

# CHAPITRE I : ELEMENTS DE CLIMATOLOGIE

- I. Eléments de caractérisation d'un climat
- II. Les facteurs géographiques du climat
- III. Les principaux types de climat en France et en Europe (UE)
- IV. Sources d'informations
- V. Changement climatique et conséquences sur le choix des essences

# I. Éléments de caractérisation d'un climat

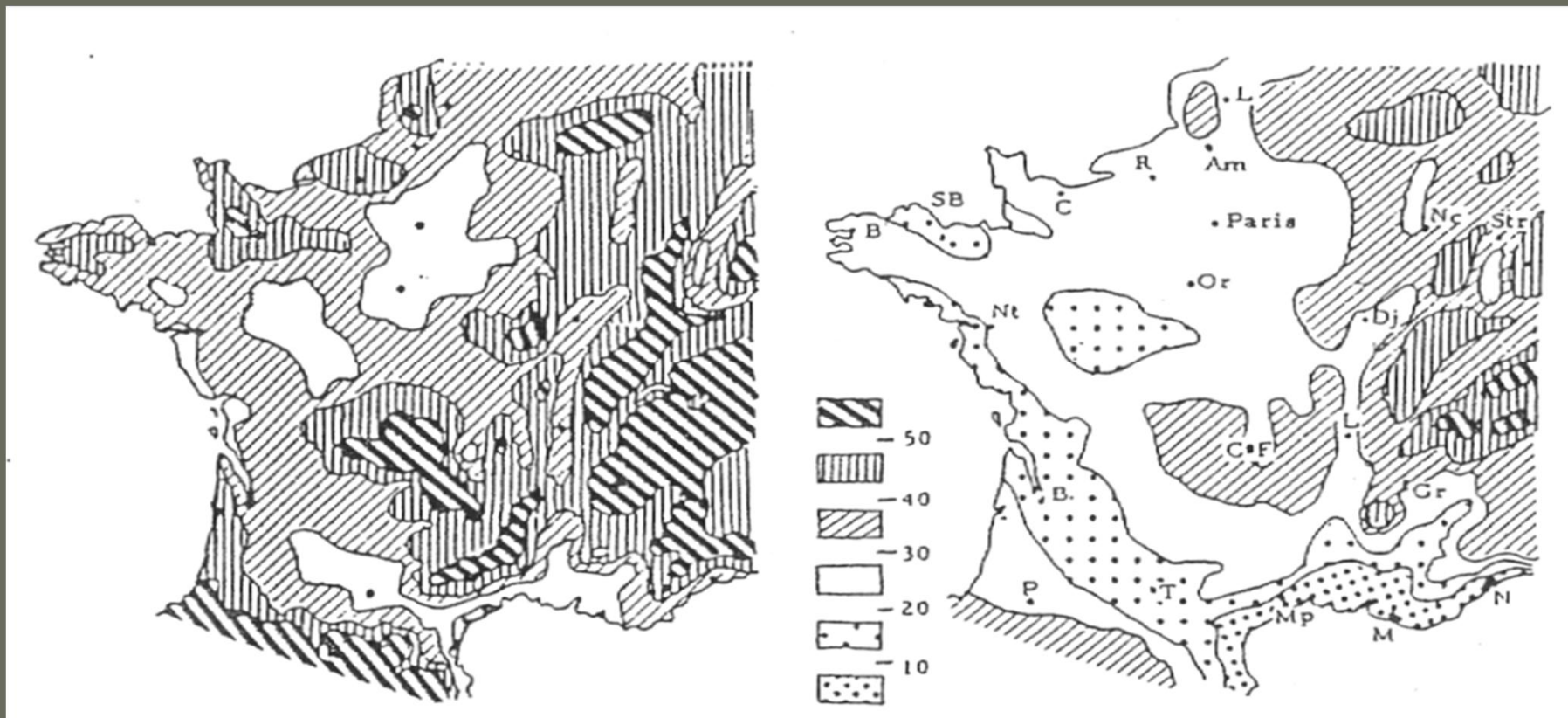
## 1.1 Les indices climatiques

### 1.1.1. L'indice d'aridité de E. de Martonne

Indice annuel :  $I = P / (T + 10)$

Indice mensuel :  $I = 12 \times P / (T + 10)$

Valeur de I	Type de climat	Type de végétation potentielle	Exemple
0 à 5	Hyper aride	Désert absolu	Vallée de la mort aux USA
5 à 10	Aride	Désert	Désert du Sahara, Désert de l'Arizona (USA)
10 à 20	Semi-aride	Steppe	Sahel, Kalahari
20 à 30	Semi-humide	Prairie naturelle, forêt	Région parisienne, Orléans, Région de Marseille
30 à 40	Humide	Forêt	Région Lille
40 à 55	Humide	Forêt	Rouen, Dieppe, Alençon



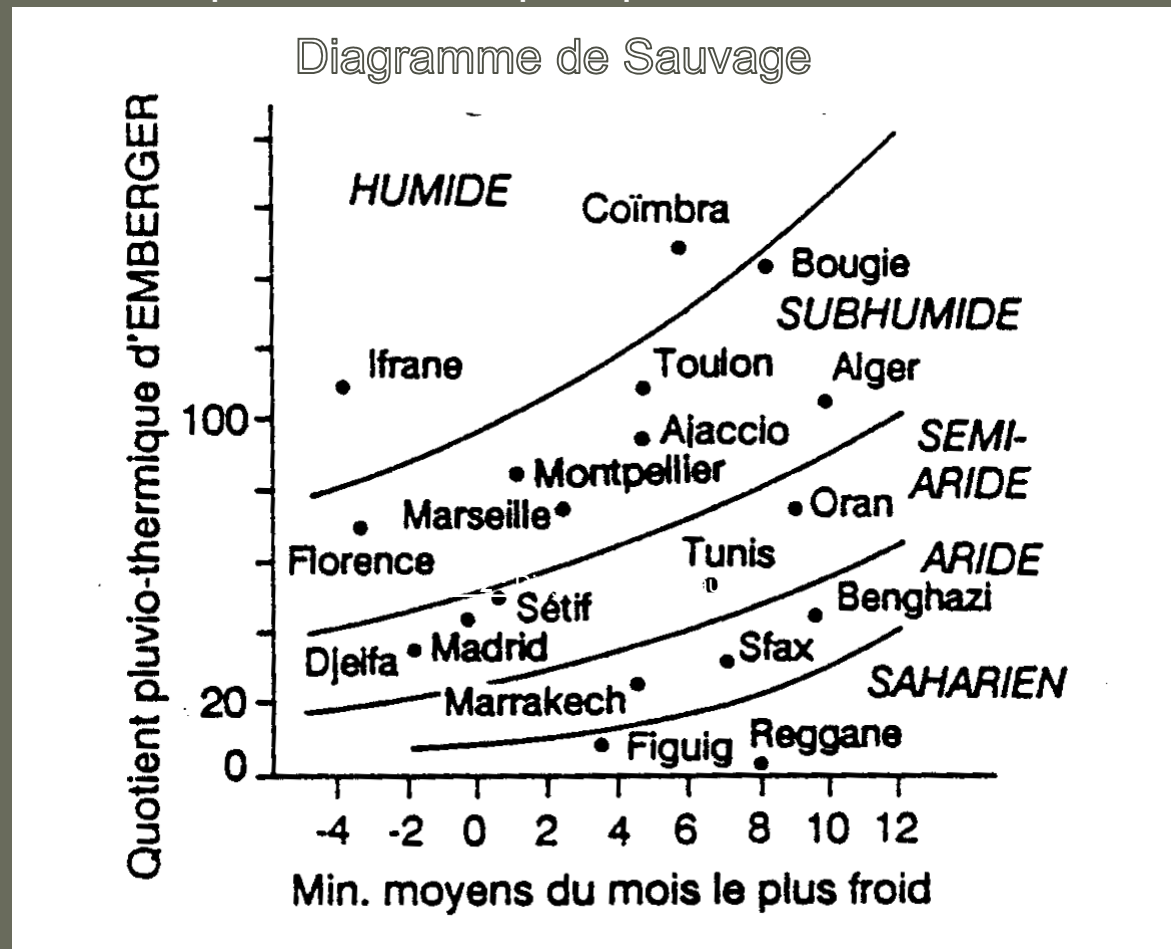
**Figure 1:** Carte de l'indice d'aridité de E. de Martonne : à gauche carte de l'indice annuel, à droite carte de l'indice en juillet

Essence	Valeur optimale de I	tolérance
<i>Fagus sylvatica</i>	>40 (et P>750 mm)	35-40
<i>Abies alba</i>	>50 (et P >1000 mm)	45-50

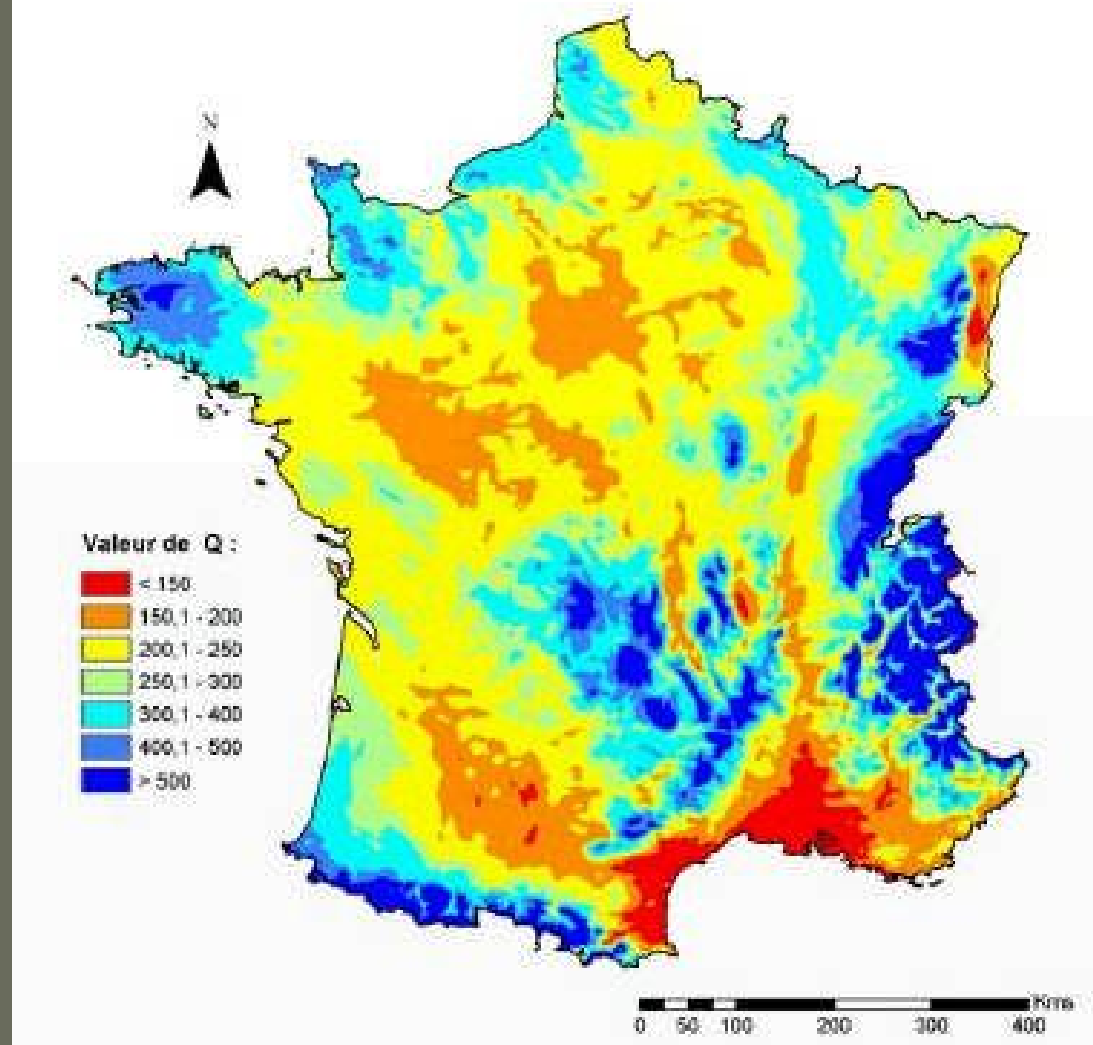
### 1.1.2. Le quotient pluviothermique d'Emberger

$$Q = P / [(M+m) (M-m)]$$

Avec M= moyenne des maxima du mois le plus chaud ; m = moyenne des minima du mois le plus froid ; P= précipitations totales annuelles



### Quotient pluviothermique d'Emberger (1932)



**Figure 3 :** Carte des valeurs du quotient d'Emberger (Lebourgeois et Piedallu, 2005)

### 1.1.3. L'indice de Paterson

Cet indice se calcule comme suit :

$$I = (T_v \times P \times G \times E) / (T_a \times 12 \times 100)$$

*T<sub>v</sub> : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud de l'année  
(en degrés)*

*T<sub>a</sub> : Ecart en degrés séparant les températures moyennes mensuelles du  
mois le plus chaud d'une part et le plus froid d'autre part*

*G : longueur en mois de la saison de végétation*

*E : Facteur de réduction pour ETP (sa valeur est fonction de la latitude du  
lieu étudié)*

Le climat est très propice pour le hêtre si I est > à 400

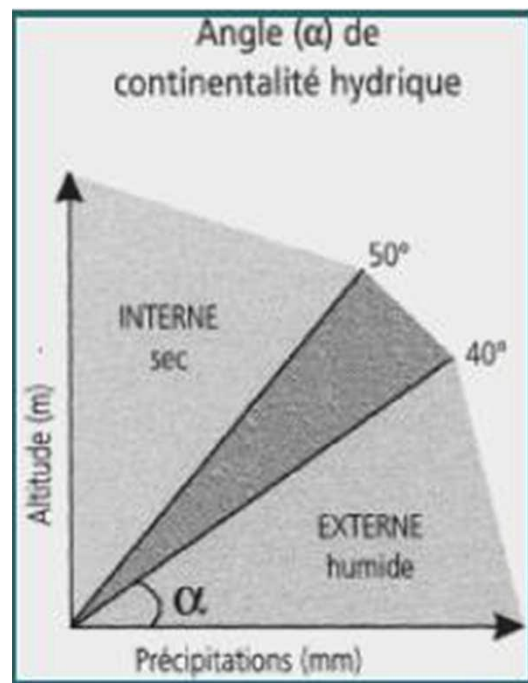
Cet indice traduit notamment des conditions favorables pour le hêtre

#### 1.1.4. Indice de continentalité hydrique de Gams

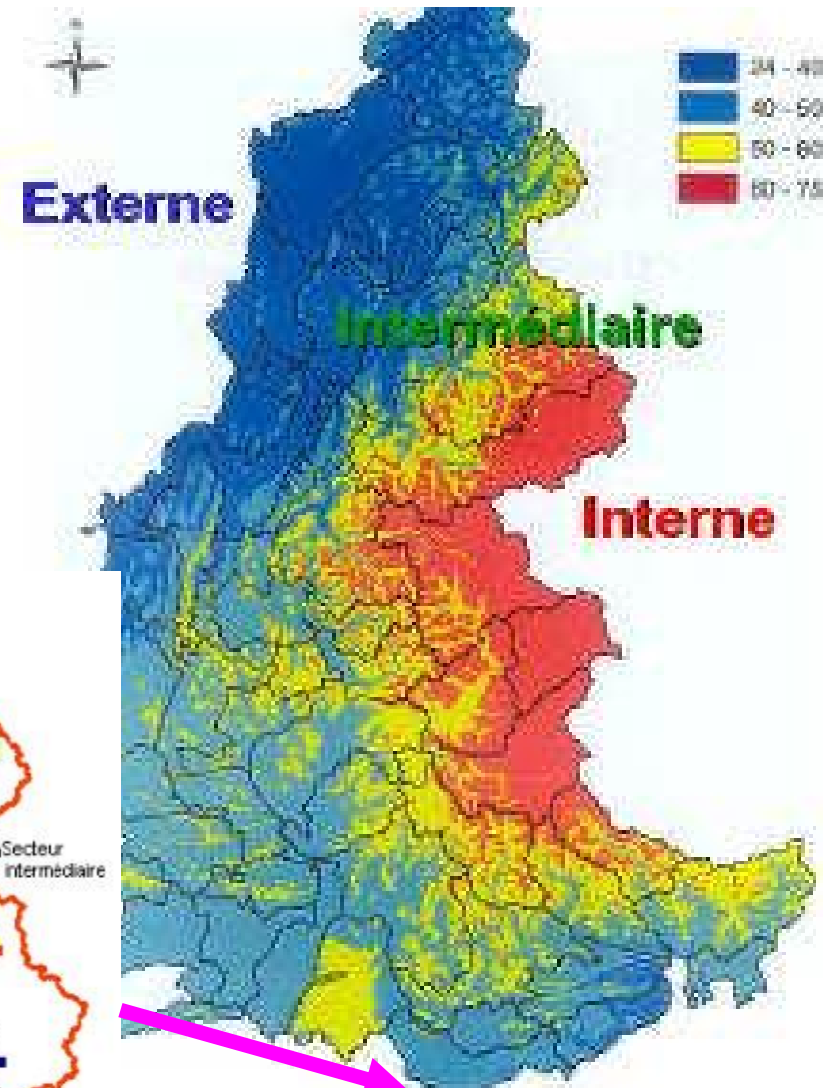
Cet indice se calcule comme suit :

$$\cos(\alpha) = \frac{P \times \left[ \frac{900 - Alt}{100} \times \frac{P}{10} \right]}{Alt}$$

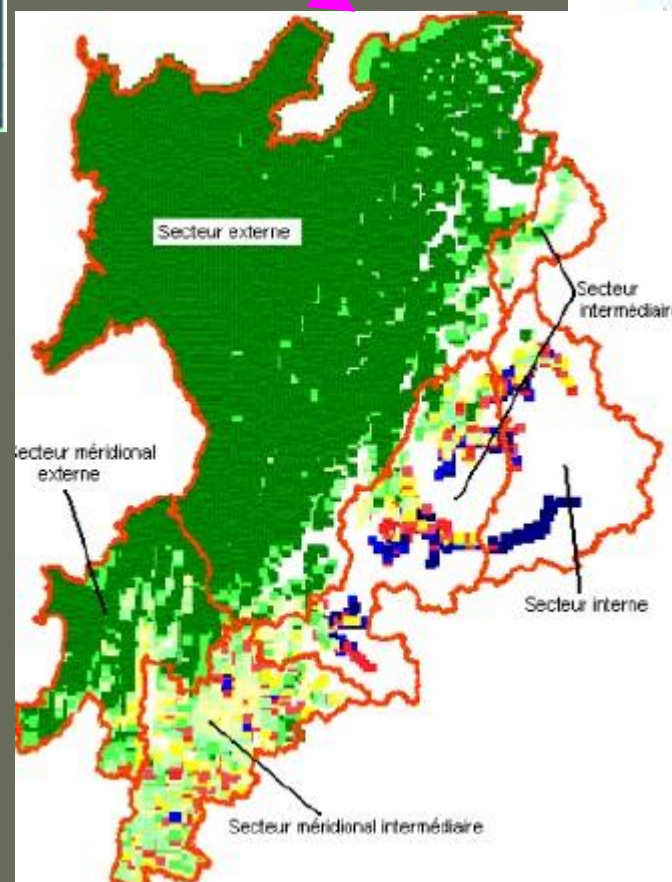
avec P = Précipitations annuelles et Alt = altitude



Secteurs  
climatiques des  
alpes du Nord



- 56 - 57
- 54 - 56
- 52 - 54
- 50 - 52
- 48 - 50
- 46 - 48
- 44 - 46
- 42 - 44
- 40 - 42
- 1 - 40
- 0 - 0



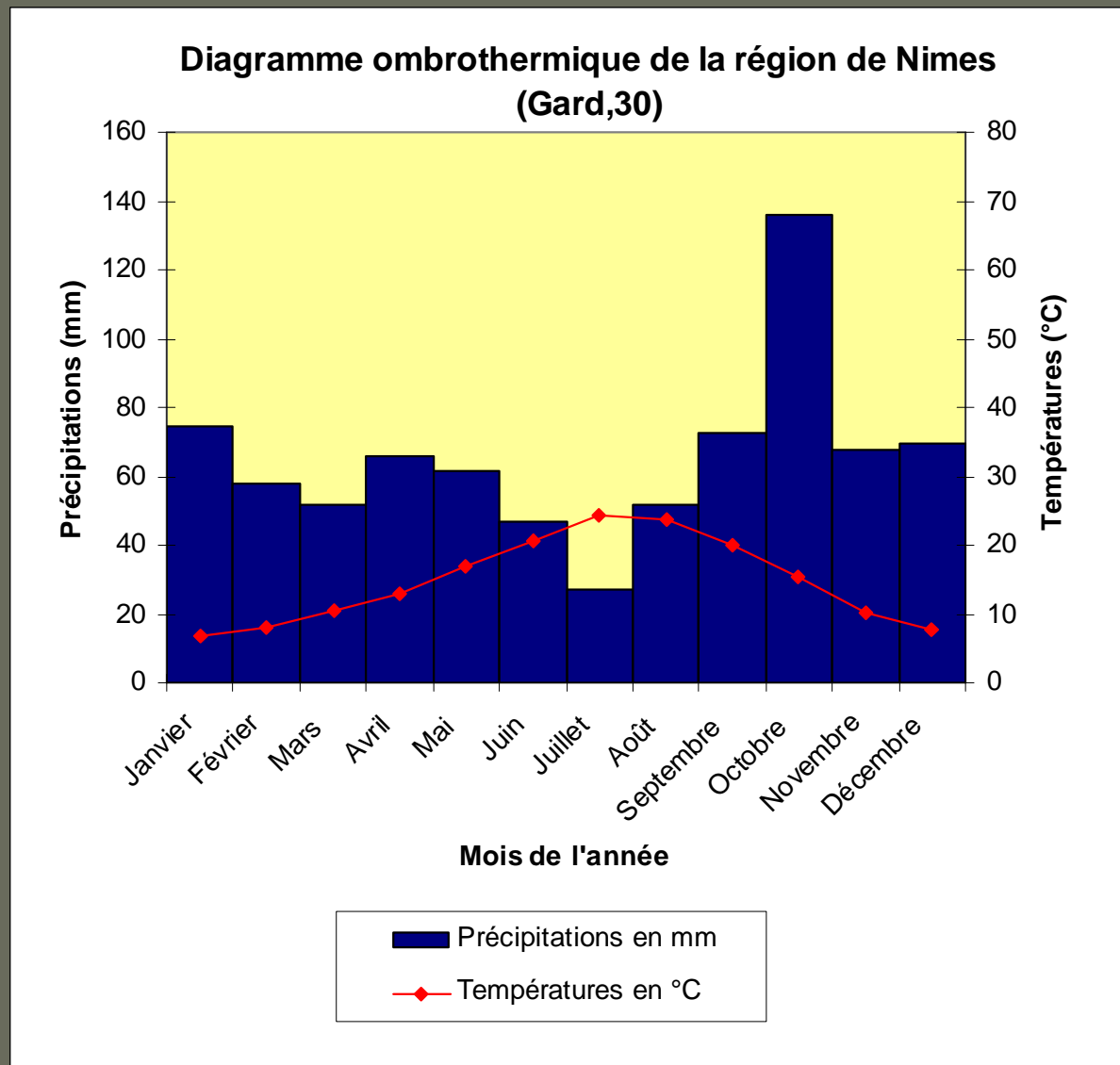


## 1.2. Définition d'un mois sec

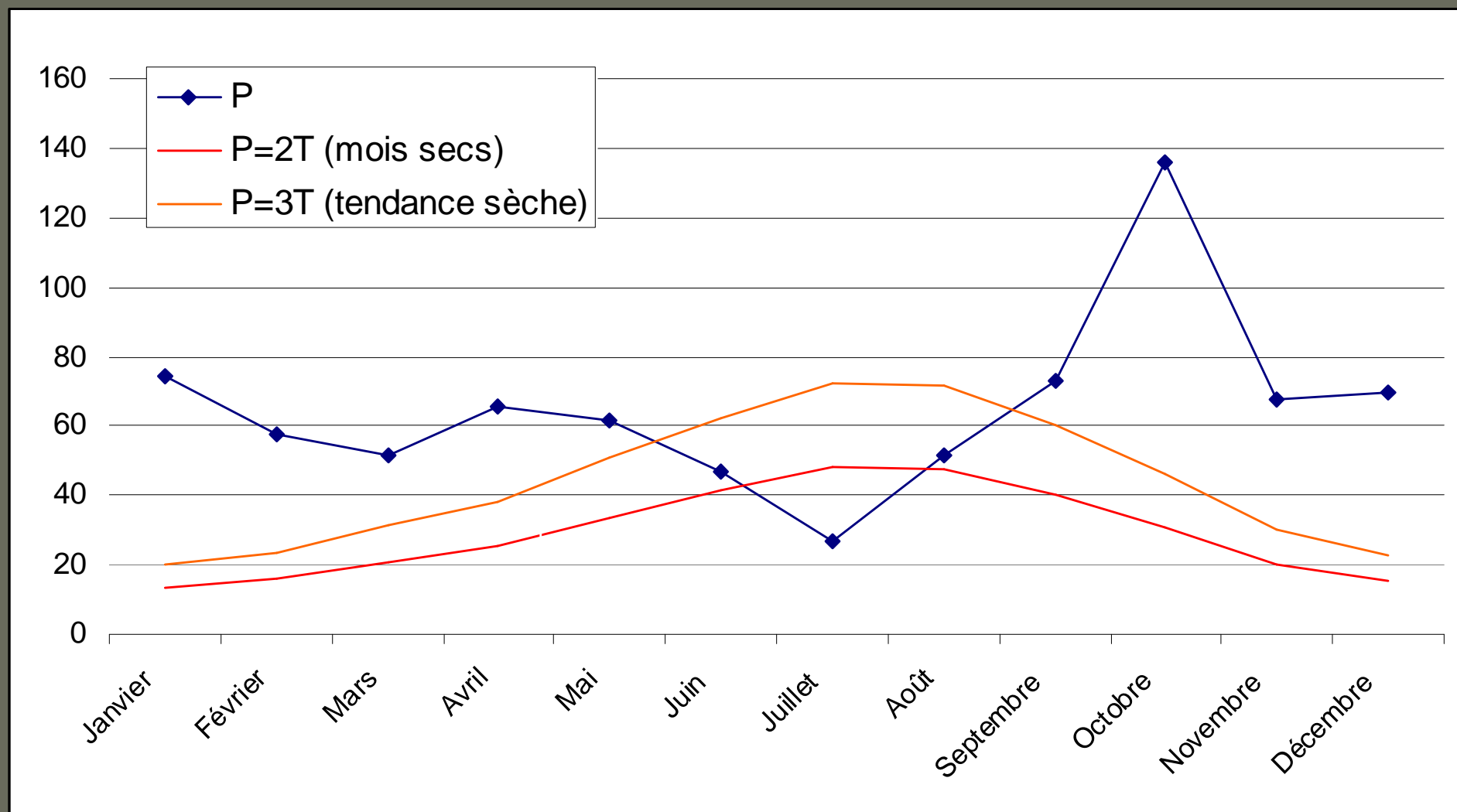
D'après BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois sec est un mois où les précipitations sont inférieures à 2 fois la température moyenne mensuelle ( $P < 2T$ ).

On peut aussi définir les mois à tendance sèche (WALTER, 1955) comme étant ceux dont les précipitations sont comprises entre deux fois et trois fois la température moyenne mensuelle

### 1.3. Représentation graphique d'un climat : l'exemple du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

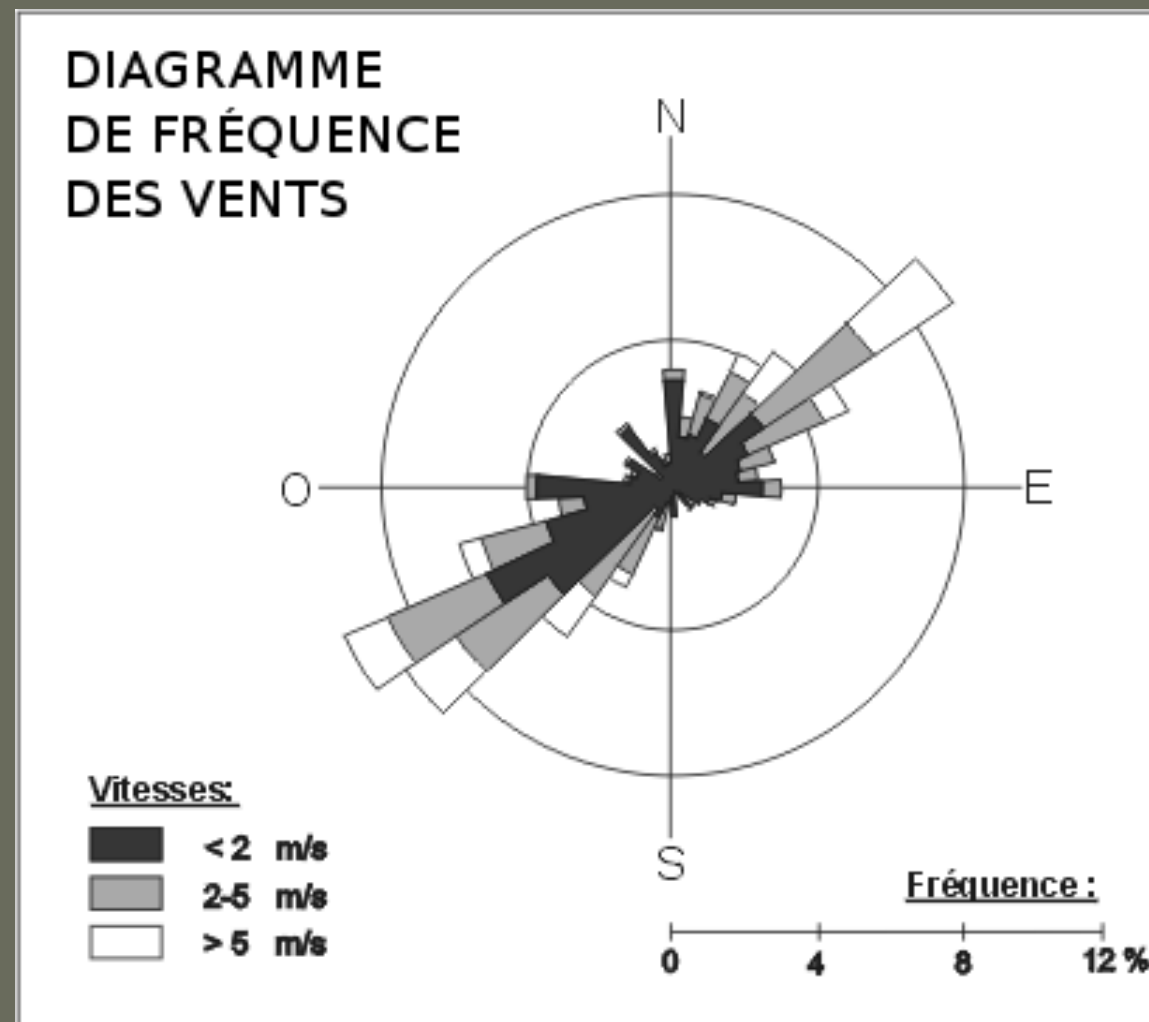


Echelle :  
 $P=2T$



**Figure 5:** Représentation du climat pour la région de Nîmes ( période d'observation : 1971-2000) – Données Météofrance : courbes des précipitations (P), courbe P=2T et courbe P=3T

## 1.4. Diagramme des vents



## II. Les facteurs géographiques du climat

Les facteurs géographiques déterminant le climat sont :

*La latitude*

*Les effets régulateurs des océans*

*La continentalité*

*L'altitude*

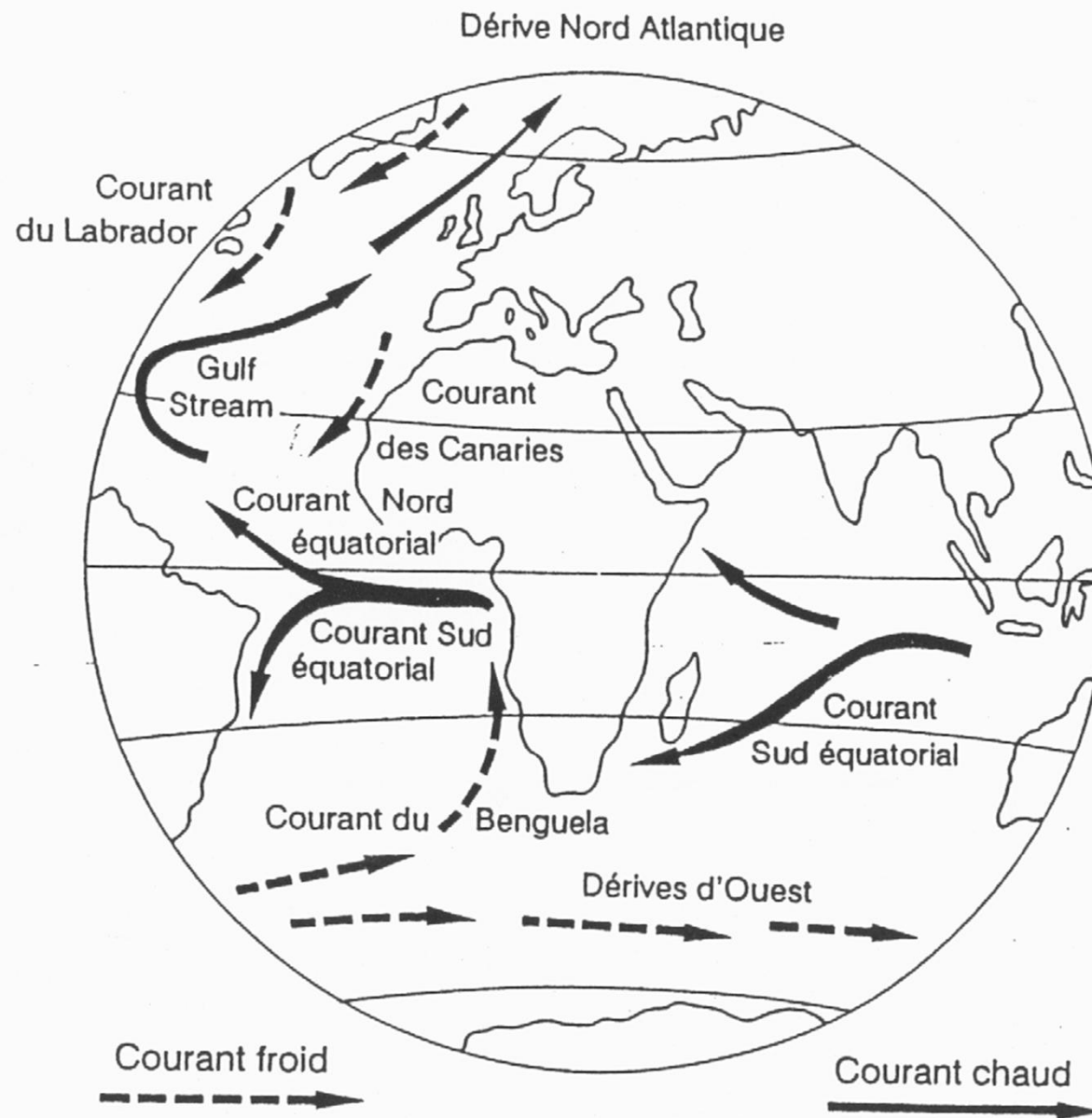
*Le relief (exposition)*

2.1. Les effets de la latitude

2.2. Les effets régulateurs des océans

2.3. Les effets de la continentalité

2.4. Les effets du relief et de l'altitude



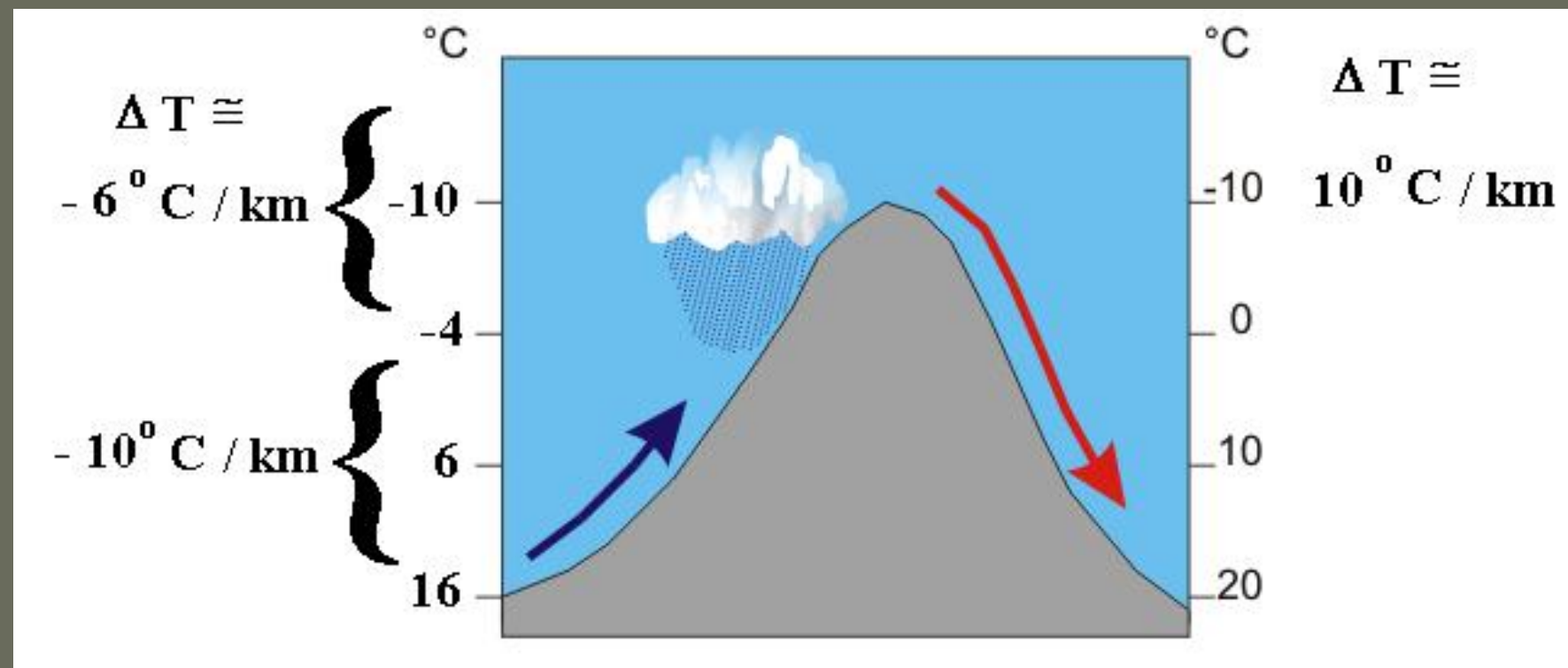


Figure 7 : Effet de FOEHN (tiré de wikipedia)

### III. Les principaux types de climat en France et en Europe (UE)

En France, on distingue classiquement les principaux types de climats suivants :

**Climat océanique (avec deux sous types : un premier à été frais et humide, l'autre à été chaud et à tendance sèche)**

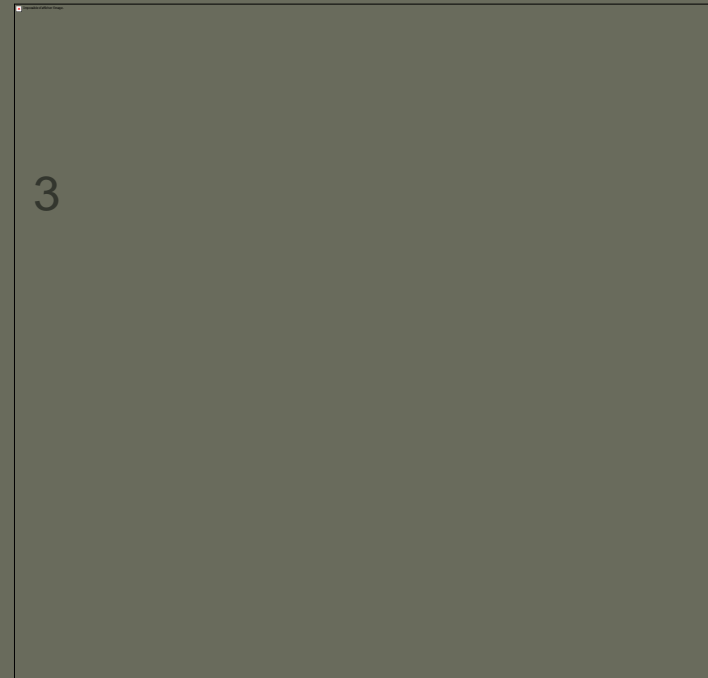
**Climat océanique dégradé**

**Climat à tendance continentale**

**Climat de montagne**

**Climat méditerranéen**

Il n'y a pas de vrai climat continental en France

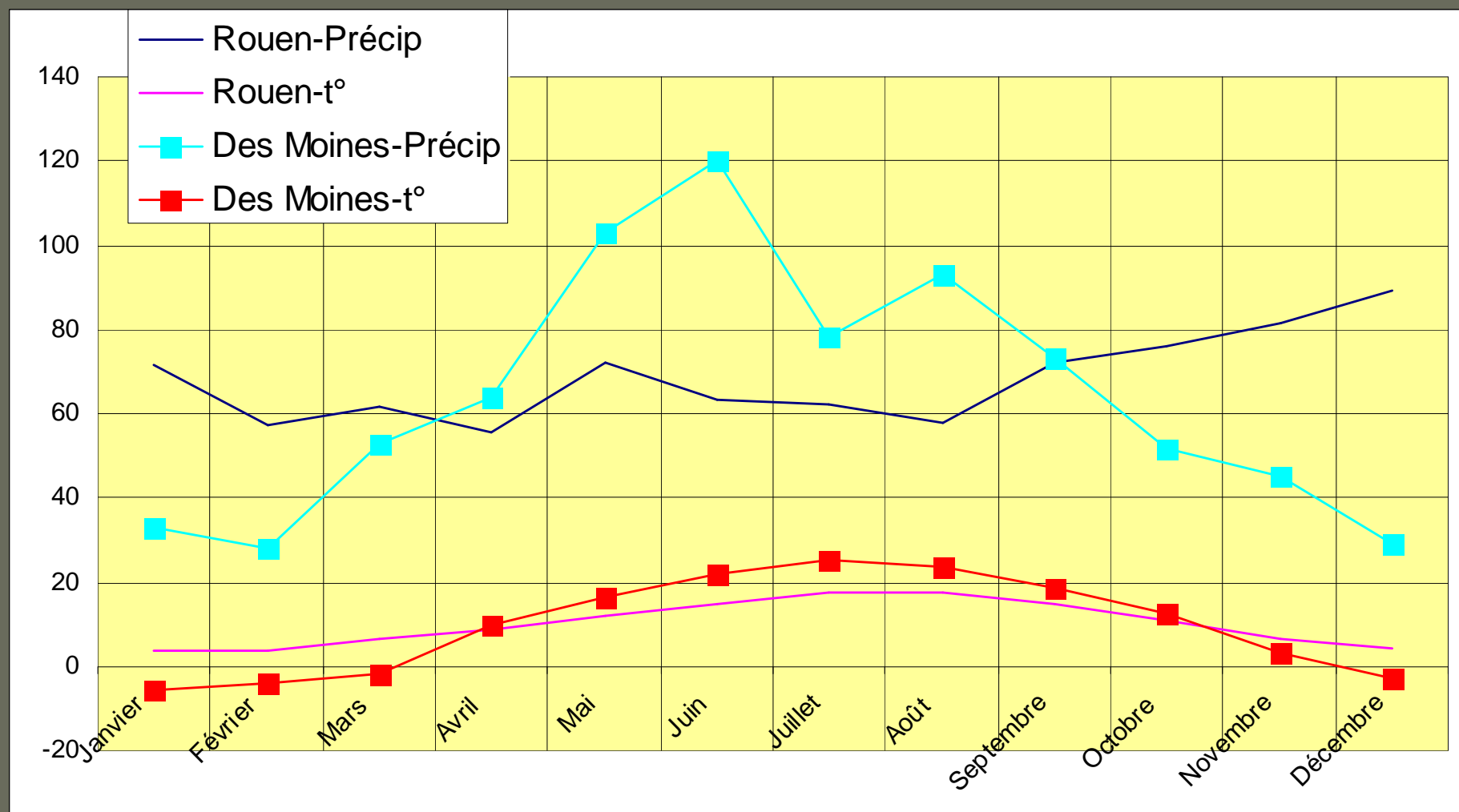


**Figure 8:** Carte des grands types de climats en France

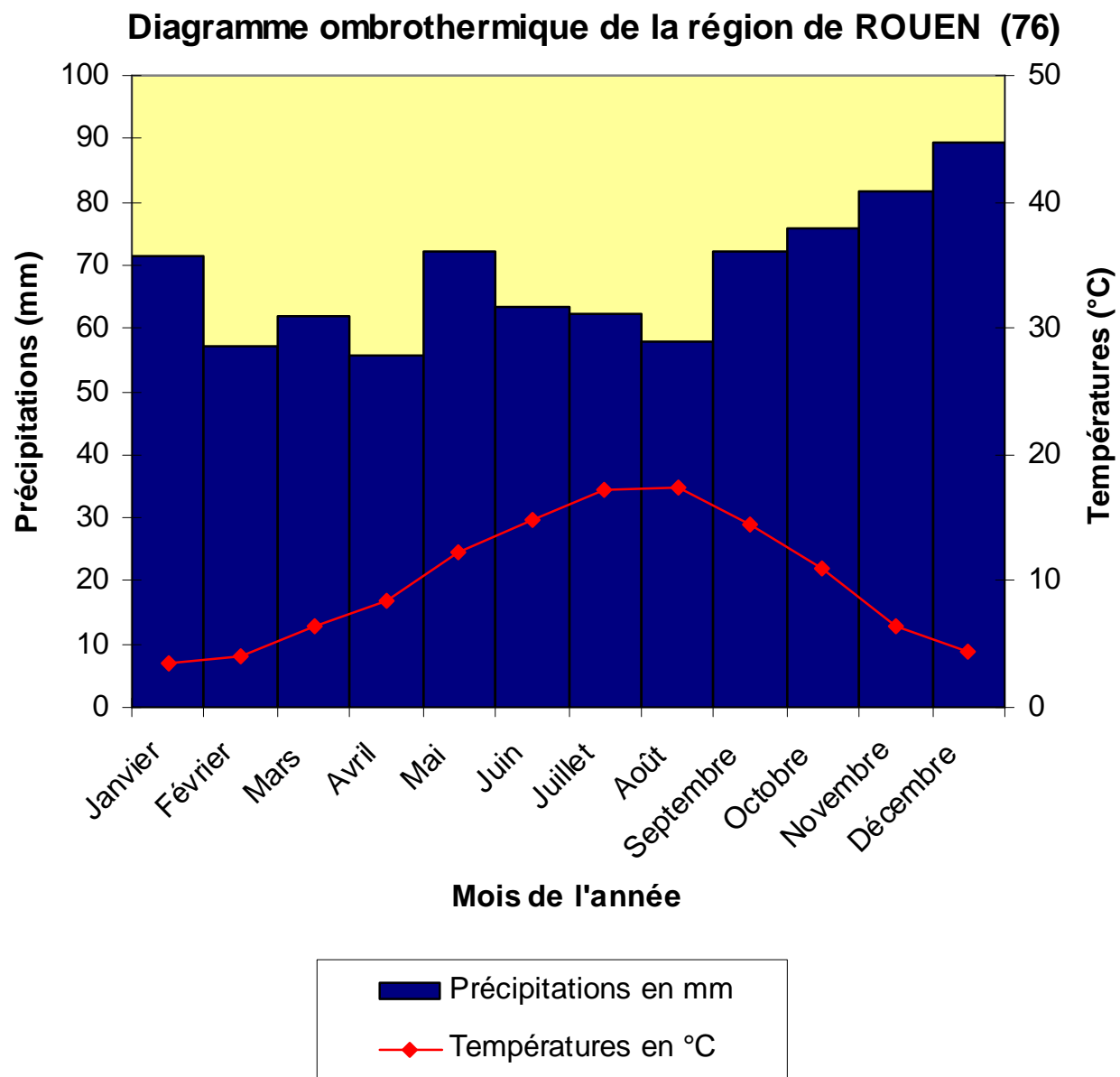
4 : climat de montagne ; 5 climat semi-continental ; 6 climat océanique dégradé ; 7 : climat océanique à été frais ; 8 climat océanique à été chaud – Plaines du Sud Ouest ; 9+10 climat méditerranéen ; 3 : climat littoral



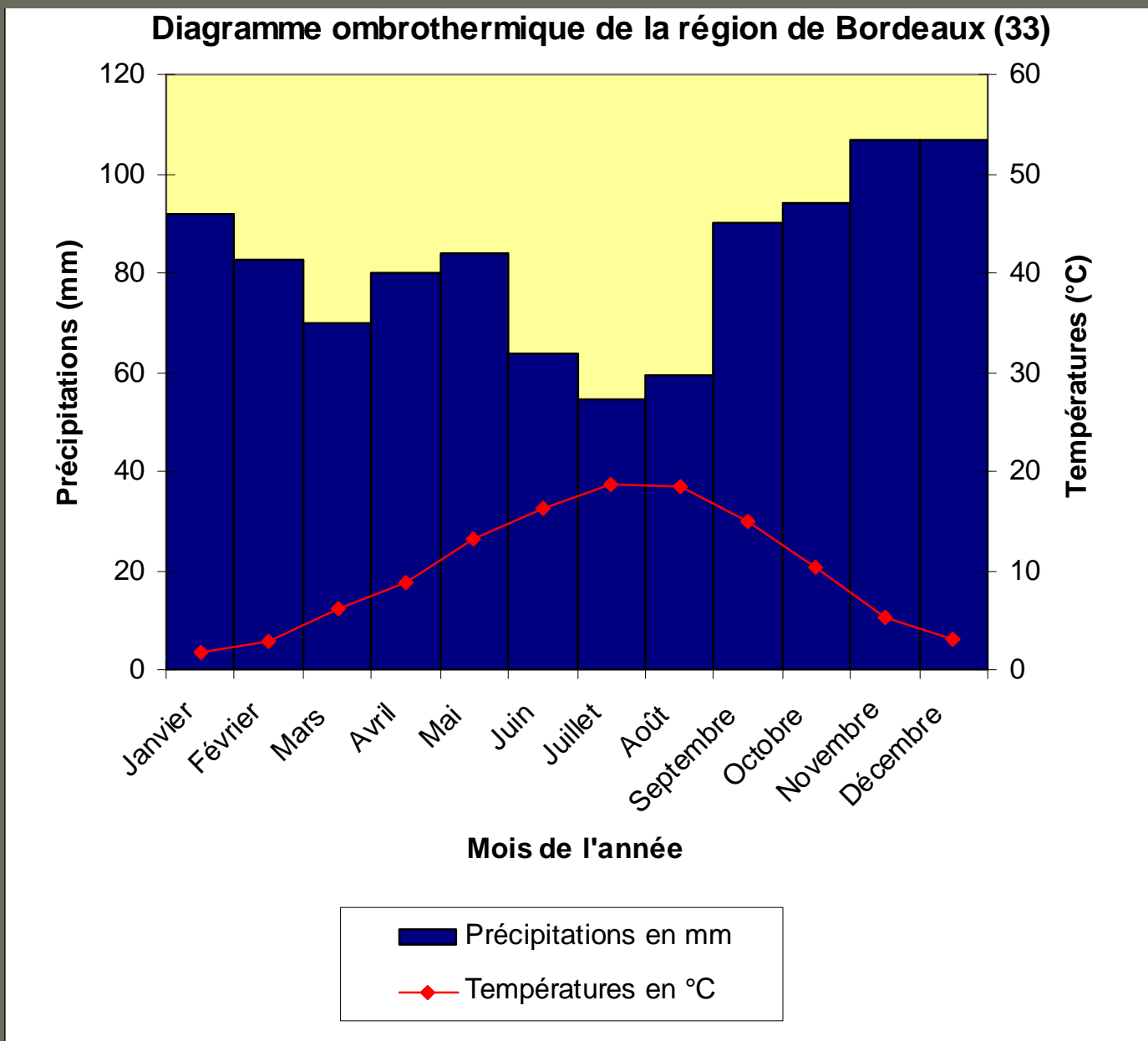
### 3.1. Climat océanique



**Figure 9 :** Comparaison des données climatiques d'une station en climat océanique (Rouen) et d'une station en climat continental (Des Moines, USA) : Données MétéoFrance pour Rouen (1971-2000)



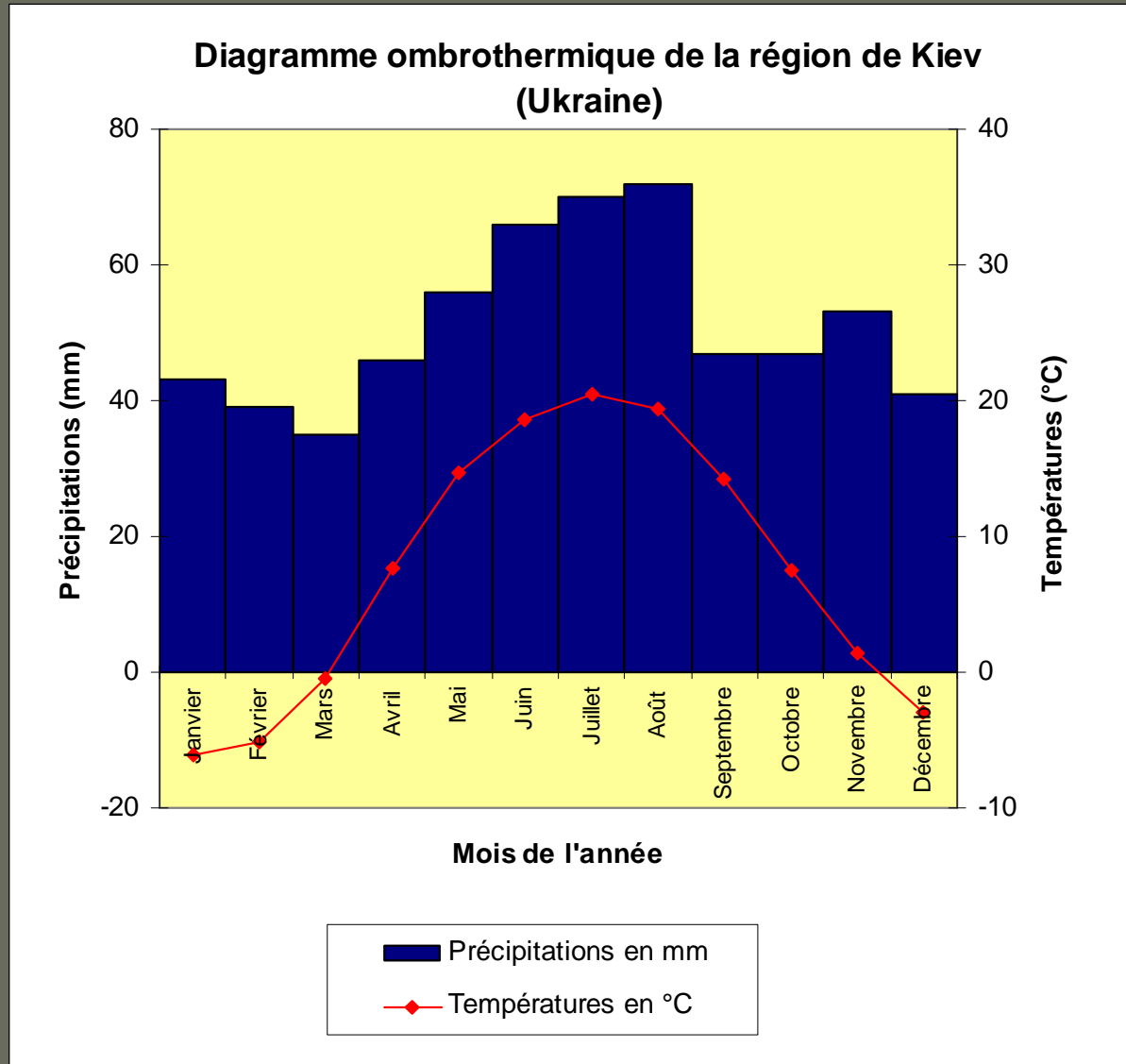
**Figure 10 :** Diagramme ombrothermique pour la région de Rouen ( période d'observation : 1971-2000) – Données Météofrance.



**Figure 11 :** Diagramme ombrothermique pour la région de Bordeaux ( période d'observation : 1971-2000) – Données Météofrance.

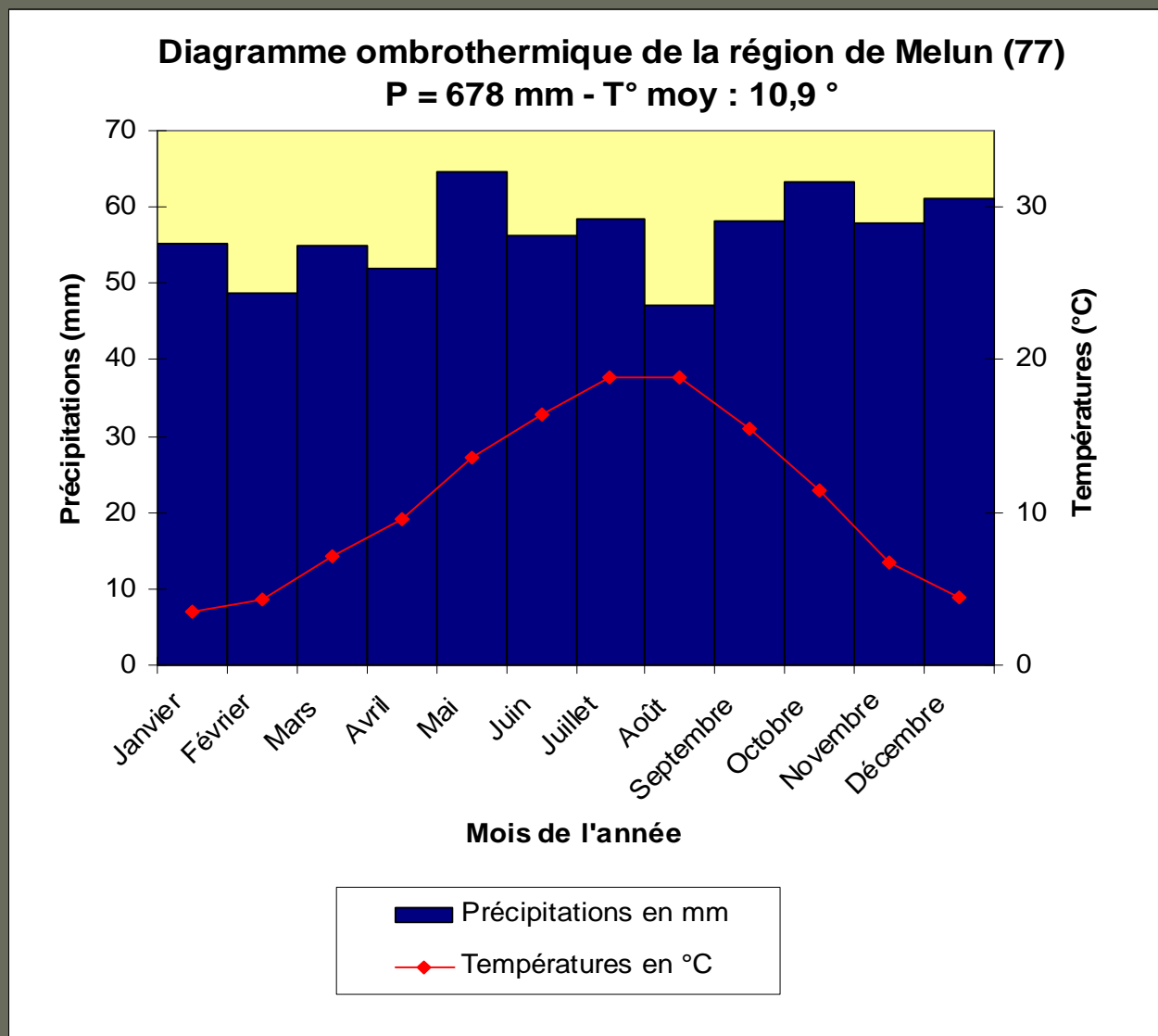
## 3.2. Climat continental

Figure 12 : Diagramme ombrothermique pour la région de Kiev



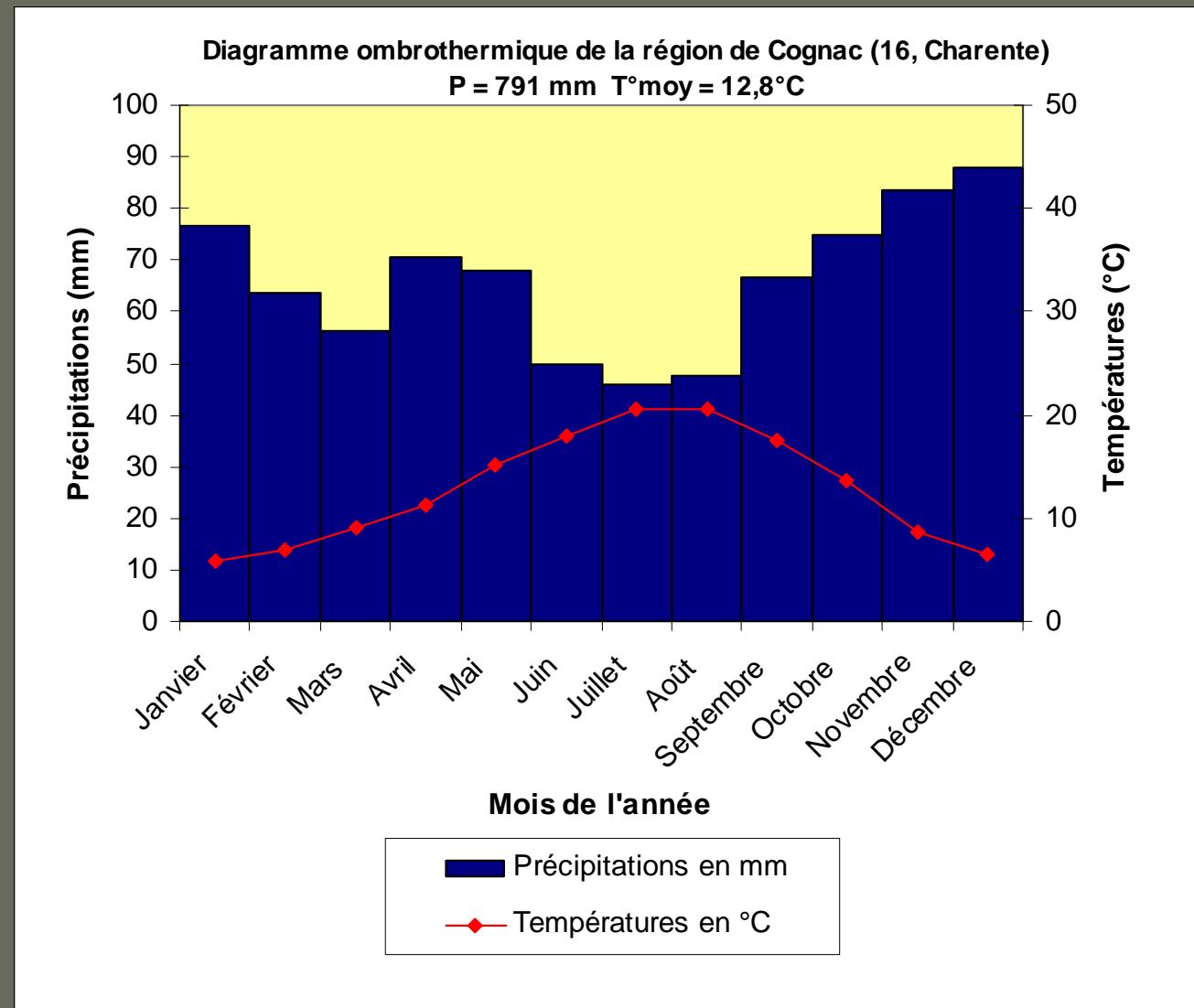
### 3.3. Climat océanique dégradé

#### 3.3.1 Bassin Parisien



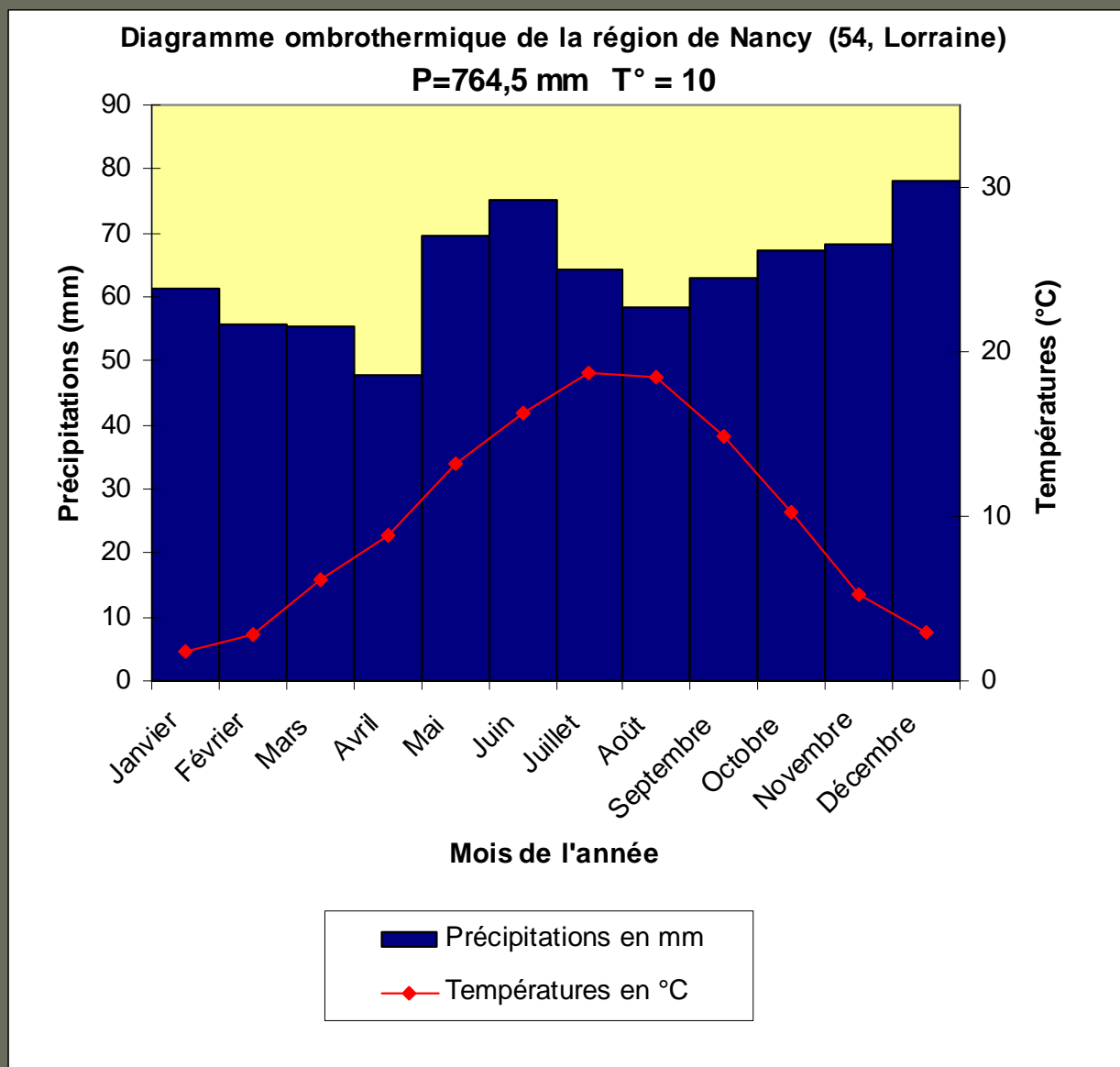
**Figure 13 :** Diagramme ombrothermique pour la région de Melun ( période d'observation : 1971-2000) – Données Météofrance.

### 3.3.2. La plaine du Sud-Ouest



**Figure 15 :** Diagramme ombrothermique pour la région de Cognac ( période d'observation : 1971-2000) – Données Météofrance.

### 3.4. Climat semi-continental



**Figure 16 :** Diagramme ombrothermique pour la région de Nancy ( période d'observation : 1971-2000) – Données Météofrance.

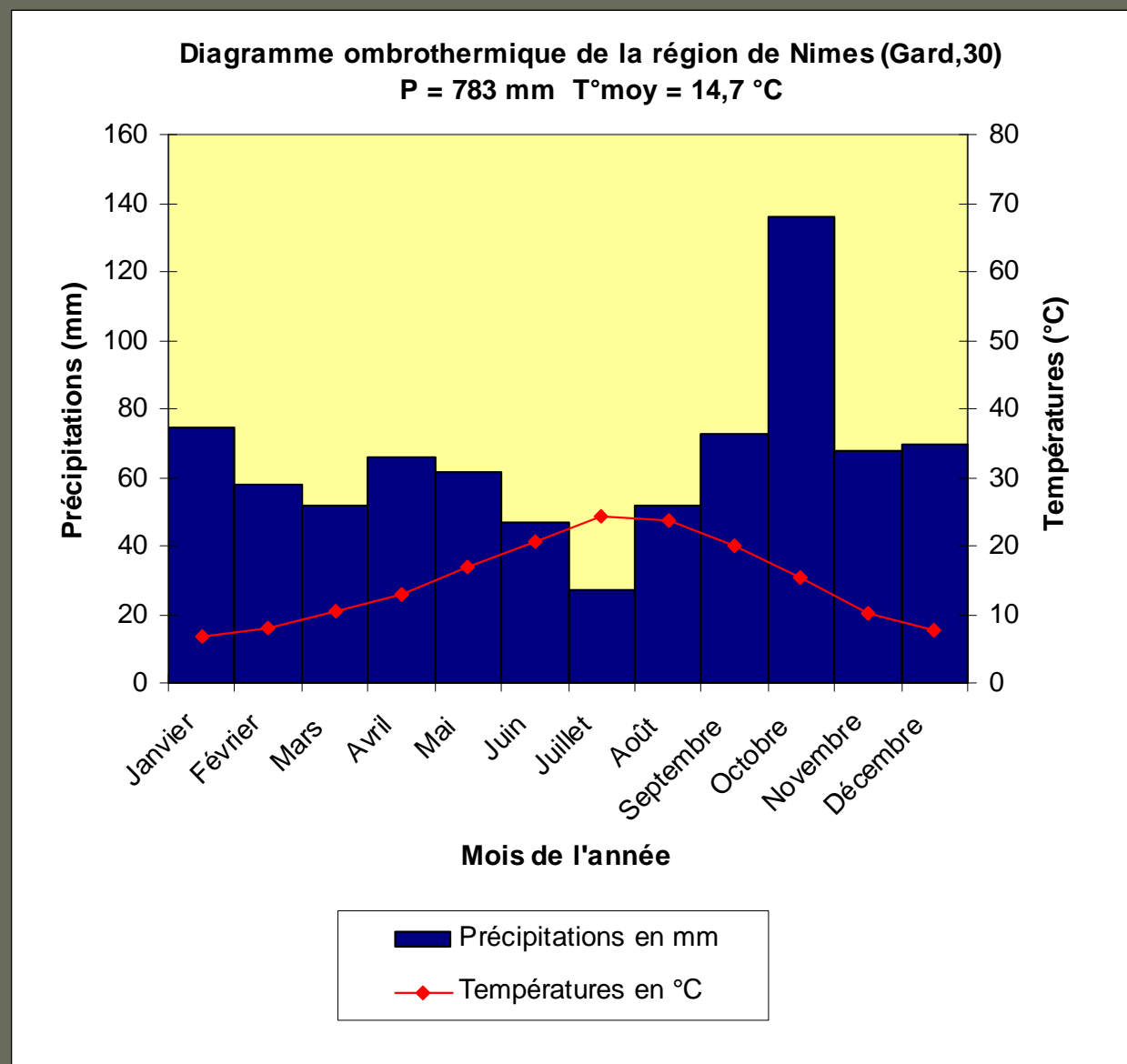
### 3.5. Climat de Montagne

Avec l'altitude, la température moyenne annuelle diminue ( 0,5 à 0,6°C par 100 m d'altitude) et pour les versants exposés aux vents pluvieux, les précipitations augmentent (2000mm à 1000 m d'altitude ; 3000 mm à 2000 m) jusqu'à l'optimum pluviométrique pour rediminuer ensuite

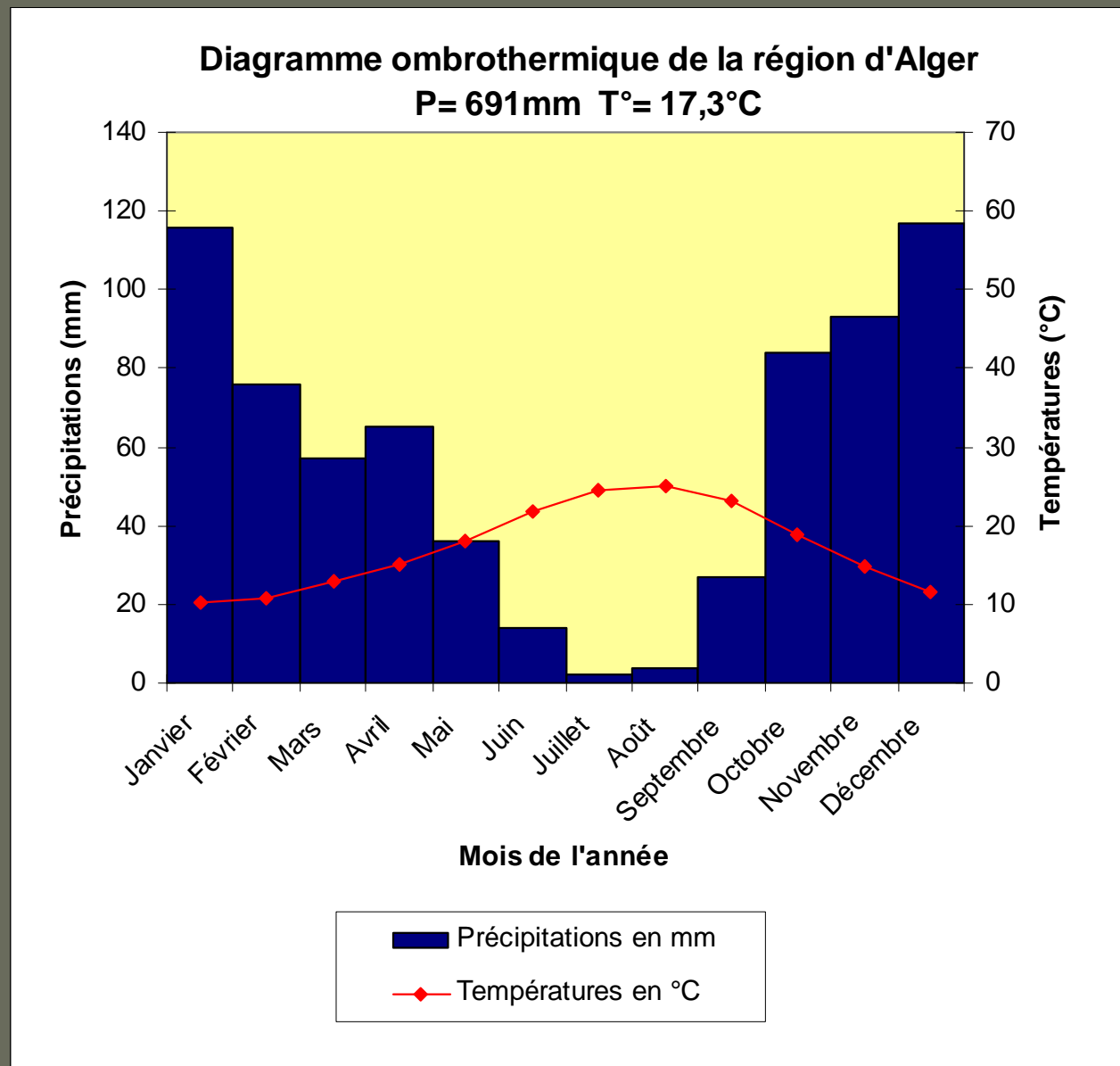
C'est en montagne que la notion de topoclimat prend toute son importance : la différence d'exposition au soleil entre un adret et un ubac crée des variations d'ensoleillement de température importantes sur quelques centaines de mètres



### 3.6. Climat méditerranéen



**Figure 17 :** Diagramme ombrothermique pour la région de Nîmes ( période d'observation : 1971-2000) – Données Météofrance.

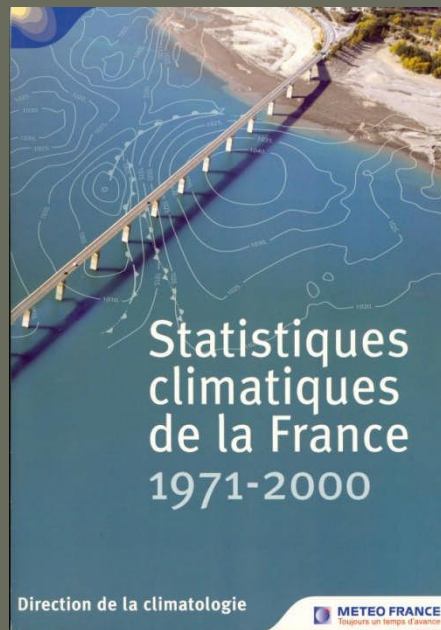


**Figure 18 :** Diagramme ombrothermique pour la région d'Alger

## IV. Sources d'informations

Les données climatiques pour une région données peuvent être obtenues soit :

- **En consultant les recueils** de fiches climatiques de Météo-France (disponible dans les CDI) :



**En commandant les fiches climatiques de la climathèque** (payant) sur le site internet de METEO France : <http://france.meteofrance.com/> ; espace professionnel

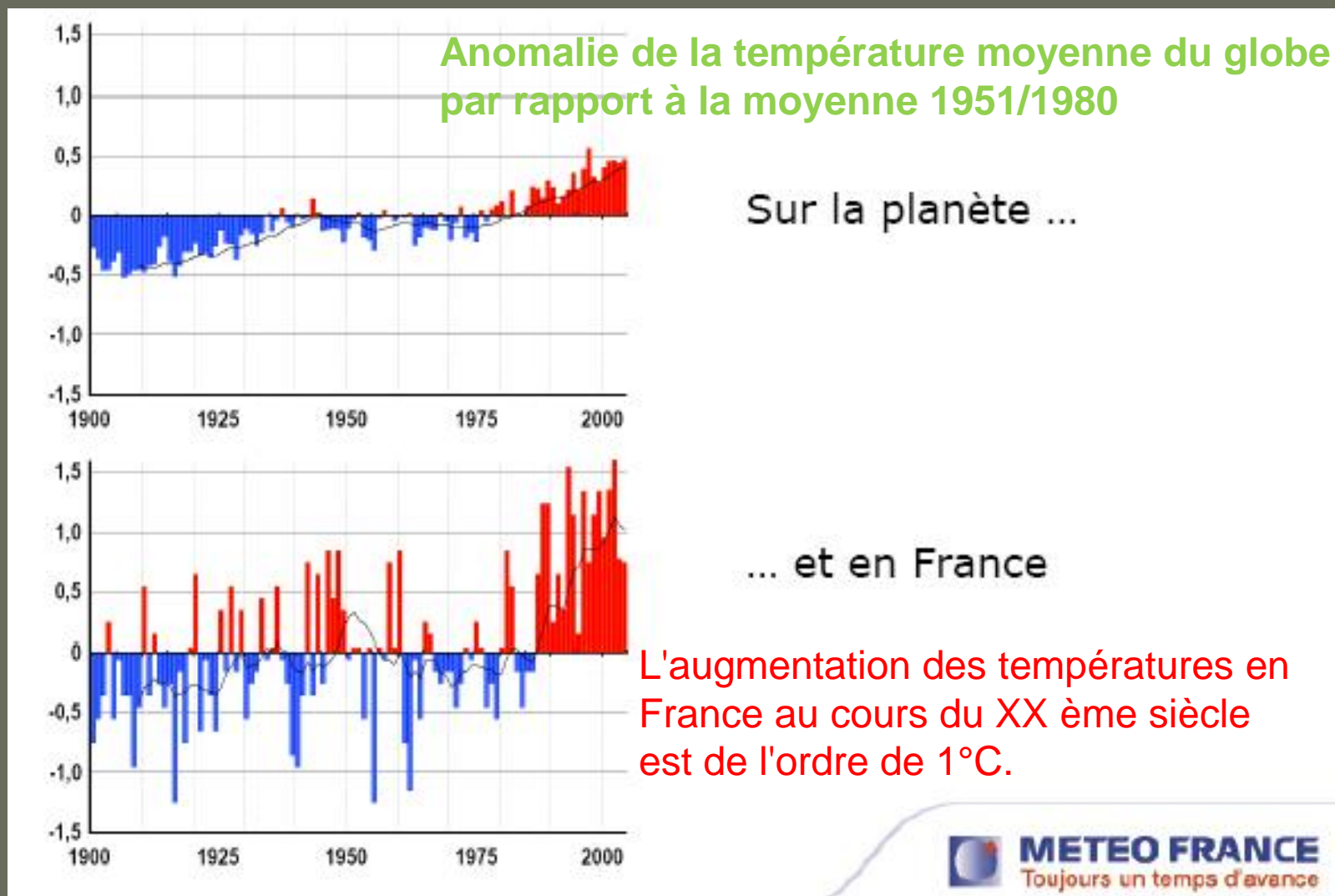
**En écrivant à la station METEO FRANCE concernée par le lieu d'étude** : voir adresses sur le site de METEO France ( la lettre de demande concernant les normales climatiques doit contenir le ou les nom(s) des station(s) météorologique(s) concernées , la liste des données désirées (normales climatiques ; rose des vents) , la photocopie de la carte d'étudiant, des infos concernant l'utilisation des données (dans le cadre d'un rapport de stage par exemple)).

**En consultant les catalogues de station ou autres études**

# V. Réchauffement climatique et conséquences sur le choix des essences

## 5.1. Constats et causes

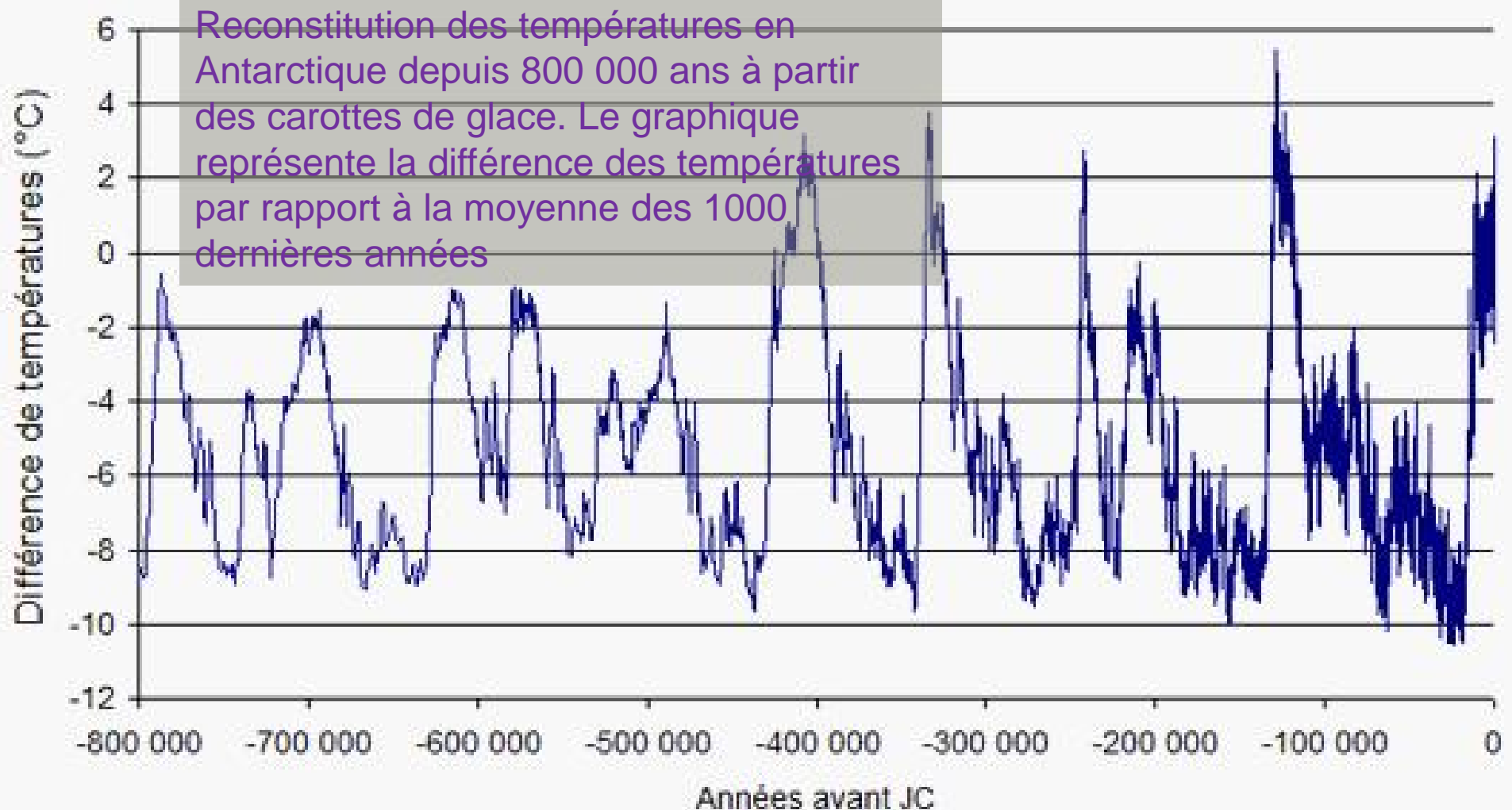
A.Constats



## 5.1. Constats et causes

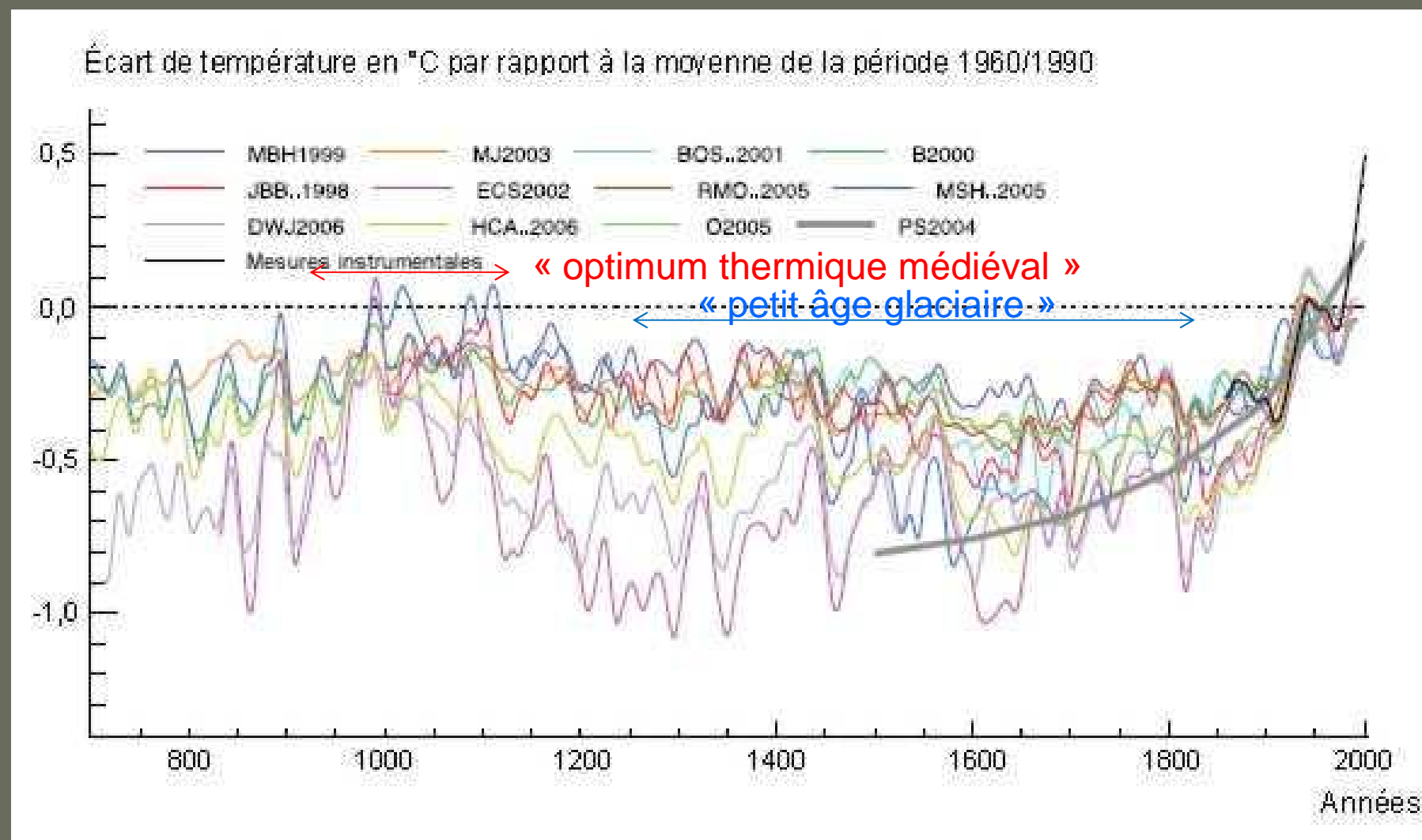
### A.Constats

Y a t il eu des variations par le passé ? OUI mais à des échelles de temps plus longues



## 5.1. Constats et causes

### A.Constats

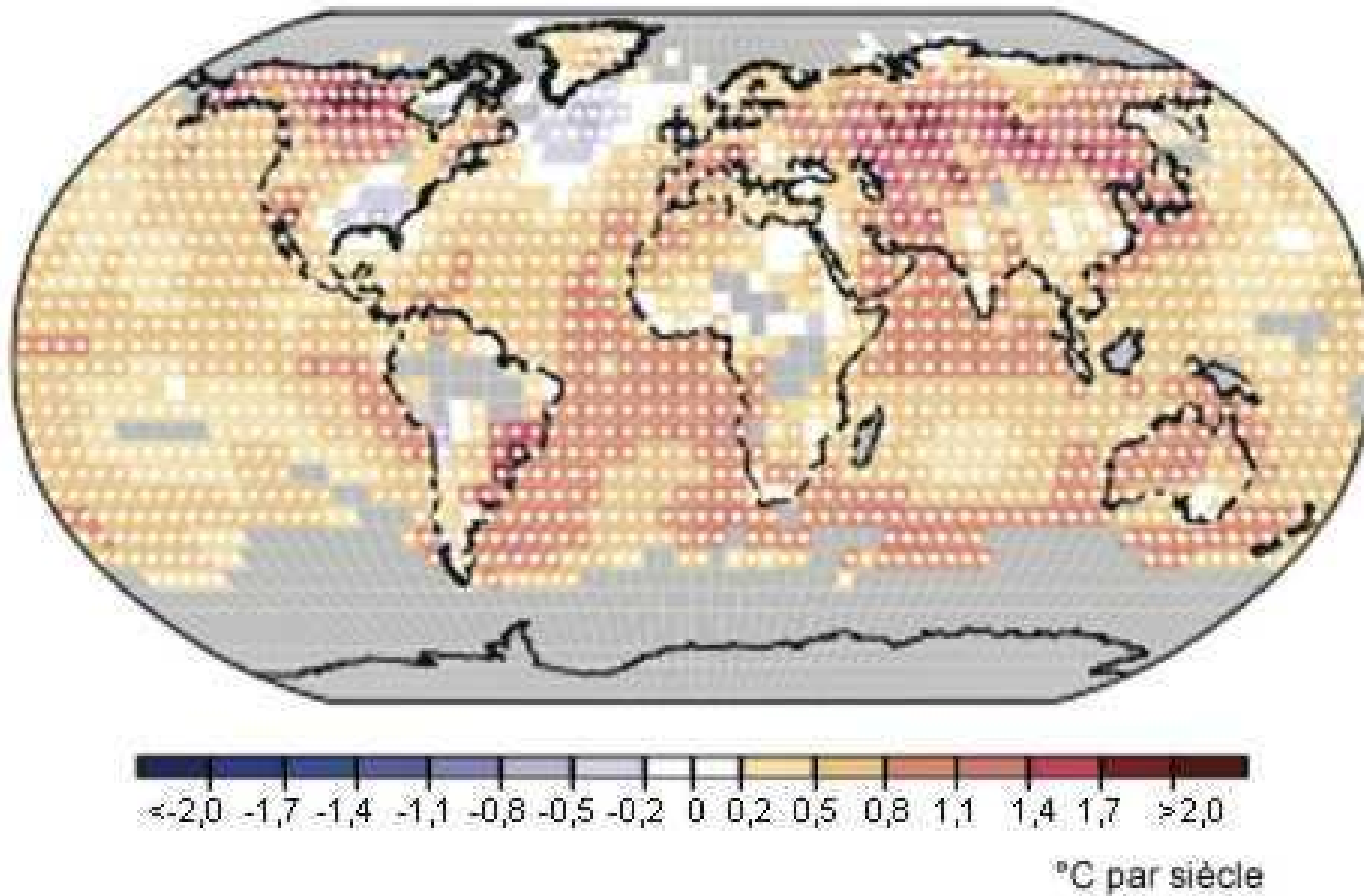


Les reconstructions de température des quinze derniers siècles reposent sur des techniques variées (isotopes divers prélevés dans différents matériaux...)

## 5.1. Constats et causes

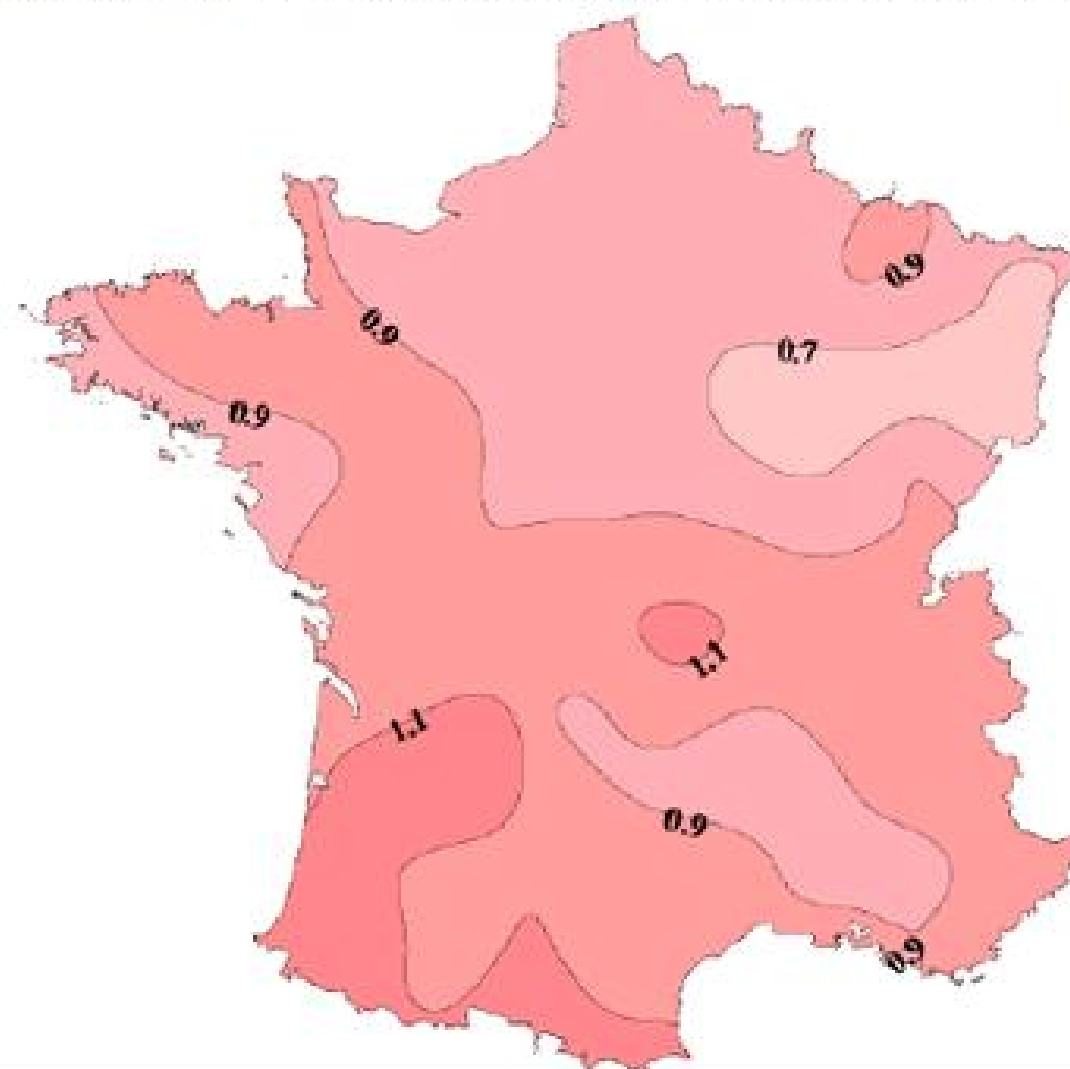
### A.Constats

La hausse des températures planétaires est loin d'être homogène (20eme siecle)





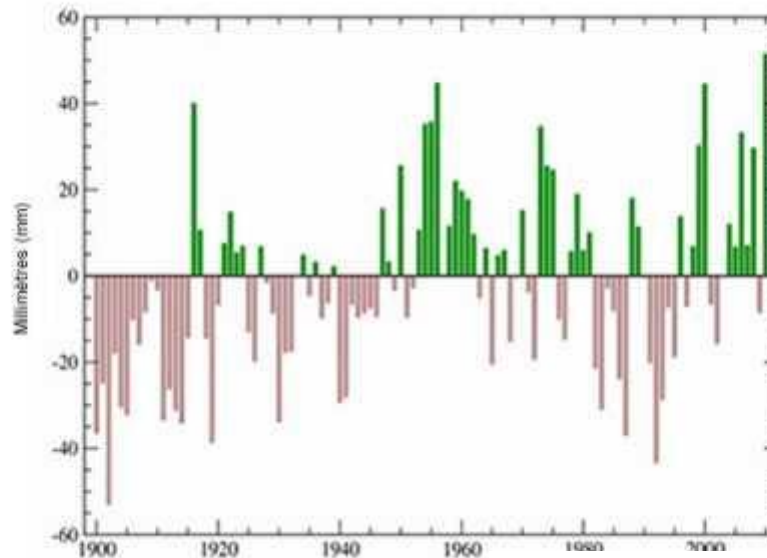
Augmentation de la température moyenne en France entre 1900 et 2000



## 5.1. Constats et causes

### A.Constats

Anomalies de précipitations de janvier à décembre

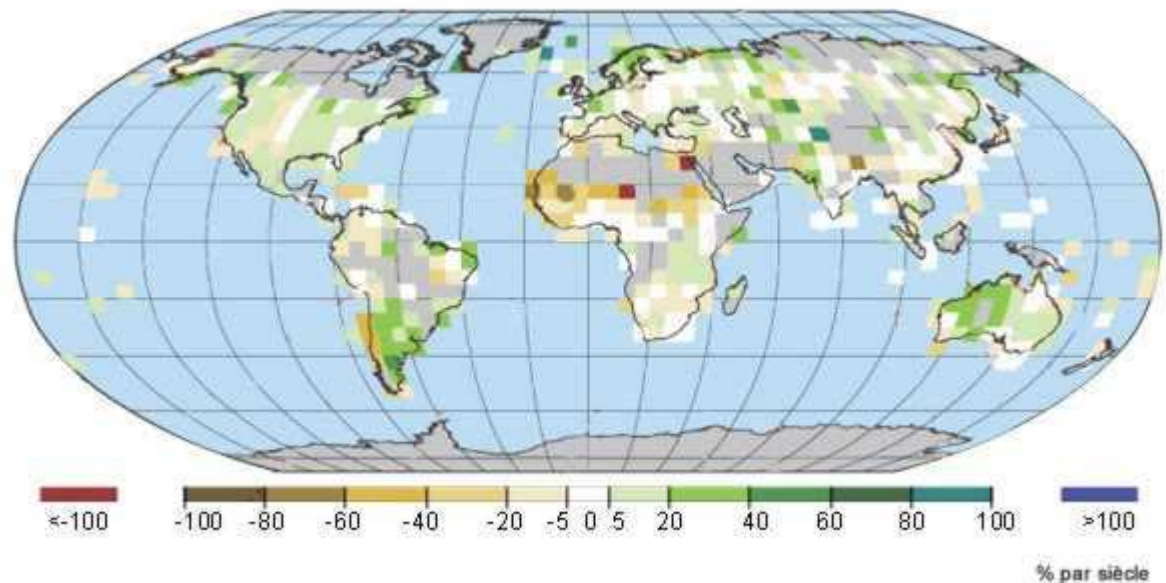


Les précipitations, en moyenne annuelle globale, ne montrent pas de tendance claire dans leur évolution au fil du XX<sup>e</sup> siècle, contrairement aux températures.

Moyenne annuelle globale des anomalies de précipitations durant le XX<sup>e</sup> siècle en mm

Evolution régionale des moyennes annuelles de précipitations 1900/2005

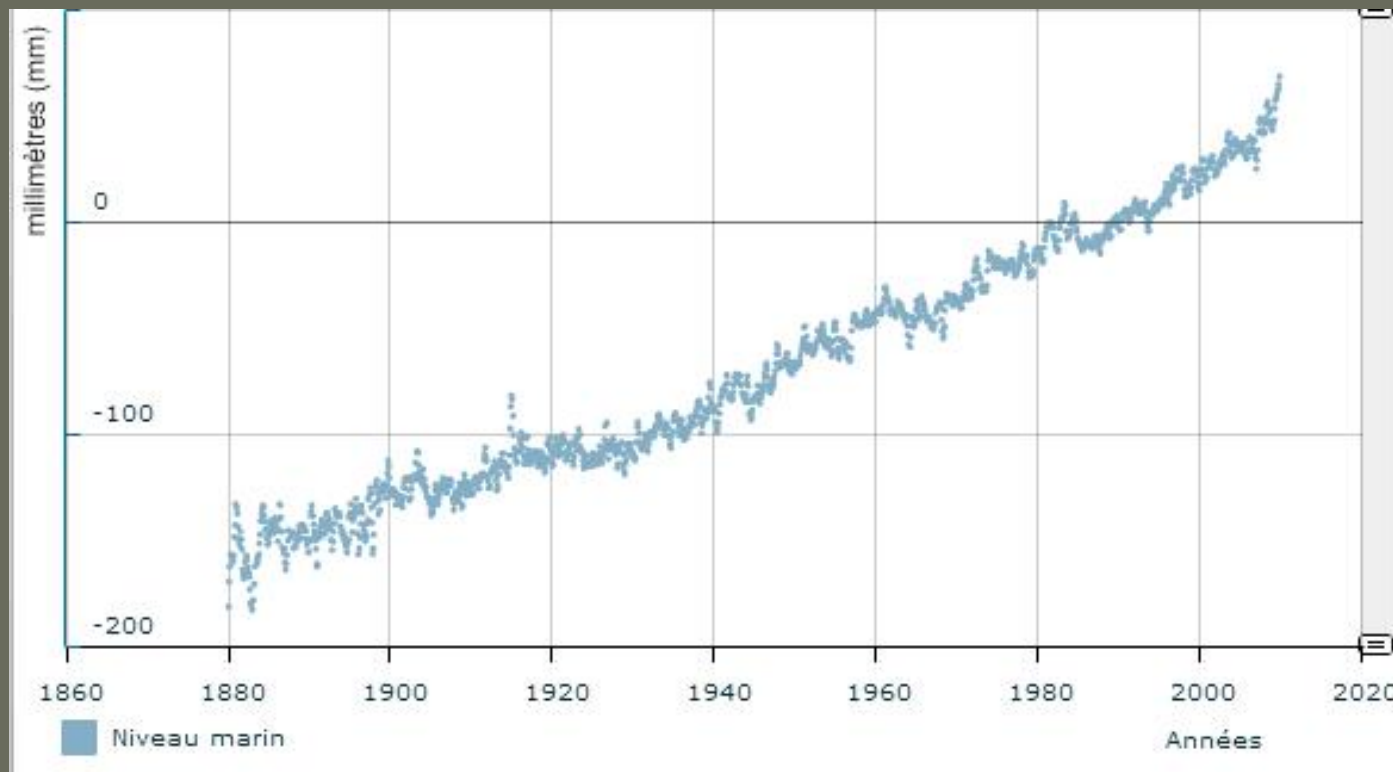
Mais effets régionaux !



## 5.1. Constats et causes

### A.Constats

le niveau des océans s'est élevé **de 12 à 22 cm** au cours du XXe siècle. Cette élévation s'est accélérée durant la seconde moitié du 20ème siècle, puisque le niveau moyen de la mer a crû de l'ordre de 1,8 mm (entre 1,3 à 2,3 mm) par an de 1961 à 2003, et encore plus rapidement de 1993 à 2003, l'élévation étant de l'ordre de 3,1 mm (entre 2,4 à 3,8 mm) par an



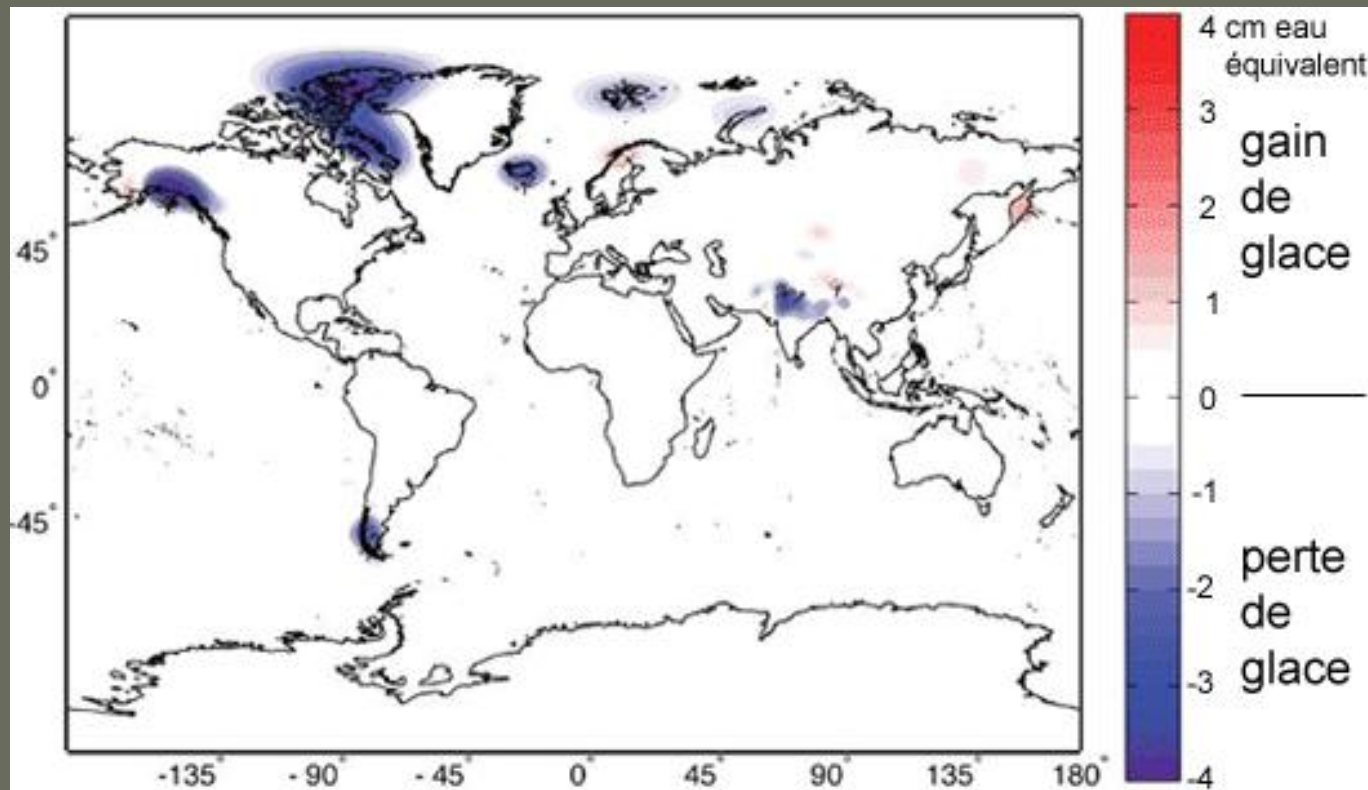
Cette élévation provient en premier lieu de la dilatation thermique des eaux océaniques consécutive au réchauffement planétaire, et dans une moindre mesure, de la fonte des glaciers continentaux.

## 5.1. Constats et causes

A.Constats

### Évolution des glaciers de montagne entre 2003 et 2010

Presque partout dans le monde, les glaciers de montagne ont reculé au 20ème siècle : au Canada, dans les Alpes, en Asie et en Afrique, mais également dans les Andes et en Indonésie.



# Impacts du changement climatique sur la forêt

- Ravageurs :
  - Migration de la chenille processionnaire du pin

1985



2005

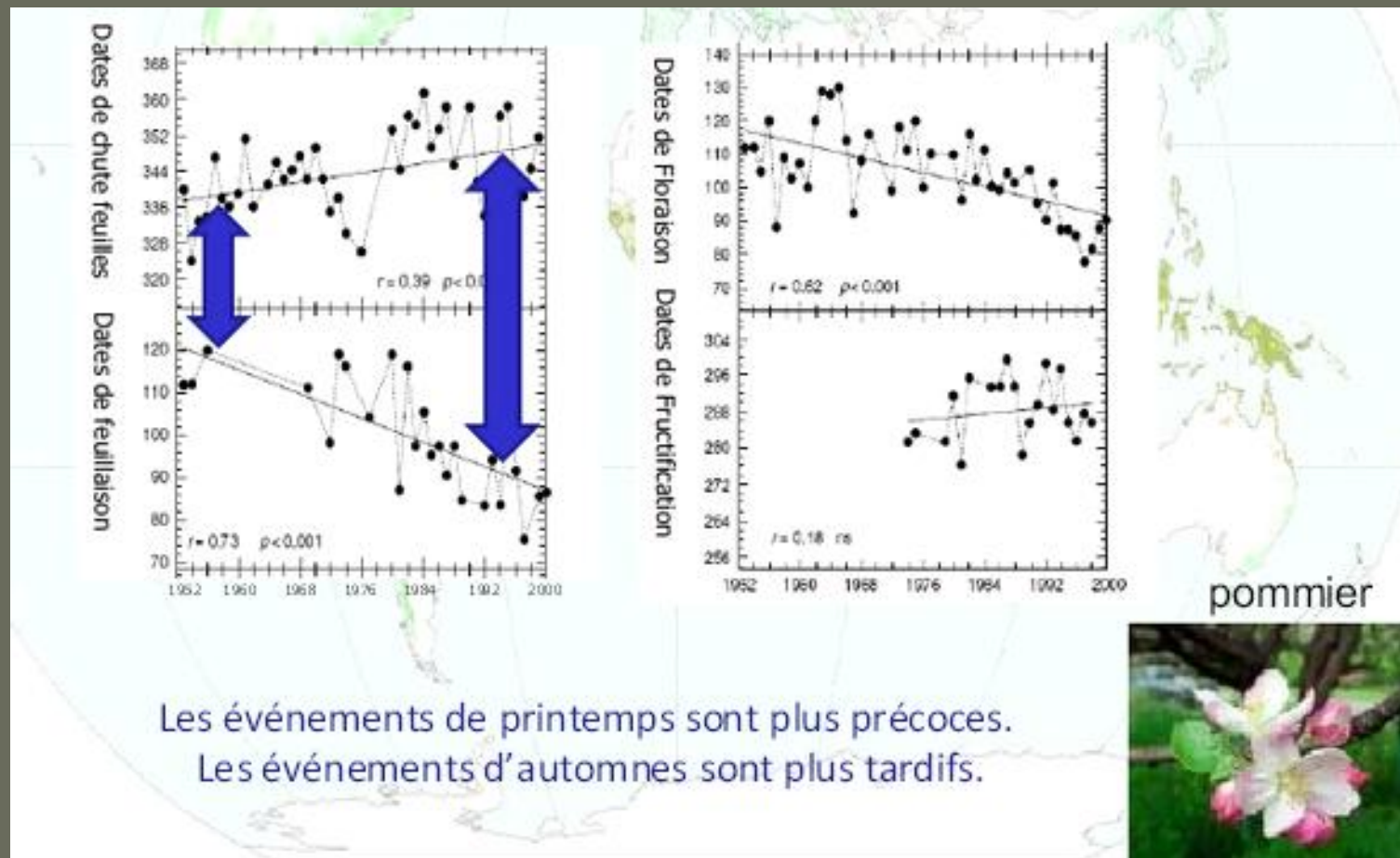


INRA, 2006

## 5.1. Constats et causes

### A.Constats

#### INFLUENCES SUR LES RYTHMES SAISONNIERS DE LA VEGETATION





## 5.1. Constats et causes

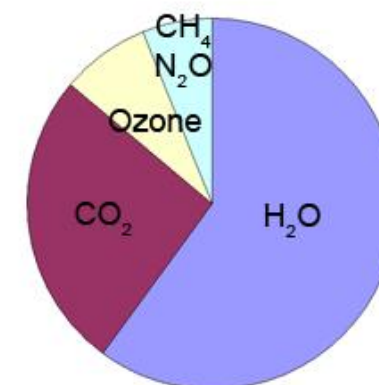
## B.Causes

gaz	concentration (ppmv)	concentration (%)
Azote (N <sub>2</sub> )	780840	78,084
Oxygène (O <sub>2</sub> )	209460	20,946
Argon (Ar)	9340	0,934
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	391	0,0391
Néon (Ne)	18,18	
Hélium (He)	5,24	
Méthane (CH <sub>4</sub> )	1,745	
Krypton (Kr)	1,14	
Hydrogène (H <sub>2</sub> )	0,55	
Oxyde nitreux (N <sub>2</sub> O)	0,3	
Ozone (O <sub>3</sub> )	0,04	
Eau (vapeur H <sub>2</sub> O)	Très variable : de 1% dans les régions polaires à 4% dans les régions équatoriales	

280 ppmv en 1800,  
391 en 2010

gaz à effet de serre

	Forçage radiatif (W/m <sup>2</sup> )	Contribution à l'effet de serre (en %)
Eau (vapeur)	75	60
CO <sub>2</sub>	32	26
Ozone	10	8
N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>	8	6



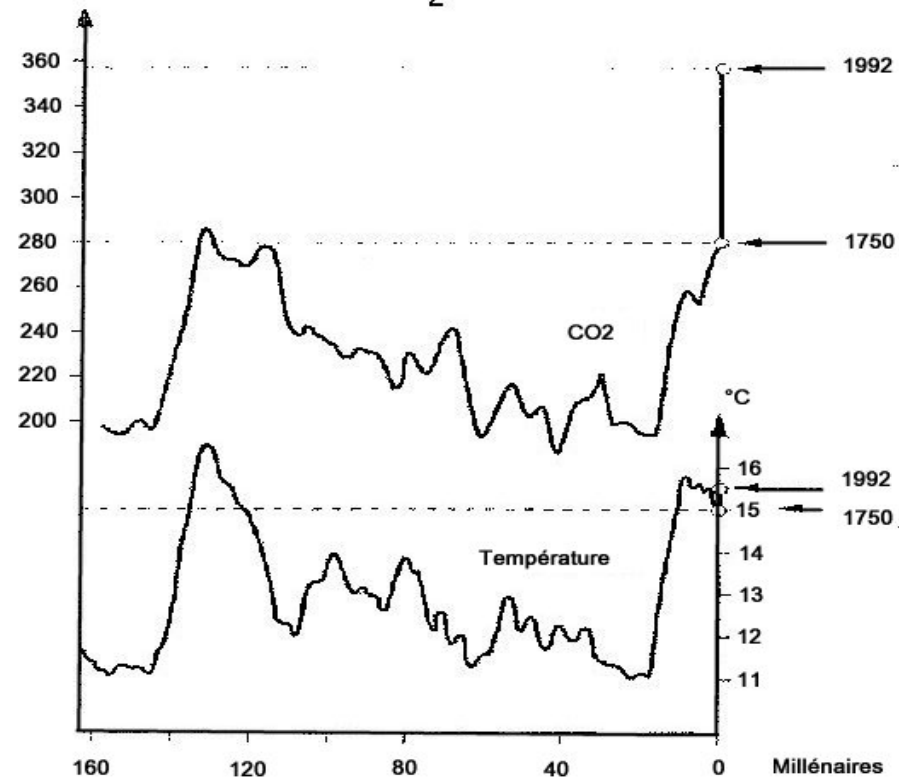
Dans les conditions atmosphériques actuelles

## 5.1. Constats et causes

### B.Causes

La corrélation très forte entre l'augmentation du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (activités humaines) et l'augmentation de la température exprimée par la courbe jointe constitue une preuve irréfutable.

Lien entre émissions de CO<sub>2</sub> et réchauffement de la planète





## 5.2. Prévisions

2011

Elaborations de Scénarios sur le **pouvoir radiatif** (pouvoir chauffant de l'atmosphère) **des différents composants atmosphériques.**

**RCPs**, pour "Representative Concentration Pathways"



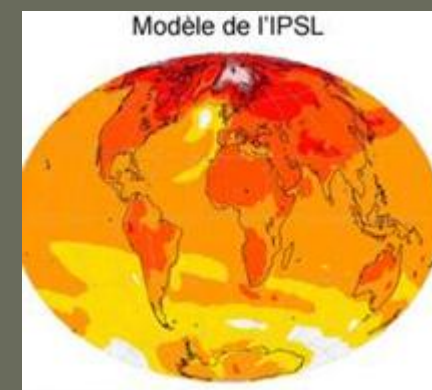
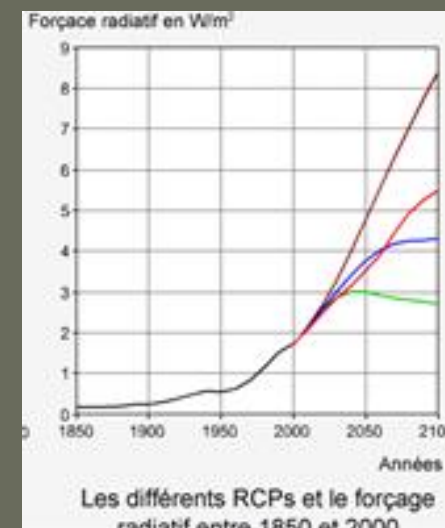
Ces RCPs sont utilisés par les climatologues pour faire des scénarios climatiques, décrivant la température, les précipitations, et autres variables climatiques.

Le pouvoir radiatif des RCPs est issu des concentrations des gaz à effet de serre et autres polluants, qui viennent elles-mêmes des émissions de ces produits et de l'utilisation des terres (déforestation reforestation, évolution de l'espace urbain et de l'espace agricole...)

2013



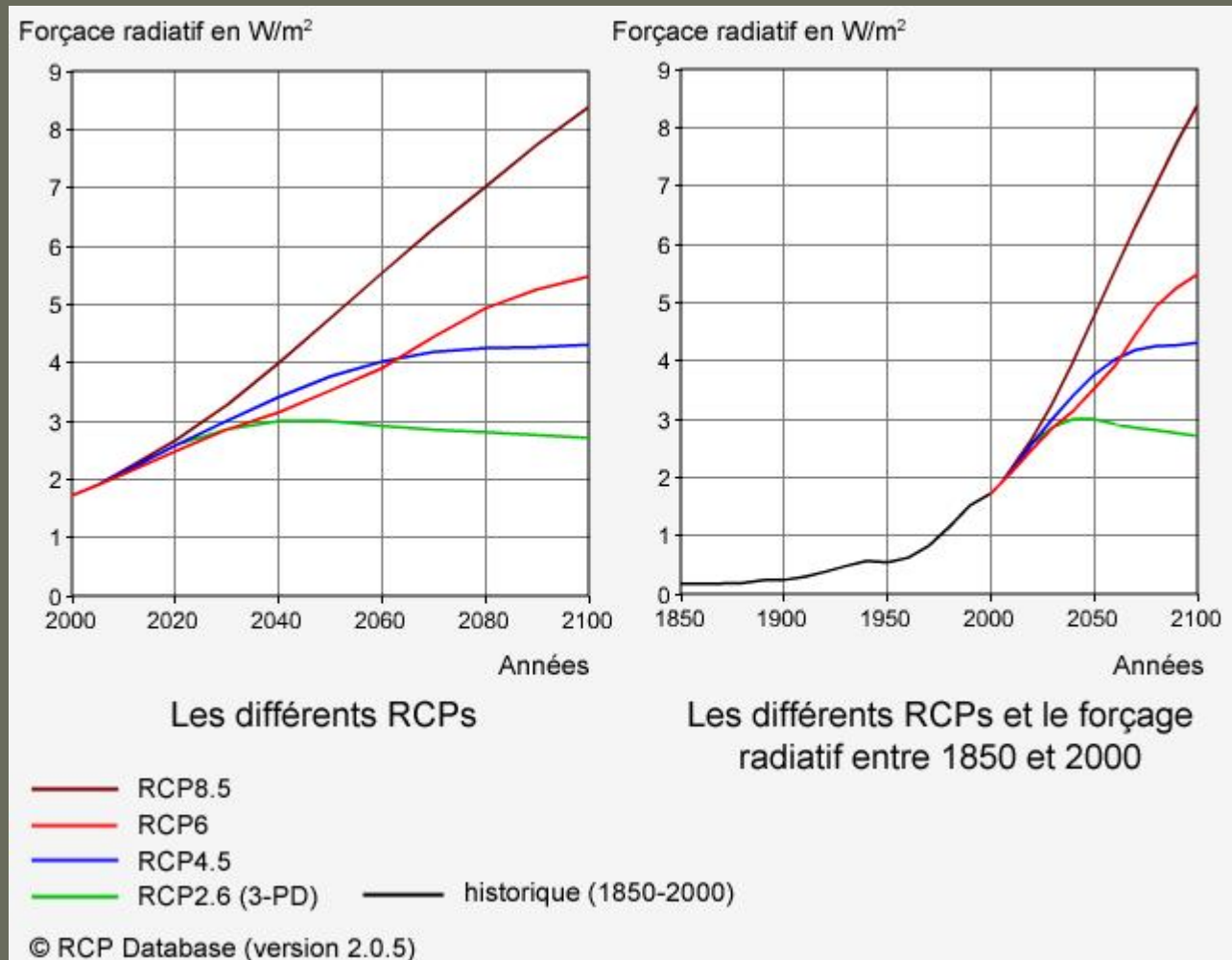
À partir des RCPs, on déduit de nouveaux scénarios d'émissions des gaz à effet de serre, puis des scénarios socio-économiques (SSP) qui conduisent à ces émissions



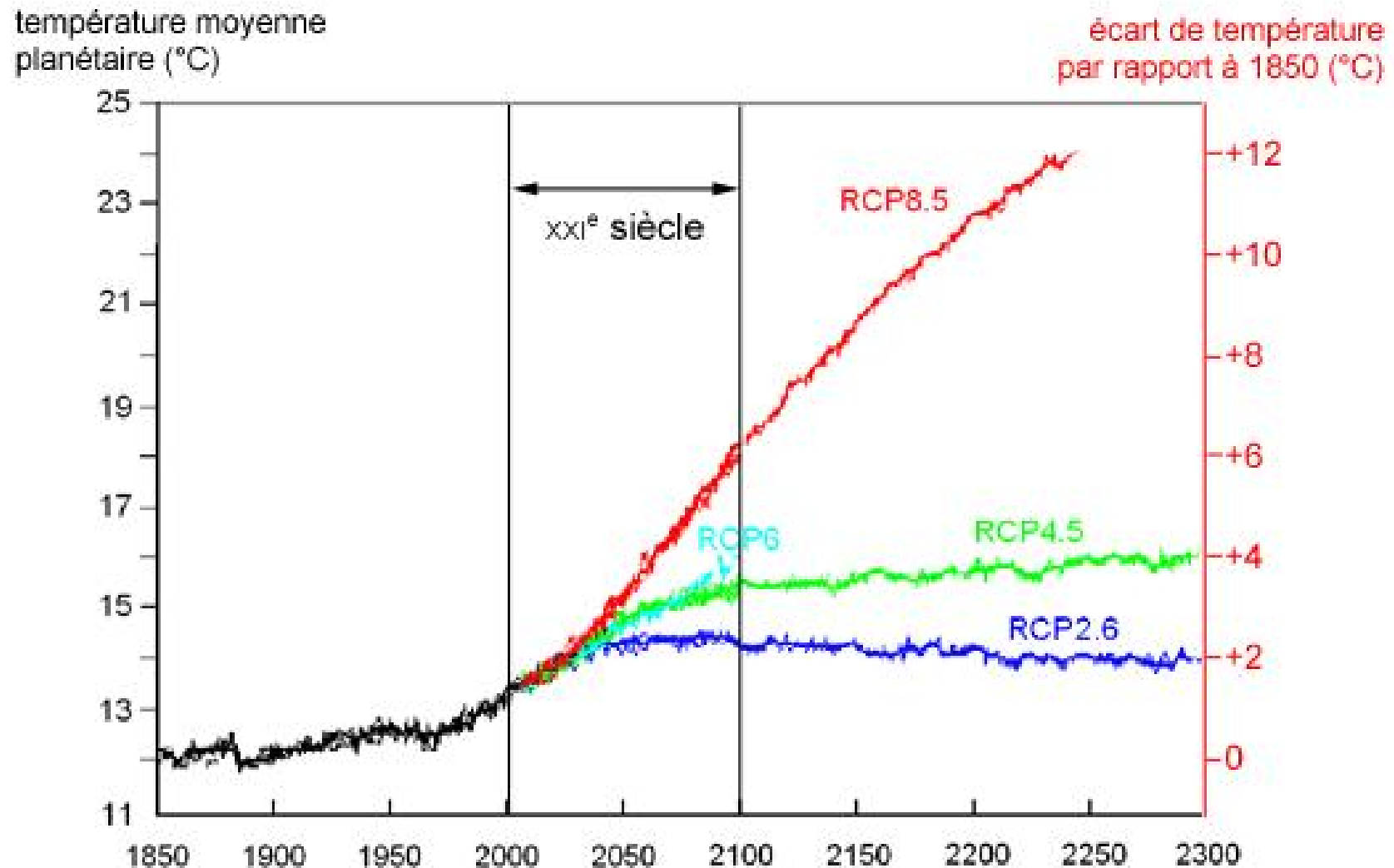
## 5.2. Prévisions

Quatre familles de RCPs (Representative Concentration Pathways) ont été déterminées : RCP8.5, RCP6, RCP4.5 et RCP2.6. La valeur suivant les lettres RCP correspond au forçage radiatif atteint vers 2100, en  $\text{W/m}^2$  (442 ppmv en 2010)

RCP 4.5 : en 2100, on atteint un forçage radiatif autour de 4,5  $\text{W/m}^2$ , ce qui correspond à une concentration équivalente en  $\text{CO}_2$  autour de 650 ppmv. La stabilisation se fait après 2100, mais commence vers 2060.



## 5.2. Prévisions

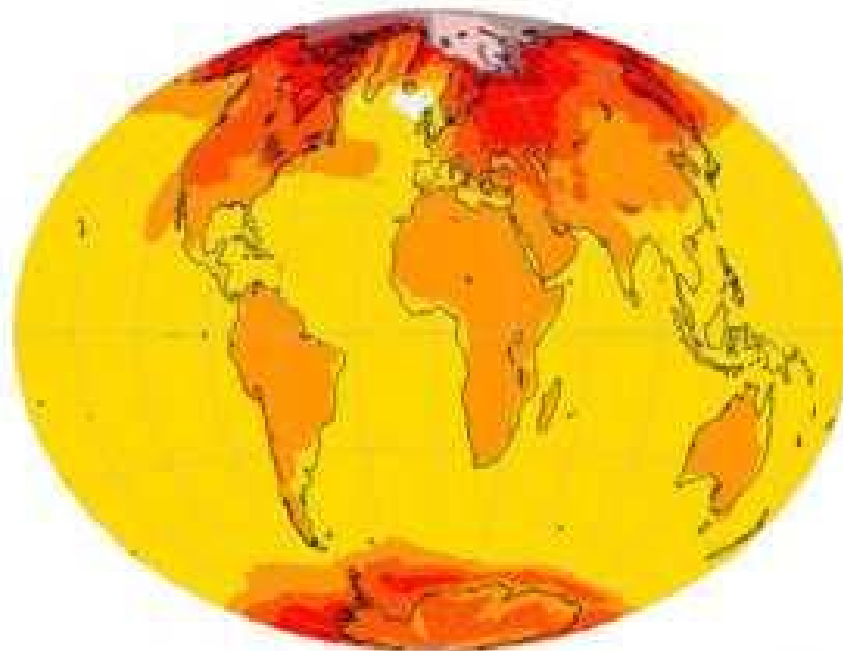


Évolution de la température globale à la surface de la Terre pour les quatre nouveaux scénarios d'évolution du forçage radiatif, selon le modèle de l'IPSL ([Institut Pierre-Simon Laplace](#))

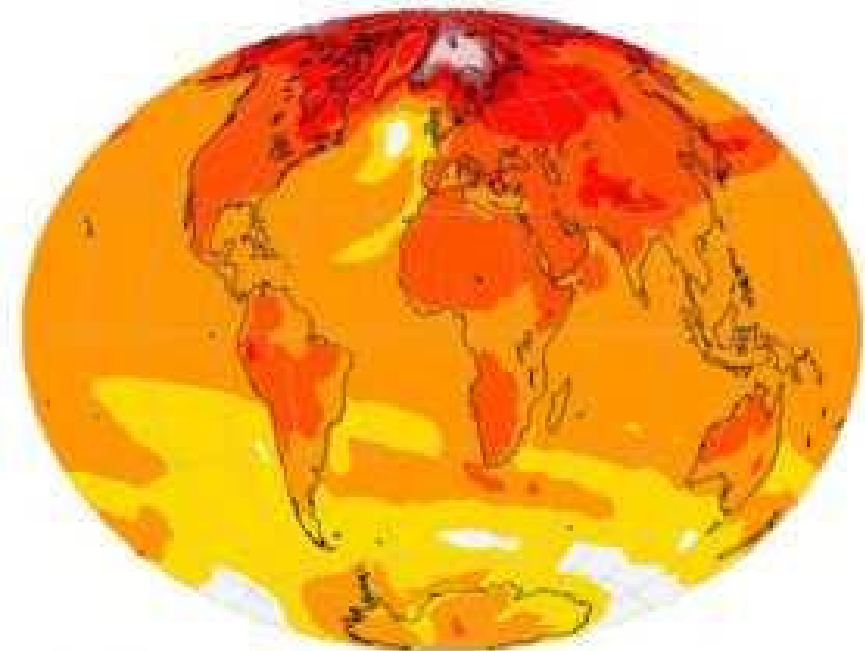
## 5.2. Prévisions

Changement de température entre 1971-2000 et 2071-2100  
pour le scénario RCP4.5

Modèle du CNRM-CERFACS



Modèle de l'IPSL



© LSCE/IPSL, CEA/CNRS/UVSQ

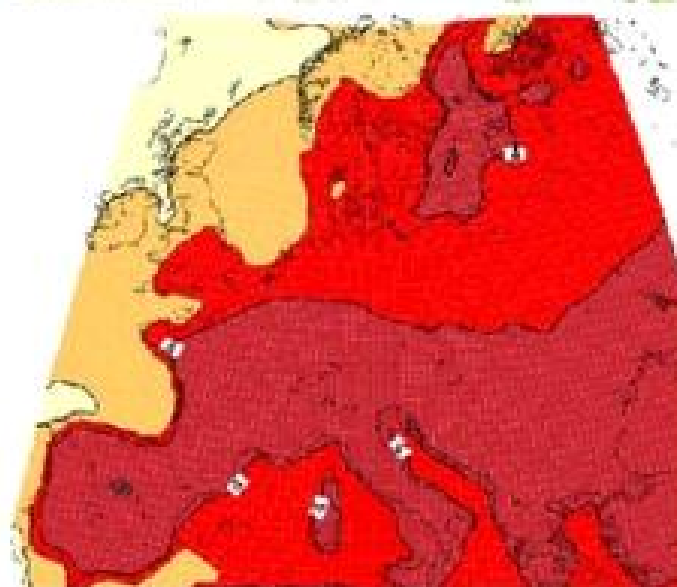
## 5.2. Prévisions

### Le climat du 21<sup>e</sup> siècle

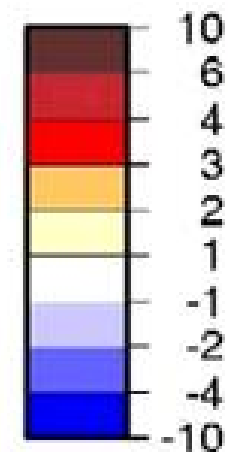
Température moyenne en France (°C)

Hiver

Eté

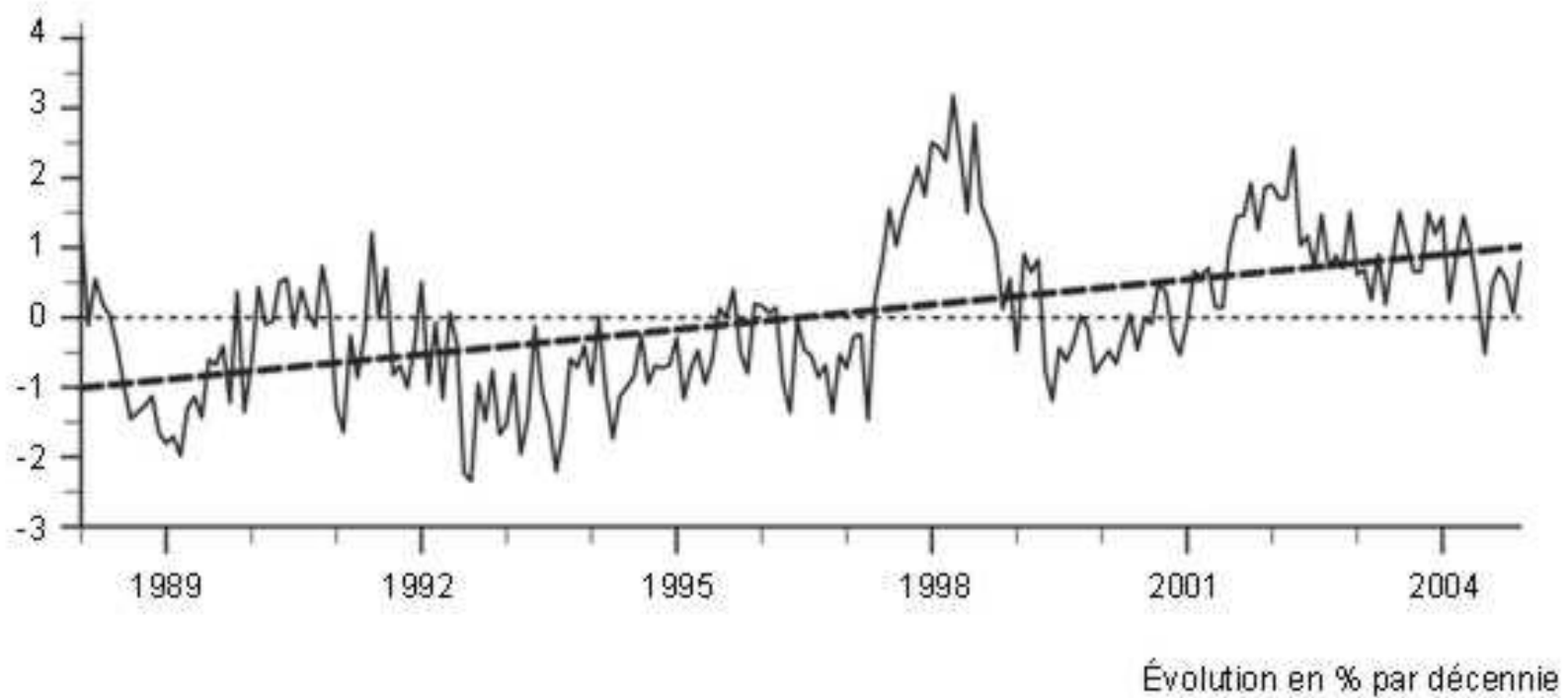


En °C



## 5.2. Prévisions

**Evolution de la vapeur d'eau au-dessus de l'océan  
1988/2005 en pour cent par décennie**



## 5.2. Prévisions

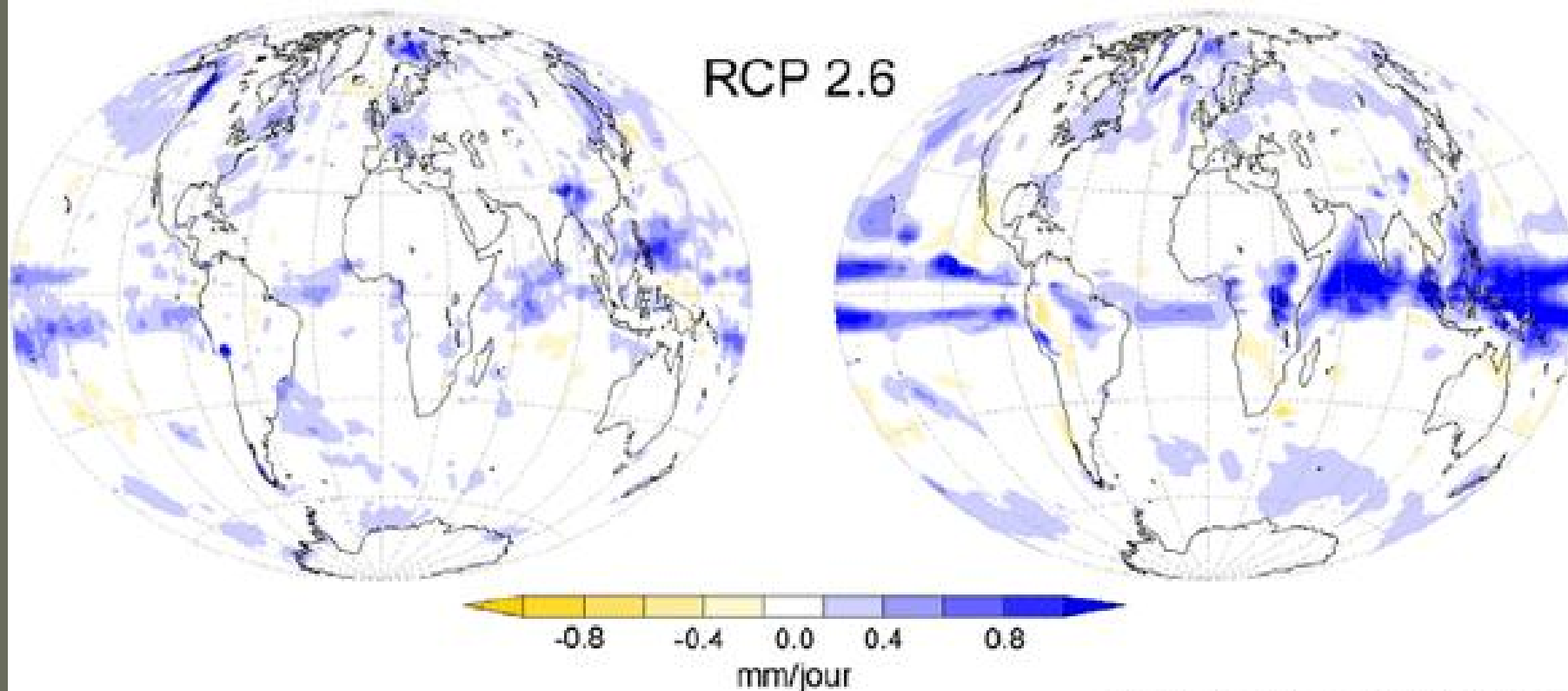
Le réchauffement atmosphérique devrait néanmoins s'accompagner d'une augmentation de l'eau précipitable (essentiellement sous forme de vapeur) au cours du siècle à venir. Ainsi, un réchauffement de 2°C devrait accroître le contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère d'une douzaine de pourcents.

### Changement de précipitations entre 1961-1990 et 2071-2100

Modèle du CNRM-CERFACS

Modèle de l'IPSL

RCP 2.6





## 5.2. Prévisions

les deux modèles français montrent :

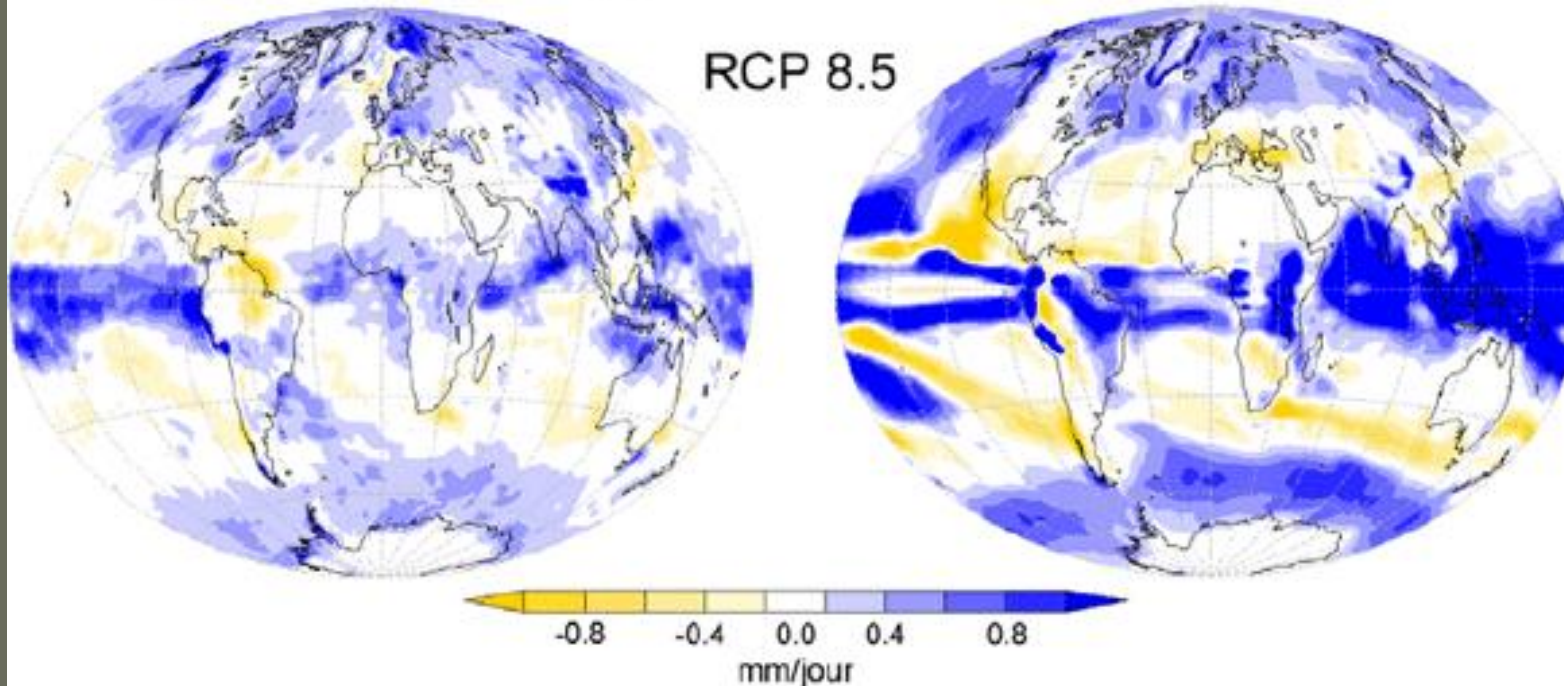
- une **augmentation significative des précipitations annuelles aux hautes latitudes** ainsi que sur l'**océan Pacifique équatorial** ;
- et une **diminution dans les latitudes subtropicale et du domaine méditerranéen**

Changement de précipitations entre 1961-1990 et 2071-2100

Modèle du CNRM-CERFACS

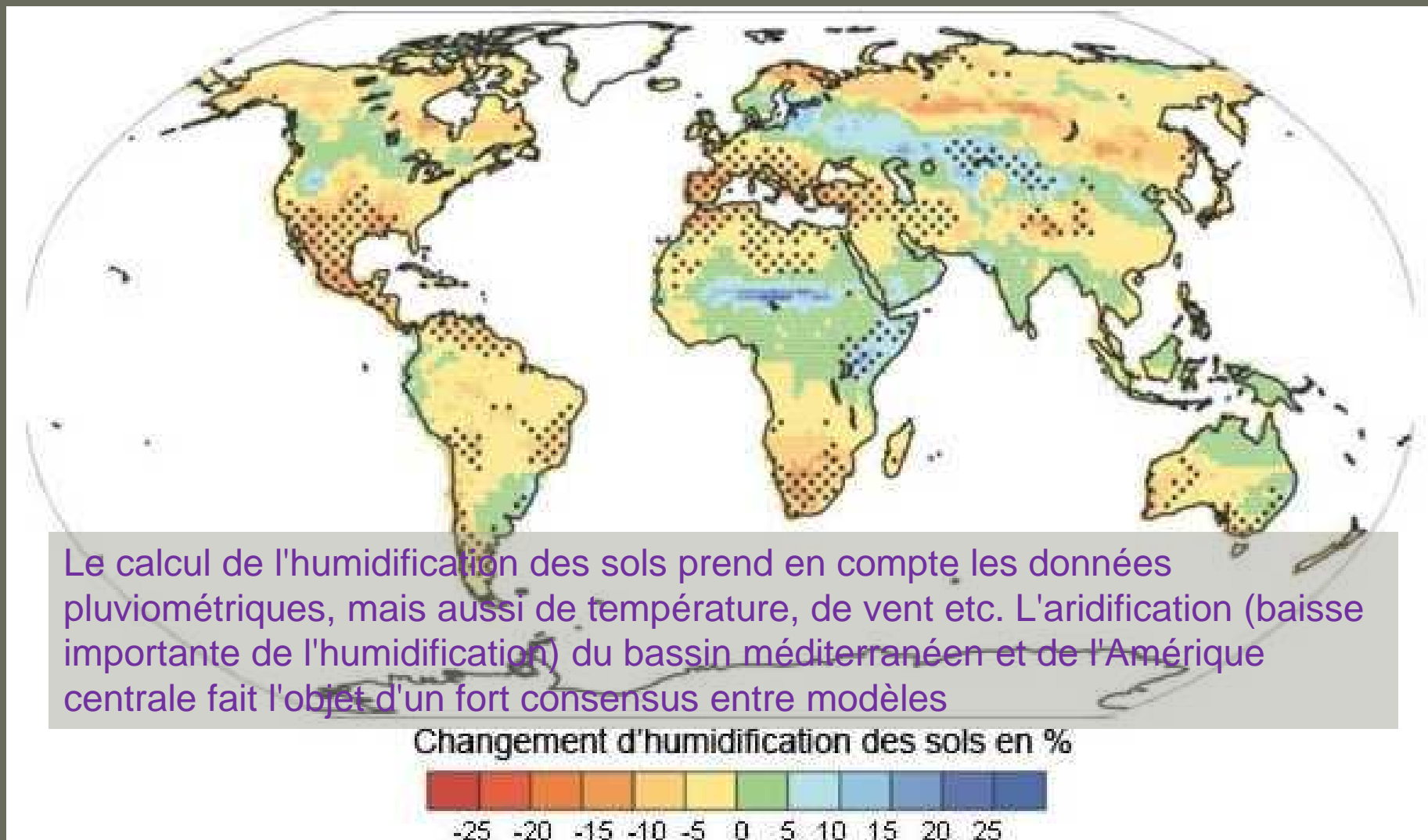
Modèle de l'IPSL

RCP 8.5





## 5.2. Prévisions

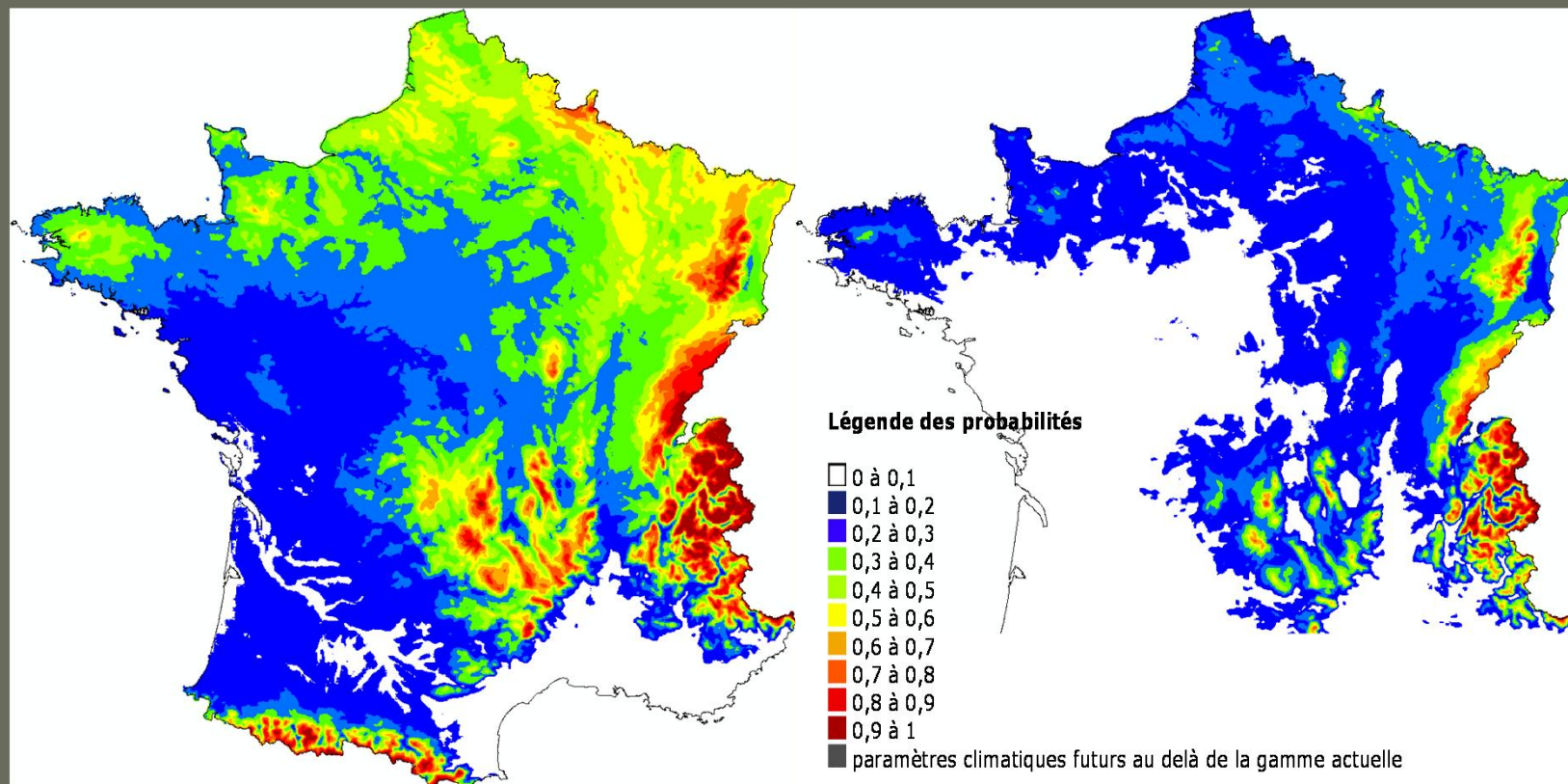


### 5.3. Conséquences sur nos forêts

## REPARTITION DU HETRE

2000

2100

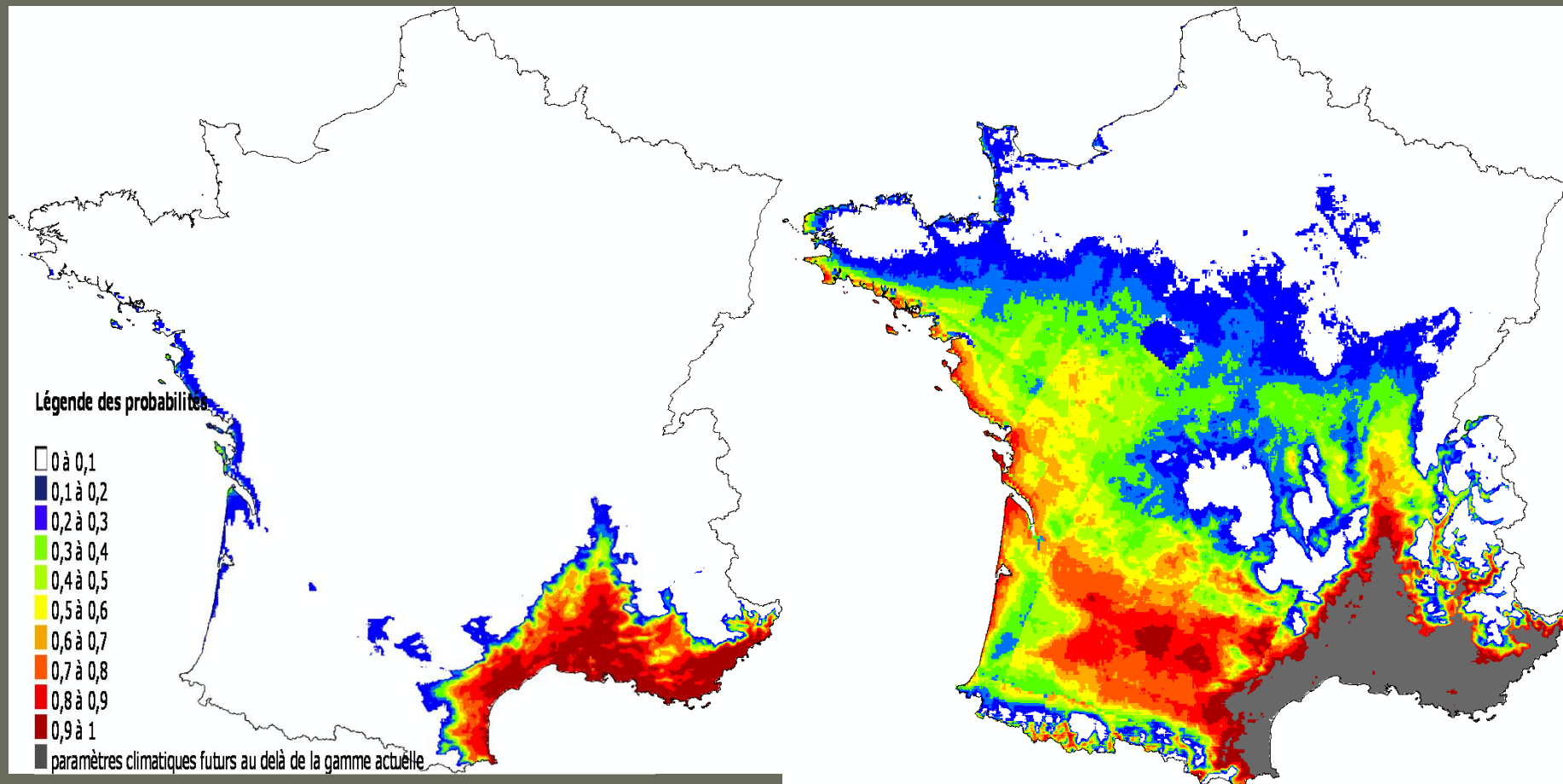


### 5.3. Conséquences sur nos forêts

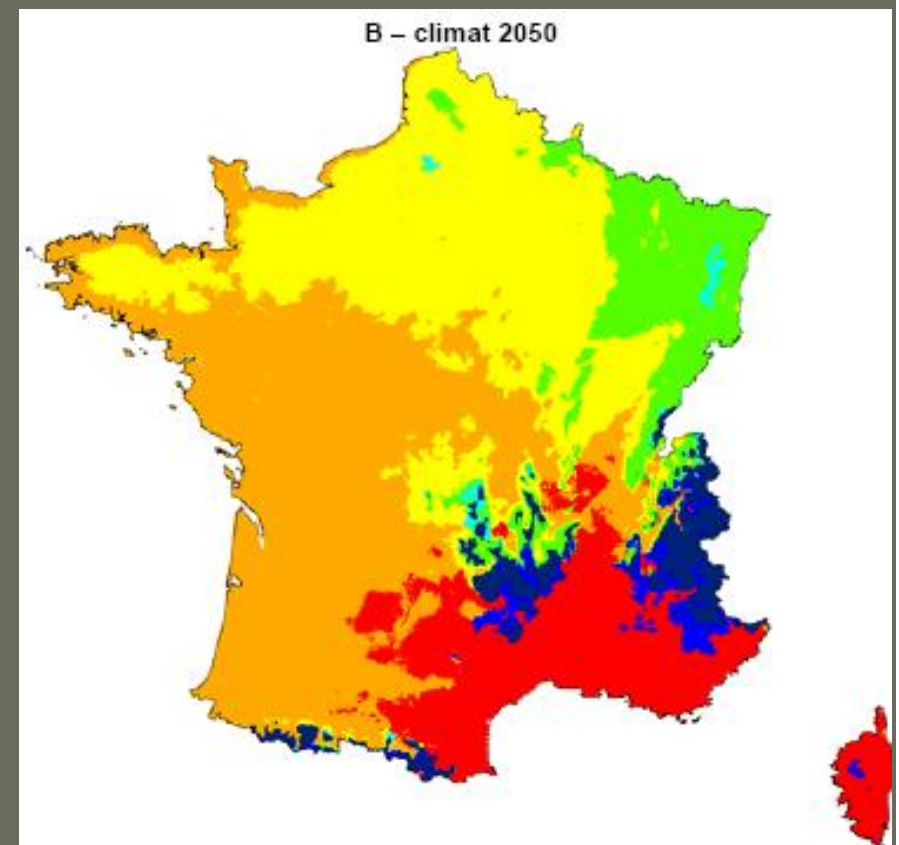
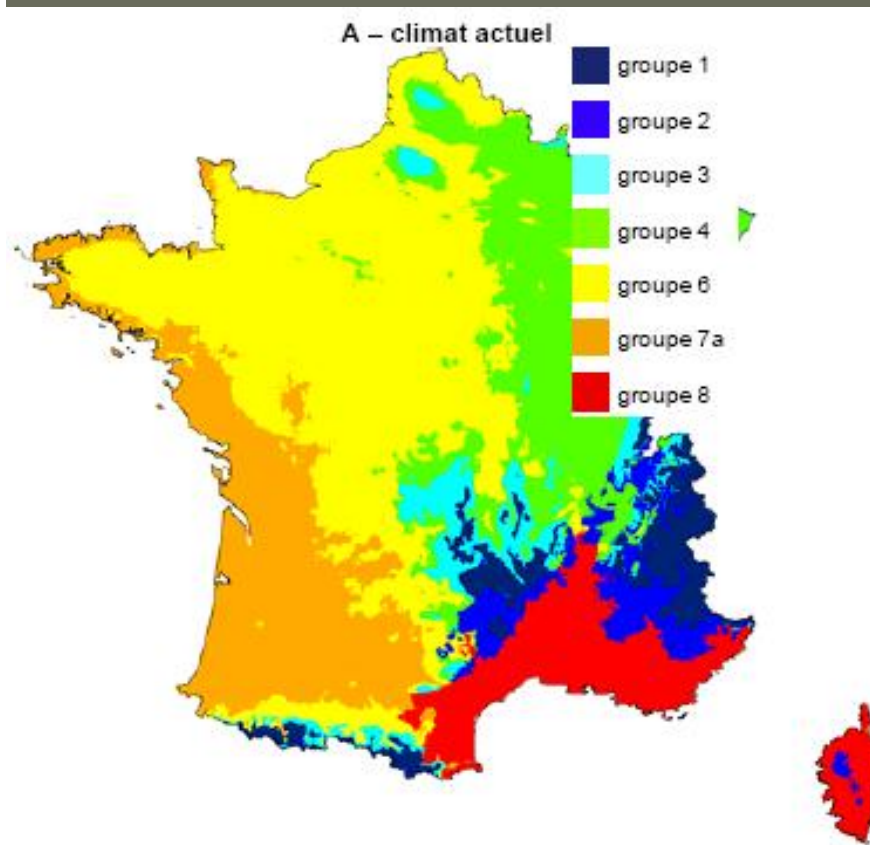
## REPARTITION DU CHENE VERT

2000

2100



### 5.3. Conséquences sur nos forêts



- Essences par groupe :
  - 1. Pin cembro, pin à crochets, aulne vert...
  - 2. Mélèze d'Europe, aulne blanc, érable à feuille d'obier...
  - 3. Sapin, épicéa...
  - 4. Hêtre, pin sylvestre, érable plane et sycomore...
  - 6. Châtaignier, néflier...
  - 7a. Chêne tauzin, pin maritime...
  - 8. Chêne vert, olivier, pin parasol...

### 5.3. Conséquences sur nos forêts

+2 à 2,5°



Groupe 1 : étage subalpin ; 2 : étage montagnard ; 3 : régions de montagne, étage collinéen du Nord-Est ; 4 : érable sycomore, hêtre, etc. ; 6 : châtaigner, néflier, etc. ; 7a : Ouest jusque dans le midi ; 8 : espèces méditerranéennes

**MIGRATION DES ESPECES ?????** Les changements aussi rapides à l'échelle d'une vie humaine ou d'une révolution vont ils permettre une adaptation ?????

### 5.3. Conséquences sur nos forêts

## Evolution Végétation couplée au Climat

Selon température moyenne / Actuel (1960-1990)

Synthèse 23 scénariosXmodèles GIEC

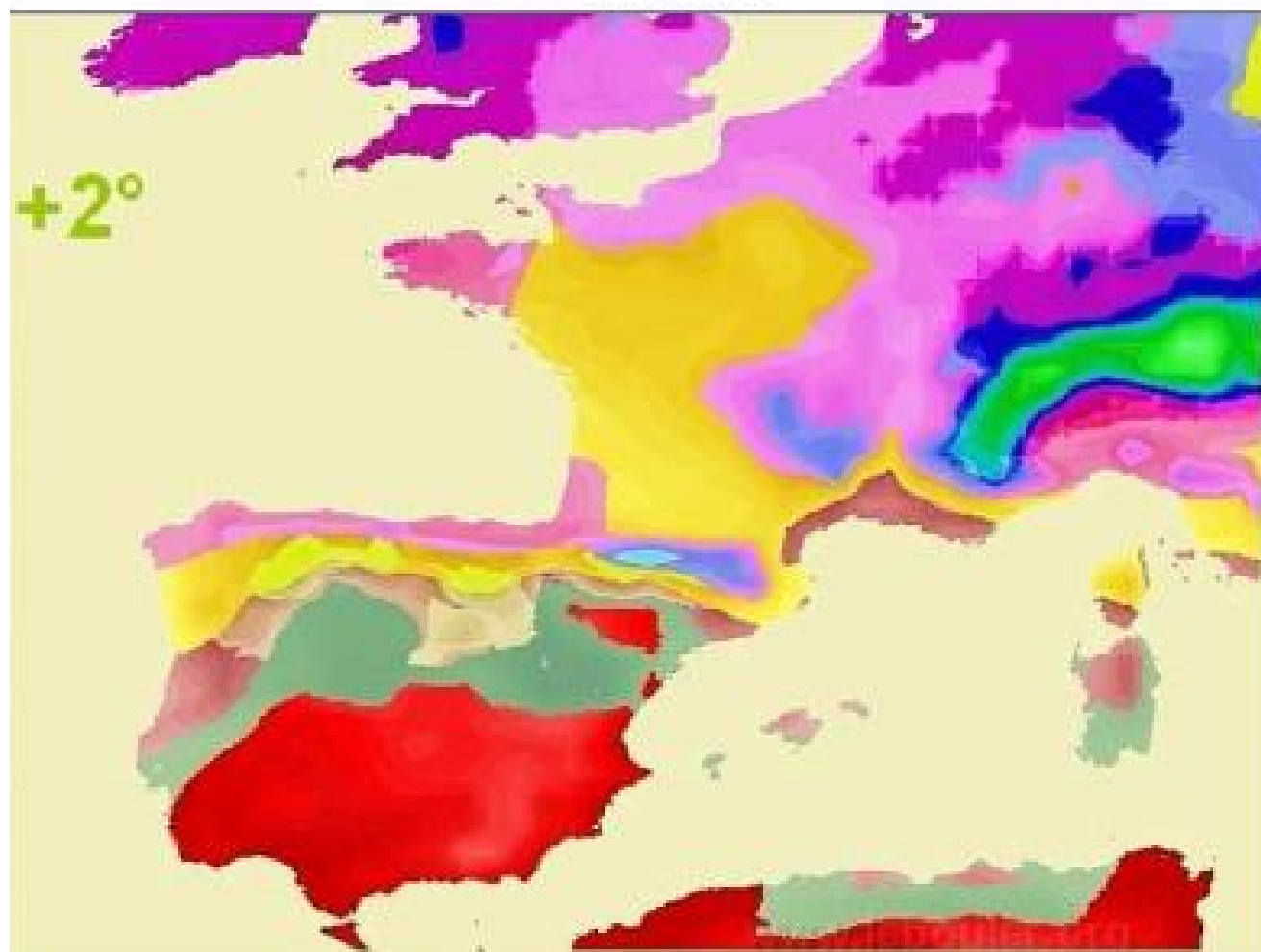
H Le Boulter 06/2009  
droits réservés



ACTUEL

### Légende simplifiée

- Alpin non forestier
- Montagnard et Forêts résineuses
- Forêts mixtes sub continentales
- Hêtraies-Chênaies sub atlantiques humides
- Hêtraies-Chênaies atlantiques humides
- Chênaies atlantiques sub sèches
- Chênaies mixtes meso méditerranéennes
- Forêts persistantes Méditerranéennes sub-arides
- Forêts persistantes Méditerranéennes aride
- Steppes sub désertiques et désert
- Forêts steppes continentales





### 5.3. Conséquences sur nos forêts

## Changement climatique et dynamique des forêts de montagne

L'augmentation prévue des températures à l'échelle du siècle ( $\sim + 4^{\circ}\text{C}$ ) devrait se traduire par une restructuration complète des forêts de montagne (par exemple, une augmentation de  $4^{\circ}\text{C}$  pourrait conduire à une remontée d'environ 700 m des étages de végétation).



### 5.3. Conséquences sur nos forêts un traumatisme important à terme

#### - Aujourd'hui :

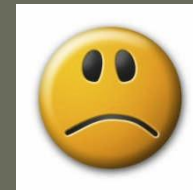
Allongement durée de végétation

- Augmentation générale de la production (+ 30 %) depuis 1850



#### - Demain :

▫ perte de production de 50 % pour la moitié des forêts françaises (estimation) en 2050 en zone méridionale



- mortalités prévisibles et dépérissements, maladies,....

#### - Conséquences

▫ nécessité de s'adapter au nouveau contexte (changement d'essences, sylviculture)

**MAIS : Migration des espèces végétales forestières :**

#### • **Systèmes forestiers = forte inertie**

▫ atténuer les effets du changement climatique avec séquestration du CO<sub>2</sub> et substitution



### 5.3. Conséquences sur nos forêts

Température moyenne annuelle mondiale (°C)

