

Cours VAMS « Forêt Nature et Société »

# Introduction à la Bioclimatologie

F. Lebourgeois

Enseignant-Chercheur

AgroParisTech-Engref

UMR LERFOB 1092 - Equipe Ecologie Forestière

[françois.lebourgeois@engref.agroparistech.fr](mailto:françois.lebourgeois@engref.agroparistech.fr)

Version 2. Janvier 2006

## Plan de l'exposé

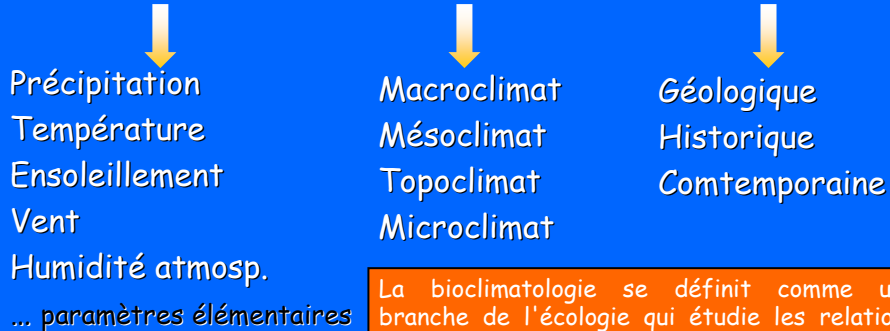
Définitions du climat et de ses paramètres

Les différentes échelles spatiale et temporelle  
notions de macro-, méso-, topo- et microclimat

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Définitions du climat et de ses paramètres

Le climat peut être défini comme la combinaison des états de l'atmosphère en un lieu donné et sur une période définie (jour, décade, mois, année, décennie...)



La bioclimatologie se définit comme une branche de l'écologie qui étudie les relations entre les êtres vivants et les caractéristiques climatiques du milieu ambiant.

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

Epoque historique  
archives, documents religieux... 1000 ans au maximum

Epoque contemporaine  
réseau météorologique (100 à 150 ans maximum)

Urbain le Verrier...  
Directeur Observatoire Paris entre 1854-1877  
en 1856 : 24 stations dont 13 avec liaisons télégraphiques  
la plus ancienne série : Paris-Montsouris

- Pluie depuis 1688
- Température depuis 1873

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Epoque historique

archives, documents religieux... 1000 ans au maximum

Epoque contemporaine

réseau météorologique (100 à 150 ans maximum)



Station	Maille	Nombre
P	15	4220
T	30	2499
Ins	60	135
Syn.	70	123

seconde }  
minute } } journée }  
heure } } } décade }  
 } } } mois }  
 } } } année }

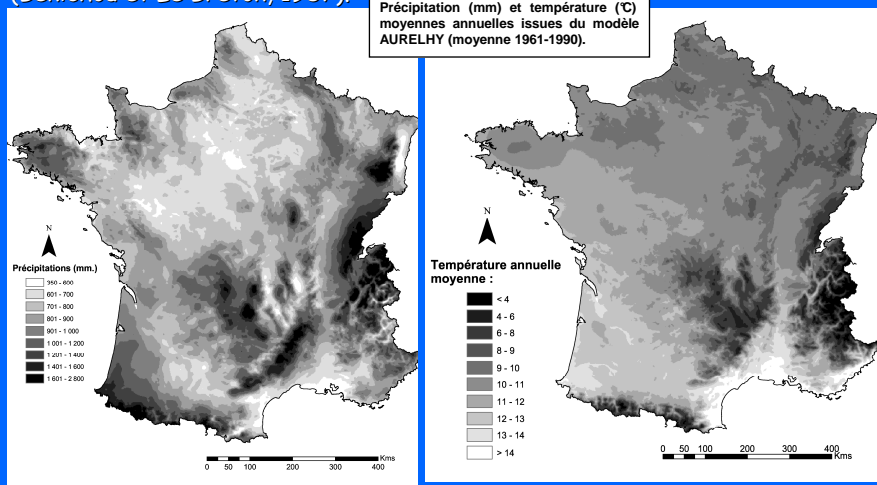
Prévisions, recherche...

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

DONNÉES CALCULÉES SOUS SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)

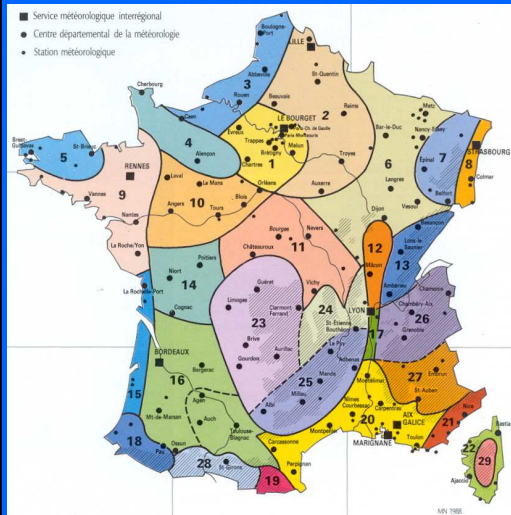
F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

**méthode AURELHY** : Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie (Benichou et Le Breton, 1987).



## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Echelle mésoclimatique



F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Climat régional donné par les stations du réseau synoptique... 29 régions

« simples »

T P Ins Vent...

« combinées »

ETP, ETR...

Indices bioclimatiques

Estimation du bilan hydrique forestier

De Martonne, Emberger

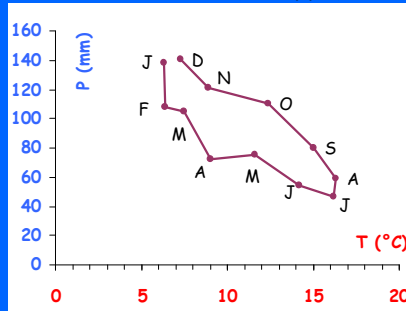
Résultante utile

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

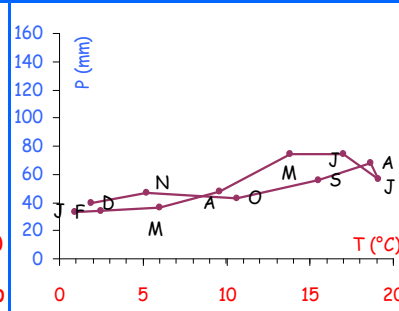
### Echelle mésoclimatique... les indices bioclimatiques

#### Les climatogrammes

Brest  
climat océanique typique



Strasbourg  
Climat semi-continentale



F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Les différentes échelles **spatiale** et temporelle  
**Echelle mésoclimatique... les indices bioclimatiques**

Indice d'aridité de De Martonne

Indice annuel

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{T \text{ (}^\circ\text{C)} + 10}$$

< 5	aridité absolue	désert
5 à 10	désert (aride)	désert et steppe
10 à 20	semi-aride	steppes ou savanes
20 à 30	semi-humide	prairie naturelle
30 à 40	humide	formation arborée très présente
> 40	humide	forêt dominante

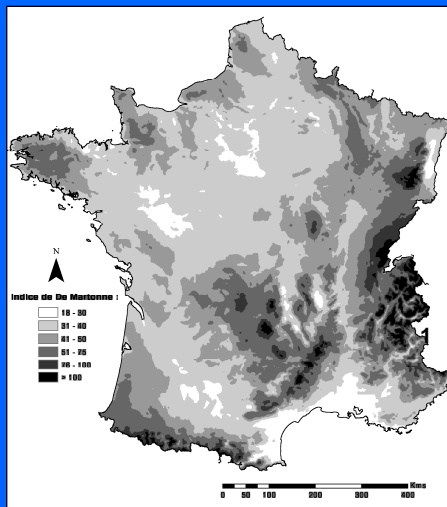
Indice mensuel

$$I = \frac{12 * p \text{ (mm)}}{t \text{ (}^\circ\text{C)} + 10}$$

Risque de sécheresse  
 quand  $I < 20$

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Les différentes échelles **spatiale** et temporelle  
**Echelle mésoclimatique... les indices bioclimatiques**

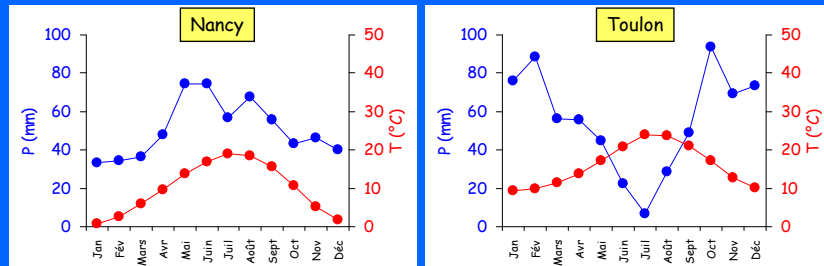


Indice annuel de De Martonne. Les données sont calculées au pas kilométrique à partir des normales 1961-1990 du modèle AURELHY.

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Les différentes échelles spatiale et temporelle  
**Echelle mésoclimatique... les indices bioclimatiques**

Diagramme ombrothermique (de Gaussens et Bagnouls)



Echelle  $P = 2T$ ... sécheresse quand  $P < 2T$

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Les différentes échelles spatiale et temporelle  
**Echelle mésoclimatique... les indices bioclimatiques**

Quotient pluviothermique d'Emberger

$$Q = \frac{P}{2 \left[ \left( \frac{M + m}{2} \right) (M - m) \right]} \times 100 = \frac{100 \times P}{M^2 - m^2}$$

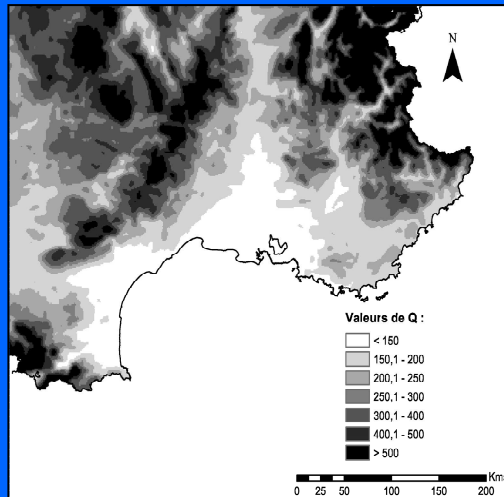
M = moyenne des maxima du mois le plus chaud  
 m = moyenne des minima du mois le plus froid

... la valeur de m est un différentiel qui rend compte de la période des gelées

L'aridité AUGMENTE quand l'indice DIMINUE

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Les différentes échelles spatiale et temporelle  
**Echelle mésoclimatique... les indices bioclimatiques**



Quotient pluviothermique d'Emberger. Les données sont calculées au pas kilométrique à partir de normales 1961-1990 du modèle AURELHY. Seul le bassin méditerranéen a été représenté car c'est le domaine de validité de l'indice.

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Les différentes échelles spatiale et temporelle  
**Echelle topoclimatique**

... est une ambiance climatique particulière liée principalement aux irrégularités du relief et à l'altitude

... l'échelle spatiale est de l'ordre de 10 km en plaine et 1 km en montagne

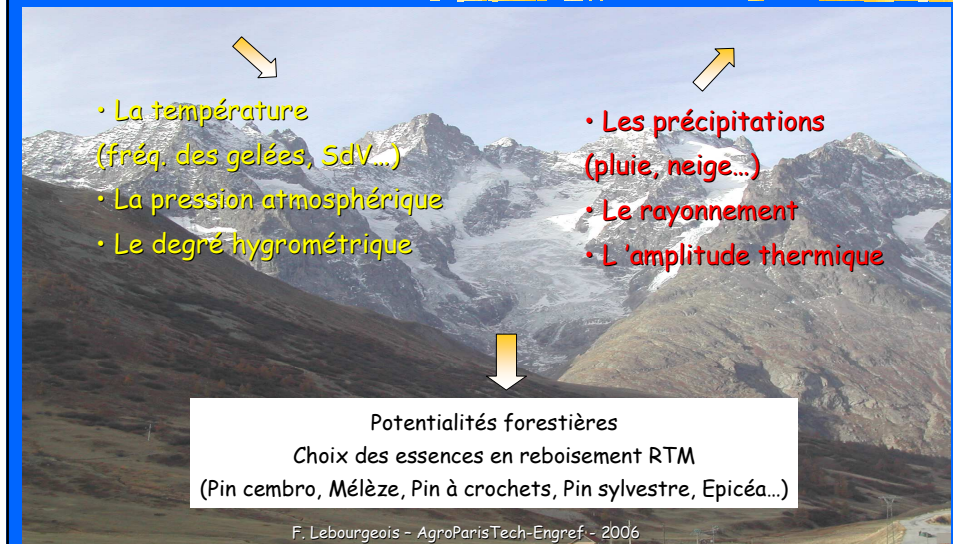


altitude  
 versant ubac/adret  
 pente

Lac des Bouillouses (Pyrenées Orientales - 2000-2400 m)  
 F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Echelle topoclimatique... effet de l'altitude



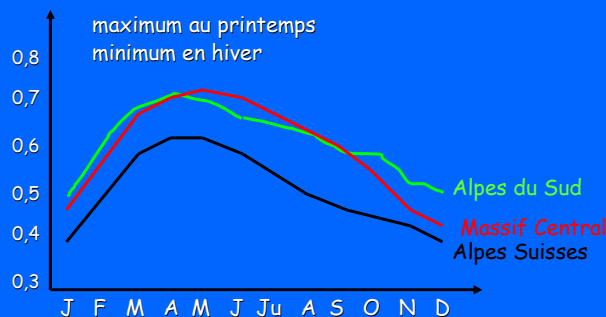
## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Altitude et température

La température décroît linéairement avec l'altitude

L'amplitude des variations varie selon :

- la région (latitude)
- la saison
- l'exposition (sud-nord)



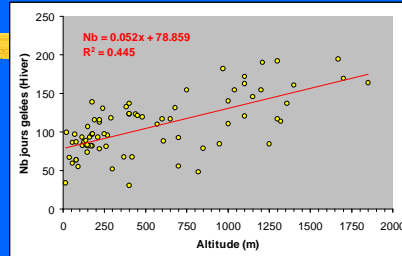
Jan	Fév	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
0,4	0,5	0,63	0,70	0,70	0,66	0,61	0,38	0,55	0,49	0,41	0,37	0,54

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006



## Les différentes échelles spatiale et temporelle Altitude et température

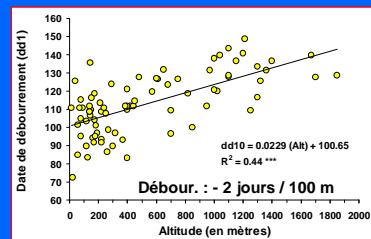
- Augmentation de la fréquence des gelées : +5 à +10 jours / 100 m



- Diminution de la longueur de saison de végétation +5 à +10 jours / 100 m

LSV = -3 jours/100 m

- Seuil journalier et somme de température
- Seuil mensuel ( $T^{\circ} > 6$  ou  $7^{\circ}C$ )
- Feuillus de « plaine » - Moyenne 1997-2003  
 $LSV = 255.25 - 0.038 (ALT) - 2.595 (LAT) + 5.71 (Tx Mars)$   
 $r^2 = 78\%$  ; précision de la prédiction = 8 à 9 jours  
 durée moyenne saison végétation : 193 jours  
 (hêtre : 180 j ; chênes : 200 j) (Lebourgeois et Godfroy 2005)



F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle Altitude et précipitation

- Augmentation plus rapide quand la pente est forte
- Augmentation plus marquée quand le vent pluvieux souffle perpendiculairement à la direction du versant
- Dépend de la température initiale et de son humidité

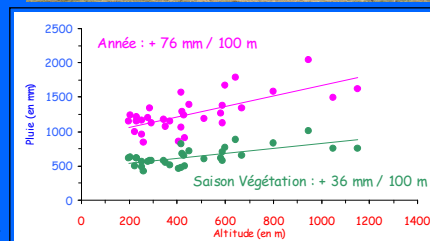


**Vosges**

- Opposition Versants lorrain et alsacien
- Versant lorrain (21 stations, 260 à 1150 m)  
 $Pluie annuelle = 1.264 (alt) + 616 \text{ mm}$   
 $\Rightarrow \text{env. } 100 \text{ à } 120 \text{ mm}/100 \text{ m}$

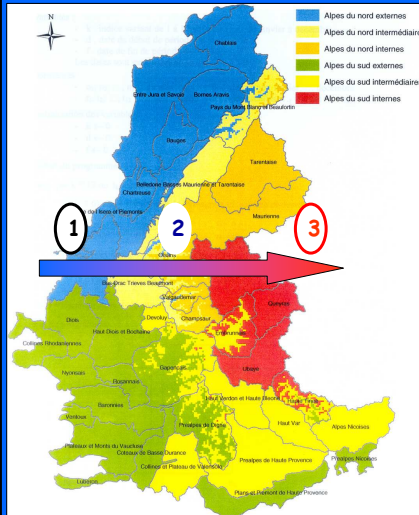
F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Massif de la Grande Chartreuse



## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Altitude et précipitation



Indice de continentalité de Gams  
(modifié Michalet 1991)...

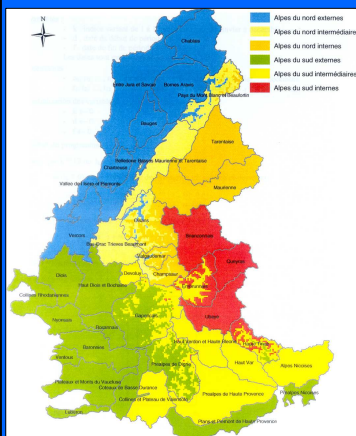
Il précise la répartition spatiale des pluies par rapport à l'orographie. Cet indice permet de s'affranchir des variations de la pluviométrie avec l'altitude (élimine l'effet de continentalité).

	même altitude		
	1	2	3
Pluie	+++	++	+
Nébulosité	+++	++	+
Soleil	+	++	+++
Amplitude therm.	+	++	+++

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Altitude et précipitation



$$\text{Cot}(\alpha) = \frac{P - \left( \frac{900 - A}{100} \times \frac{P}{10} \right)}{A}$$

$\alpha$  augmente (tend vers 90°) quand P diminue relativement à l'altitude (m)

$\alpha < 40^\circ$  ...  
Alpes externes très arrosées

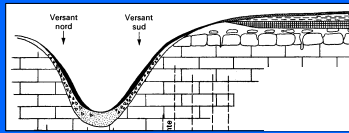
$\alpha = 40$  à  $50^\circ$  ...  
Alpes intermédiaires

$\alpha = 50$  à  $90^\circ$  ...  
Alpes internes sèches

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Opposition de versants



#### Différences ( $\Delta$ ) sur les températures

- $\Delta$  plus fortes sur les Tmax que les Tmin
- $\Delta$  Tmax : 3 à 5°C ;  $\Delta$  Tmin : 1 à 2°C
- $\Delta$  max en hiver et au printemps
- $\Delta$  de 2 à 3 °C sur régime annuel

Risque gelées, saison  
végétation, sécheresse...

#### Différences ( $\Delta$ ) sur le rayonnement (par rapport à une surface horizontale ; temps ensoleillé)

- Sud (Rg direct) > Nord (Rg diffus)  
(moy. année +/- 30%)
- Différence max en hiver et automne (+/- 50%)  
et min été
- Différence augmente quand la pente augmente  
(max entre 25 et 40°)
- A pente équivalente, un versant sud reçoit de  
20% à 300% d'énergie en plus qu'un versant nord  
(différence max en hiver et min en été).

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Potentialités forestières (ex : hêtre futaie  $\Delta = 20$  m)

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Echelle microclimatique

... c'est une ambiance climatique particulière liée à la structuration verticale et horizontale de la forêt. Les phénomènes microclimatiques s'étudient à des échelles spatiale et temporelle variant de 1 à 100 m et de la minute au jour

Actions permanentes...  
processus physiologiques



Actions accidentelles... tempête, gelées...



F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Echelle microclimatique

#### Modifications des conditions climatiques par le couvert forestier

- **Réduction de la vitesse du vent (70 à 80%)**

Les houppiers des feuillus freinent davantage le vent que ceux des résineux

Les feuillus sont efficaces en été mais sont venteux en hiver

La structure verticale d'un peuplement semble influencer sur sa résistance à la tempête

- **Modification du régime thermique (effet tampon)**

Hors bois / trouée - chablis : feuillus / résineux

Réduction de l'amplitude thermique (2 à 4°C)

Réduction des extrêmes :  $\Delta$  max en été : 2 à 5°C  $\Delta$  min en hiver : 0,5 à 1°C

→ Indice actinothermique : Ia (20), Ia (50)

T = 0°C sous abri ⇒ T = -2 à -4°C à l'air libre ⇒ gelées

→ Risque gelées : D/H > 3...

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Echelle microclimatique

- **Modification de l'éclairement (notion ER%)**

Surface de feuille (Leaf Area Index,  $m^2/m^2$ ), distribution, agencement, inclinaison des feuilles

Essences « d'ombre » et de « lumière »

Donnée FONDAMENTALE pour la régénération forestière



#### Valeurs « optimales » de ER (%)

25%	Sapin, hêtre
15-30%	Chêne rouge
30-50%	Chêne sessile, érables
> 50%	Chêne pédonculé, frêne
40-50%	Epicéa
> 50-70%	Mélèze, pins...



F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Les différentes échelles spatiale et temporelle

### Echelle microclimatique

#### • Interception des précipitations

Surface de feuille (Leaf Area Index,  $m^2/m^2$ ), distribution, agencement, inclinaison des feuilles

Age des arbres, densité du peuplement, saison (feuillus)

Intensité et fréquence des pluies (seuil de capacité de rétention foliaire)

Donnée FONDAMENTALE pour le calcul des bilans hydriques

Résineux : 25 à 50 %  
adulte = 35%



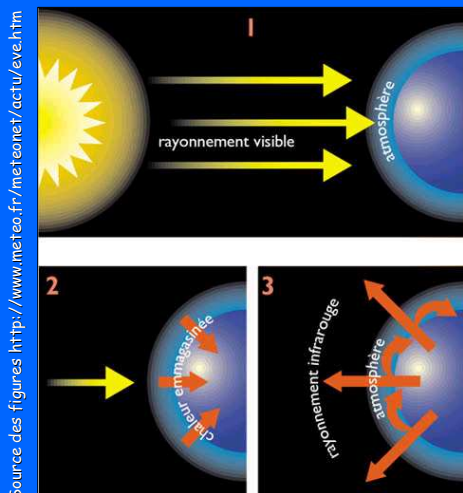
F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

Feuillus : 15 à 35 %  
adulte = 25%



## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

### Question 1 : Quelle est la température normale de la terre ?



Source des figures <http://www.meteo.fr/meteonet/actu/evc.htm>

Le phénomène d'**effet de Serre** est lié à la présence dans l'atmosphère de certains gaz qui piègent le rayonnement émis par la Terre (infrarouge). Une partie de ce rayonnement est réémise en direction du sol, contribuant ainsi au réchauffement des basses couches de l'atmosphère

15 °C

(-18 °C)

GES

- Vapeur d'eau (0.3%)
- CO<sub>2</sub> (0.03%)
- Oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) (0.00003%)
- CFC (0.000000008%)
- Méthane (CH<sub>4</sub>) (0.0017%)

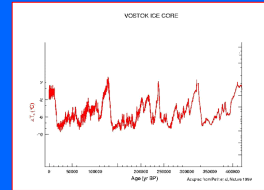
F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006 (azote et oxygène transparents aux IR)

## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

### Question 2 : La température est-elle stable ?

**NON..... Elle varie selon « les cycles de Milankovitch »**

L'astronome serbe Milutin Milankovitch a démontré entre 1920 et 1941 que le cycle de glaciation trouve en partie son origine dans les périodes de 100 000 ans, de 40 000 ans et de 20 000 ans caractéristiques respectivement des variations de l'excentricité de l'orbite terrestre, de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre (la nutation) et de sa précession (ou rotation de cet axe).



- Maximum de la dernière glaciation : - 18 000 ans
- .... La température était inférieure d'environ 4 °C à celle actuelle

- Période interglaciaire depuis environ 10 000 ans... climat chaud et « stable »

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

- Retour des glaces dans plusieurs dizaines de milliers d'années

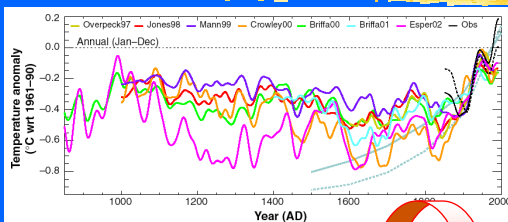
[http://www.planetecologie.org/menus/Fr\\_rubriquemois.html](http://www.planetecologie.org/menus/Fr_rubriquemois.html)

## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

### Question 3 : La température a-t-elle évolué récemment ?

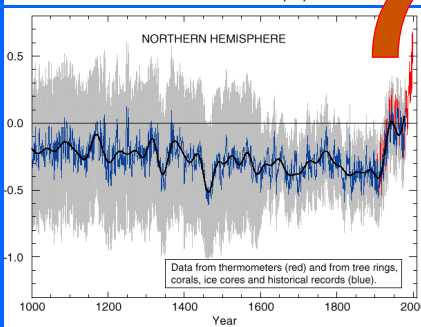
<http://www.manicore.com/documentation/serre/commence.html>

<http://www.giss.nasa.gov/data/update/>

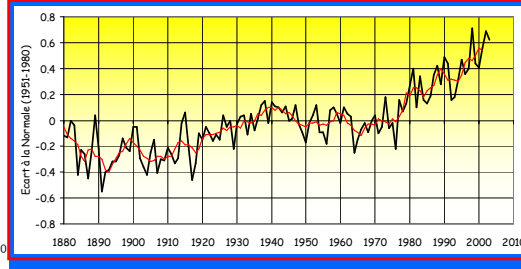


**OUI...**  
**Forte variation depuis 1860**

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006



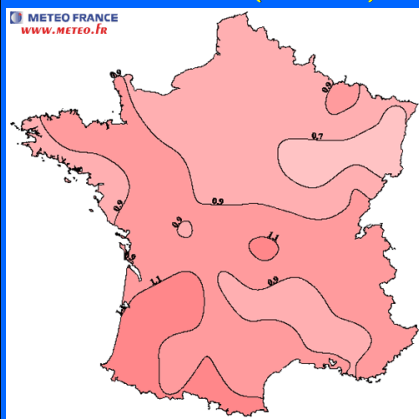
**0,6 ± 0,2°C/siècle**  
**(1880-2003)**



## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

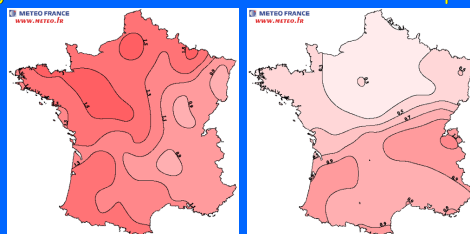
### Question 4 : et en France ?

70 séries centenaires (1901-2000) homogènes de T<sub>min</sub> et T<sub>max</sub> mensuelles sur 52 départ.



T moy. (°C/100 ans)

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006



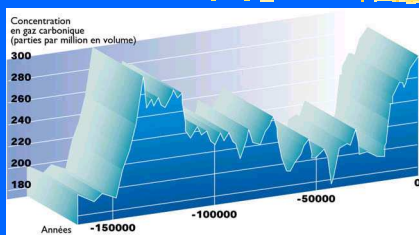
T<sub>min</sub> et T<sub>max</sub>

un réchauffement

- plus marqué des minimales sur l'ouest du territoire
- plus marqué des maximales au Sud qu'au Nord
- des températures minimales (de 0,7 à 1,7°C/siècle) ont davantage augmenté que les maximales (de -0,1 à 1,3°C/siècle)
- plus marqué dans le Sud-Ouest
- Contraste thermique est devenu moins marqué

## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

### Question 5 : Origines des changements ?



Pays développé :  
5 tonnes CO<sub>2</sub>/an/hab

Pays en voie de développement :  
400 kg /CO<sub>2</sub>/an/hab

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

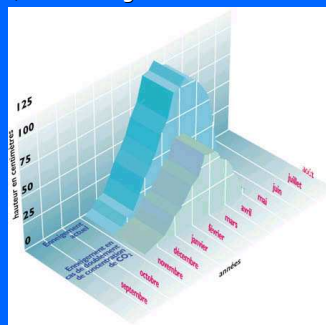
Gaz à Effet de Serre	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CFCs
	ppmv	ppmv	ppbv	pptv
Pré-industrielle (1750-1800)	280	0.8	288	0
1990	353	1.72	310	760
Taux de variation annuelle actuel	+0.5%	+0.9%	+0.25%	+4%
Contrib. rel. à effet de Serre add.	55	15	4	19
Durée de vie dans l'atmos. (ans)	50 à 200	10	150	65 à 130

ppmv, ppbv, pptv : partie par millions, milliards et trilliards

## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

### Question 6 : et dans l'avenir ?

- En 2050 : +1 à +6°C selon....notre capacité à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>
- La fonte déjà amorcée des glaciers, de la banquise arctique, de l'enneigement
- Une modification des grands courants des océans
- Une élévation lente du niveau des mers et des océans (+30 à +90 cm)
- Réchauffement plus important sur les continents que sur les océans
- Réchauffement maximal aux hautes latitudes
- Les précipitations augmentent surtout aux latitudes hautes et moyennes
- Augmentation de l'évaporation et de l'humidité au-dessus des mers tropicales
- Extension de la zone des moussons
- Les zones subtropicales sèches le deviendraient encore plus
- Modifications des extrêmes : Accentuation de l'instabilité, Augmentation de la fréquence des catastrophes naturelles, cyclones, sécheresse, inondations, maladies, etc... ; bouleversement de l'agriculture, déplacements des populations (zones côtières inondées, accroissement des déserts, etc...)



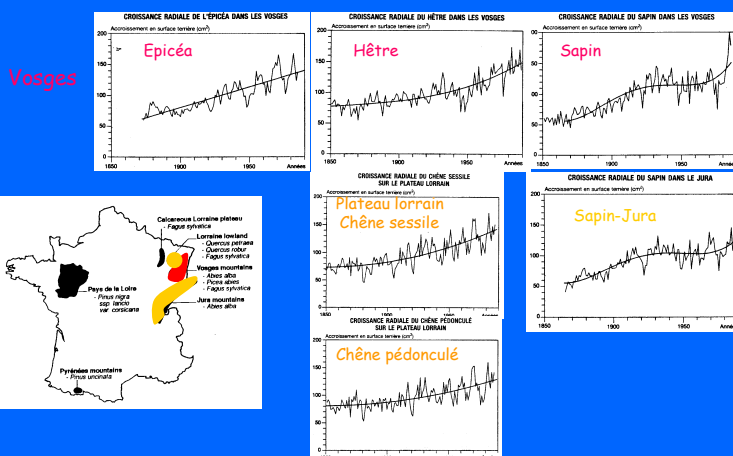
F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

### Question 7 : constatations au niveau forestier...

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006

- Changements de la productivité, de la phénologie...





## Changements climatiques.... Mythe ou réalité

### Question 8 : les actions possibles ?



- la réduction des émissions en provenance de la combustion des énergies fossiles
- la réduction de la déforestation
- le développement de mécanismes de fixation : les " puits de carbone ".

F. Lebourgeois - AgroParisTech-Engref - 2006