

Cours ENGREF FIF1

cours n°3

Bioclimatologie

Rôle du couvert forestier

F. Lebourgeois

Enseignant-Chercheur

UMR ENGREF-INRA 1092 LERFOB - Equipe Ecologie Forestière

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

# Plan de l'exposé

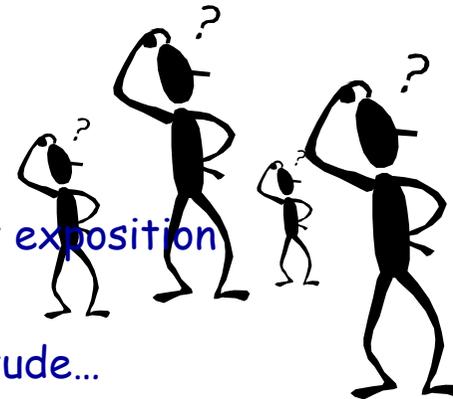
1. Microclimat et paramètres microclimatiques
2. Profil de vent
3. Profil thermique.... le problème de gelées
4. Profil radiatif.... Essence d 'ombre et de lumière
5. Profil hydrique... interception des pluies
6. Sylviculture et microclimat.... Ex. plantation de douglas





Rapides rappels. **Qu'avez vous retenu du cours précédent ?**

**Topoclimat**.... Effet du relief... altitude, pente et exposition



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

- Effet région ( $0,54^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ )
- Effet saison (max au printemps, min en hiver)
- Effet exposition (adret=sud > ubac=nord ;  $\Delta = 2$  à  $5^{\circ}\text{C}$ )

... risque de gelées, longueur SV (5 à 10 jours / 100 m)

**Les pluies** augmentent avec l'altitude...

... gradients très variables (20 à 80 mm / 100 m)

**Le bilan radiatif** diffère selon l'exposition et la pente...

... versant Sud > versant Nord...

... les différences augmentent quand la pente augmente



Microclimat...

vous avez dit microclimat ?

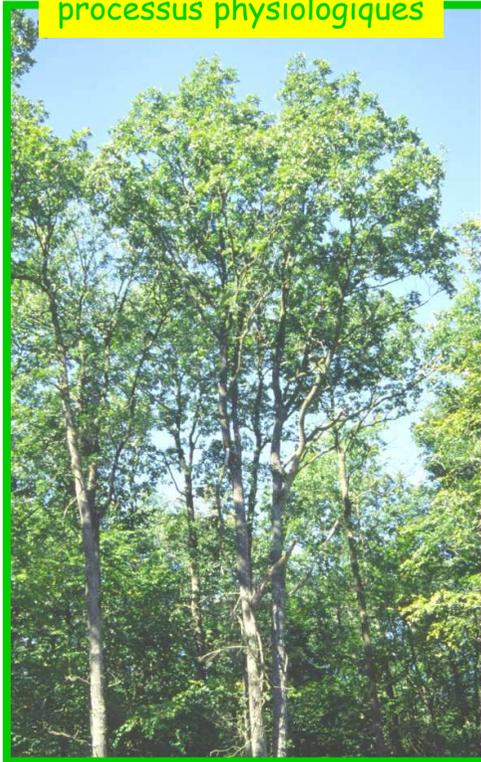




## Qu'est ce qu'un microclimat ? (p.1)

... 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



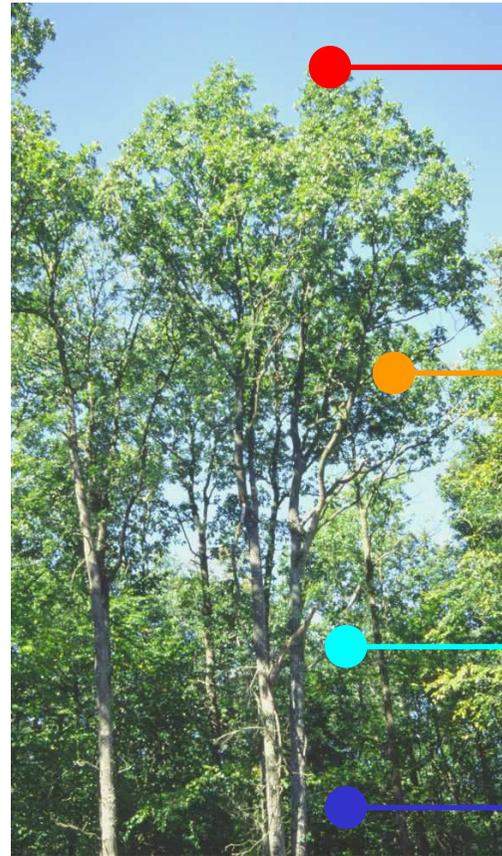
Actions accidentelles... tempête, gelées...





## Les effets microclimatiques ?

Du haut des couronnes au sol...



Effets ...

- thermique
- lumière
- eau...

modif. du bilan hydrique...



Rôles ...

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

Les problèmes posés :

- Quelles sont les conditions microclimatiques dans une forêt ?
- Quelles sont les répercussions de la gestion sylvicole sur ces paramètres ?  
gelées tardives, éclaircies...

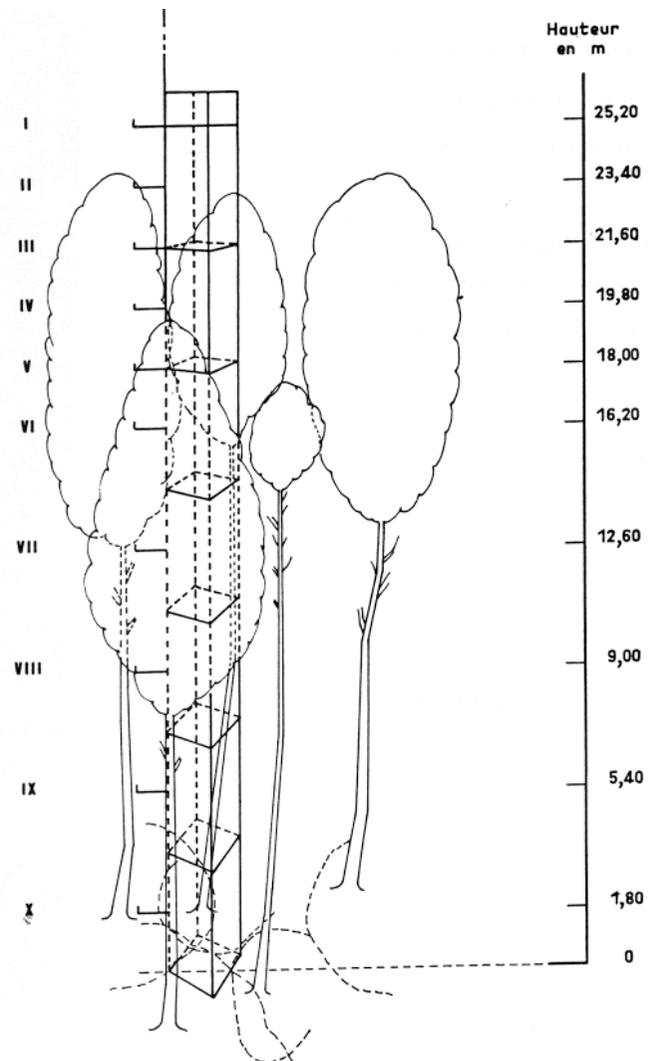
Etude bioclimatique  
d'une futaie de feuillus  
(hêtre et chêne)



## Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (Hêtre et Chêne sessile)

(Aussenac et Ducrey 1977 ; Aussenac et Boulangeat 1980) (p. 5)

Etude bioclimatique d'une futaie



Age	: 80 ans
Nb de tiges à l'hectare	: 744 (80% de hêtre)
Surface terrière	: 26 m <sup>2</sup>
Hauteur moyenne	: 23 m
Epaisseur des houppiers	: 10-12 m
Surface foliaire (Leaf Area Index)	: 6 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>



Variation dans le couvert...

- vent
- température
- rayonnement
- humidité
- interception des pluies

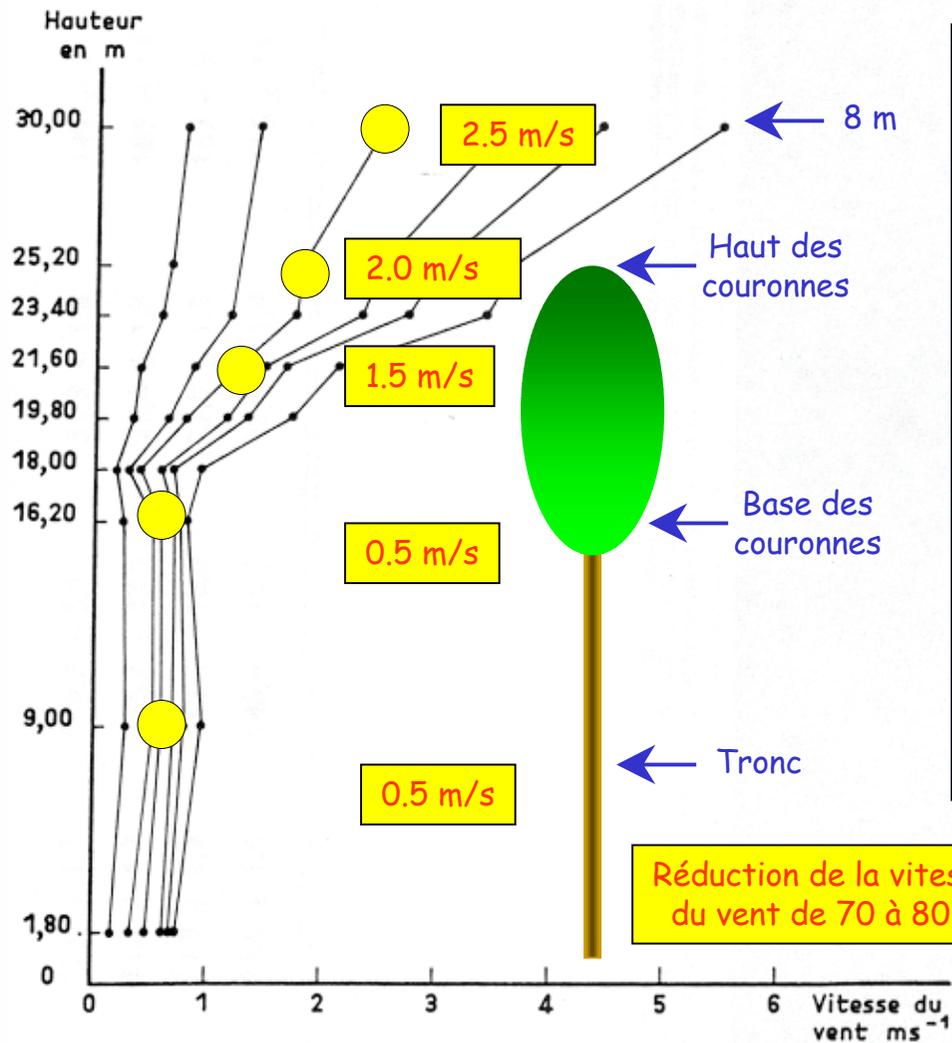


## Profil du vent





## Variation du profil de vent (p.5)



### Généralisation

La forêt ralentit le vent (effet brise-vent)

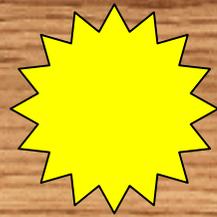
Les houppiers des feuillus freinent davantage le vent que ceux des résineux

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

Réduction de la photosynthèse à partir de 15 - 20 km/h

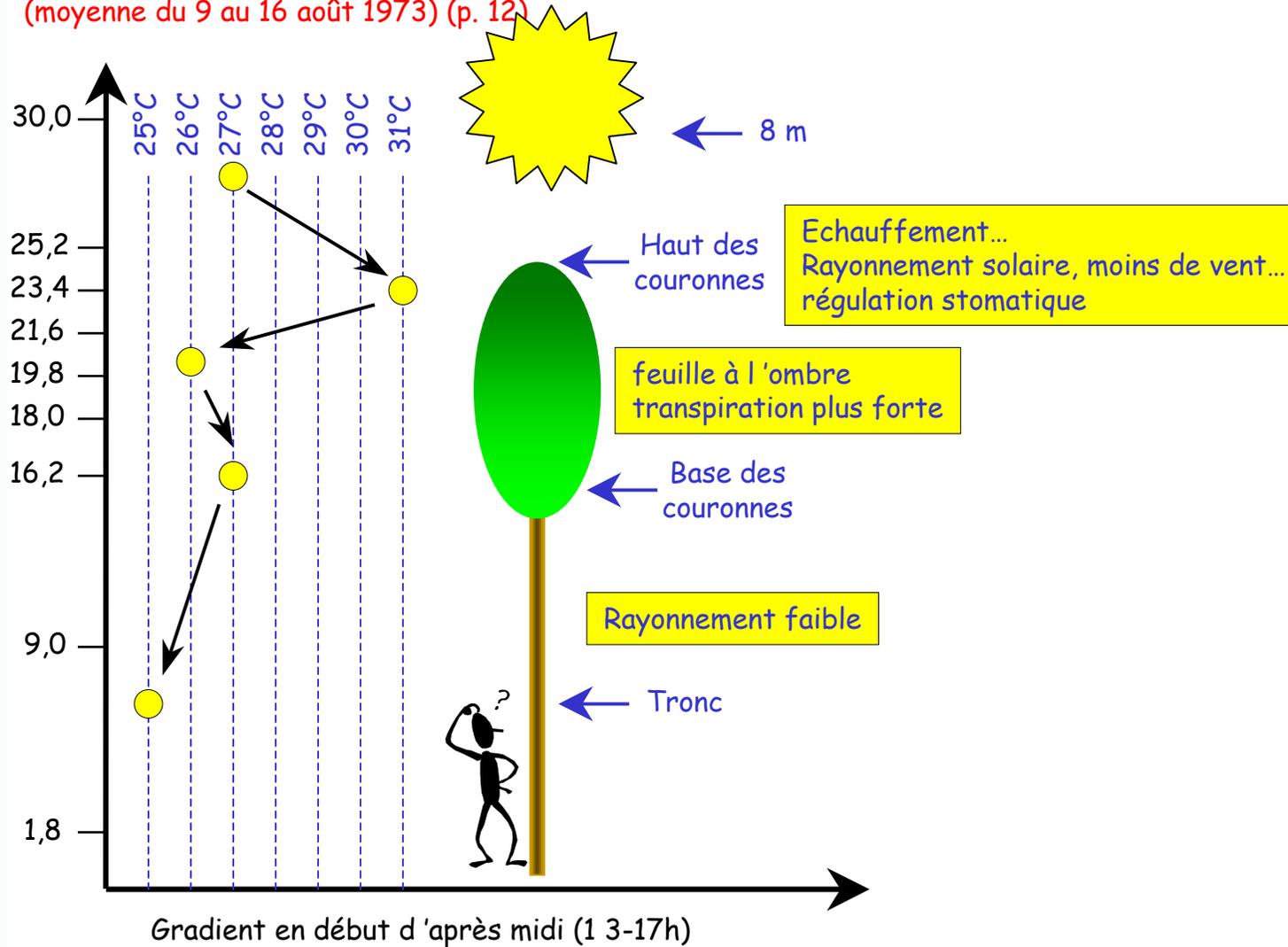
Profil thermique



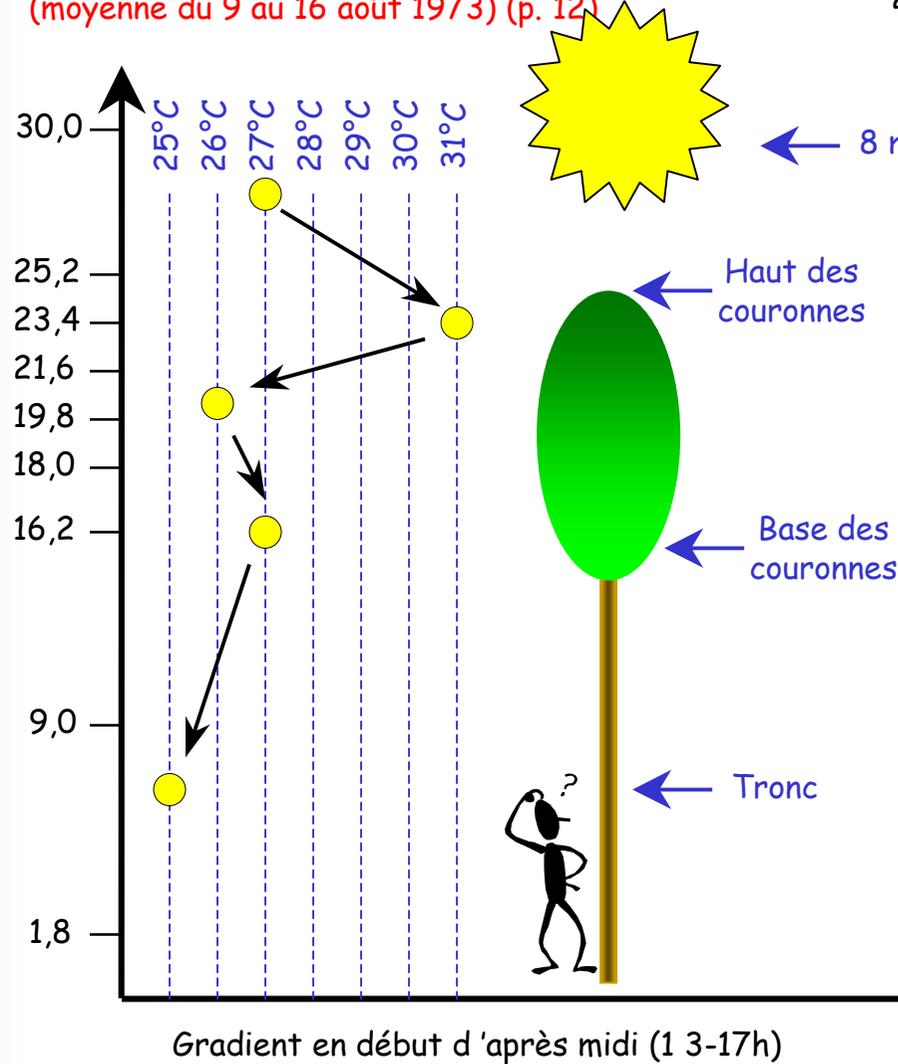
## Variation du profil thermique

(moyenne du 9 au 16 août 1973) (p. 12)

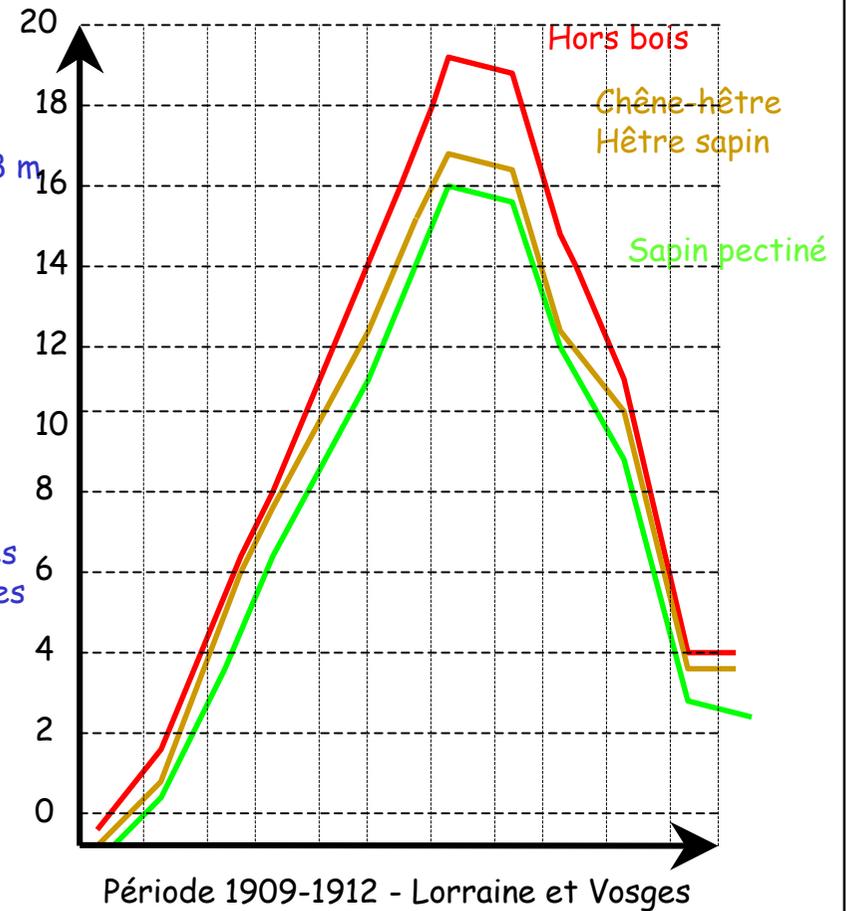
Profil thermique



Variation du profil thermique  
(moyenne du 9 au 16 août 1973) (p. 12)



Travaux de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts  
publiés par Cuif 1913 (p.16)



Effet tampon de la forêt

HB / trouée-chablis / feuillus / résineux

Réduction amplitude thermique (2 à 4°C)

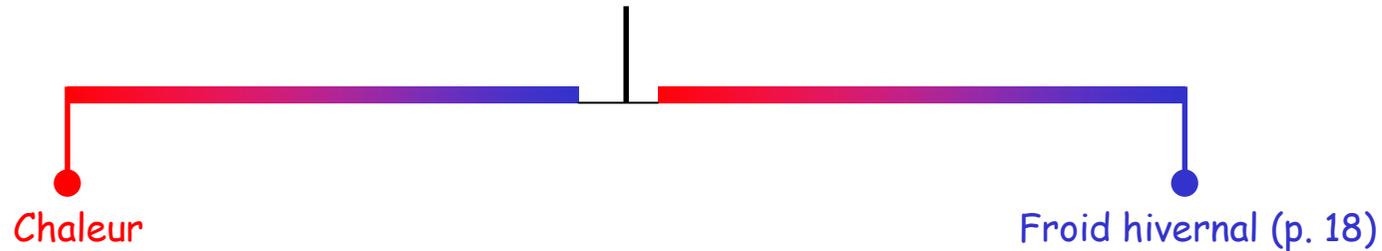
Réduction des extrêmes

Δ max en été : 2 à 5 °C

Δ min en hiver : 0,5 à 1 °C

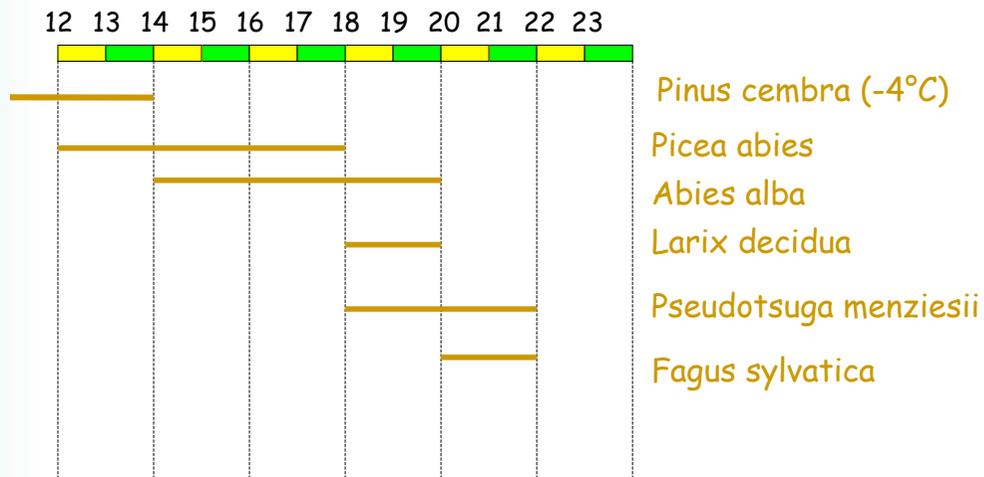
Profil thermique

Variation des conditions thermiques...  
Résistance à la chaleur et au froid



- Seuil d'activité physiologique : 4 à 6°C
- Optimum de la photosynthèse

Profil thermique



Espèce	T°C
Pinus halepensis	-6°C
Sequoia sempervirens	-10°C
Pinus pinea	-11°C
Cupressus sempervirens	-15°C
Cedrus deodara	-15°C
Pinus pinaster	-20°C
Picea sitchensis	-30°C
Abies alba	-30°C
Abies nordmanniana	-30°C
Pseudotsuga menziessi	-30°C
Picea abies	-40°C
Pinus nigra	-40°C
Pinus sylvestris	-40°C
Pinus cembra	-42°C
Quercus ilex	-13°C
Quercus robur	-30°C
Quercus petraea	-30°C
Fagus sylvatica	-30°C
Acer pseudoplatanus	-30°C
Betula pendula	-40°C

Variation des conditions thermiques...  
Sensibilité aux gelées tardives

Profil thermique



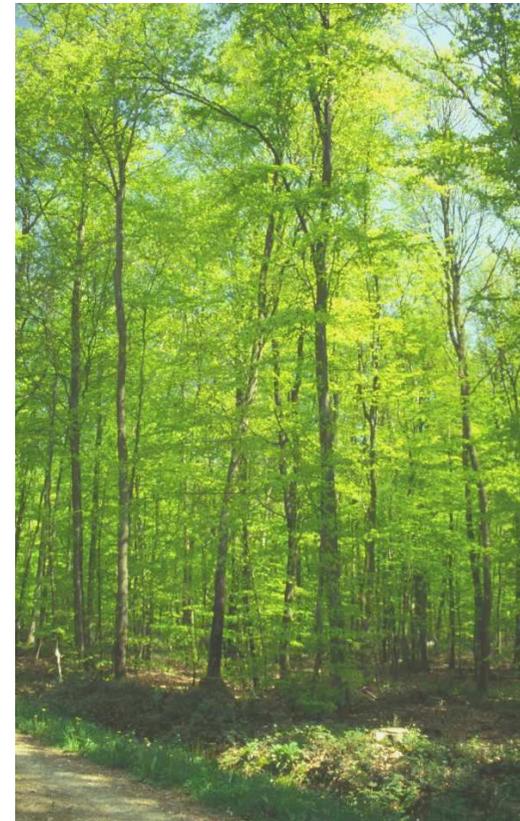
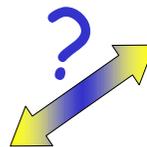
Température sous abri

Température à l'air libre  
=  
Température des bourgeons



Indice actinothermique Ia

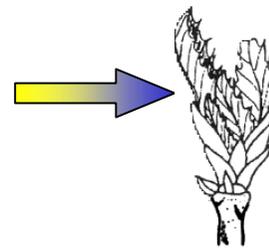
Ia (20), Ia (50)



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

Sensibilité différente selon les organes

- bourgeons, feuilles ++
- cambium, bois -

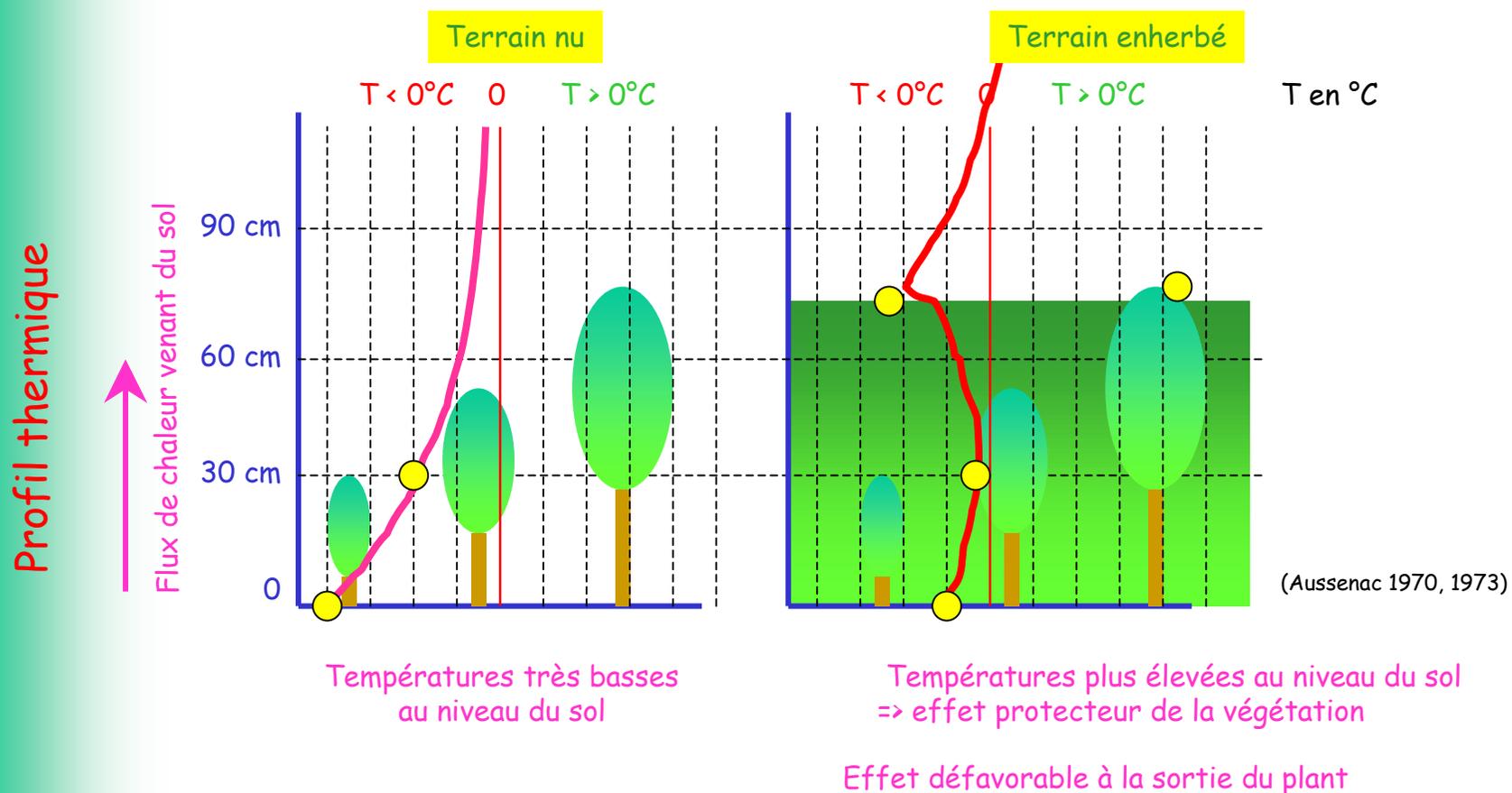


Stade 3

quels sont les moyens pour diminuer les risques de gelées tardives des jeunes plantations ?

Variation des conditions thermiques...  
Sensibilité aux gelées tardives (p. 27)

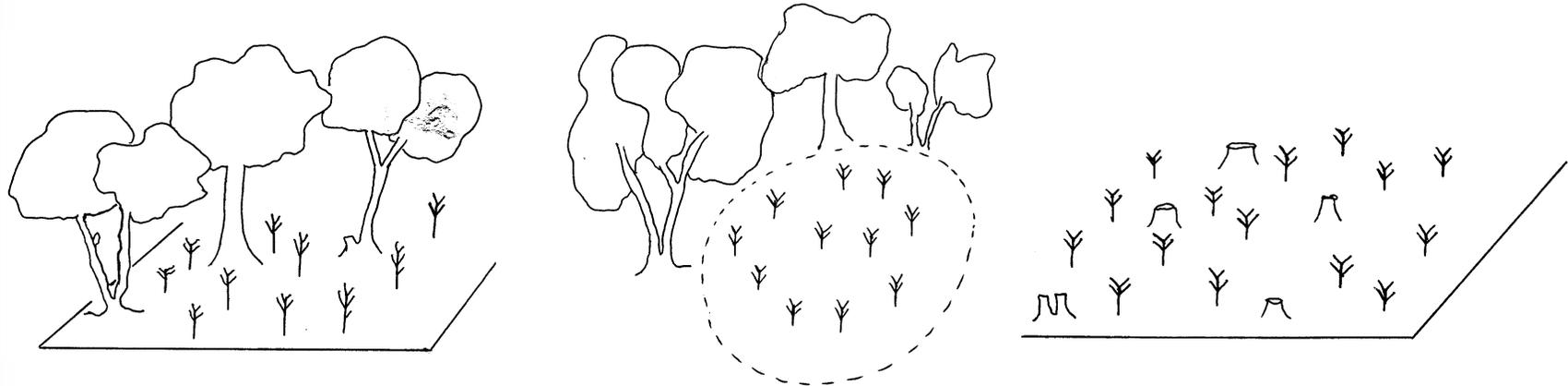
Les techniques de lutte reposent sur l'analyse des profils nocturnes



Variation des conditions thermiques...  
Sensibilité aux gelées tardives et traitement sylvicole (p. 29)

Reboisement de résineux (sapin, épicéa, douglas)

(Aussenac 1970, 1973)



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

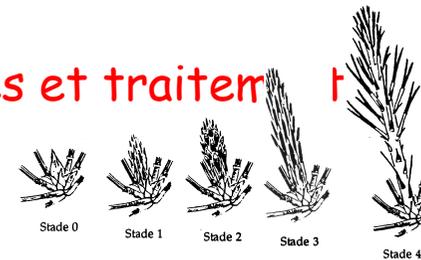
Cas n°3 : Découvert

reboisement en plein découvert après coupe rase

Variation des conditions thermiques...

Sensibilité aux gelées tardives et traitement phénologique (p. 30)

Stade phénologique moyen le 3 mai (avant la gelée)



(Aussenac 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<sub>max</sub> : Trouée-Découvert > Taillis

T<sub>min</sub> : 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

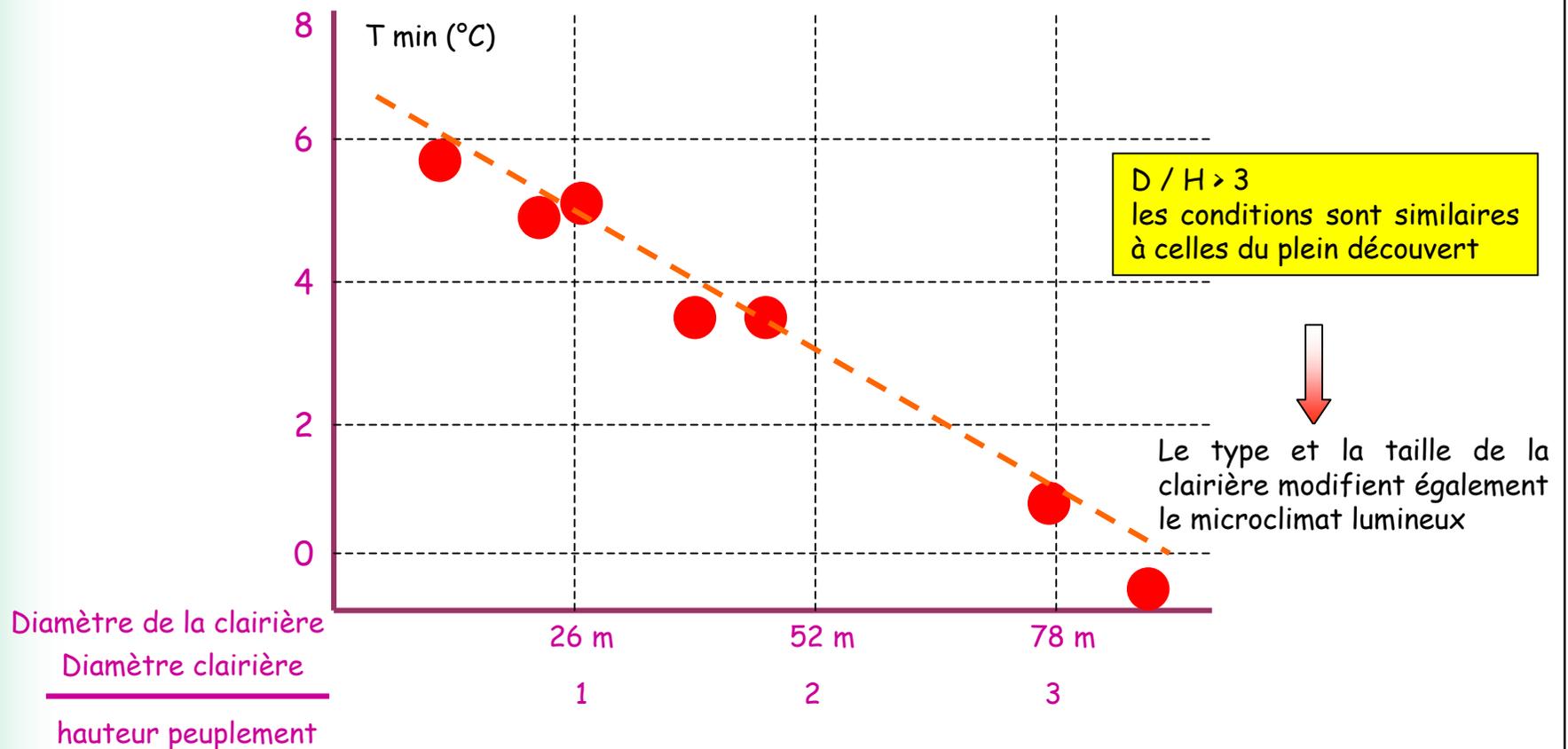
Profil thermique

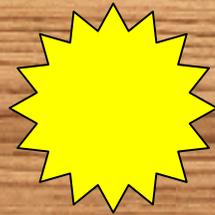
## Variation des conditions thermiques...

## Sensibilité aux gelées tardives et traitement sylvicole (p. 31)

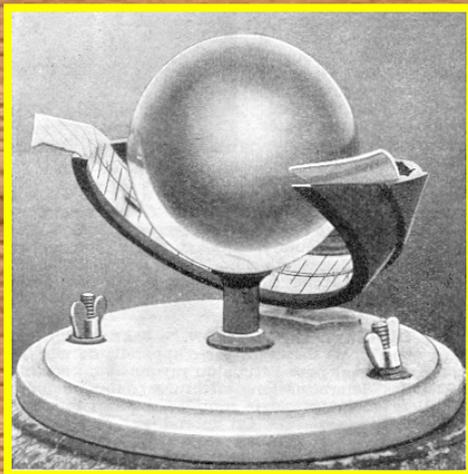
Effet du diamètre de la clairière sur la température

(Aussenac 1970, 1973)



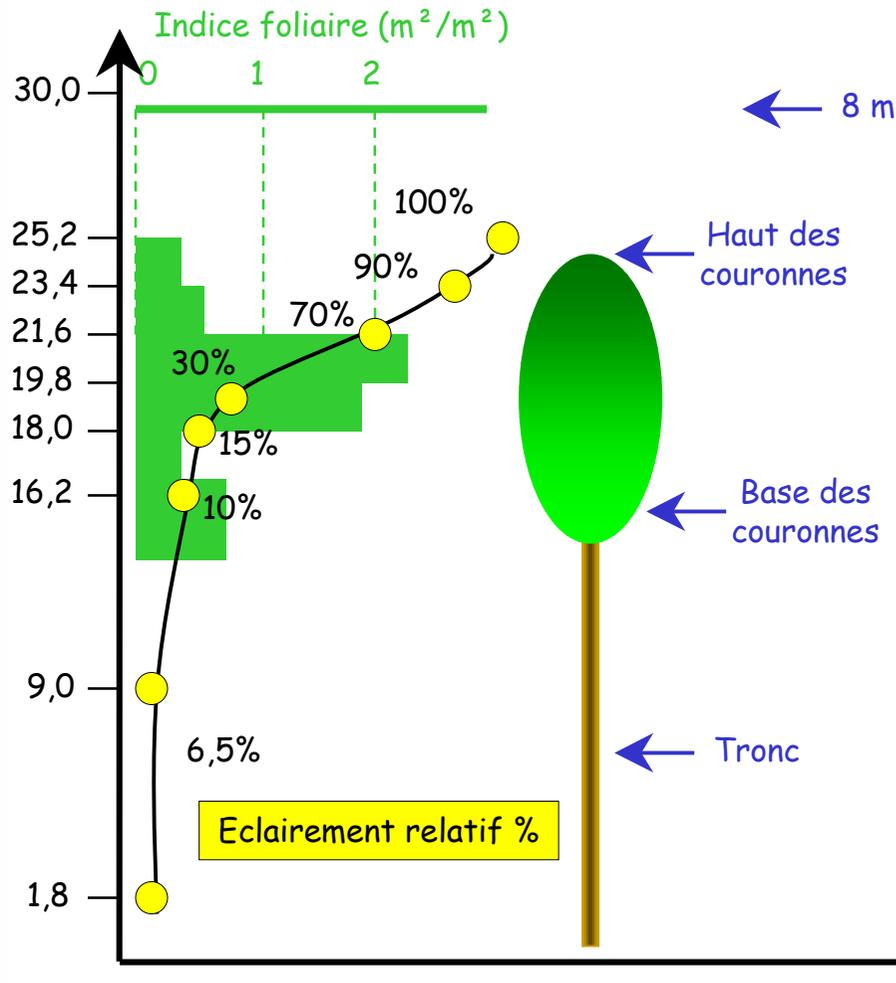


# Profil radiatif



Variation du profil radiatif (p. 41)

Ciel clair - journée estivale (790 W/m<sup>2</sup>)



Extinction très rapide de l'éclairement dans les couronnes

Le sol ne reçoit que 5 à 7 % de l'énergie incidente



Effet important sur la régénération...

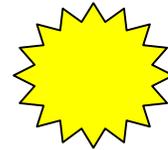
Importance de l'essence, de la structure du peuplement, du couvert...

Profil radiatif

## Variation du profil radiatif... extinction de la lumière par le couvert

$R_g = 47\%$  dans le PAR  
(bande spectrale 400 à 700 nm)

Été = 700 à 1000 W/m<sup>2</sup>

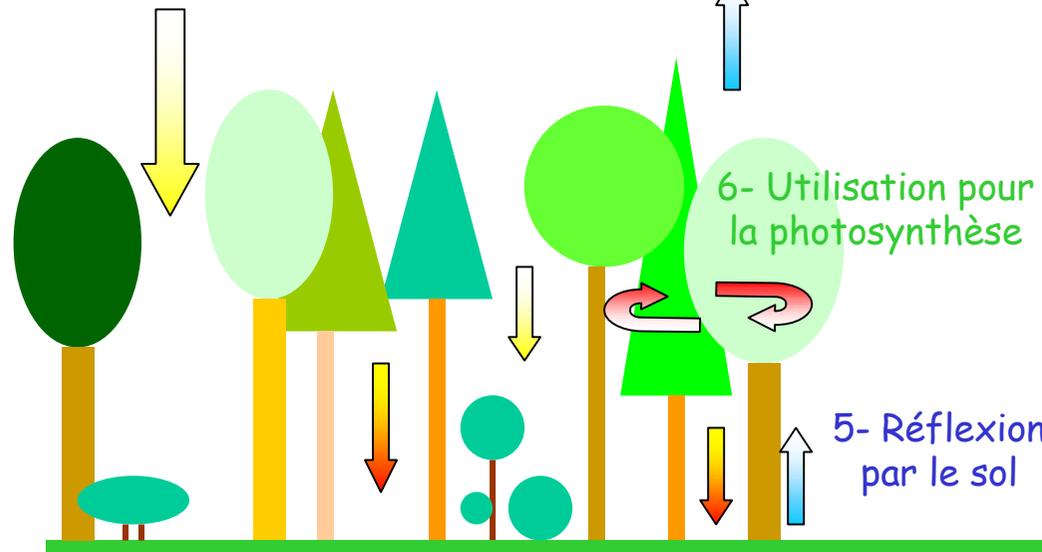


1-  $R_g$  (direct et diffus)

- Densité du peuplement (fermé, ouvert, trouée...)
- Port de l'arbre (forme allongée, étalée...)
- Age des arbres
- Taille des houppiers (surface de feuilles...)
- Inclinaison et la dispersion des feuilles...

2- Réflexion par les couronnes

3- Transmission directe au sol ( $R_n$ )



5- Réflexion par le sol

6- Utilisation pour la photosynthèse

4- Transmission après passage dans la canopée

Profil radiatif

Variation du profil radiatif... extinction de la lumière par le couvert (p. 44)

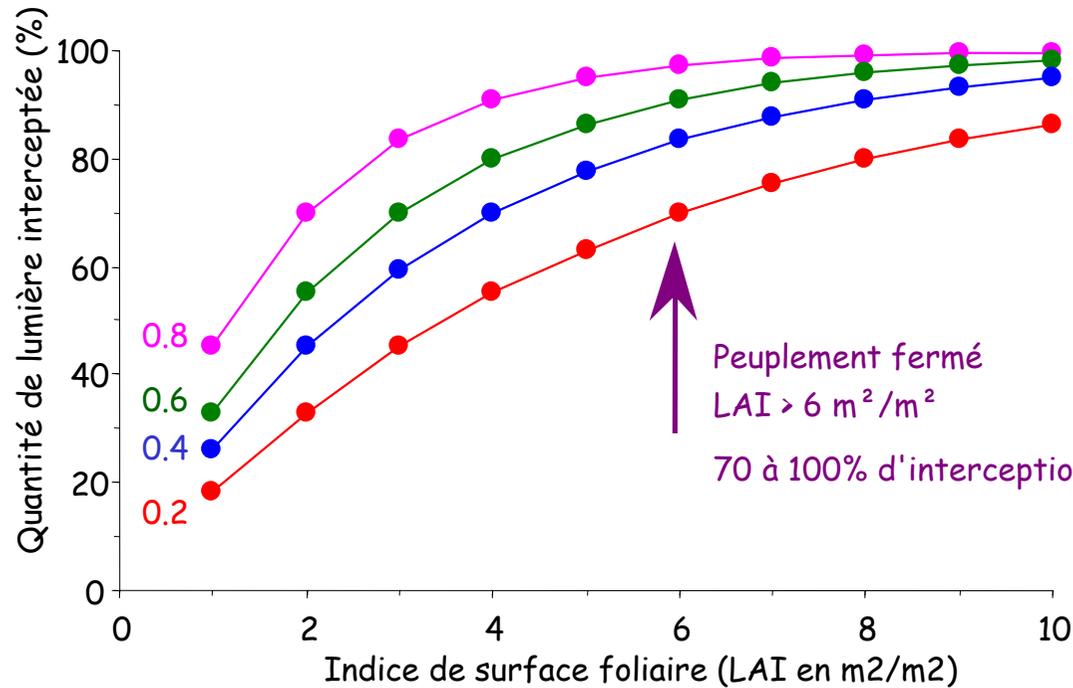
Plus un peuplement est dense, plus il intercepte de la lumière  
 L'éclairement du sous-étage est donné par la loi de Beer-Lambert

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

LAI = Leaf Area Index = surface de feuille en m<sup>2</sup> par m<sup>2</sup> de sol  
 1 à 15 => 4 à 8 ; couvert fermé : CH : 6 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> ; HET : 7 à 8 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> )

k = coefficient d'extinction du couvert (0.2 à 0.8)  
 distribution, agencement, angle d'inclinaison des feuilles

Profil radiatif



Feuille « d'ombre »  
 et de « lumière »

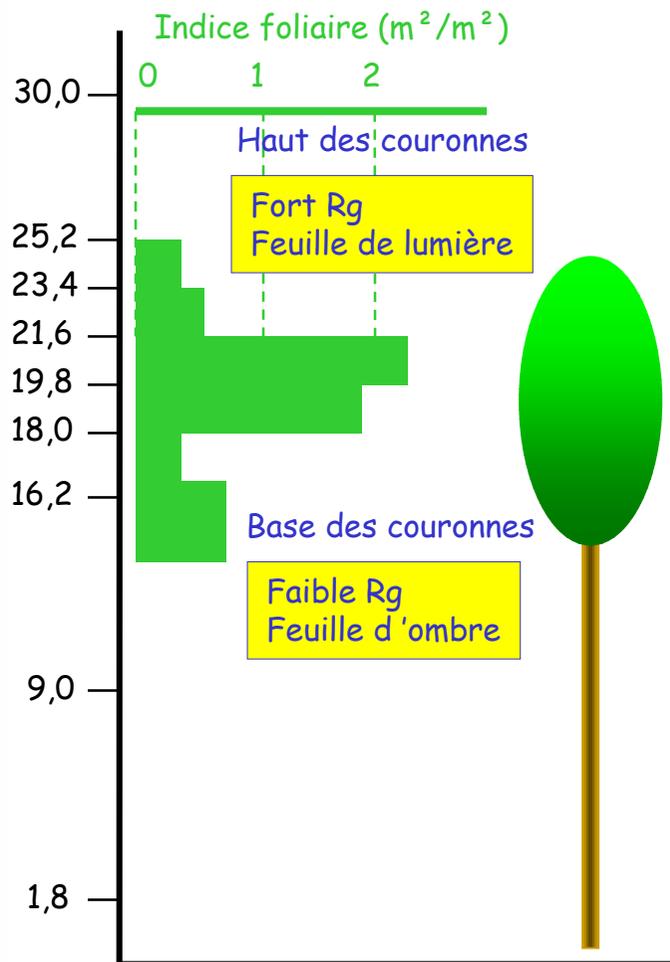
Essence « d'ombre »  
 et de « lumière »

Peuplement fermé  
 LAI > 6 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
 70 à 100% d'interception

## Variation du profil radiatif... extinction de la lumière par le couvert

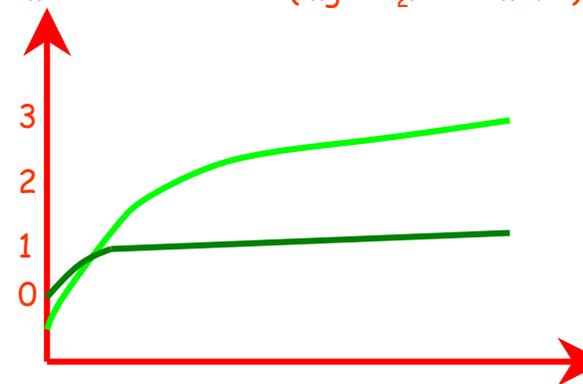
### 1. Variation au sein du houppier des types de feuilles... (p. 37)

Profil radiatif

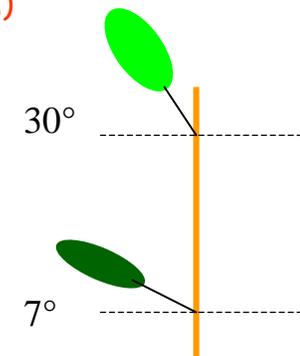


	Lumière ombre	
Poids	+	-
Epaisseur	+	-
Nb stomates	+	-
Taille stomates	-	+
Teneur chlorop.	-	+
Eclair. Sat	+	-
Rendt (ombre)	-	+

Assimilation carbonée ( $mg\ CO_2/50\ cm^2/h$ )



Intensité lumineuse croissante



## Variation du profil radiatif... extinction de la lumière par le couvert

### 2. Essence « d'ombre » et de « lumière » (p. 46-48)

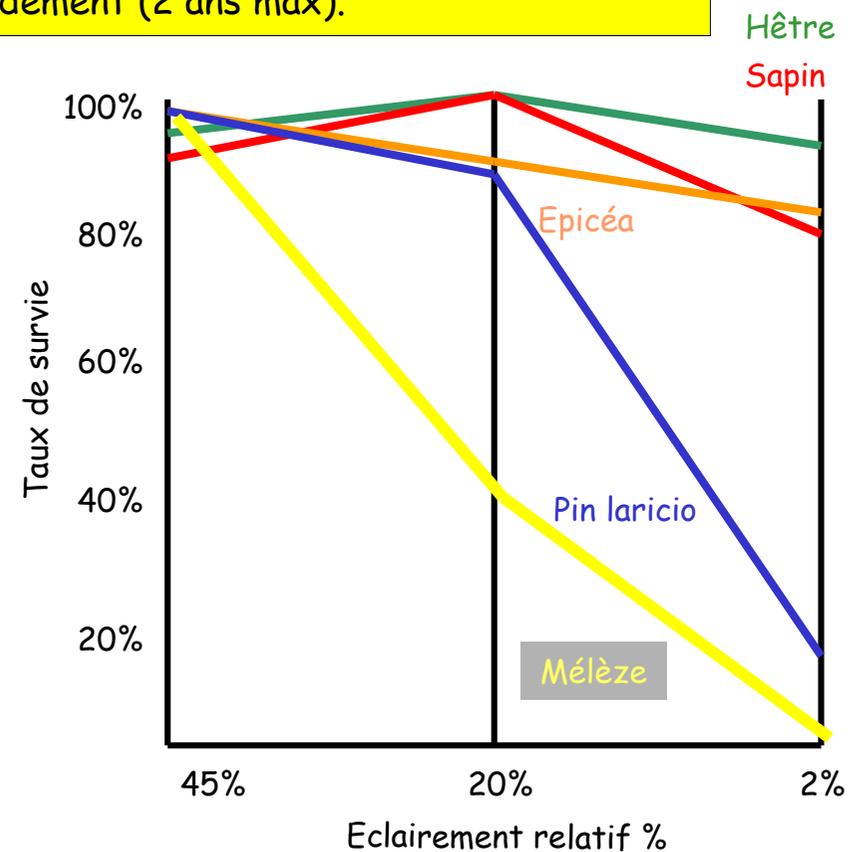
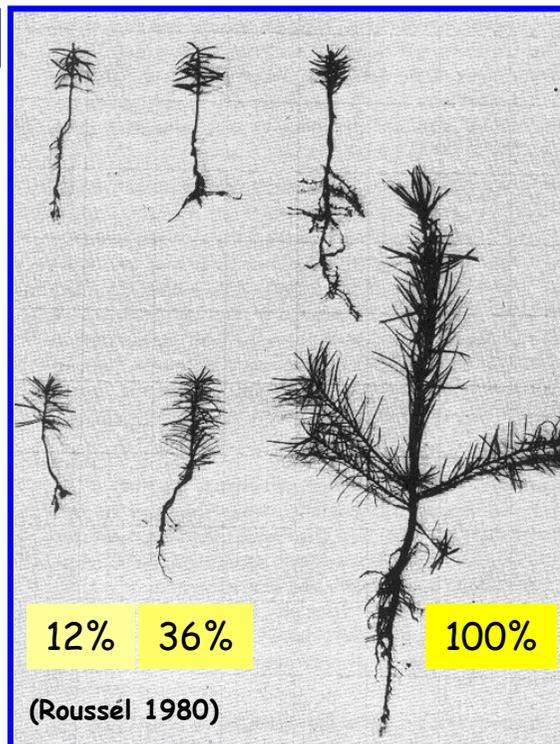
Une essence d'ombre est capable de survivre plusieurs années (pousser ?) sous des éclairagements relatifs faibles (5 à 15%). Sous de tels éclairagements, une essence de lumière disparaît rapidement (2 ans max).

Profil radiatif

Plants de 2 ans

Sapin pectiné  
Jura

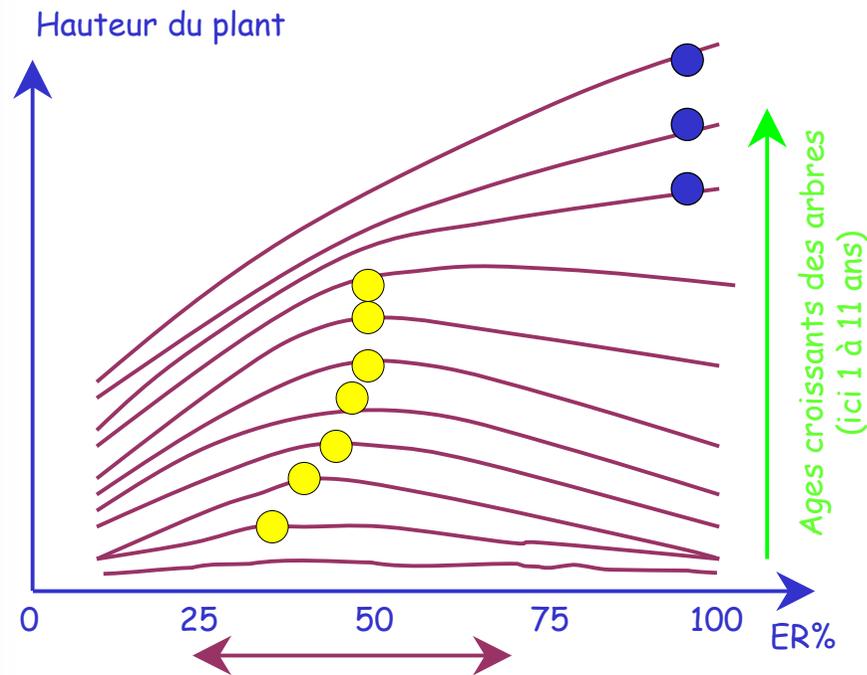
Mélèze  
Alpes du Nord



## Variation du profil radiatif... extinction de la lumière par le couvert

2. Essence « d'ombre » et de « lumière »... interaction ER% et âge (p. 51)

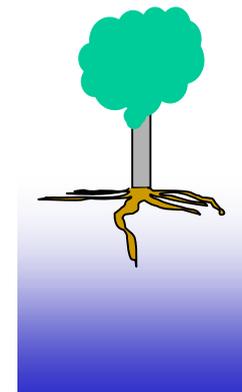
Profil radiatif



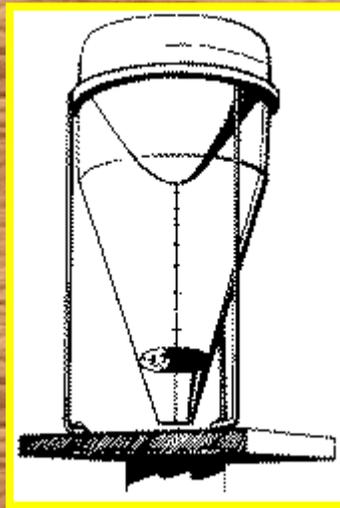
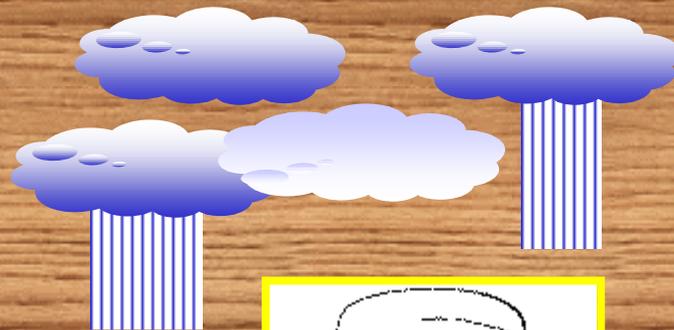
Valeurs « optimales » de ER (%)	
25%	Sapin, hêtre
15-30%	Chêne rouge
30-50%	CHS, érables
> 50%	CHP, frêne
40-50%	Epicéa
> 50-70%	Mélèze, pins...

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

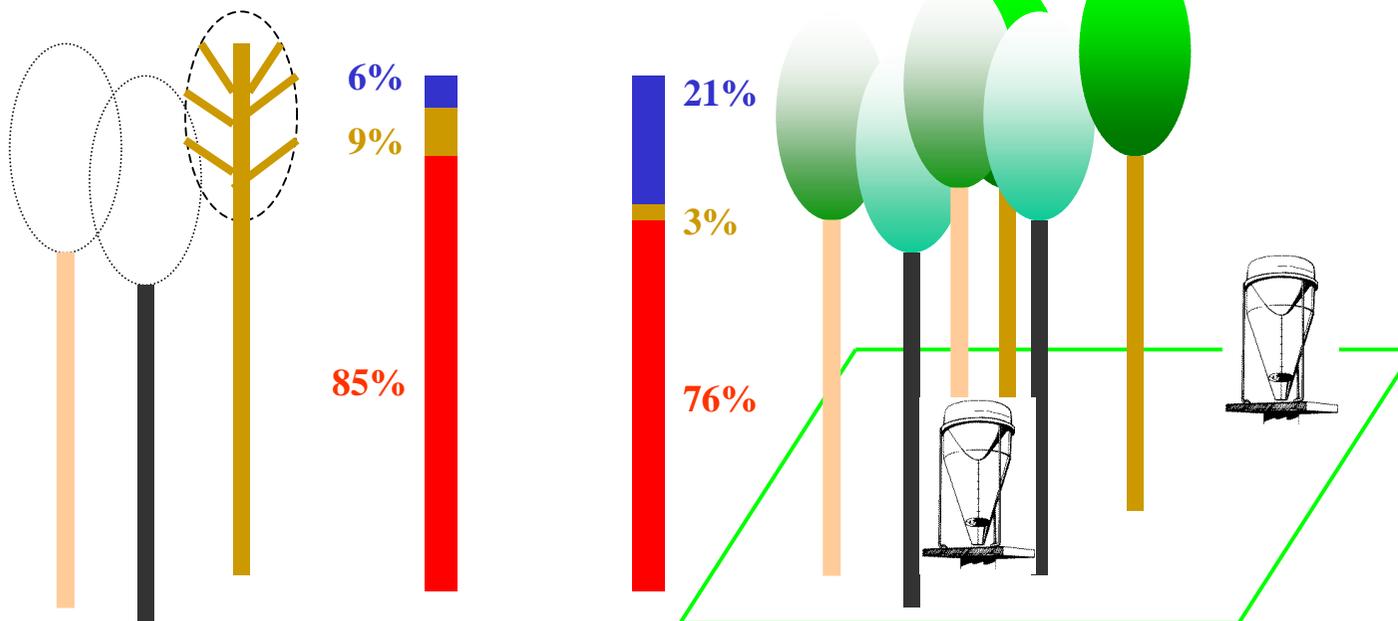
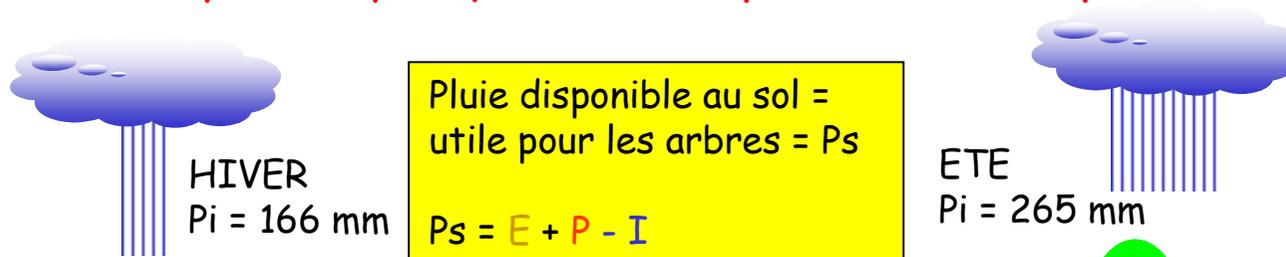
Pour les jeunes plus âgés... relation « linéaire » avec ER%...



# Profil hydrique



Variation du profil hydrique... interception de l'eau (p. 61)



Interception (I)

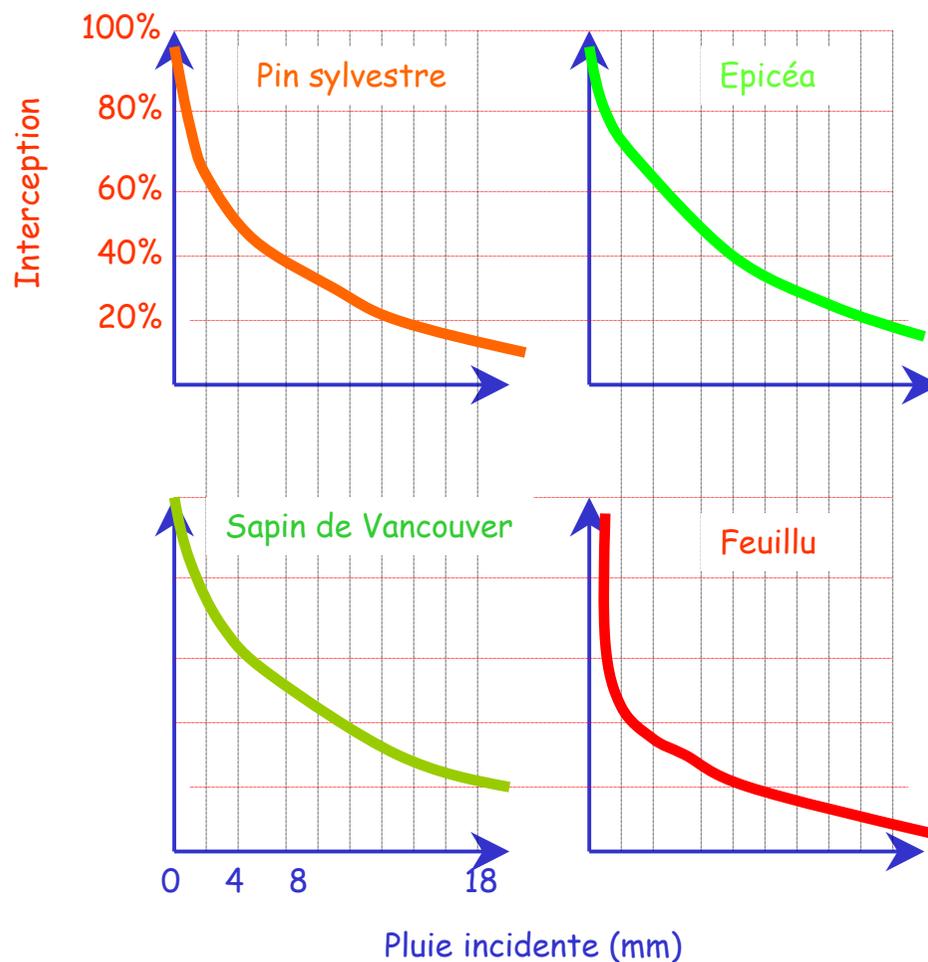
Ecoulement le long des troncs (E)

Pluie arrivant directement au sol (P)

Profil hydrique

## Variation du profil hydrique... interception de l'eau

- Rôle de la pluie incidente : intensité et durée (p. 63)



Pi < 1-2 mm  
Interception totale

Pi = 60 mm  
mois de 30 jours  
pluie = 2 mm/jour  
... alors ...  
Pluie utile = 0 mm !!



Profil hydrique

## Variation du profil hydrique... interception de l'eau

- Capacité de rétention du feuillage

Eau incidente      Evaporation de surface

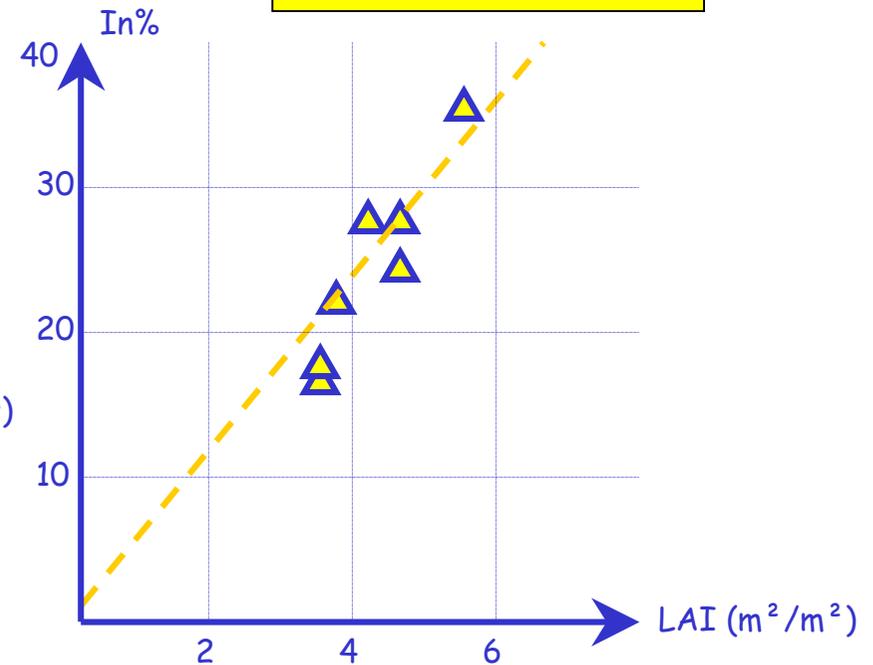


La capacité maximale de rétention des feuilles traduit la force de tension superficielle de l'eau par rapport à la force de pesanteur

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

- Rôle de la surface foliaire

Peuplement de chênes (45 ans)



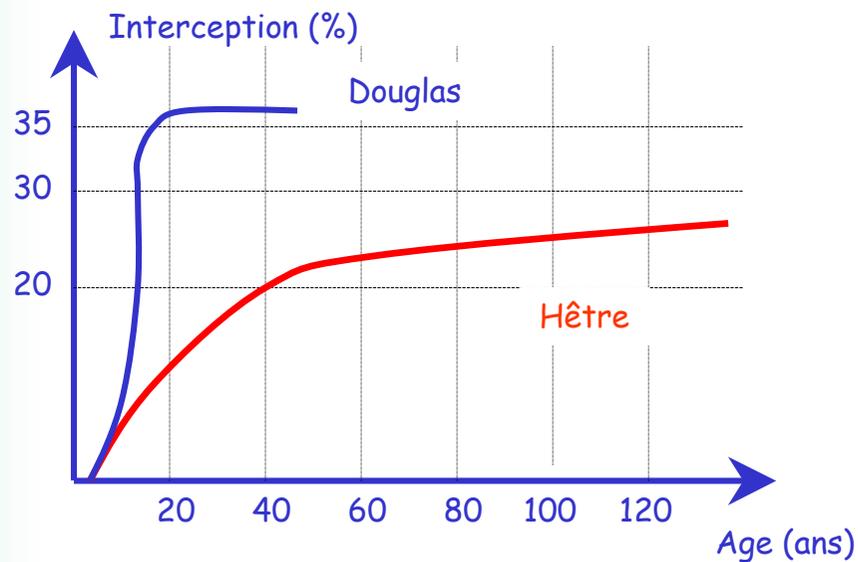
## Variation du profil hydrique... interception de l'eau

- Effets de l'âge et de la densité de plantation... (p. 72)

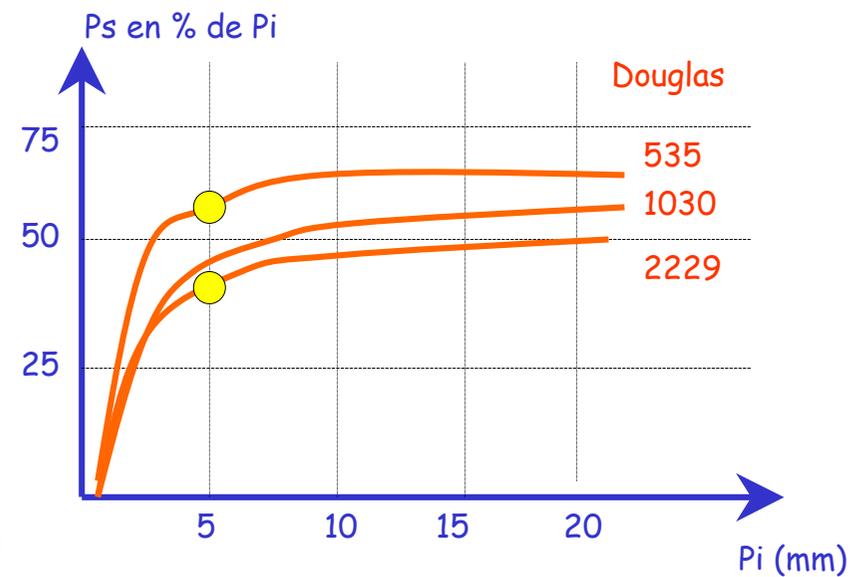
Ces deux effets sont directement liés aux variations de surface foliaire (LAI en  $m^2/m^2$ )

Profil hydrique

Effet de l'âge



Effet de la densité



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

## Variation du profil hydrique... interception de l'eau

- Valeurs moyennes d'interception

Résineux (sapins, pins)  
25 à 50 %

adulte = 35%

Feuillus (chênes, hêtre)  
15 à 35 %

adulte = 25%

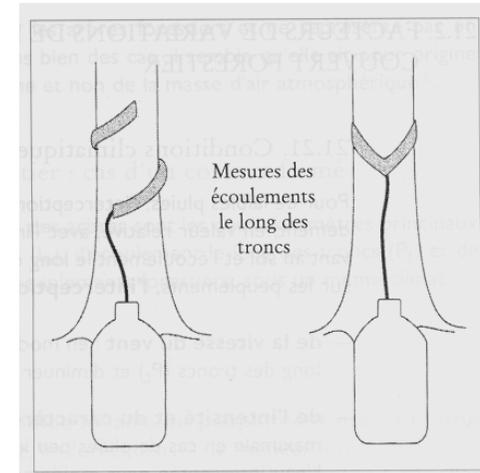


Profil hydrique

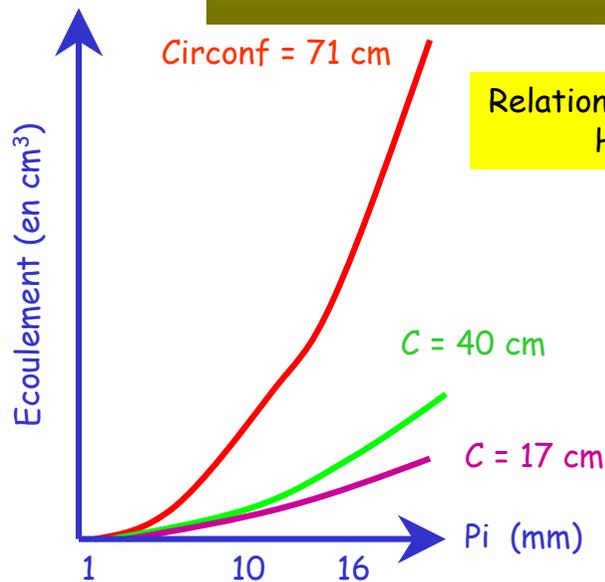
## Variation du profil hydrique... interception de l'eau

- Ecoulement le long des troncs (p. 75)

fort	faible
Hêtre	Chêne sessile
Charme	Chêne pédonculé
Tilleul	Sapin pectiné
Erables	Sapin de Vancouver
Douglas	Epicéa
	Pin sylvestre



Ecoulement = 1 à 10%  
Hiver > Eté (< 5%)



Relation Circonf. et écoulement  
Hêtre et Charme

Pi = 10 mm  
C = 40 cm à 71 cm => Ecouil. x 4

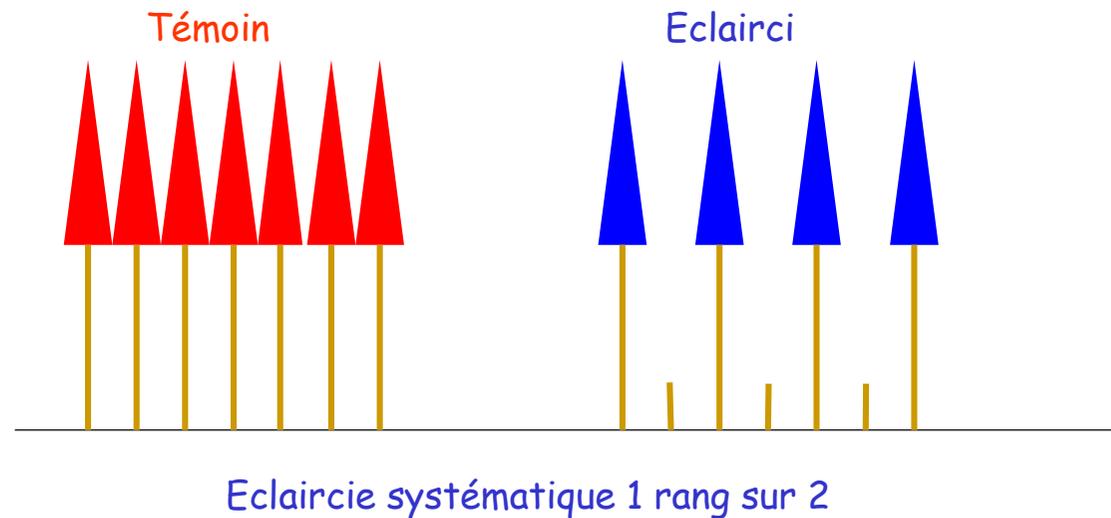
Profil hydrique

Sylviculture et microclimat

Effet sur la croissance du douglas

Eclaircie, microclimat et croissance : Peuplement de Douglas *(Aussenac et al. 1984)*

Eclaircie dans une plantation de douglas

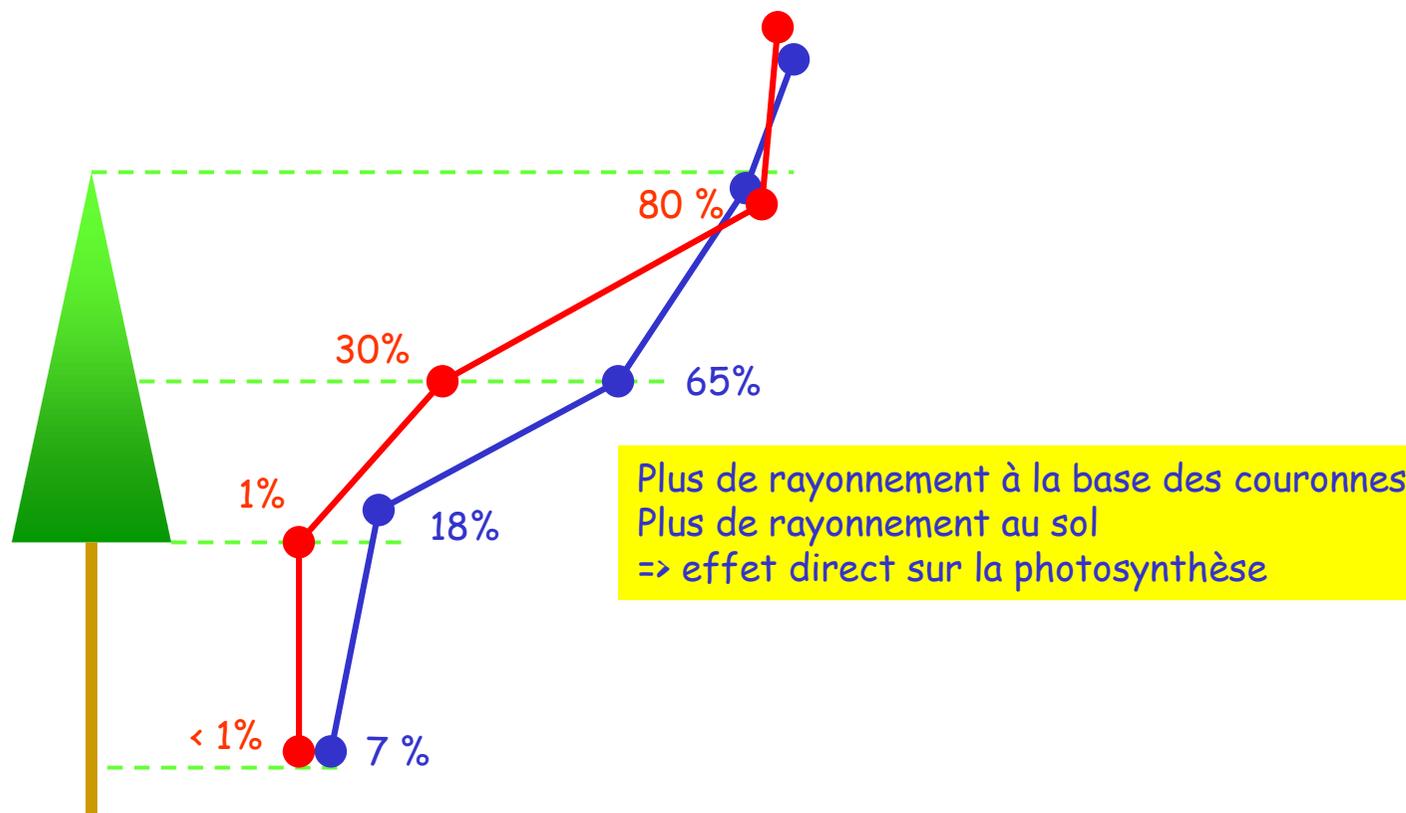


	Témoin	Eclairci
Age (ans)	19	19
Nb de tiges à l'hectare	2900	1500
Surface terrière (m <sup>2</sup> )	39	20
Hauteur moyenne (m)	11,5	11,5
Circonférence (cm)	40	40

Eclaircie, microclimat et croissance : Peuplement de Douglas (Aussenac et al. 1984)

Eclaircie dans une plantation de douglas

➔ Augmentation du rayonnement à différents niveaux (p. 57)

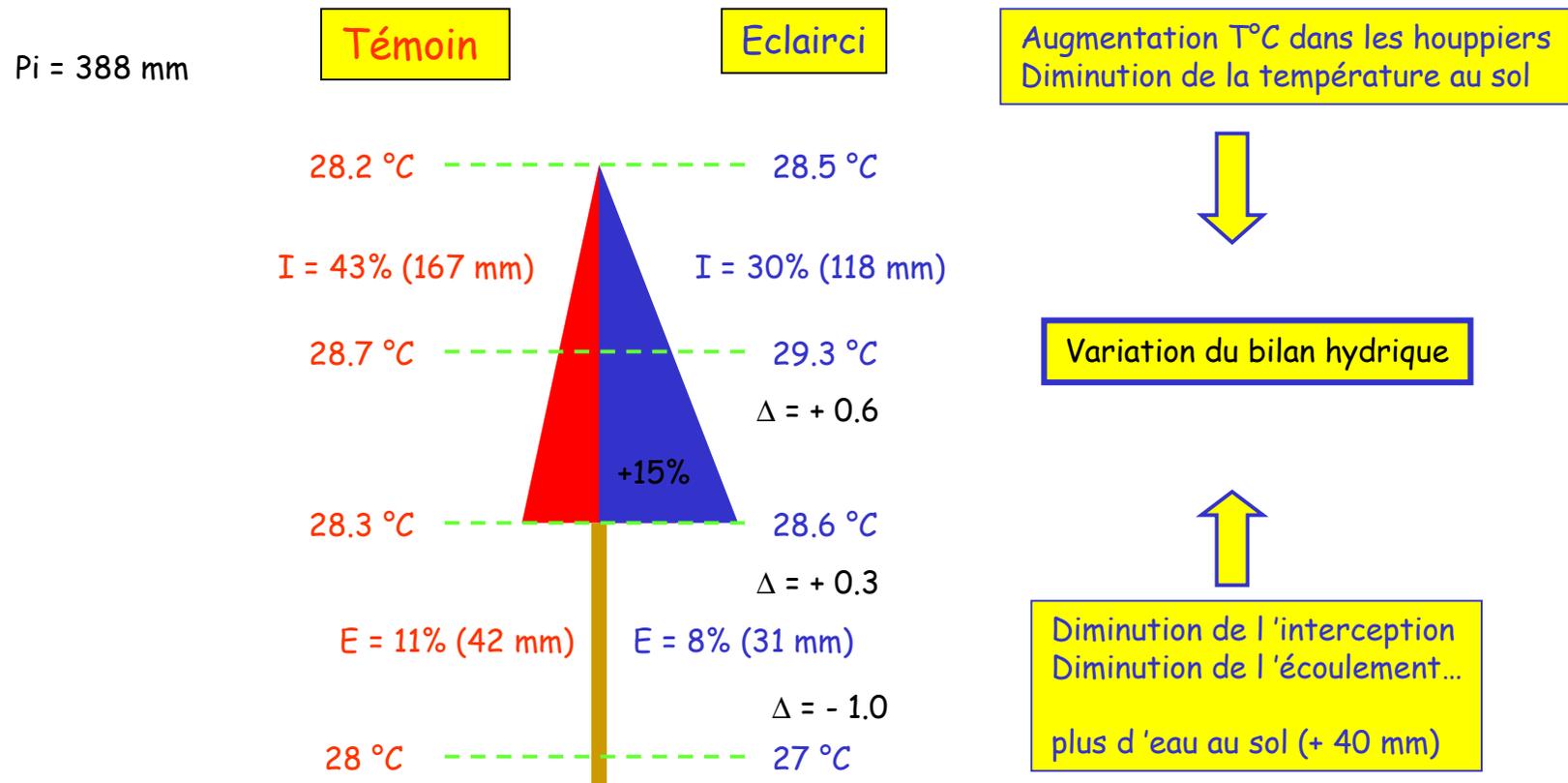


Eclaircie, microclimat et croissance : Peuplement de Douglas (Aussenac et al. 1984)

Eclaircie dans une plantation de douglas



Variation de la température diurne (25 juillet 1980)  
 Modification de l'interception (12 juin au 30 octobre 1980)

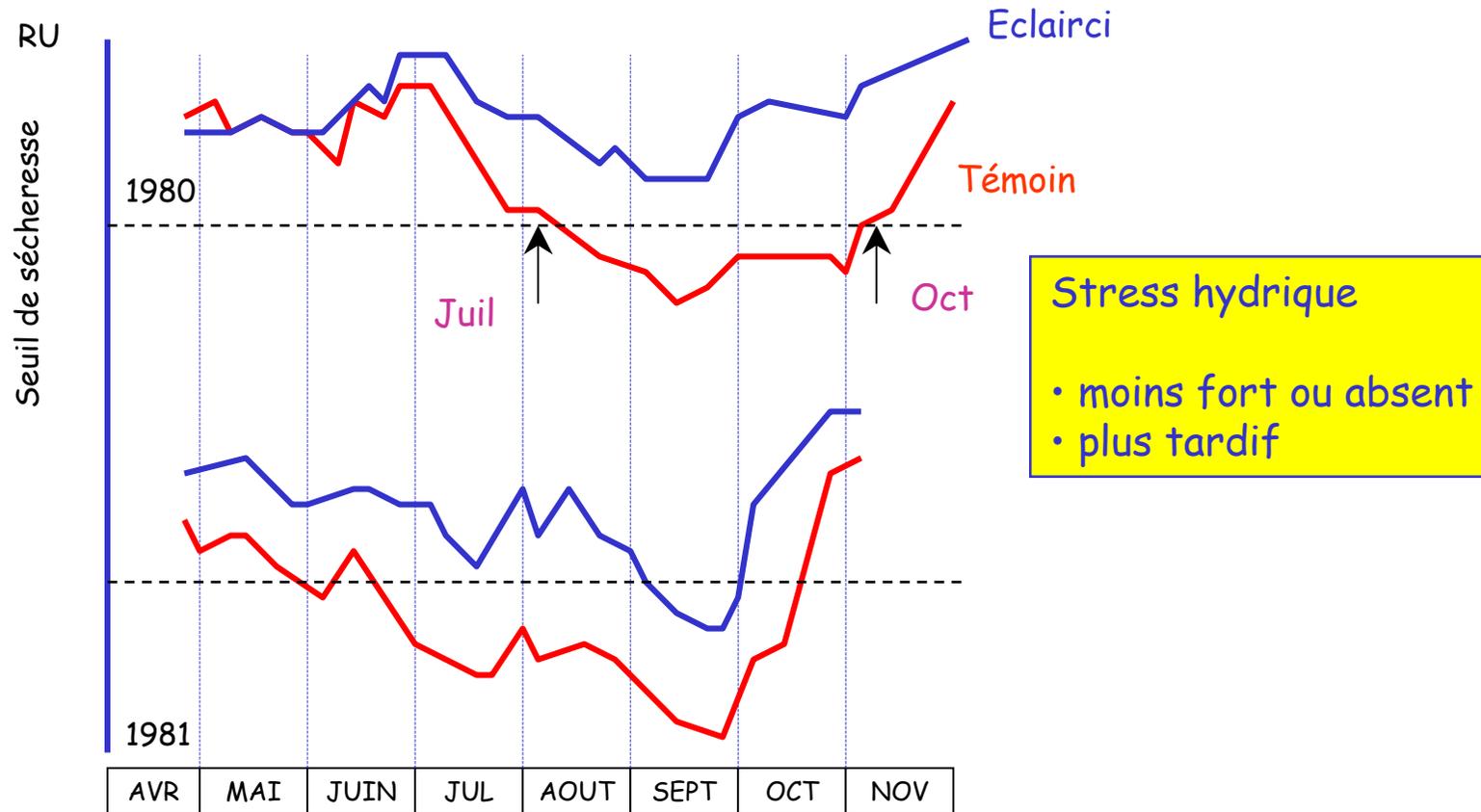


Eclaircie, microclimat et croissance : Peuplement de Douglas (Aussenac et al. 1984)

Eclaircie dans une plantation de douglas



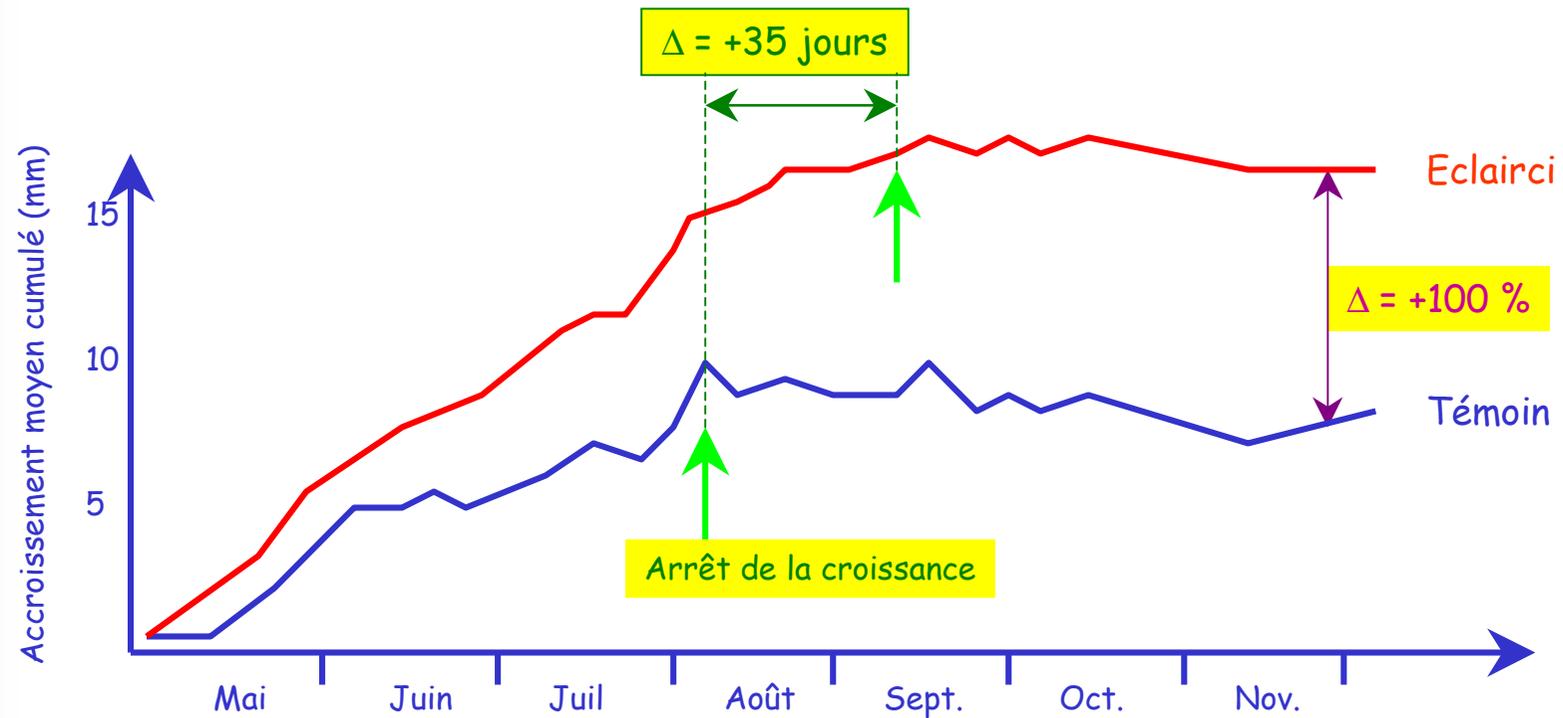
Variation du stock d'eau dans le sol



## Eclaircie, microclimat et croissance : Peuplement de Douglas (Aussenac et al. 1984)



Croissance plus rapide et saison de végétation plus longue



Eclaircie dans une plantation de douglas

A suivre...

