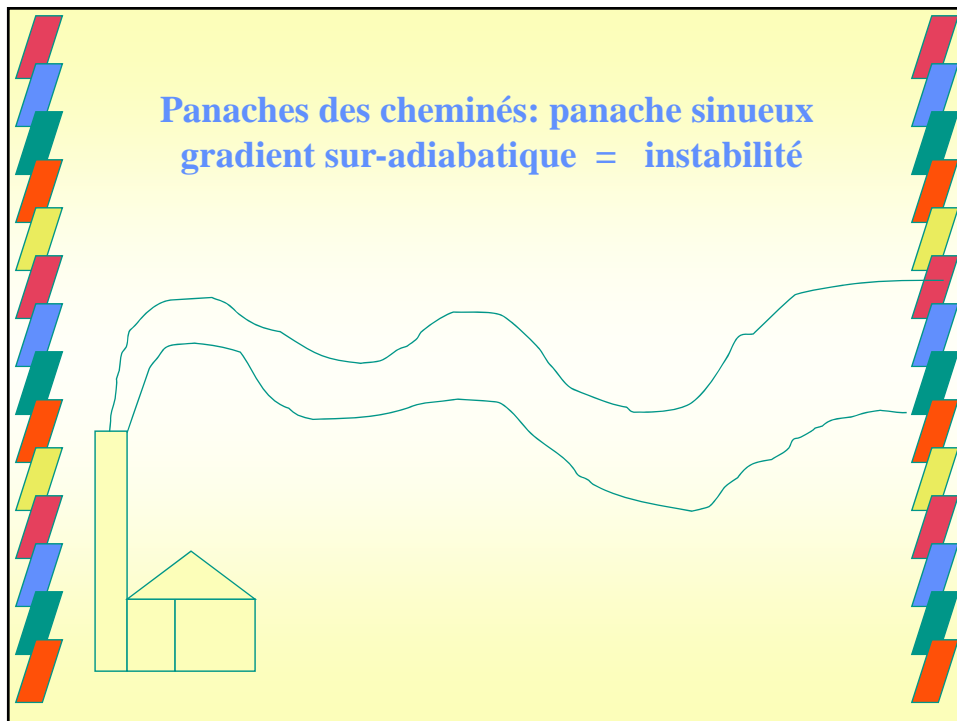
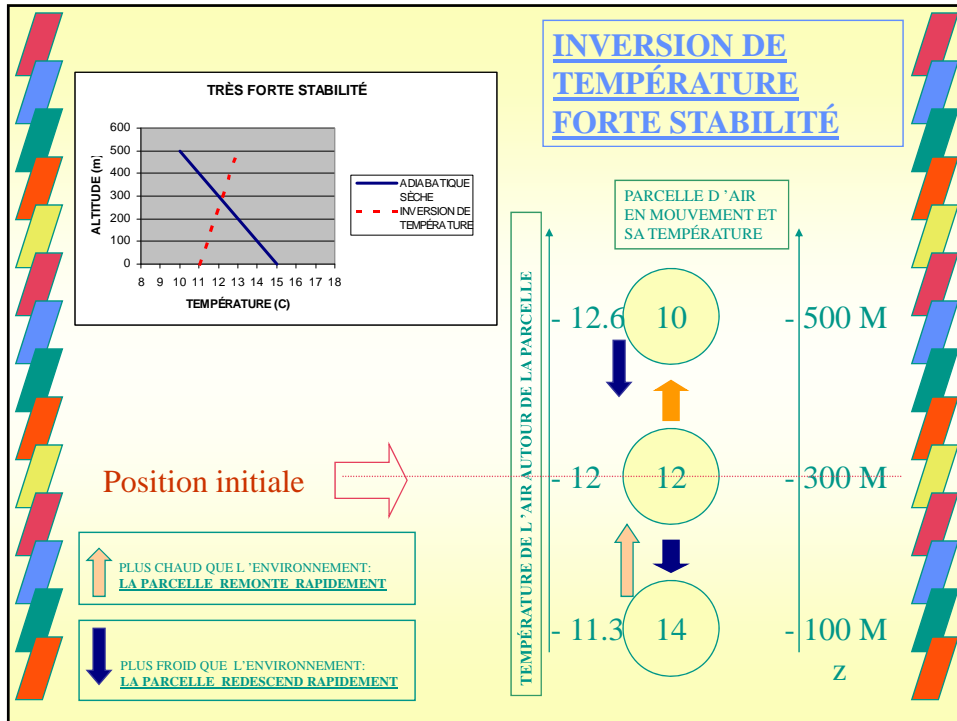
TEMPÉRATURE DE L'AIR AUTOUR DE LA PARCELLE

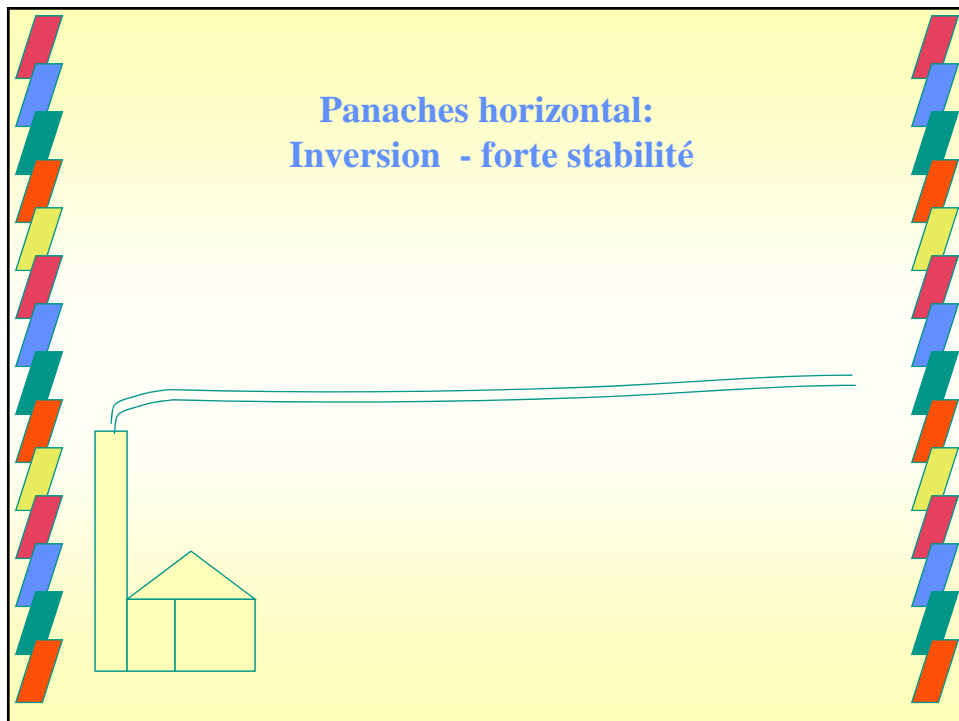
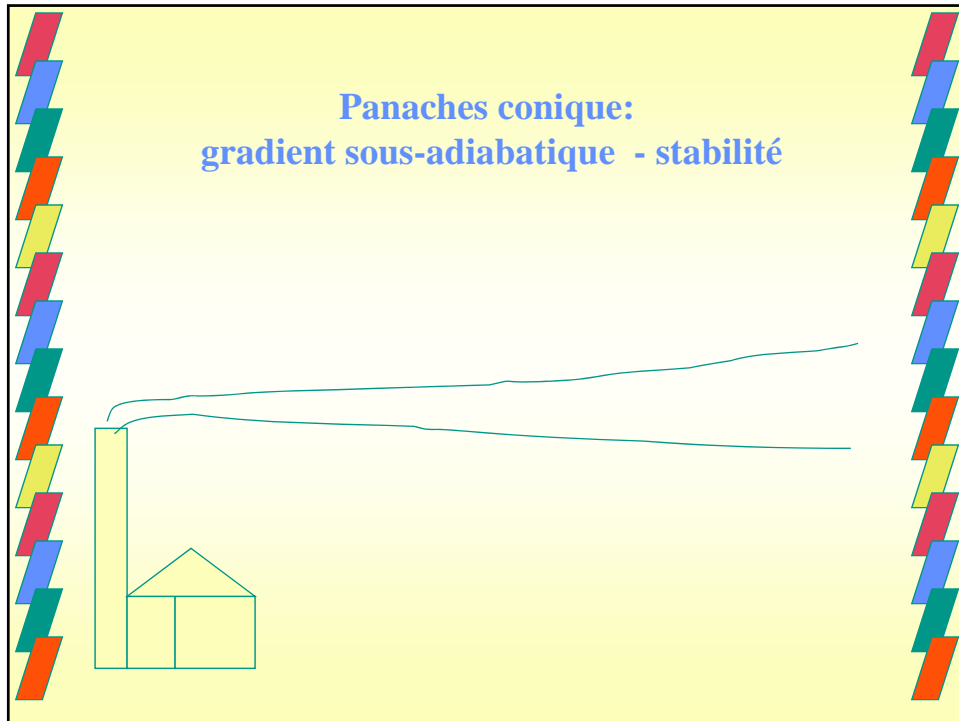
PARCELLE D'AIR EN MOUVEMENT ET SA TEMPÉRATURE

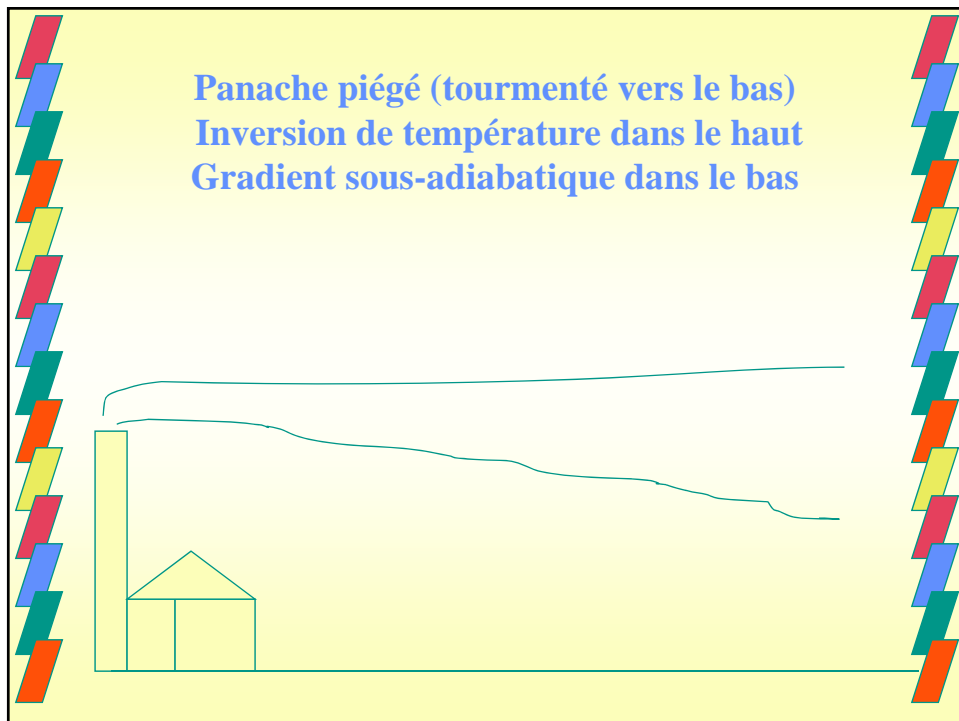
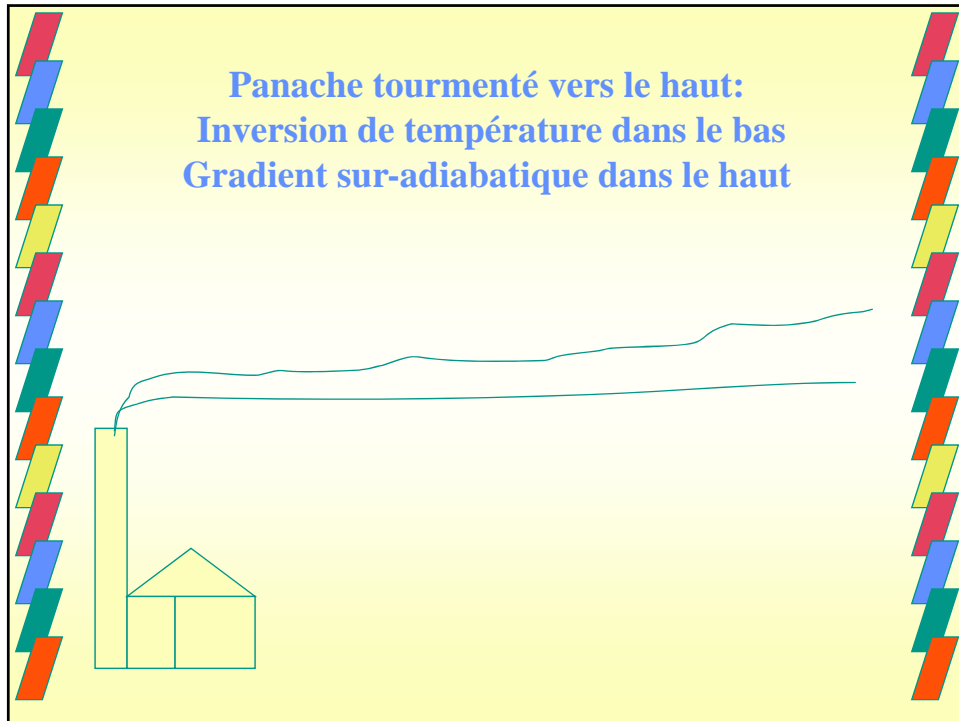
10 ↔ 500 M
 12 ↔ 300 M
 14 ↔ 100 M

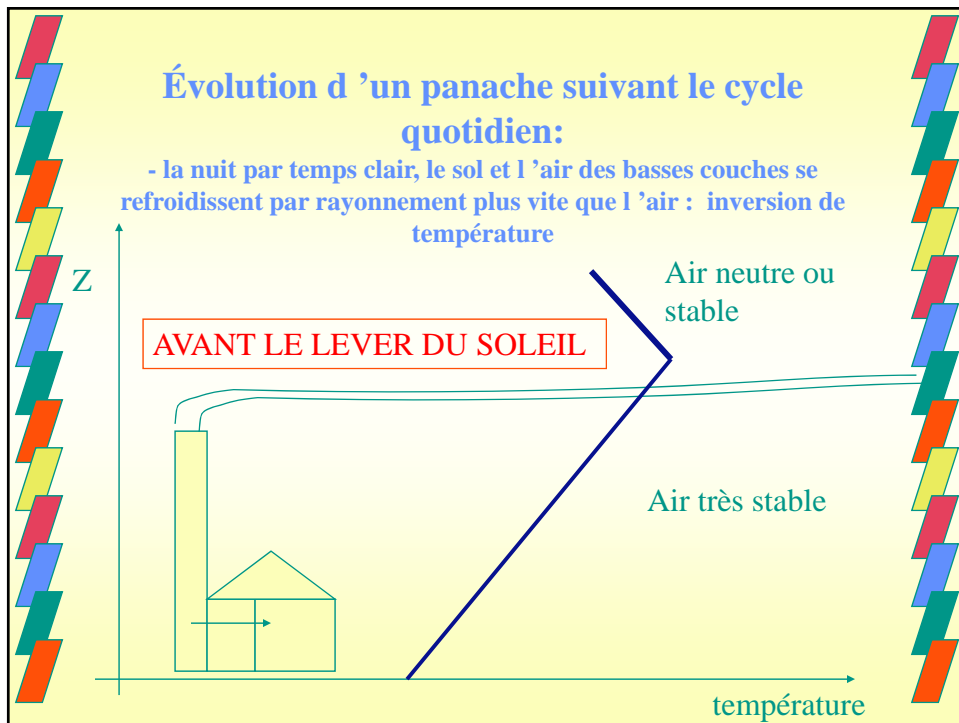
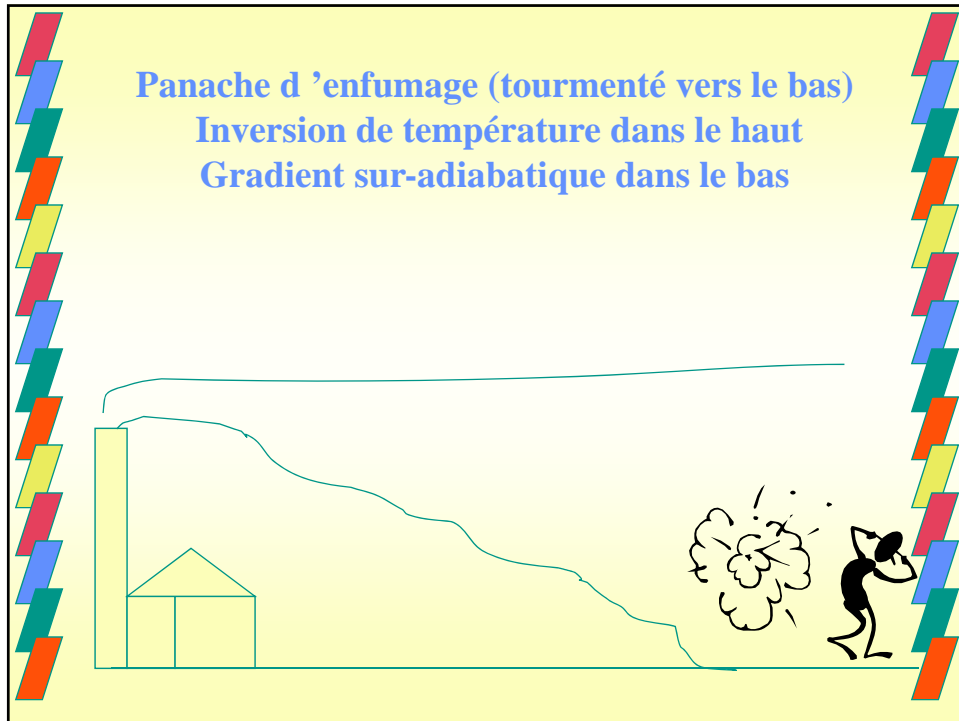
z

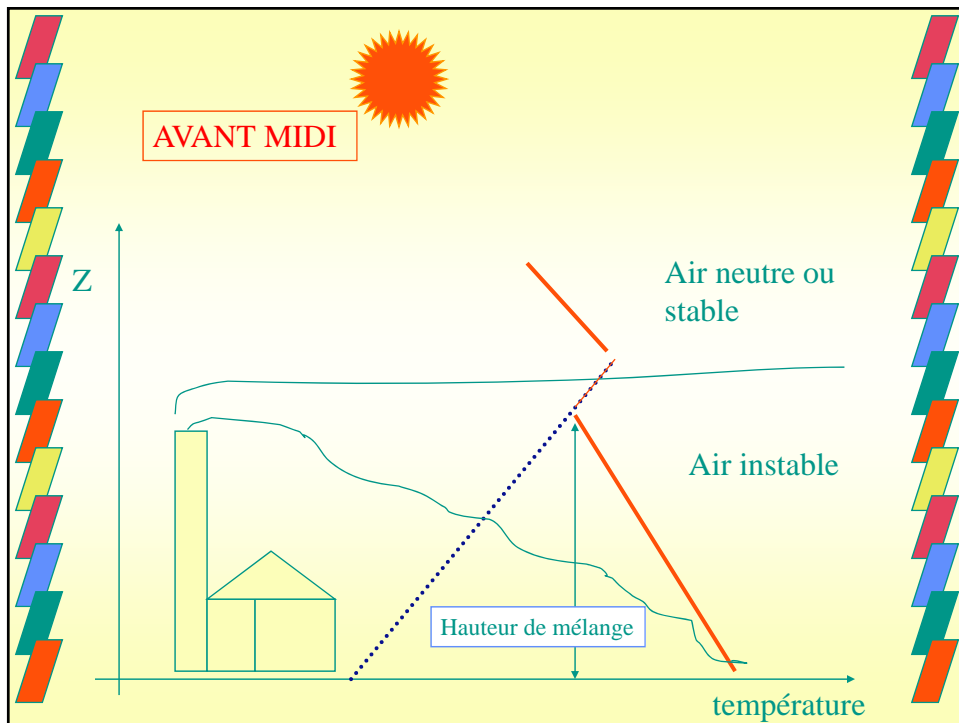
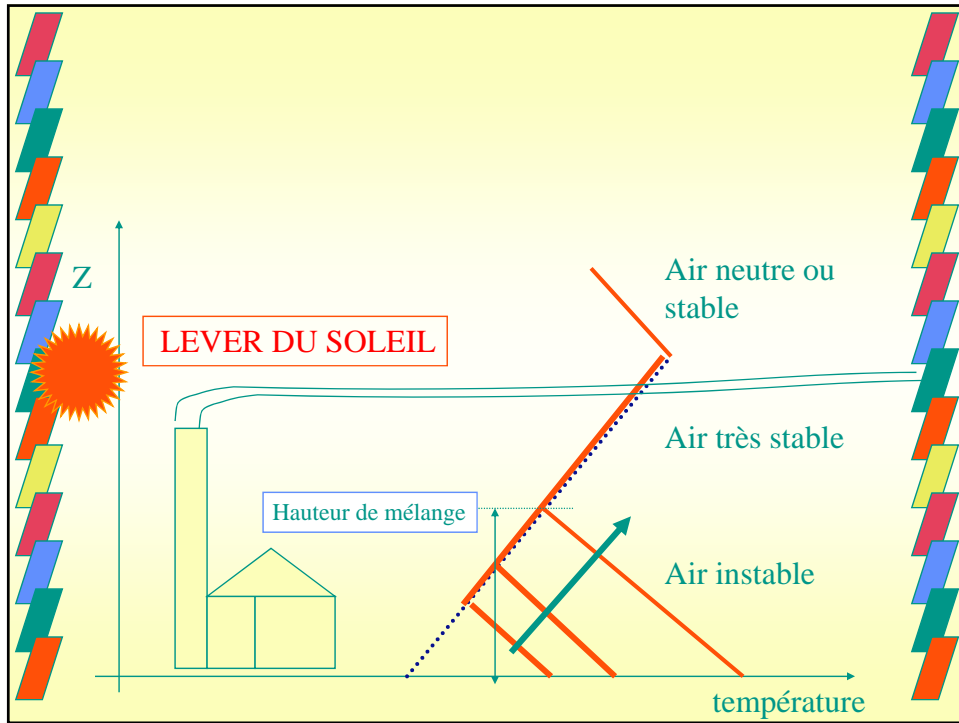


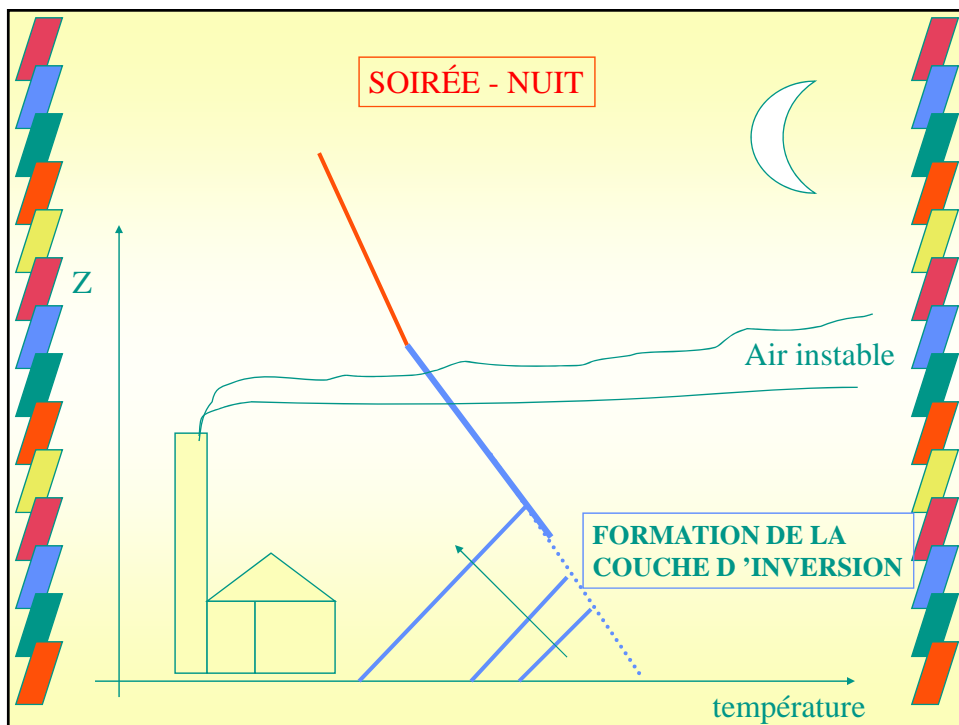
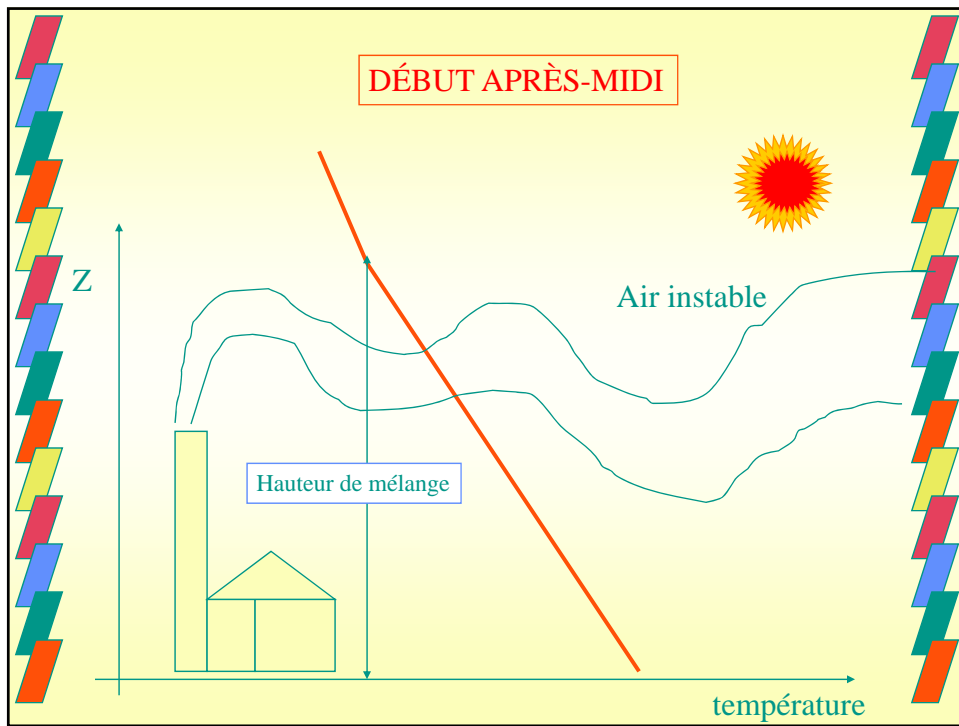








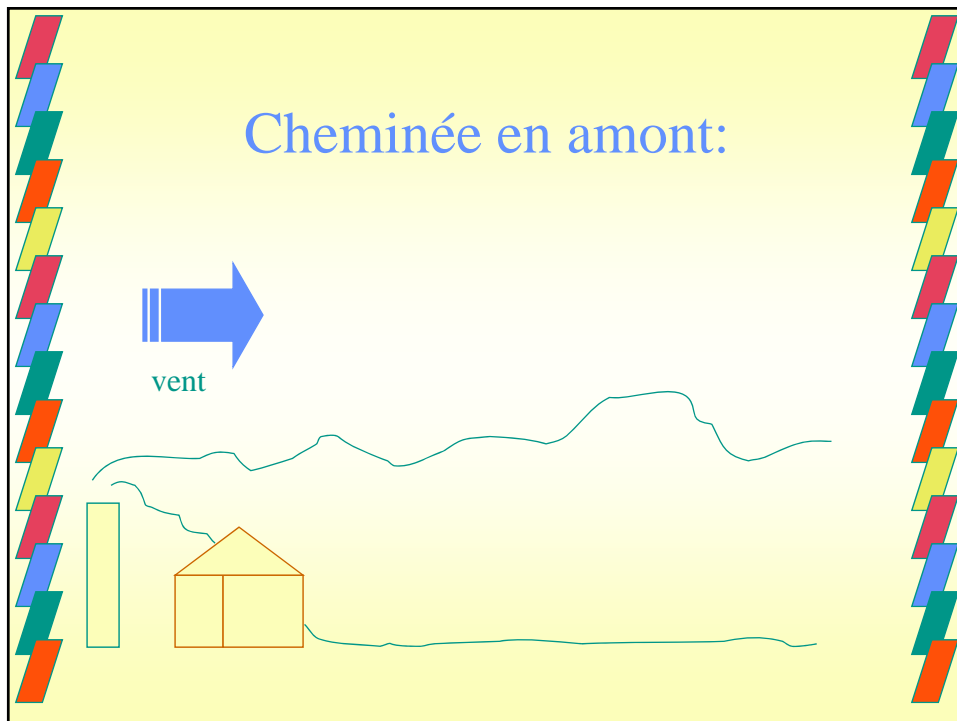


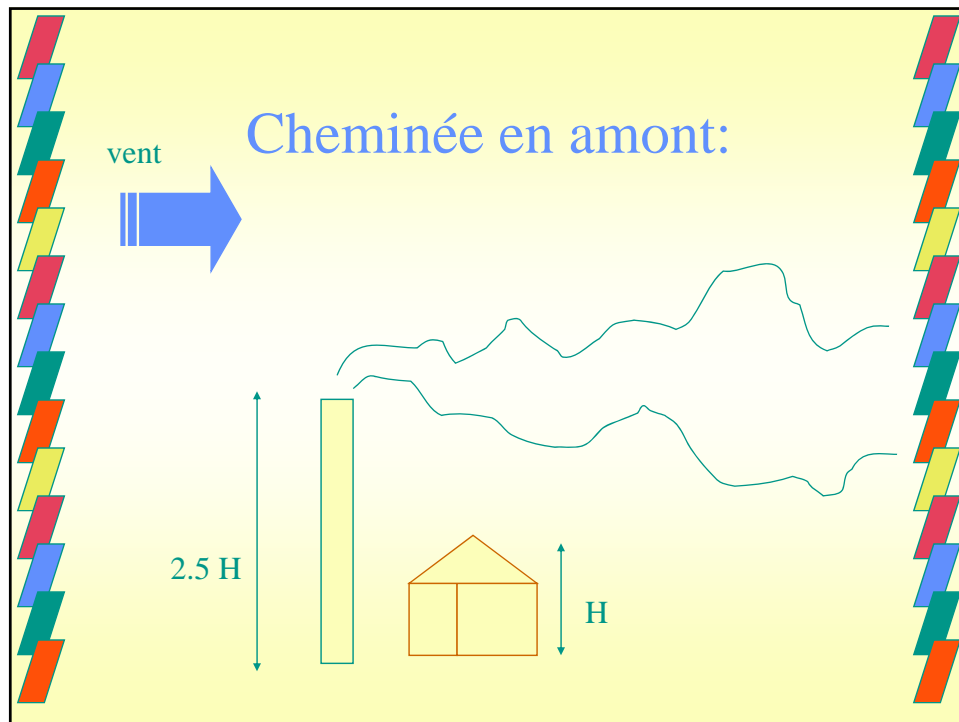


Turbulence mécanique:

- ☞ Le gradient thermique n'est pas le seul indice du pouvoir dispersif de l'atmosphère
- ☞ La friction du vent sur le sol et les bâtiments influence aussi la dispersion: accumulation derrière des obstacles sous le vent
- ☞ hauteur de cheminée = 2.5 la hauteur des édifices environnants

Cheminée en amont:



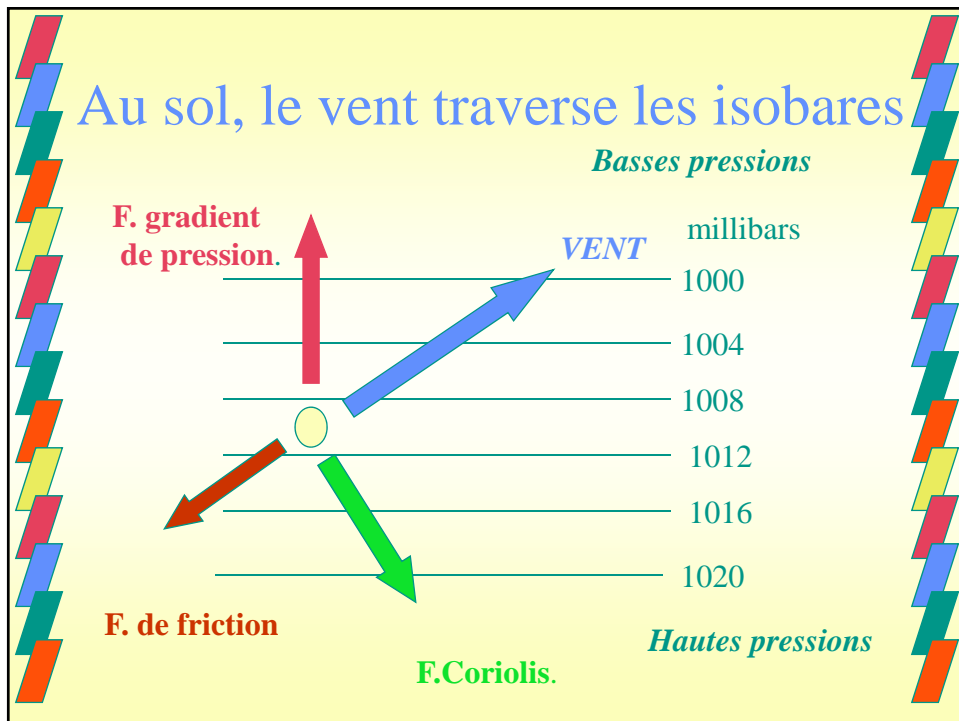
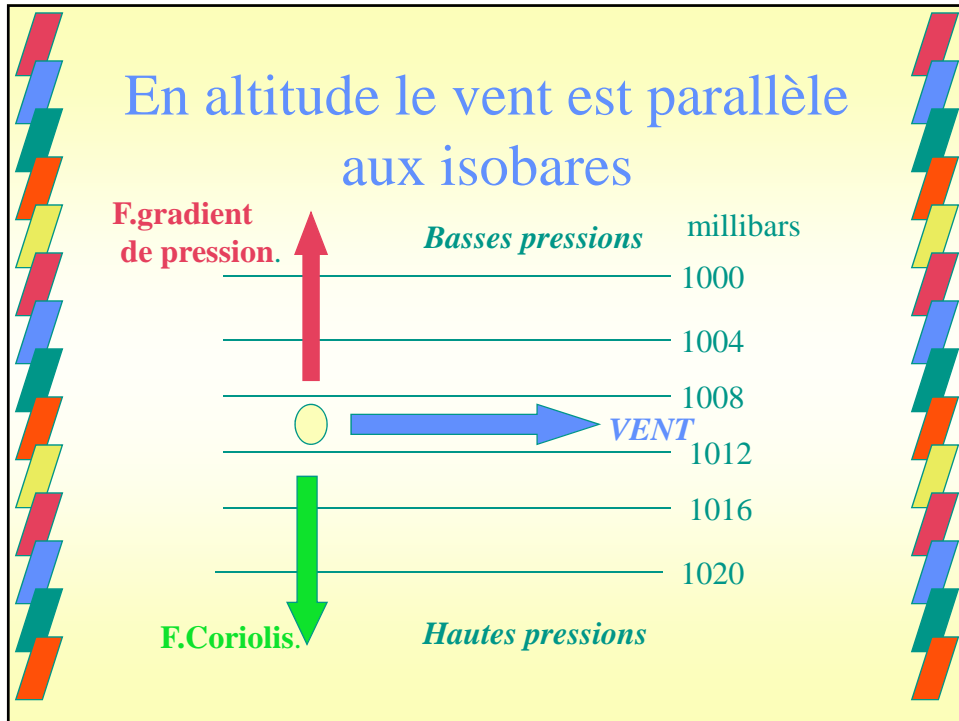


Vent:

☞ résulte des forces:

- du gradient de pression, des hautes vers les basses pression
- de Coriolis, déviation de 90° à droite dans l'hémisphère nord à cause de la rotation de la terre
- et de friction au sol

The diagram shows a cross-section of a valley with colorful, jagged lines representing the walls. The title 'Vent:' is written in blue text. Below the title, there is a list of forces that result in wind, starting with a hand icon. The forces are: pressure gradient (from high to low pressure), Coriolis effect (90-degree deflection to the right in the Northern Hemisphere due to Earth's rotation), and friction at the ground.



Topographie vs dispersion

☞ effets de littoral (enfumage du littoral)

☞ effets de vallée (forte stabilité)

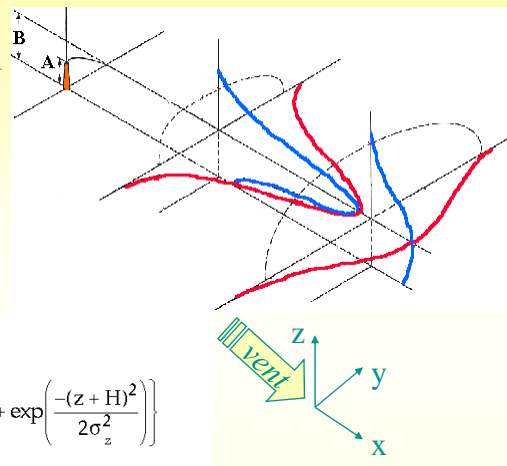
Modélisation de la dispersion atmosphérique

Prévoir les relations:

Sources d'émissions vs Concentrations des milieux récepteurs
(en tenant compte des conditions météorologiques)

- 1) Modèle physique (maquette) à l'échelle réduite en laboratoire
- 2) Modèles statistiques (à partir de données historiques)
- 3) Modèles numériques
- 4) Modèles semi-empiriques (ex. modèle gaussien)

Modèle gaussien de dispersion



$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \times \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

C = Concentration of the chemical in air. [M/L³]
Q = Rate of chemical emission. [M/T]
u = Wind speed in x direction. [L/T]
σ_y = Standard deviation in y direction. [L]
σ_z = Standard deviation in z direction. [L]
y = Distance along a horizontal axis perpendicular to the wind. [L]
z = Distance along a vertical axis. [L]
H = Effective stack height. [L]

σ_y, σ_z fonction de la stabilité de l'atmosphère: classe de Pasquill

Hauteur effective de mélange:

$$\Delta H = 1.6 F_b^{1/3} x^{2/3} / u$$

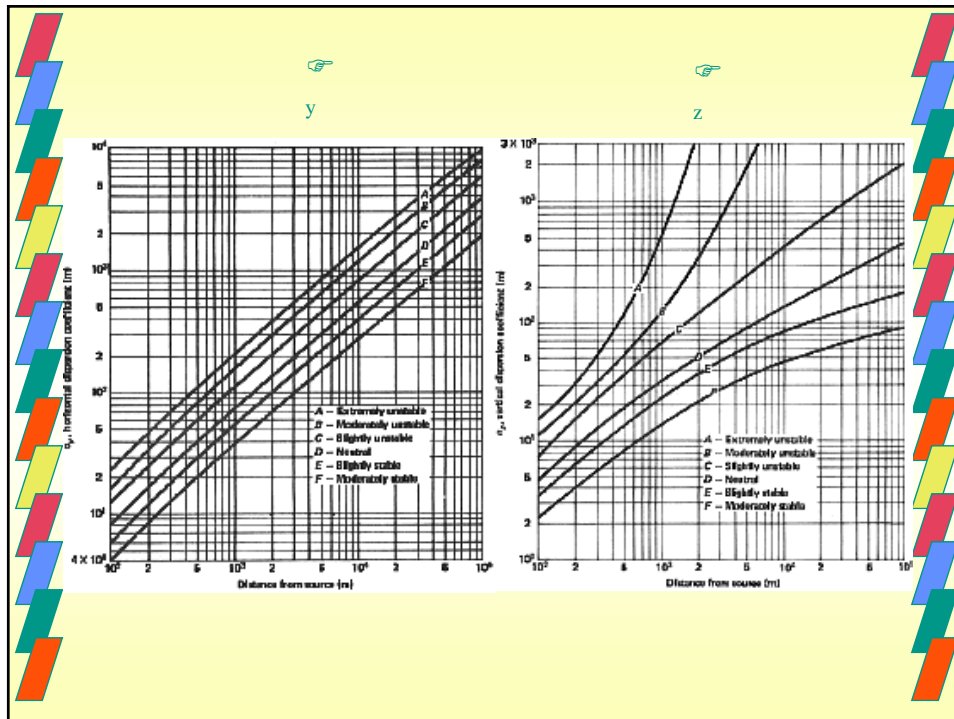
$$F_b = g \frac{d^2 V}{4} \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right)$$

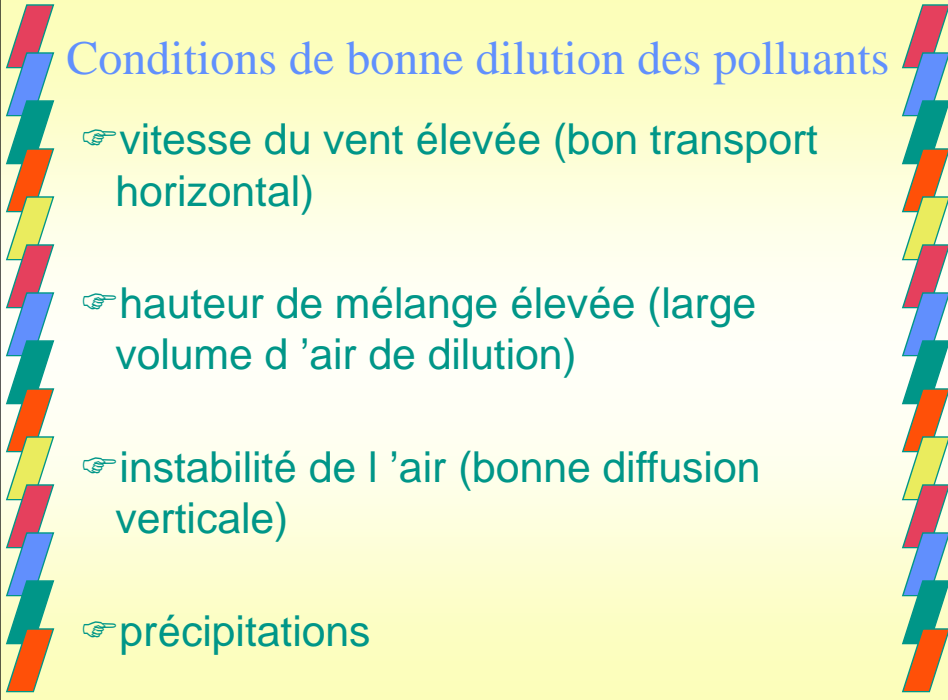
ΔH = Plume rise as defined by Briggs equation. [L]
x = Downwind distance. [L]
u = Wind speed in x direction. [L/T]
F_b = Buoyancy flux. [L⁴/T³]
g = Acceleration due to gravity. [L/T²]
d = Stack diameter. [L]
V = Exit velocity. [L/T]
T_s = Absolute gas temperature. [D]
T_a = Absolute air temperature. [D]

Stabilité de l'atmosphère: classes de Pasquill-Guifford

Vitesse du vent (m/s)	Jour : rayonnement solaire incident			Nuit	
	Fort	Modéré	Léger	Légèrement couvert ou couverture en nuages bas > 1/2	Couverture en nuage < 3/8
< 2	A	A-B	B	Très stable	
2-3	A B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	D	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

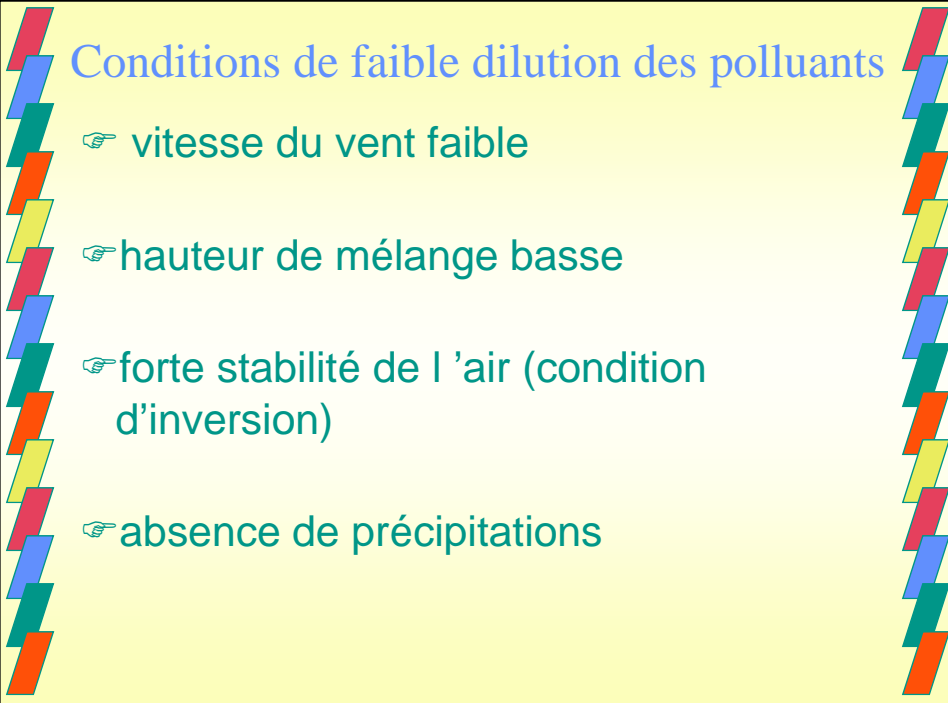
A-B-C: instables
 D: neutre
 E-F: stables





Conditions de bonne dilution des polluants

- ☞ vitesse du vent élevée (bon transport horizontal)
- ☞ hauteur de mélange élevée (large volume d'air de dilution)
- ☞ instabilité de l'air (bonne diffusion verticale)
- ☞ précipitations



Conditions de faible dilution des polluants

- ☞ vitesse du vent faible
- ☞ hauteur de mélange basse
- ☞ forte stabilité de l'air (condition d'inversion)
- ☞ absence de précipitations

Mécanismes d'élimination des contaminants

- ☞ réactions chimiques
- ☞ entraînement par les précipitations: dépôts humides
- ☞ dépôts secs: sédimentation, capture par les végétaux, absorption dissolution dans les lacs, les océans

Éliminations des polluants

	Milieu atmosphérique	Milieu terrestre	Milieu aquatique
SO ₂	Capture et lessivage par pluies et neiges. Transformation en sulfates	Sol : dégradation microbienne Végétaux : absorption, adsorption	Absorption à la surface des lacs et océans
H ₂ S	Oxydation en SO ₂		
NO _x	Transformations en nitrates Photoreactions avec COV	Sol : réactions chimiques Végétaux : absorption, adsorption	
CO	Réactions avec radicaux OH dans la stratosphère	Sol : activité microbologique	
CO ₂		Végétaux : photosynthèse	Absorption à la surface
HC-COV	Transformation chimique Photoreactions avec NO _x et O ₃	Sol: activité microbologique Végétation : réaction bactérienne, absorption	
O ₃	Réaction avec NO _x		Réactions à la surface

Exemple de prévisions avec le modèle gaussien

☞ On envisage de construire une usine de pâtes et papiers qui doit rejeter 200 kg/j de H₂S. Une petite ville est située à 1. km au Nord Est du site prévu pour cette usine et environ 10% des vents balayant la ville proviennent du Sud-Ouest.

☞ Par exemple, on peut calculer les concentrations en H₂S qu'on pourrait observer en ville pour les différentes hauteurs de cheminées suivantes (10 m, 30 m) et pour les conditions météorologiques typiques suivantes:
vitesse du vent 5 m/s et atmosphère neutre (classe D)

☞ **Données:**

vitesse des gaz en sortie de cheminée: 15 m/s	température des gaz: 120° C
diamètre de la cheminée 1.5 m	température de l'air ambiant 15° C

Pour en savoir plus sur la modélisation de la dispersion atmosphérique:

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/guide-mod-dispersion.pdf>

GUIDE DE LA MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

OBJECTIF

La modélisation peut servir à plusieurs objectifs. Cependant, ce *guide* vise plus particulièrement l'objectif suivant : démontrer (par modélisation) qu'une nouvelle source ou qu'un ensemble de nouvelles sources ne contribuera pas au dépassement des normes en vigueur pour les polluants concernés aux articles 6 à 9 du *Règlement sur la qualité de l'atmosphère* (RQA) ou pour tout autre polluant pour lequel le MDDEP a fixé des critères d'air ambiant.