

Bioclimatologie

Partie I

Changement climatique mythe ou réalité ?

Partie II

Comment appréhender la variabilité spatiale et temporelle du climat ?

Echelles méso, topo et microclimatiques

F. Lebourgeois

Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois
Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF 1092
Equipe Ecologie Forestière

Francois.lebourgeois@engref.agroparistech.fr

Version - Novembre 2008

1

Bioclimatologie

Partie I

Changement climatique mythe ou réalité ?

principales sources d'informations :

<http://la.climatologie.free.fr>

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

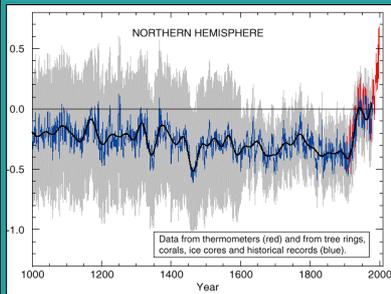
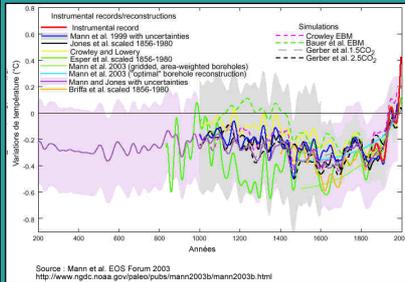
<http://fr.wikipedia.org/>

<http://medias1.mediasfrance.org/imfrex/web/>

Rapport IPCC, 2007, *The Physical Science Basis, Summary of Policymakers*, 18 pages

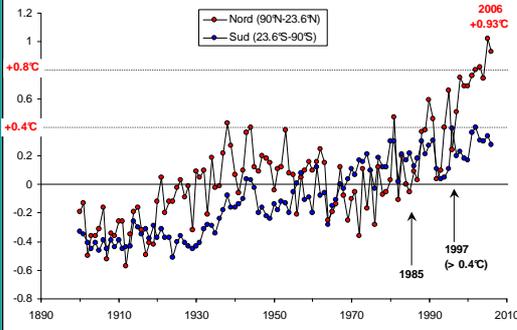
2

Augmentation de la température du globe



Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

Données thermométriques



<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/> (référence 1951-1980)

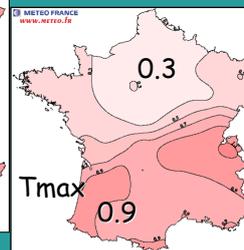
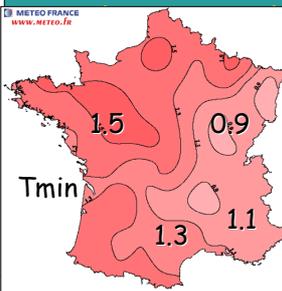
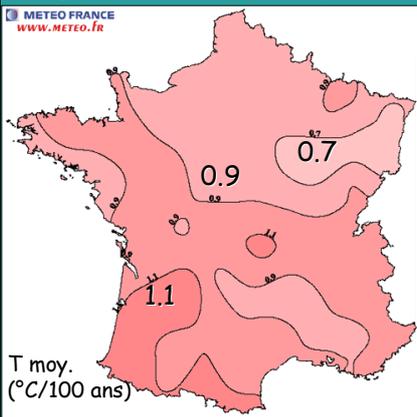
Ecart à la normale en 2006 (°C)

Nord (90°N-23.6°N)	+0.93
Moyenne (23.6°N-23.6°S)	+0.45
Sud (23.6°S-90°S)	+0.28

3

Augmentation de la température en France

70 séries centennaires (1901-2000) homogènes de Tmin et Tmax mensuelles sur 52 départ.



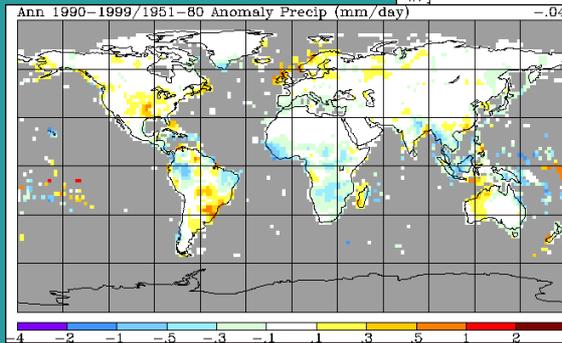
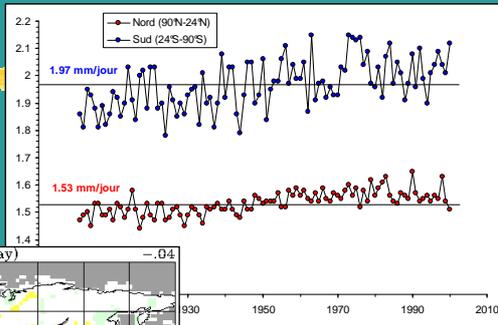
- plus marqué Tmin / Tmax
- plus marqué des minimales sur l'ouest
- plus marqué des maximales au sud
- plus marqué de la Tmoy dans le sud-ouest
- contraste thermique moins marqué

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

4

Faibles variations des précipitations

Précipitation moyenne annuelle (mm/jour)

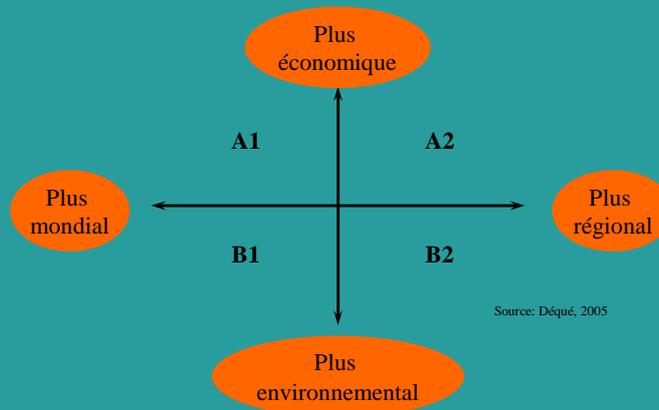


<http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/gistemp/>

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

Prévisions pour les 100 prochaines années... les familles de scénarios

Plus ou moins importantes selon les scénarios économiques



Source: Déqué, 2005

6. Prévisions pour les 100 prochaines années...
et pour la France... cela chauffe aussi !

Modèle Arpège Météo-France
Scénario A2 du GIECC

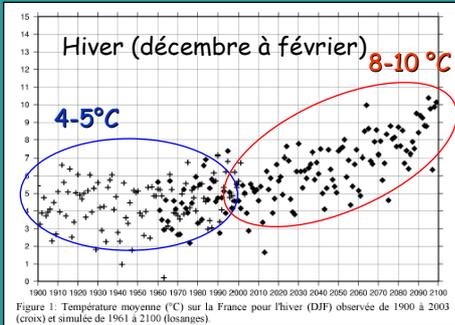


Figure 1: Température moyenne (°C) sur la France pour l'hiver (DJF) observée de 1900 à 2003 (croix) et simulée de 1961 à 2100 (losanges).

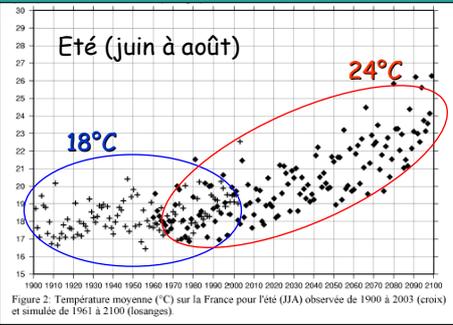


Figure 2: Température moyenne (°C) sur la France pour l'été (JJA) observée de 1900 à 2003 (croix) et simulée de 1961 à 2100 (losanges).

(M. Déqué, 2006) **Observations : 1900-2003**
Simulations : 1961-2100

Contexte méditerranéen actuel... hiver : env 6°C
=> +0,5°C / 100 km => en 2100...
Paris climat méditerranéen !

Projet IMFREX :

Impact des changements anthropiques sur la
Fréquence des phénomènes Extrêmes de vent,
de température et de précipitations



Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

6. Prévisions pour les 100 prochaines années...
et pour la France... cela chauffe aussi !

Modèle Arpège Météo-France
Scénario A2 du GIECC

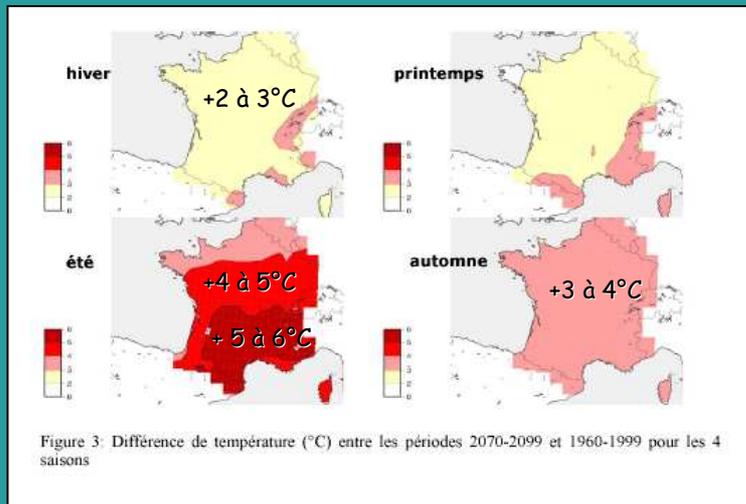


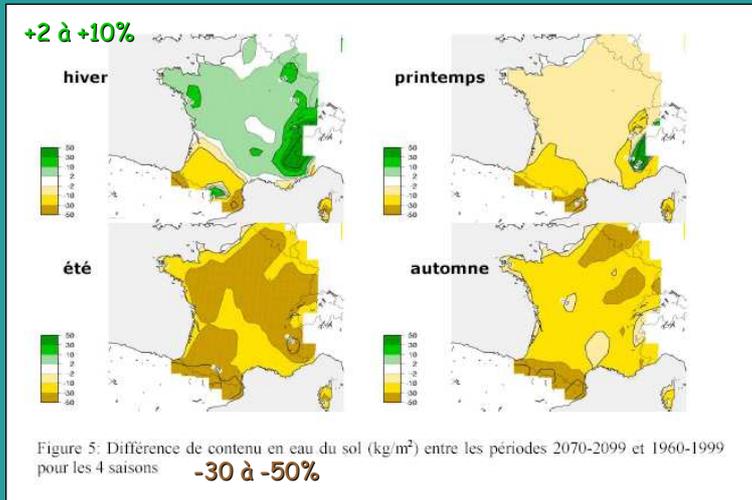
Figure 3: Différence de température (°C) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les 4 saisons

(M. Déqué, 2006)

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

6. Prévisions pour les 100 prochaines années... et pour la France... cela chauffe aussi !

Modèle Arpège Météo-France
Scénario A2 du GIECC



(M. Déqué, 2006)

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

9

Bioclimatologie

Partie II

Comment appréhender la variabilité spatiale et temporelle du climat ?

Echelles méso, topo et microclimatiques

Volet 1

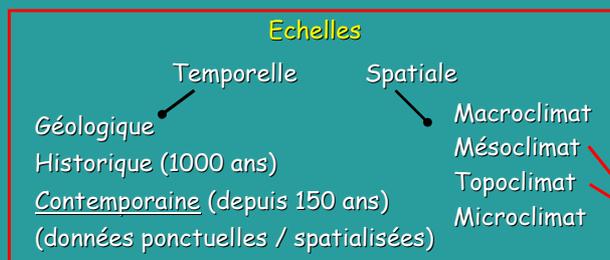
Echelle mésoclimatique...

notion d'indices bioclimatiques

Le climat est défini comme une combinaison des états de l'atmosphère dans un lieu donné et sur une période définie

Nécessité de caractériser le climat car...

- responsable de la répartition des grands biomes à travers le monde
- comportement des espèces et de leur adaptation
- potentialités agricoles ou forestières...



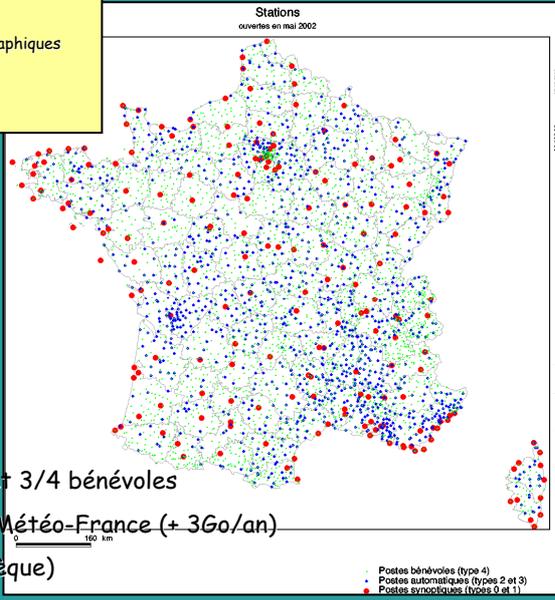
Données ponctuelles et spatialisées (sous SIG)

Données ponctuelles

Urban 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

Météo-France

Station	Maille	Nb
P	15	4220
T	30	2499
<i>(P et T = 2487)</i>		
Ins	60	135
Syn.	70	160



En 2007...

Env. 1/4 stations automatiques et 3/4 bénévoles

=> données stockées dans la BD Météo-France (+ 3Go/an)

=> accès via Espace Pro (Climathèque)

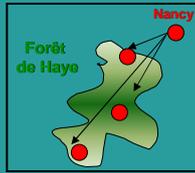
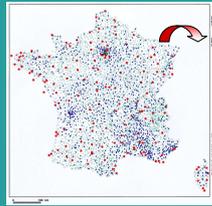
Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

<http://climatheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWeb/index.jsp>

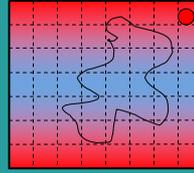
T, P, Ins, Rg...
 Données horaires
 Données journalières
 Données décadaires
 Données mensuelles
 Données trentenaires
 (1961-90 ; 1971-2000)

Données calculées sous Système d'Information Géographique (spatialisées)

Modèle AURHELY : Analyse Utilisant le RELief pour l'Hydrométéorologie
(Bénichou et LeBreton, 1987)



Données ponctuelles transposées

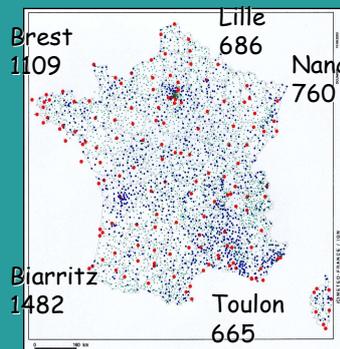


Données spatialisées (continues) sous SIG

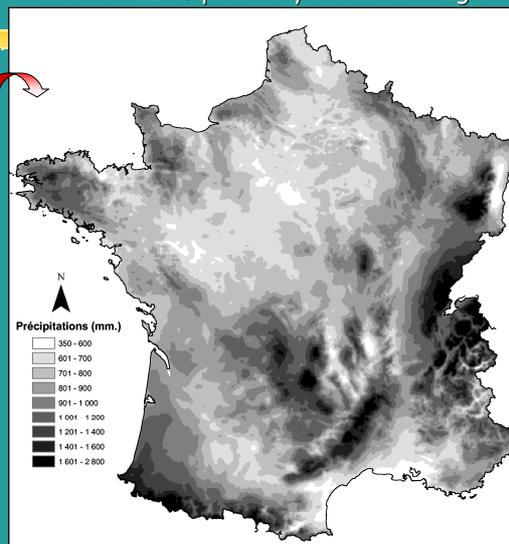
- postes de mesures du réseau de Météo-France (1500 env.)
- données topographiques permettant de caractériser les paysages environnant chaque point de calcul (alt, pente, expo)
- grille de maille 1 km²
- moyennes trentenaires mensuelles (P, Tmoy, Tmin, Tmax...)

Données calculées sous Système d'Information Géographique (spatialisées)

Modèle AURHELY : Analyse Utilisant le RELief pour l'Hydrométéorologie
(Bénichou et LeBreton, 1987)



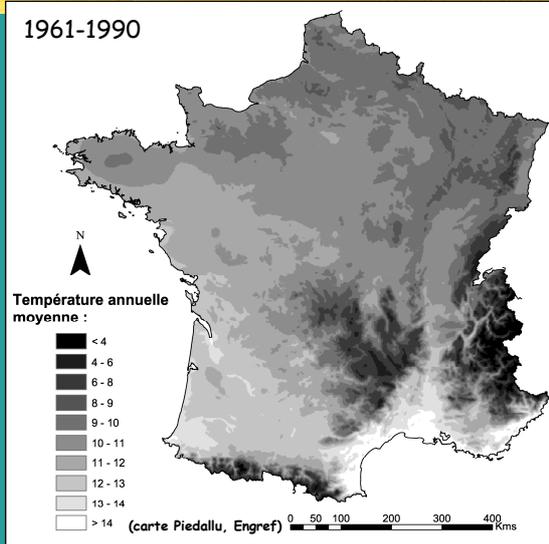
Cumul annuel (1961-90)



(carte Piedallu, Engref)

Données calculées sous Système d'Information Géographique (spatialisées)

Modèle AURHELY : Analyse Utilisant le RELief pour l'Hydrométéorologie
(Bénichou et LeBreton, 1987)

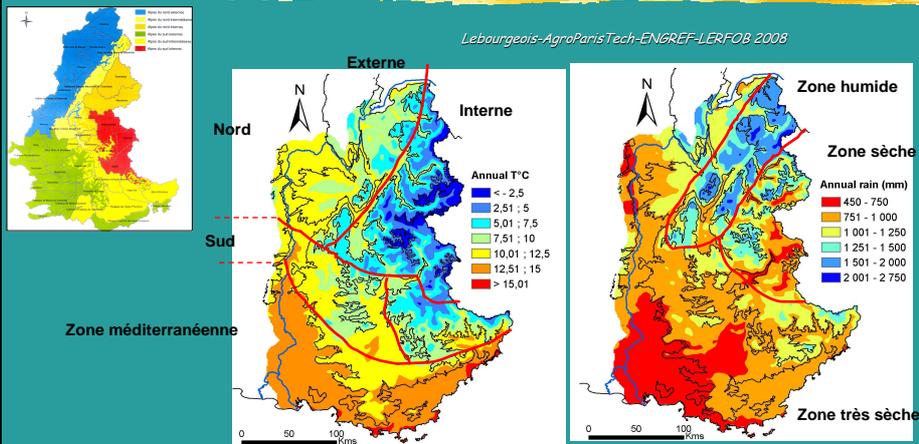


Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

17

Données calculées sous Système d'Information Géographique (spatialisées)

Modèle AURHELY : Analyse Utilisant le RELief pour l'Hydrométéorologie
(Bénichou et LeBreton, 1987)



Température moyenne annuelle (°C)
1961-1990
(min : -5°C ; max : 18°C ; moy : 9.5°C)

Précipitation moyenne annuelle (mm)
1961-1990
(min : 480 mm ; max : 2700 mm ; moy : 1000 mm)

18

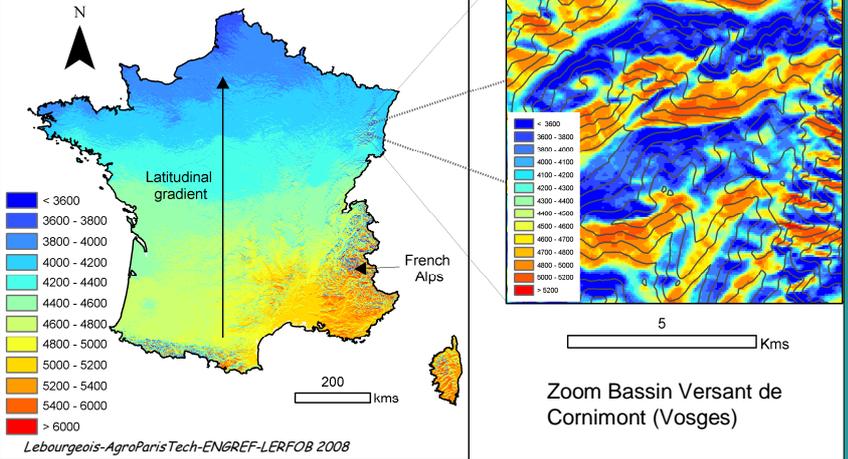
Données calculées sous Système d'Information Géographique (spatialisées)

Modèle de rayonnement global multi-échelles Hélios (Piedallu et Gégout 2007)

$R_g = R_{dir} + R_{diff} + R_{réf}$

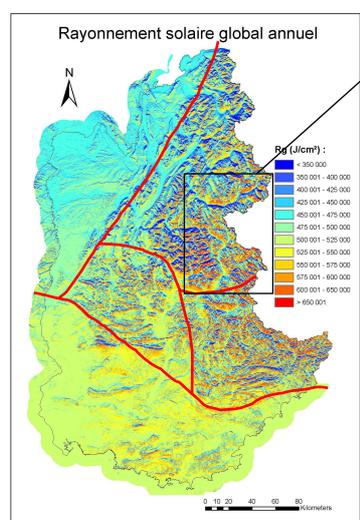
calcul : relations géométrique soleil/surface terrestre ; topographie (MNT 50 m) ; nébulosité

Cumul annuel : 1200 à 7200 MJ/m² (moy: 4500)



Données calculées sous Système d'Information Géographique (spatialisées)

Modèle de rayonnement global multi-échelles Hélios (Piedallu et al. 2007)



Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Types de variable

« simples »

T P Ins Vent...

- facile à obtenir
- monofactoriel
- pas de compensation

variabilité climatique France
valeurs de références des paramètres

voir poly

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

« combinées »

ETP, ETR...

Estimation du bilan hydrique forestier

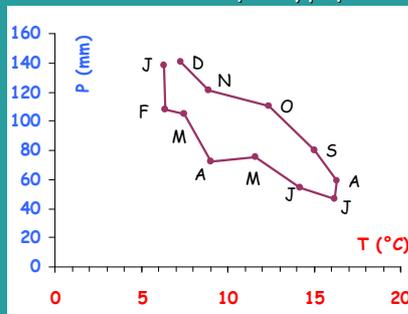
Indices bioclimatiques

Combinaison d'au moins deux valeurs numériques des états de l'atmosphère...
Climatogramme, De Martonne, Emberger

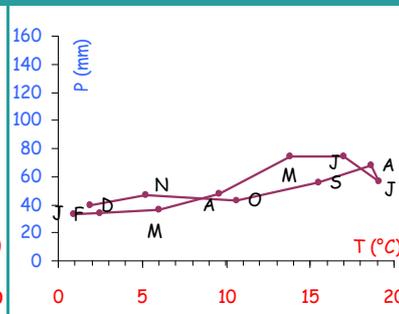
Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Les climatogrammes

Brest
climat océanique typique



Strasbourg
Climat semi-continentale



Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Indice d'aridité de De Martonne

Indice annuel

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

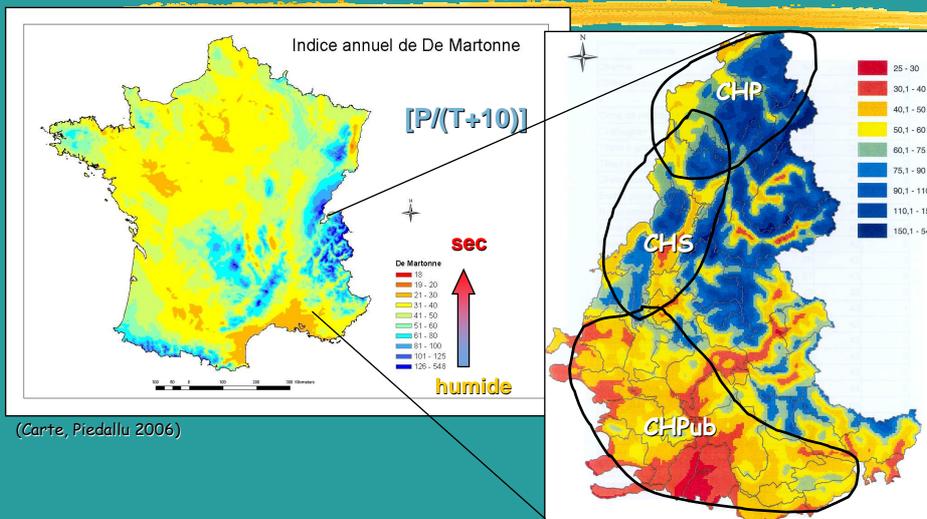
< 5	aridité absolue	désert
5 à 10	désert (aride)	désert et steppe
10 à 20	semi-aride	steppes ou savanes
20 à 30	semi-humide	prairie naturelle
30 à 40	humide	formation arborée très présente
> 40	humide	forêt dominante

Indice mensuel

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

Risque de sécheresse quand $I < 20$

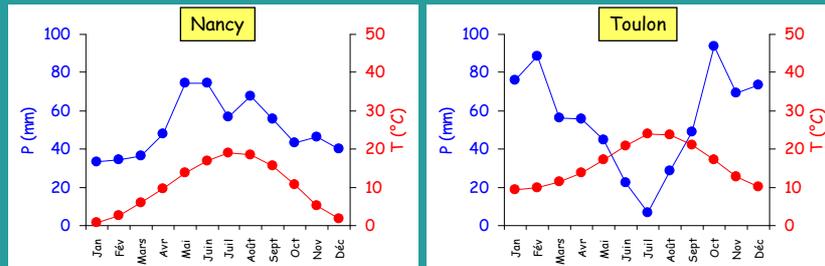
Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats



(Carte, Piedallu 2006)

Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Diagramme ombrothermique (de Gaussens et Bagnouls)



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

Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Quotient pluviothermique d'Emberger

(région méditerranéenne)

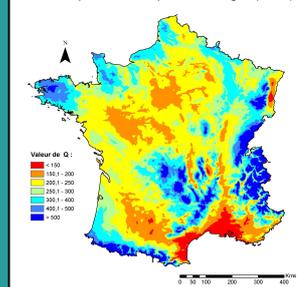
$$Q = \frac{P}{2 \left[\frac{M + m}{2} \right] (M - m)} \times 100 = \frac{100 \times P}{M^2 - m^2}$$

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

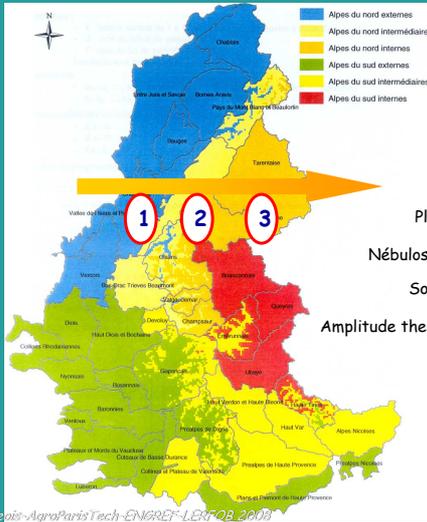
L'aridité AUGMENTE quand l'indice DIMINUE

Quotient pluviothermique d'Emberger (1932)



Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Indice de continentalité hydrique de Gams (modifié par Michalet en 1991)



... permet de comparer climatiquement des stations localisées dans des régions différentes... élimine l'effet de continentalité/altitude

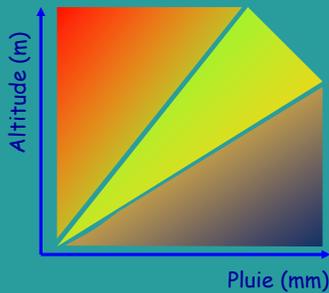
même altitude

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

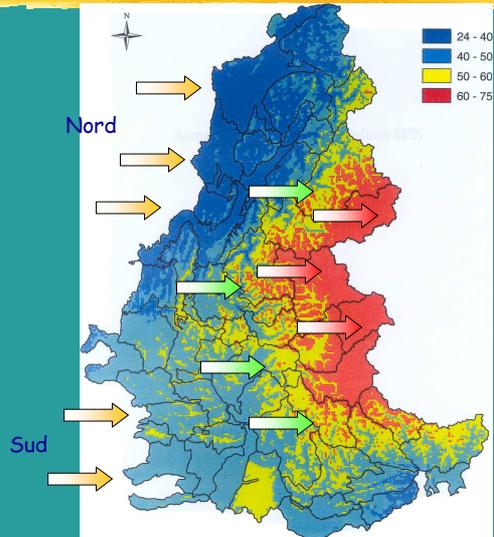
$$Cot(\alpha) = \frac{P - \left(\frac{900 - A}{100} \times \frac{P}{10} \right)}{A}$$

Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Indice de continentalité hydrique de Gams (modifié par Michalet en 1991)

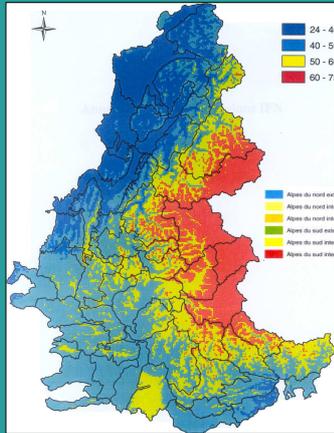


- $\alpha < 40^\circ \dots$
Alpes externes très arrosées
- $\alpha = 40 \text{ à } 50^\circ \dots$
Alpes intermédiaires
- $\alpha = 50 \text{ à } 90^\circ \dots$
Alpes internes sèches



Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Indice de continentalité hydrique de Gams (modifié par Michalet en 1991)



Charme - Frêne - Erables - Tilleul

Douglas - Epicéa - Sapin



Pin à crochets
Mélèze
Pin cembro

Hêtre

Pin sylvestre - Pin noir

Chênes

Pin maritime
Cèdre
Pin Alep

Chêne vert - Olivier

Zones arrosées faiblement ensoleillées
Zones sèches ensoleillées froides

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

Les indices bioclimatiques... expression de la résultante « utile » des climats

Indice de continentalité hydrique de Gams (modifié par Michalet en 1991)

	EMBRUN	MONTPELLIER
Lat	44°34'N	43°35'N
Long.	6°30'E	3°58'E
Altitude	871	3
Départ.	Hautes-Alpes	Hérault
Temp.		
mini. janv.	-3.3	2.2
mini année	4.4	9.3
max. janv.	5.7	11.1
max année	15.6	19.1
moy. janv.	1.2	6.6
moy année	10	14.2
nb gel	103	32
Tx > 25°C	58	90
Pluie		
année	716	700
JJA	167	95
Durée insol (h)	2505	2687
Humid. rel. année	64%	71%
Brouillard (jours)	7	19
Orage (jours)	32	23
Neige	33	3



Genévriers Thurifères - St. Crépin

(Météo-France - 1961-1990)

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

Volet 2

Echelle topoclimatique...

Le topoclimat... c'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



- Les précipitations (pluie, neige...)
- ↑ • Le rayonnement
- L'amplitude thermique

- ↓ • La température (fréq. des gelées, SdV...)
- La pression atmosphérique
- Le degré hygrométrique

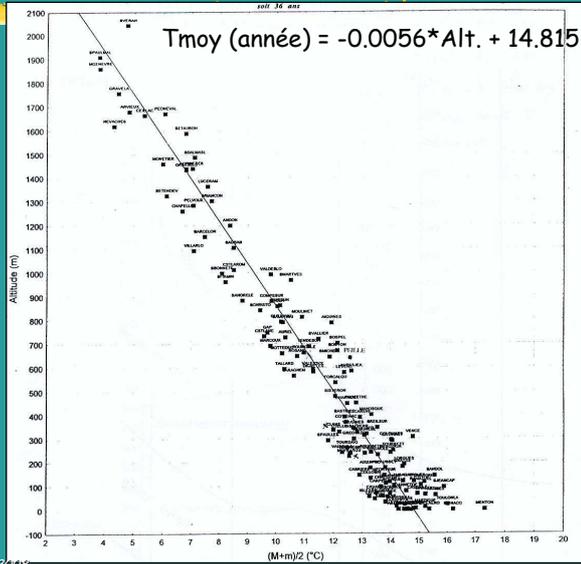
Altitude et température

La température décroît **linéairement** avec l'altitude

Région PACA
132 postes
période 1961-1996

d'après Panini T, étude des potentialités forestières des terres agricoles délaissées en région PACA

France
0.54 °C / 100 m

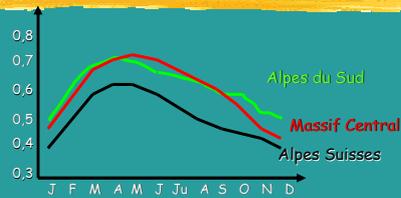


Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

Altitude et température

L'amplitude des variations varie selon :

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



Exemple sur le premier chaînon du Jura (Ebener, 2000)

10 stations (5 VN et 5 VS), 1973-1996, 314 à 1141 m

	Jan	Fév	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
VN	0,30	0,40	0,57	0,63	0,60	0,61	0,57	0,52	0,48	0,39	0,35	0,29
VS	0,34	0,46	0,59	0,68	0,66	0,68	0,66	0,60	0,54	0,43	0,41	0,34

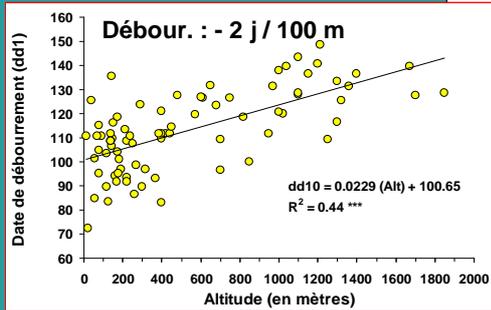
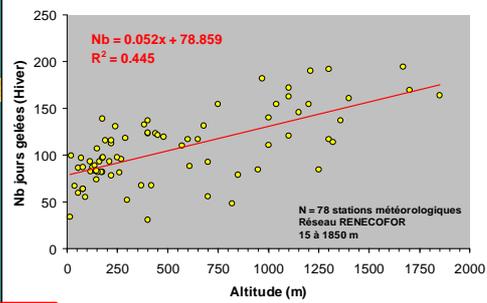
Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

34

Altitude et température

Augmentation de la fréquence des gelées : +5 à +10 jours / 100 m
(Lebourgeois, non publié)

Nb de jours de gel souvent > 130 jours au dessus de 1000 m
Faibles altitudes... gelées hivernales
Hautes altitudes... gelées de printemps et estivales



Retard de la sortie des feuilles (débournement) : -2 à -3j / 100 m

période 1997-2003 ; 90 peuplements ; Renecofof
(Lebourgeois et Godfroy, 2005)

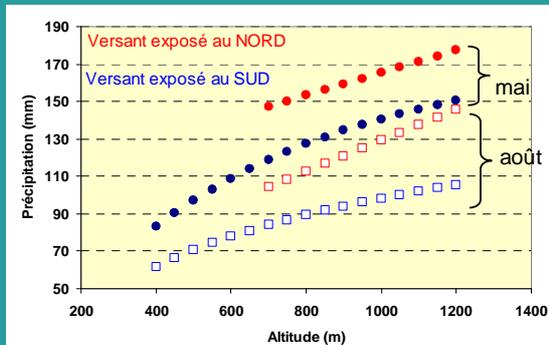
=> Pour la longueur de la saison de végétation = -3 à -5 jours / 100 m

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

35

Altitude et précipitation

- Relation généralement non linéaire
- 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
- Dépend étroitement de la distance à la crête (effet de foehn)

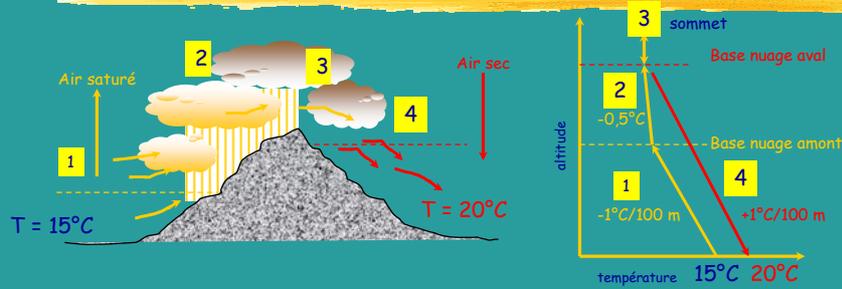
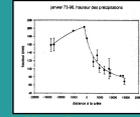


Exemples de relation entre P et Alt. d'après les équations obtenues sur le premier chaînon du Jura
(Ebener, 2000)

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

36

Altitude et précipitation... effet de foehn



- 1 : l'air humide s'élève le long de la montagne... détente... refroidissement... $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (adia. Sèche)
- 2 : saturation de l'air... Condensation (pluie)... dégagement de chaleur $(-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ adia. Humide)
- 3 : franchissement du sommet... descente des masses d'air le long du versant
- 4 : compression de l'air... augmentation de la pression... réchauffement... comme la masse d'air a perdu une partie de son eau... la condensation disparaît à une altitude plus élevée... $+1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$

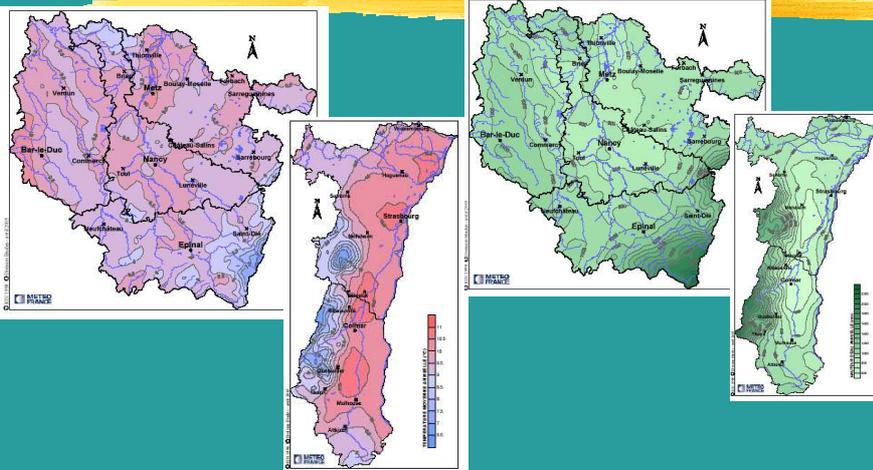
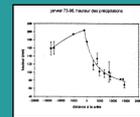


En aval... T. plus élevée, pluie moins abondante, plus fort ensoleillement

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

Altitude et précipitation... effet de foehn

Opposition Vosges versant lorrain et alsacien

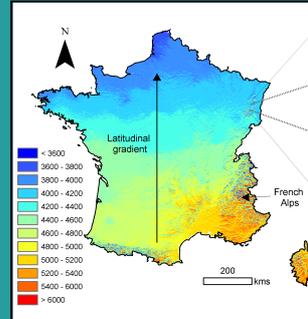
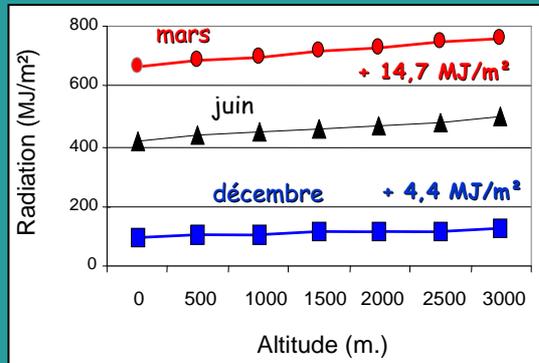


(source, SRGS - Alsace et Lorraine)

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

Altitude et rayonnement

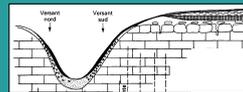
Modèle de rayonnement global multi-échelles Hélios (Piedallu et Gégout 2007)



Opposition de versant...

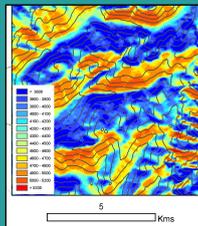
Températures

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

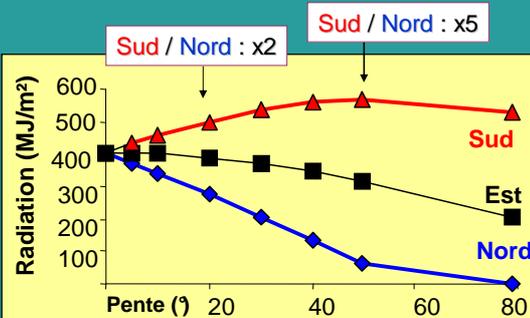


Rayonnement

- Sud (Rg direct) > Nord (Rg diffus)
- Δ max en hiver et automne ; min été
- Δ augmente avec la pente (max 25 et 40°)



Bassin de Cornimont - Vosges 2.4 km²

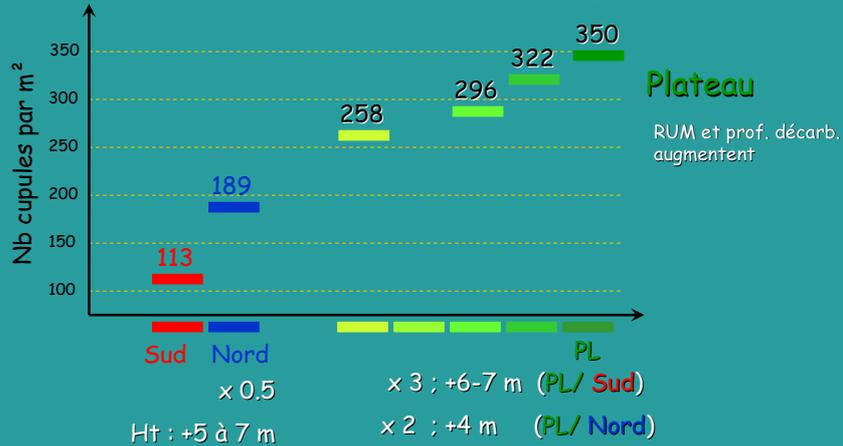


Topoclimat et comportement des essences... un exemple

Typologie des stations sur les plateaux calcaires (Becker et al. 1981)

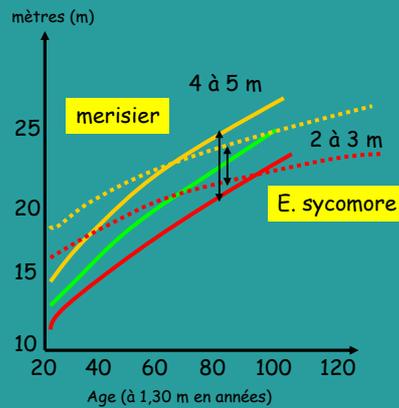
Régénération et fructification du hêtre...

Faînée de 1974
5 arbres / site



Topoclimat et comportement des essences... un exemple

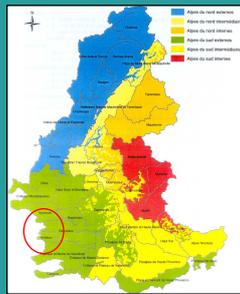
Comportement merisier et érables sur les plateaux calcaires (Le Goff et Madesclaire, 1985)



Versants (sauf sud) forte pente
Versants (sauf sud) faible pente
Bas de pente et fond de vallon

Topoclimat et comportement des essences... un exemple

Trajectoire dynamique à l'étage montagnard dans le Mont-Ventoux



Arrière pays méditerranéen
Préalpes sèches

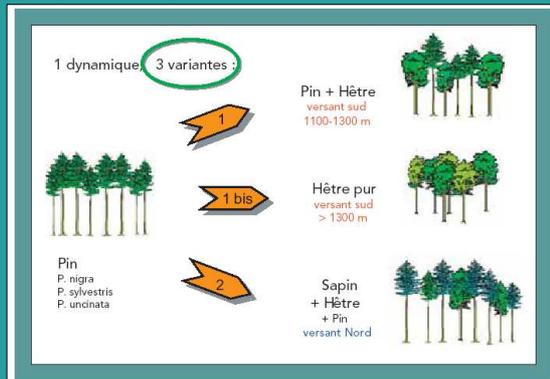


Fig. 1 : dynamique et variantes de l'évolution sylvigénétique au Mont Ventoux, à l'étage montagnard

(Courdier et Dreyfus, RDV techniques n°10, automne, 56-62, 2005)

Topoclimat et comportement des essences... un exemple

Trajectoire dynamique à l'étage montagnard dans le Mont-Ventoux

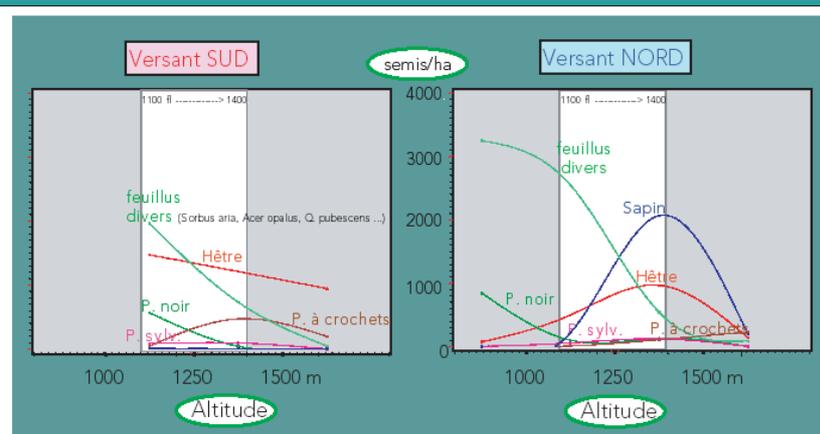


Fig. 4 : abondance des semis selon l'exposition et l'altitude

(Courdier et Dreyfus, RDV techniques n°10, automne, 56-62, 2005)

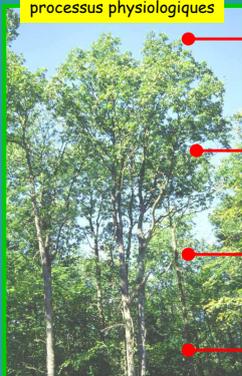
Volet 3 Echelle microclimatique



Le microclimat forestier... c'est une

... 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



ΔT° , lumière, eau...

espèce
âge des arbres
taille des arbres
structure du couvert...

Actions accidentelles... tempête, gelées...



Quelles sont les conditions microclimatiques dans une forêt ?
Quelles sont les répercussions de la gestion sur ces paramètres ?

Modifications du régime de vent et thermique

Réduction de la vitesse du vent (70 à 80%) (voir cours FIF2)

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 : Δ max en été : 2 à 5 °C Δ min en hiver : 0,5 à 1 °C

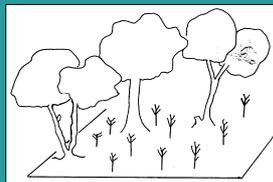
→ Indice actinothermique : Ia (20), Ia (50)

$T = 0^{\circ}\text{C}$ sous abri $\Rightarrow T = -2$ à -4°C à l'air libre = température des bourgeons \Rightarrow gelées



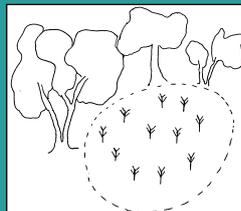
Exemple : gestion forestière et sensibilité aux gelées tardives

Reboisement de résineux (sapin, épicéa, douglas)



Cas n°1 : Taillis

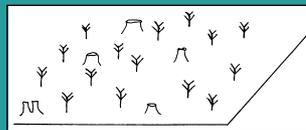
reboisement sous un taillis de charme, hêtre, chêne et tilleul
densité 1300 tiges /ha
hauteur moyenne = 13 mètres



Cas n°2 : Trouée

reboisement dans une trouée circulaire de 26 m de diamètre

(Aussenac 1970, 1973)



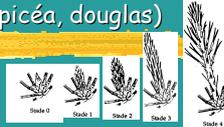
Cas n°3 : Découvert

reboisement en plein découvert après coupe rase



Exemple : gestion forestière et sensibilité aux gelées tardives
Reboisement de résineux (sapin, épicéa, douglas)

Stade phénologique moyen le 3 mai (avant la gelée)



(Aussernac 1970, 1973)

	SP	EPC	DOU
Taillis	1.9	0.5	1.4
Trouée	2.1	0.6	1.5
Découvert	2.2	1.0	1.6

Précocité : SP > DOU > EPC

Précocité : Découvert > Trouée > Taillis

Gelée du 4 mai

	Tmax	Tmin	Ia (à 20 cm)
Taillis	15.5	-0.9	-1.2
Trouée	17.5	-1.8	-2.2
Découvert	17.5	-3.0	-4.0

T_{max} : Trouée-Découvert > Taillis

T_{min} : Découvert >> Trouée > Taillis

% de bourgeons latéraux gelés

	SP	EPC	DOU
Taillis	0	0	0
Trouée	15	0	0
Découvert	88	0	8

Sensibilité : SP >>> DOU > EPC

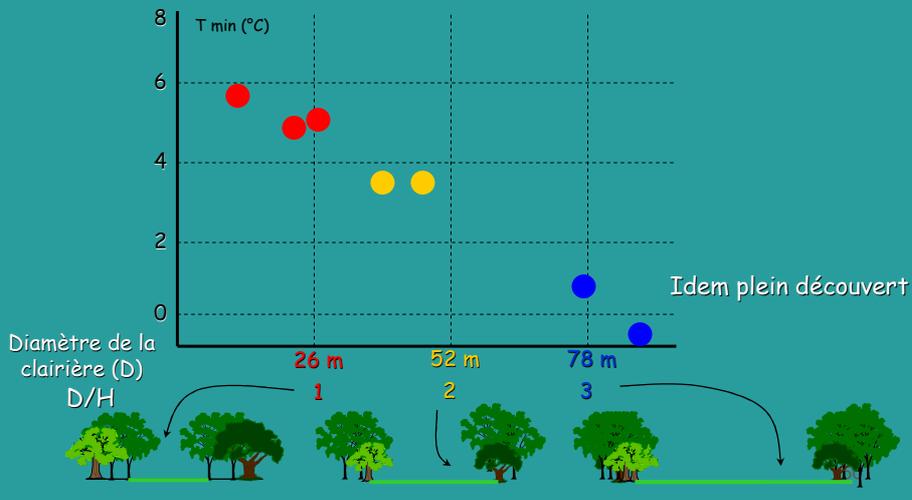
Sensibilité : Découvert >> Trouée > Taillis

Exemple : gestion forestière et sensibilité aux gelées tardives
Effet du diamètre de la clairière sur la température



Ht du peuplement (H) = 26 m

(Aussernac 1970, 1973)



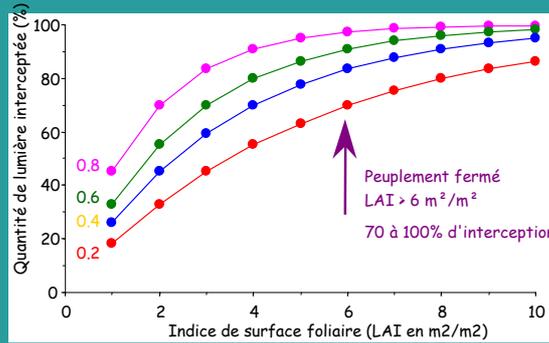
Interception de la lumière... élément clé pour la gestion de la régé

Plus un peuplement est dense, plus il intercepte de la lumière

L'éclairement du sous-étage est donné par la loi de Beer-Lambert

$$I = I_0 \exp(-k \text{ LAI})$$

LAI = Leaf Area Index = surface de feuille en m² par m² de sol
 1 à 15 → 4 à 8 ; couvert fermé : CH : 6 m²/m² ; HET : 7 à 8 m²/m²)
 k = coefficient d'extinction du couvert (0.2 à 0.8)
 distribution, agencement, angle d'inclinaison des feuilles



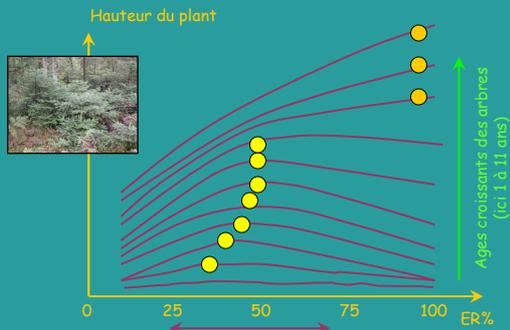
Feuilles d'ombre et de lumière

Essence d'ombre et de lumière



Essences d'ombre et de lumière

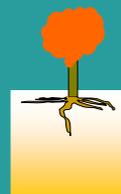
Une essence d'ombre est capable de survivre plusieurs années sous des éclairagements relatifs faibles (5 à 15%). Sous de tels éclairagements, une essence de lumière disparaît rapidement (2 ans max).



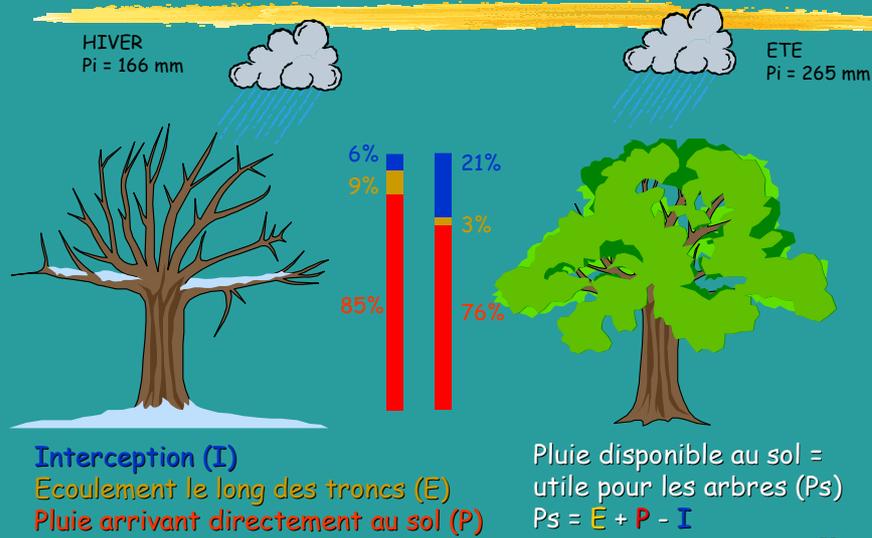
Valeurs « optimales » de ER (%)	
25%	Sapin, hêtre
15-30%	Chêne rouge
30-50%	CHS, érables
> 50%	CHP, frêne
40-50%	Epicéa
> 50-70%	Mélèze, pins...

Pour les jeunes arbres... point d'inflexion... Limitation avec des ER% trop élevés... partie aérienne/racines

Pour les jeunes plus âgés... relation « linéaire » avec ER%...



Interception des pluies... élément clé pour la gestion de l'eau (exemple sous une hêtraie de 80 ans de 23 m de haut ; Aussenac et Ducrey 1977)



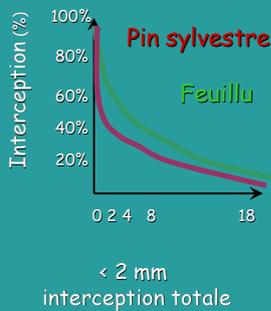
Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

53

Interception des pluies... élément clé pour la gestion de l'eau

L'interception dépend :

Intensité et durée
des pluies incidentes



Capacité de rétention
du feuillage

Eau incidente
Evaporation
de surface

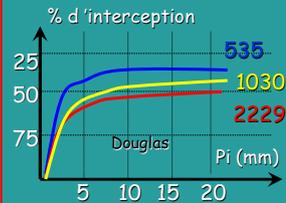


La capacité maximale de rétention des feuilles traduit la force de tension superficielle de l'eau par rapport à la force de pesanteur

Résineux : 3 à 4 mm
Feuillus : 1 à 2 mm

Age des arbres
Densité des peupl.

...
=> LAI



Pluie 5 mm
2229 tiges / ha 60%
535 tiges / ha 45%

Lebourgeois-AgroParisTech-ENGREF-LERFOB 2008

54

Interception des pluies... élément clé pour la gestion de l'eau Valeurs moyennes

Feuillus
(chênes, hêtre)
15 à 35 %

adulte = 25%



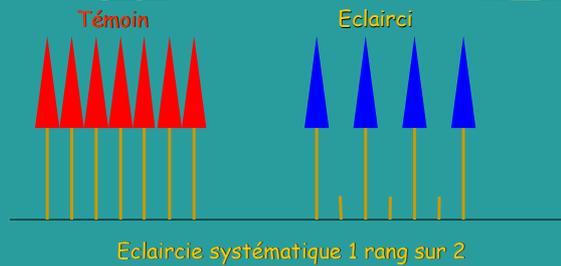
Résineux
(sapins, pins)
25 à 50 %

adulte = 35%



55

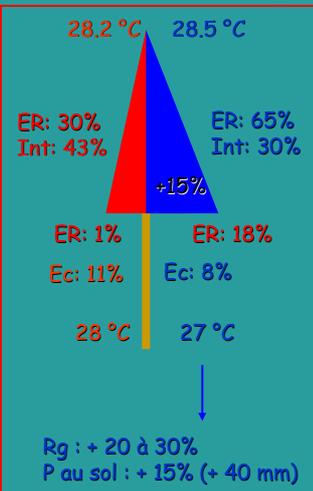
Sylviculture, microclimat et croissance du douglas (Aussenac et al. 84)



	Témoïn	Eclairci
Age (ans)	19	19
Nb de tiges à l'hectare	2900	1500
Surface terrière (m ²)	39	20
Hauteur moyenne (m)	11,5	11,5
Circonférence (cm)	40	40

56

Sylviculture, microclimat et croissance du douglas
(Aussenac et al. 84)



Leboungois-AgroParisTech-ENGREF-LERF0B 2008

