

# Potentialités Forestières dans l'Arrière-Pays Méditerranéen pour 5 essences

Hêtre, Sapin pectiné, Pin noir d'Autriche, Pin sylvestre, Pin à crochets

&

## Recherches en cours sur les Peuplements Mélangés et Irréguliers

Philippe DREYFUS \*, Éric BRUNO \*\*, Florence COURDIER \*, Jean LADIER \*\*\*



\* : Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes (Avignon)



\*\* : IFN (Montpellier)



\*\*\* : Direction Technique Méditerranée (Manosque)



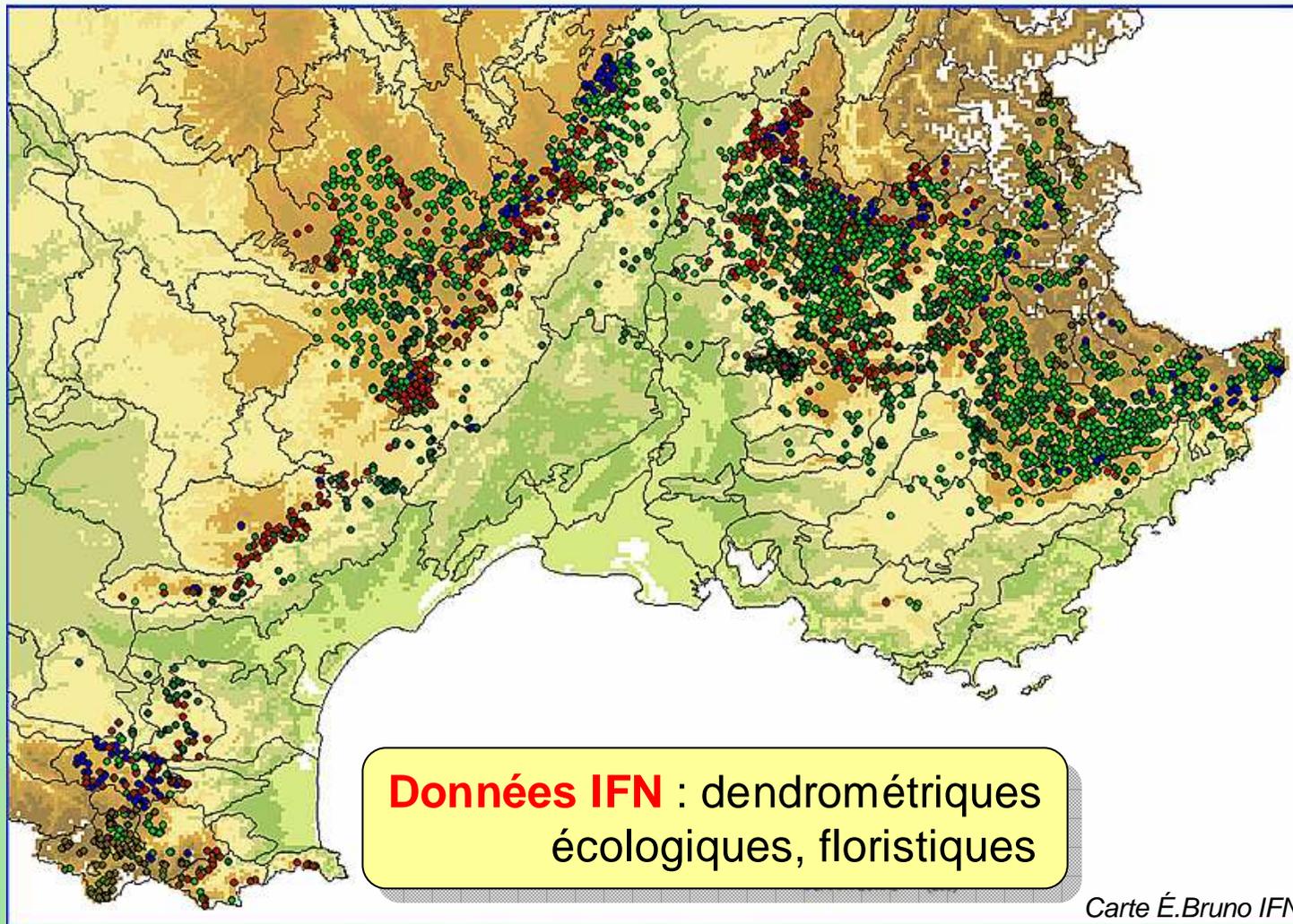
... « **Potentiel Stationnel** » :

- exprimé en **Hauteur dominante à un Âge de référence** = « Indice de Fertilité »
- pour des **peuplements « HOMOGENES »**
  - ≈ 1 espèce,
  - ≈ 1 âge,
  - régulier
- **Hêtre**, **Sapin pectiné**, **Pin noir d'Autriche**, **Pin sylvestre**, **Pin à crochets**

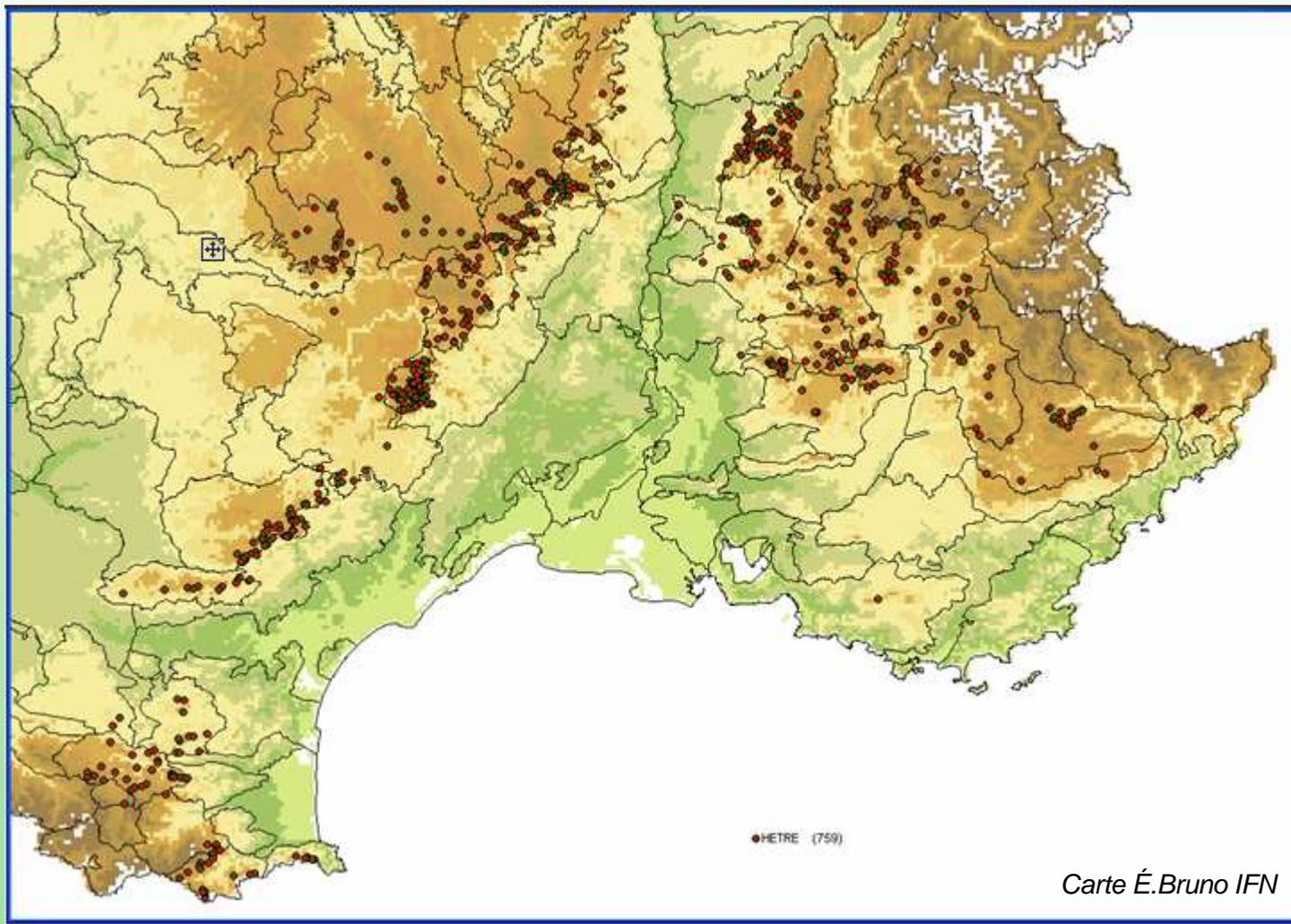
## Zone d'étude :

« *circum-méditerranéenne* » ?

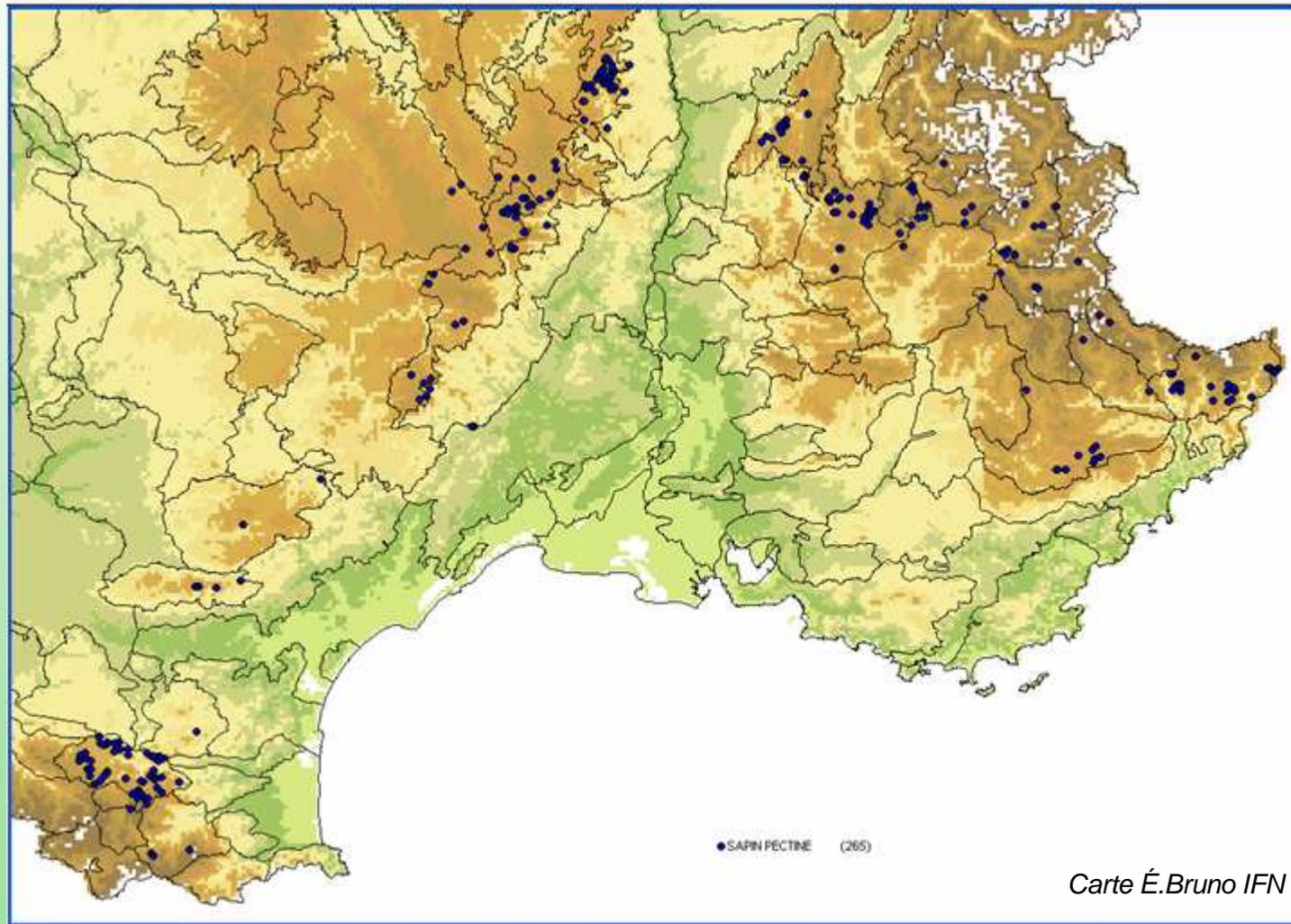
Lozère, Gard, Hérault, Ardèche, Pyrénées-Orientales, Aude  
Vaucluse, Var, Alpes-Maritimes, Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Drôme



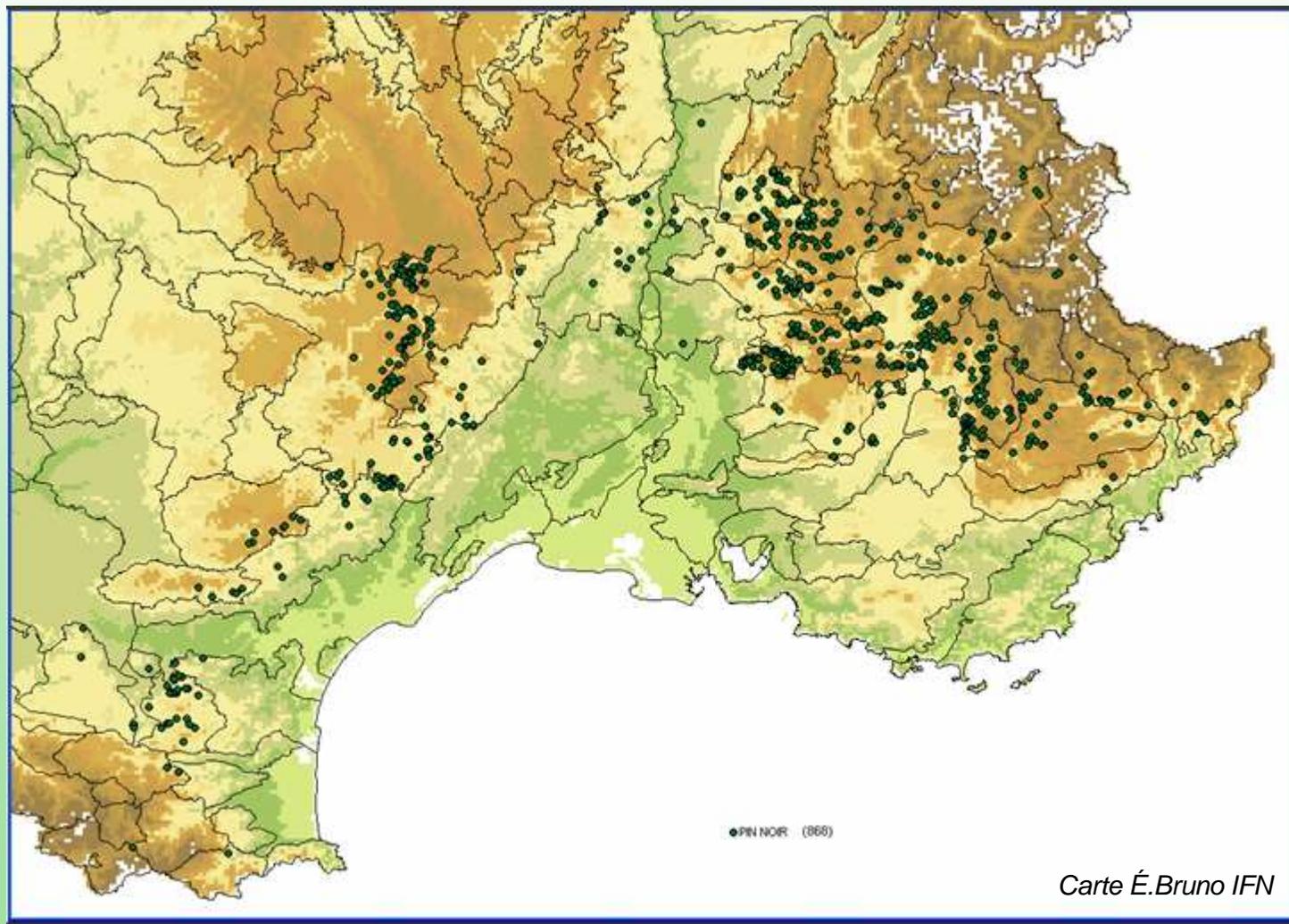
# HÊTRE :



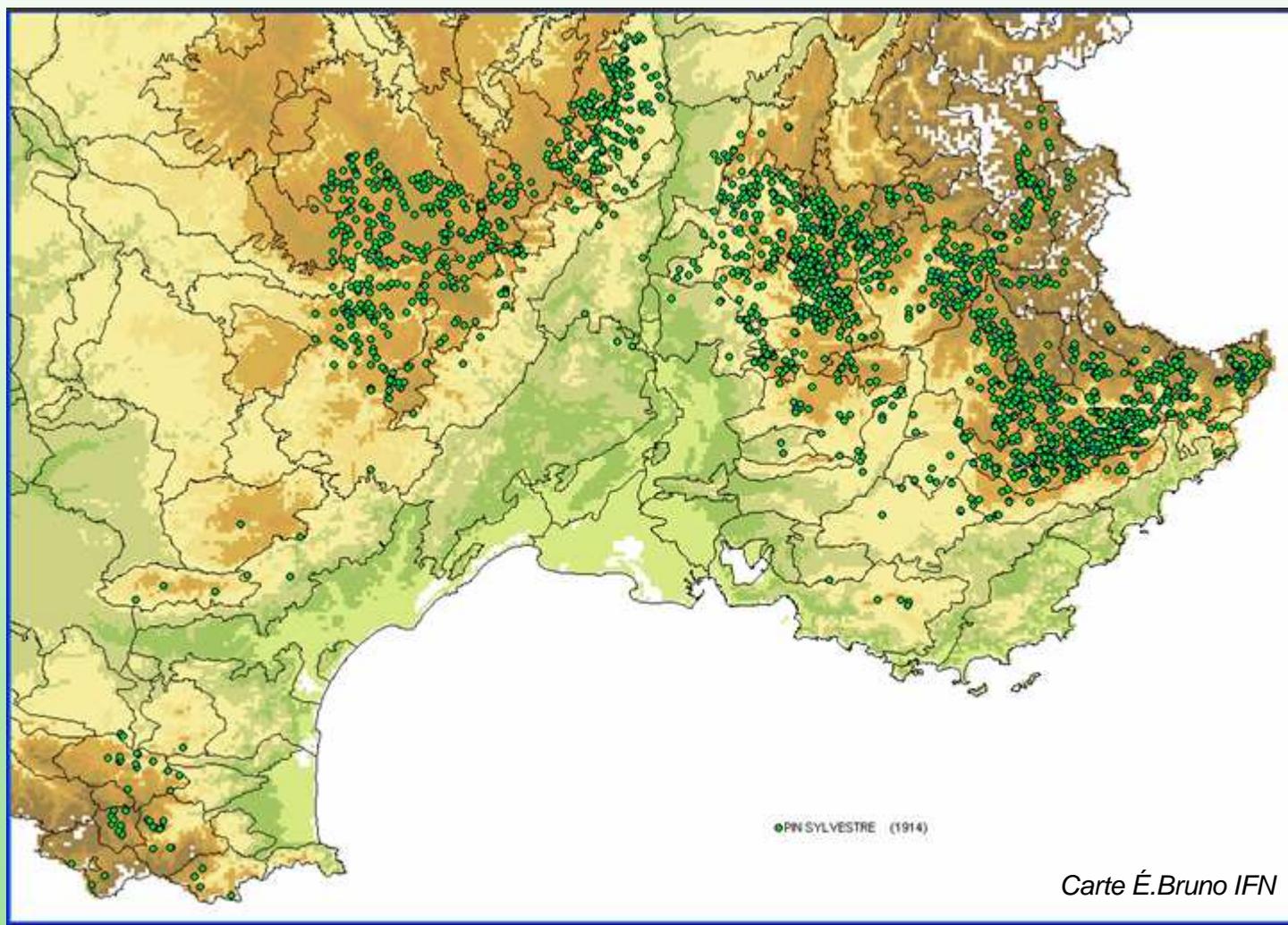
## SAPIN PECTINÉ :



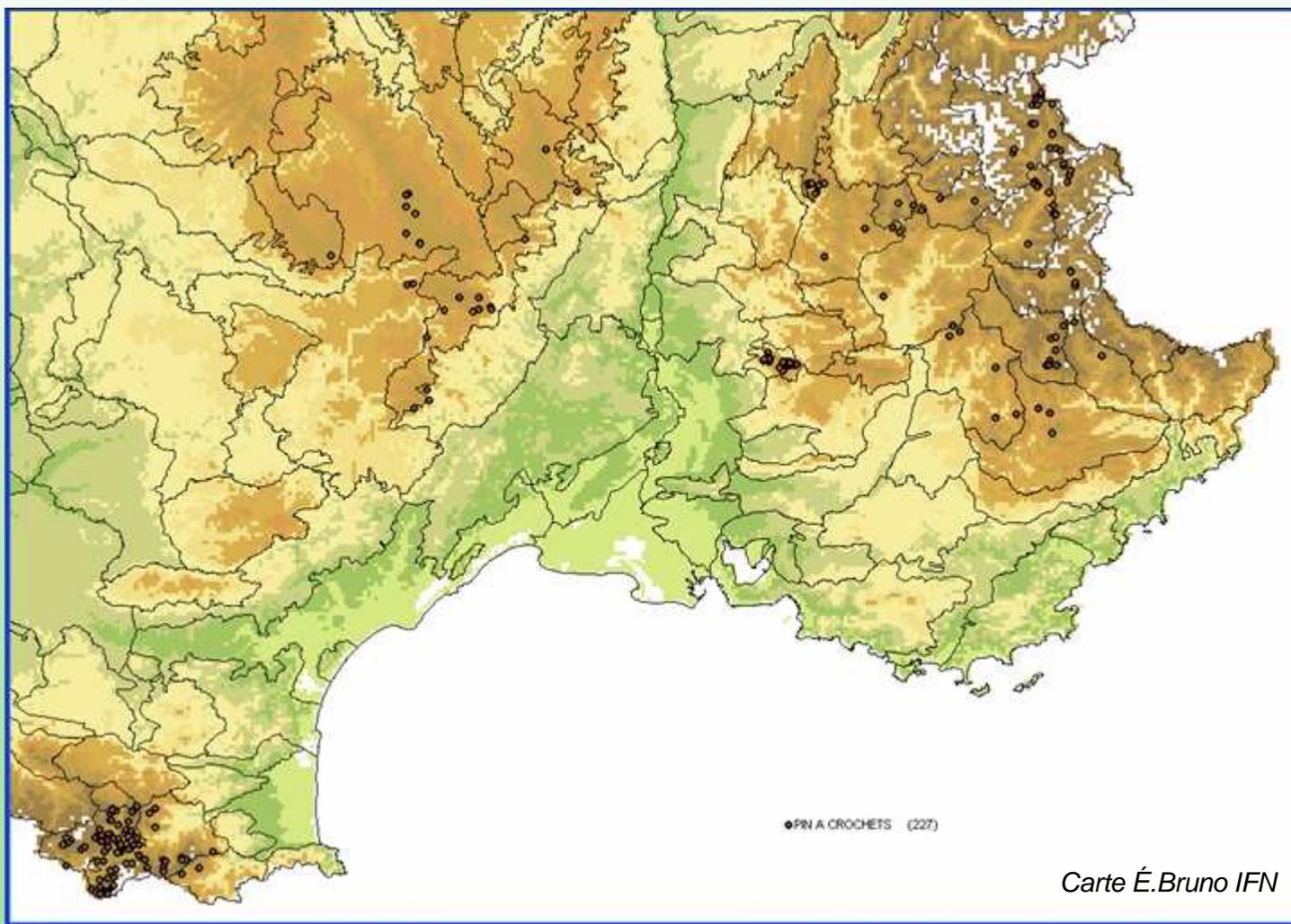
# PIN NOIR :



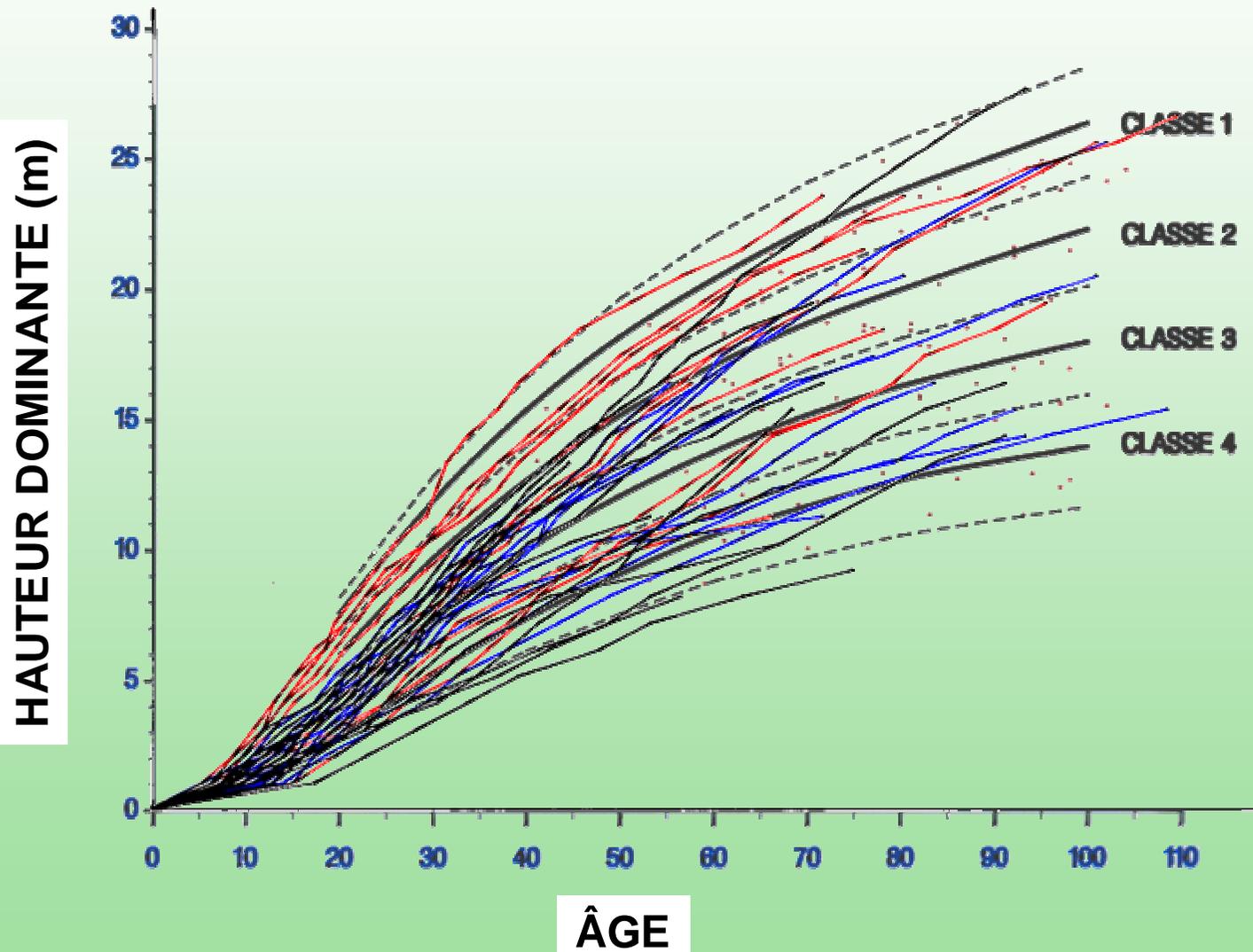
## PIN SYLVESTRE :



## PIN à CROCHETS :



Relation Hdom(Âge) « **classiquement** » obtenue  
par **ANALYSES** de **TIGES** d'arbres dominants :

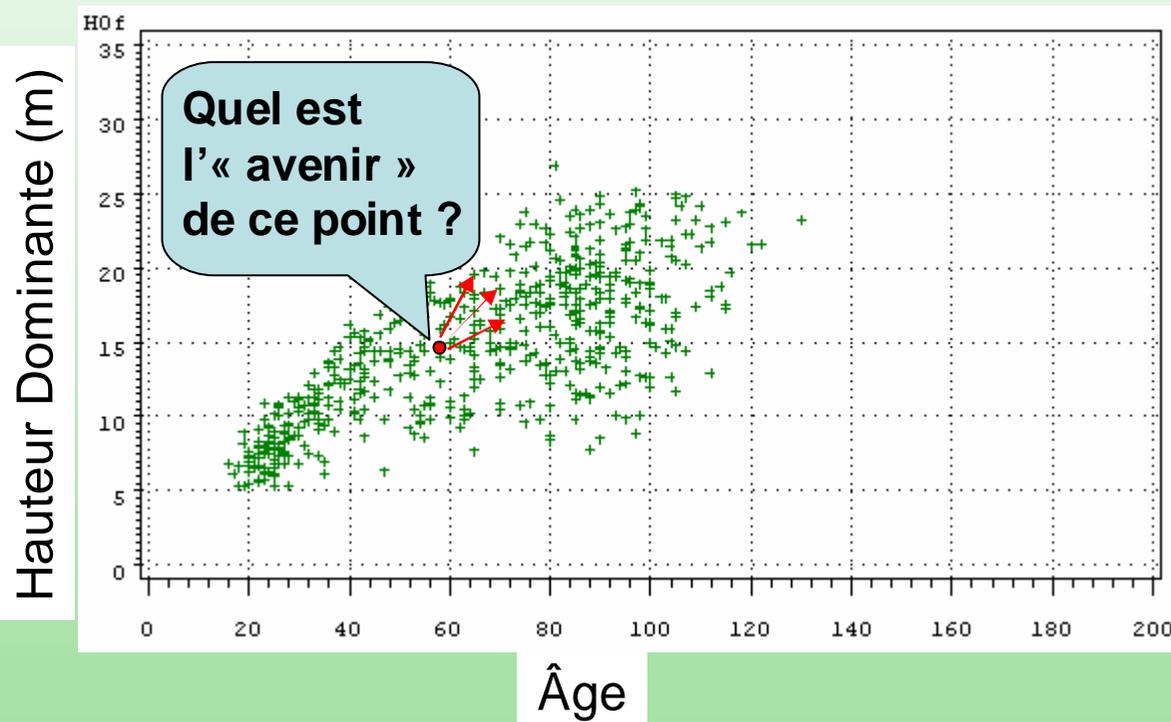


... Rare pour  
l'arrière-pays  
méditerranéen :

- Pin noir INRA
- Aigoual ONF  
(Hêtre, Sapin,  
Pin sylvestre)

**DONNÉES dendrométriques IFN =  
NUAGE de points (placettes)  $H_{dom}(\hat{Age})$   
sans STRUCTURE**

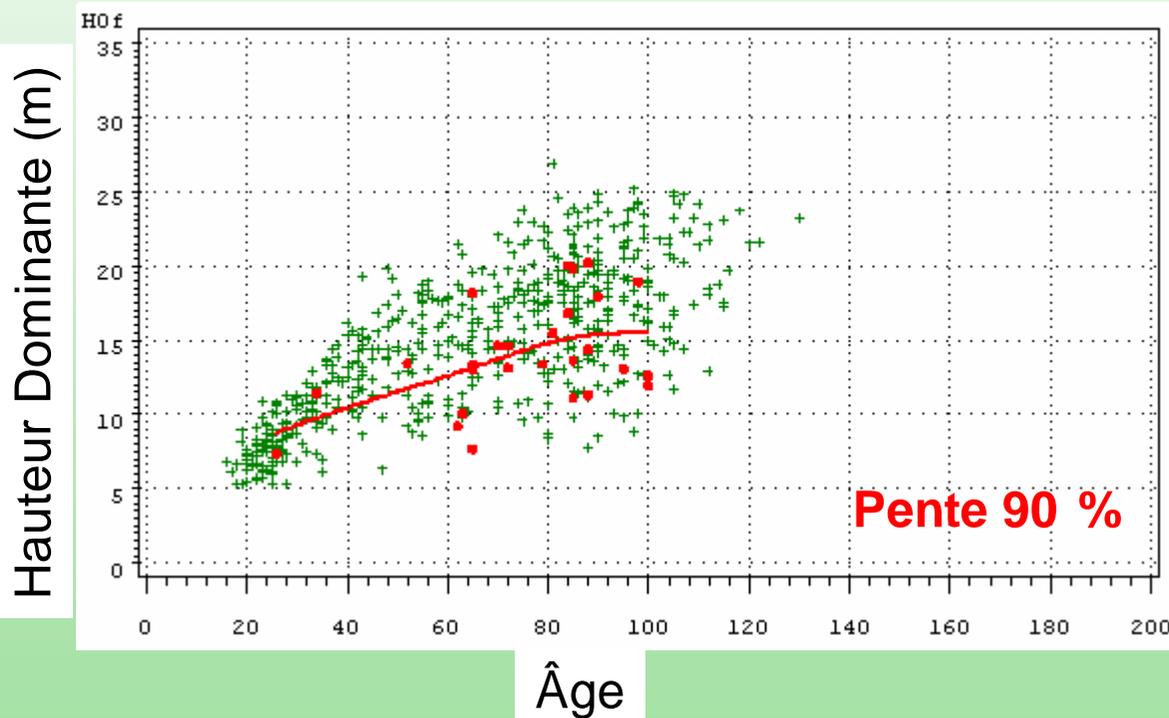
(N.B. : accroissements 5 ans « L5 » souvent biaisés => non utilisés)



**DONNÉES dendrométriques IFN =  
NUAGE de points (placettes) Hdom(Âge)  
sans STRUCTURE**

(N.B. : accroissements 5 ans « L5 » souvent biaisés => non utilisés)

**DÉTECTER des « LIENS de PARENTÉ », des « familles de placettes »**



**PIN NOIR**

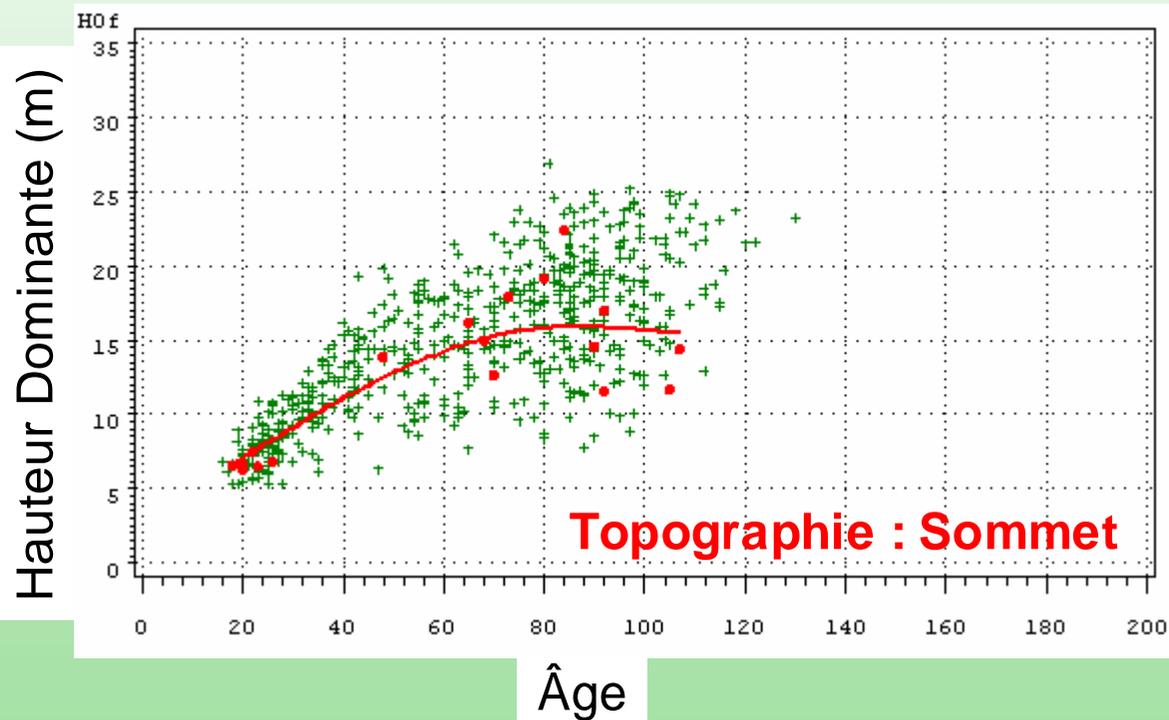
1 « famille » de placettes  
correspond  
à 1 « MODALITÉ »  
= 1 niveau (1 classe) d'1 facteur

Par : facteur = pente  
niveau = classe 90 %

**DONNÉES dendrométriques IFN =  
NUAGE de points (placettes) Hdom(Âge)  
sans STRUCTURE**

(N.B. : accroissements 5 ans « L5 » souvent biaisés => non utilisés)

**DÉTECTER des « LIENS de PARENTÉ », des « familles de placettes »**



**PIN NOIR**

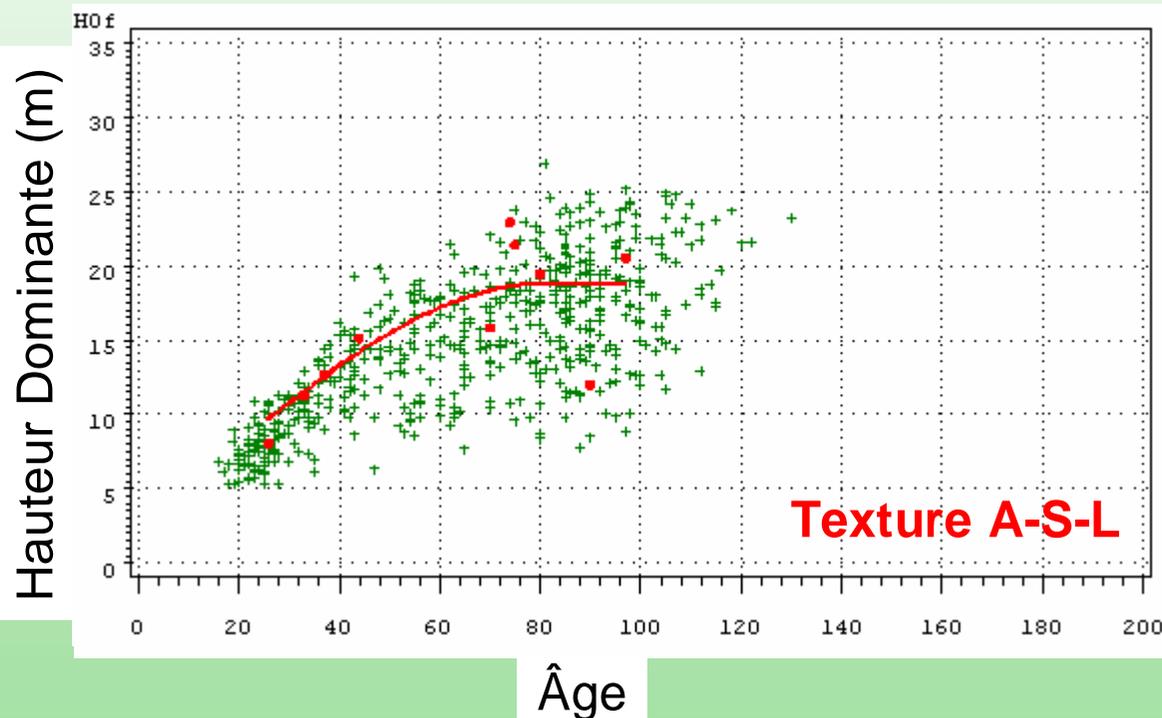
1 « famille » de placettes  
correspond  
à 1 « MODALITÉ »  
= 1 niveau (1 classe) d'1 facteur

Par : facteur = pente  
niveau = classe 90 %

**DONNÉES dendrométriques IFN =  
NUAGE de points (placettes) Hdom(Âge)  
sans STRUCTURE**

(N.B. : accroissements 5 ans « L5 » souvent biaisés => non utilisés)

**DÉTECTER des « LIENS de PARENTÉ », des « familles de placettes »**



**PIN NOIR**

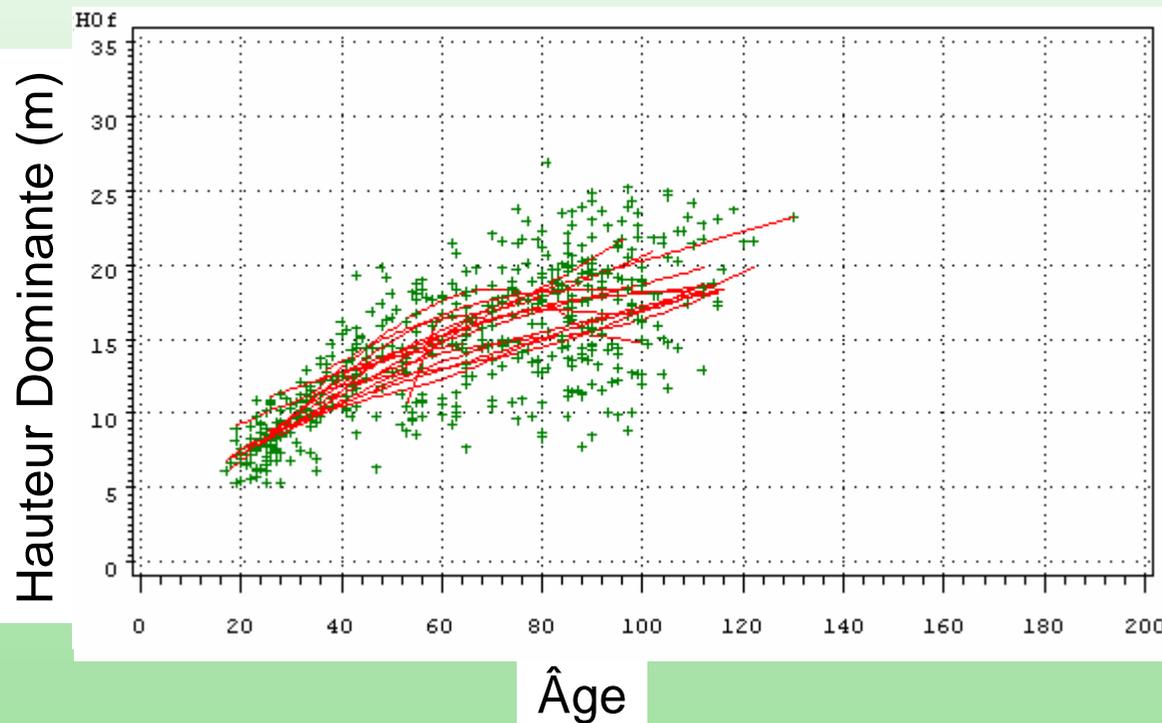
1 « famille » de placettes  
correspond  
à 1 « MODALITÉ »  
= 1 niveau (1 classe) d'1 facteur

Par : facteur = pente  
niveau = classe 90 %

**DONNÉES dendrométriques IFN =  
NUAGE de points (placettes) Hdom(Âge)  
sans STRUCTURE**

(N.B. : accroissements 5 ans « L5 » souvent biaisés => non utilisés)

**DÉTECTER des « LIENS de PARENTÉ », des « familles de placettes »**



**PIN NOIR**

1 « famille » de placettes  
correspond  
à 1 « MODALITÉ »  
= 1 niveau (1 classe) d'1 facteur

Par : facteur = pente  
niveau = classe 90 %

- « Valeur Indicatrice Différentielle » =
- Hauteur dominante quand **PRÉSENCE** du critère
  - Hauteur dominante quand **ABSENCE** du critère

**Exemple : Pin sylvestre sur roches-mères siliceuses**

<b>MODALITÉ = Niveau d'un Facteur</b>	<b>« VID » (m)</b>
Altitude 1400 m	-2.38
QTF 15 cm	-2.08
Replat	1.96
Mi-versant Concave	1.96
Altitude 600 m	1.64
QTF 75 cm	1.63
Altitude 1800 m	-1.63
Profondeur 10 dm	1.53
Altitude compensée par Exposition 1500 m	-1.36
RUM 120 mm	1.20
Altitude 1000 m	1.13
Cailloux-Graviers-Blocs 2/10	1.10
Sommet	-1.05
Altitude compensée par Exposition 750 m	0.95
RUM 105 mm	0.88
Indice(RUM, pente, topographie) 60 mm	0.83

QTF = Quantité de Terre Fine du profil (en cm)

RUM = Réserve Utile Maximale du profil (en mm)

15 à 20 modalités  
ayant les meilleures |VID|

## AJUSTEMENT Statistique

d'un **FAISCEAU Hauteur dominante(Âge)**

sur l'ensemble des 15-20 **MODALITÉS les + DISCRIMINANTES**

1 Modèle  $Hdom(\hat{A}ge)$  de Forme Simple :  $Hdom = k \cdot (1 - \exp(-b \cdot \hat{a}ge))$

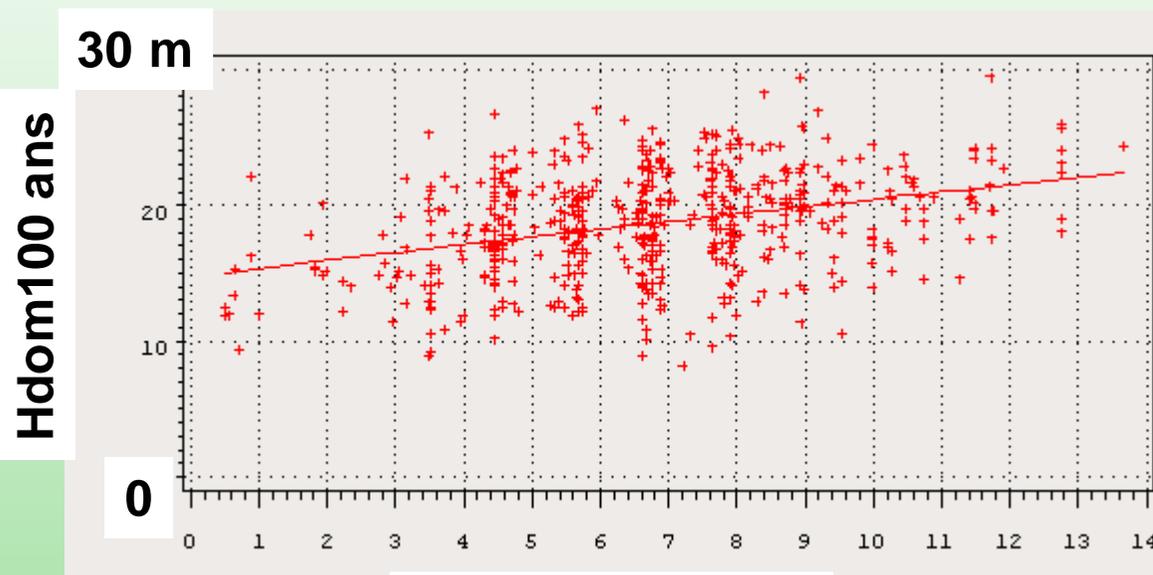
$b$  : paramètre de forme de la courbe, **caractéristique de l'essence**  
ou [ **essence x grand type de substrat** ]

$k$  : paramètre de hauteur de la courbe pour chaque « modalité »

≈ niveau de fertilité stationnelle correspondant

2 Relation linéaire donnant  **$Hdom$  à 100 ans** (déduite du faisceau pour chaque placette)  
en fonction de la **somme des VIDs des modalités présentes** sur la placette  
(ou  $Hdom_{100}$  moyen si aucune modalité présente)

- 2 Relation linéaire donnant **Hdom à 100 ans** (déduite du faisceau pour chaque placette)  
en fonction de la **somme des VIDs des modalités présentes** sur la placette  
(ou Hdom100 moyen si aucune modalité présente)

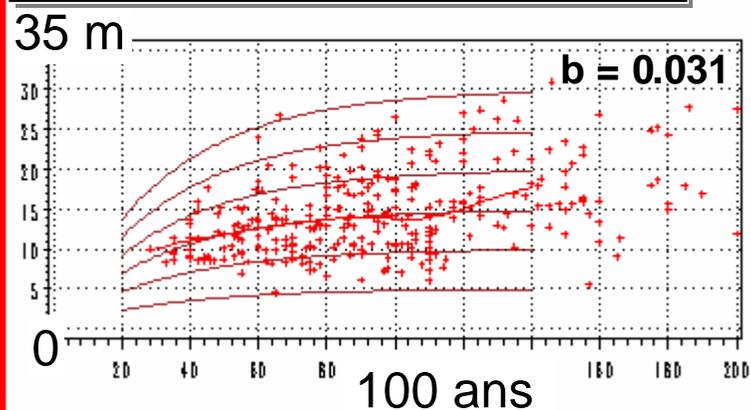


Note =  
somme des VIDs  
sur la placette

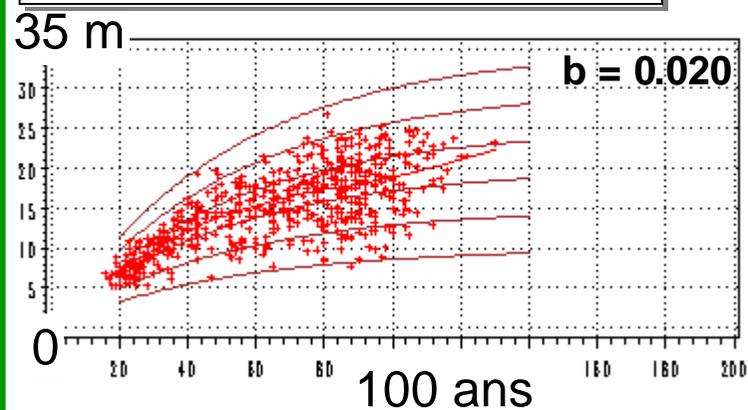
## jeu de Faisceaux par essence, grand type de substrat

par ex. :

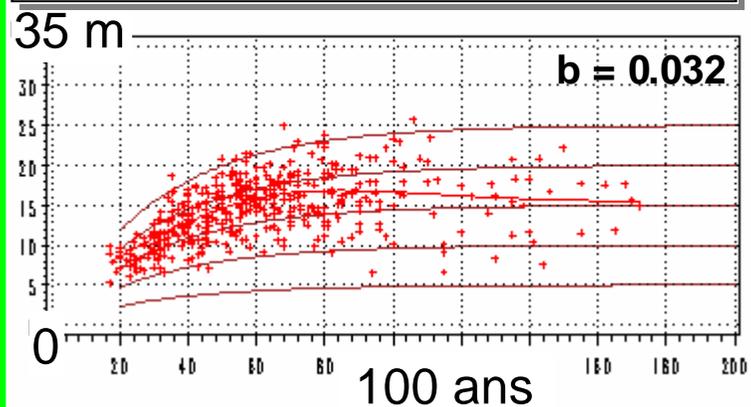
**HÊTRE** sur roches calcaires



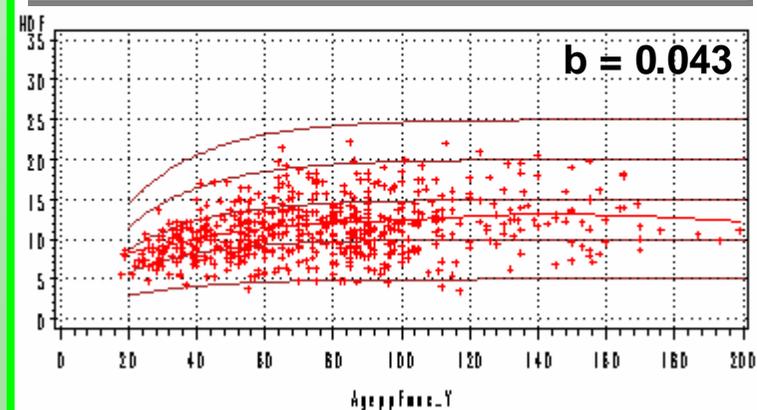
**PIN NOIR**



**PIN SYLVESTRE** / siliceuses



**PIN SYLVESTRE** / calcaires



« LIENS de PARENTÉ », « familles de placettes »

= ? ? ? ? ...

« PARENTÉ STATIONNELLE »

ex. : PIN NOIR

Variables Écologiques  
IFN :

- altitude, exposition
- sol (profondeur, éléments grossiers, texture ...)
- (humus, type de sol, de roche, etc.)

Relevés  
Floristiques  
IFN

Éric BRUNO  
(IFN Montpellier)

Hêtre,

Pin noir

MODALITÉ = Groupe de relevés floristiques	« VID » (m)
D	3.19
E	3.12
J	-2.80
A	-2.63
H	-2.18
F	2.09
B	1.40
I	-1.20
C	-0.87
G	0.47

« LIENS de PARENTÉ », « familles de placettes »

= ? ? ? ? ...

« PARENTÉ STATIONNELLE »

Variables Écologiques  
IFN :

- altitude, exposition
- sol (profondeur, éléments grossiers, texture ...)
- (*humus, type de sol, de roche, etc.*)

Relevés  
Floristiques  
IFN

Éric BRUNO  
(IFN)

*Hêtre,*

*Pin noir*

Variables Climatiques  
AURELHY Météo-France :

*normales 1970-2000, grille 1 km, / mois*

- précipitations
- nombre de jours précipitations  $\geq 1$  mm
- t min moyenne
- t max moyenne
- nombre de jours de gel (sous abri)

+ multiples indices climatiques

(cf. F. Lebourgeois)

Information ÉCOLOGIQUE, FLORISTIQUE, CLIMATIQUE :  
des **PERFORMANCES ÉQUIVALENTES** ...

Espèce	Substrats	Type d'info	Nombre de placettes	b	Hdom100 moyenne (m)	Carré moyen résiduel (m)	Coefficient de variation de l'erreur (%)	%tage de variance expliquée
<b>HÊTRE</b>	siliceux	Eco+CLIM	225	0.0301	13.9	3.46	25	40
<b>HÊTRE</b>	siliceux	Eco	225	0.0301	13.9	3.46	25	40
<b>HÊTRE</b>	siliceux	FLORE	225	0.0316	13.9	3.93	28	23

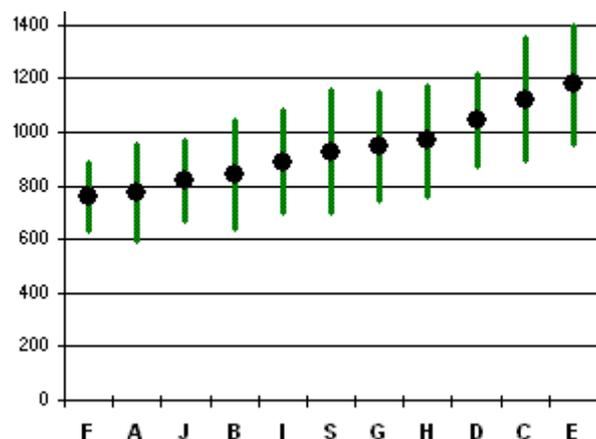
<b>HÊTRE</b>	calcaires	Eco+CLIM	211	0.0212	13.6	3.93	29	30
<b>HÊTRE</b>	calcaires	Eco	211	0.0252	13.6	3.82	28	34
<b>HÊTRE</b>	calcaires	FLORE	211	0.0259	13.6	3.90	29	31

<b>PIN NOIR</b>	calcaires	Eco+CLIM	495	0.0201	14.6	3.01	21	60
<b>PIN NOIR</b>	calcaires	Eco	513	0.0204	14.7	3.00	20	60
<b>PIN NOIR</b>	calcaires	FLORE	526	0.0266	14.6	2.64	18	69

## « PERFORMANCES ÉQUIVALENTES ... » : Pas étonnant car ...

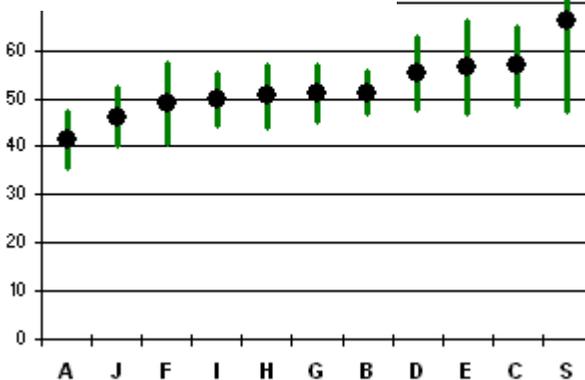
Correspondance Flore <-> Climat et Variables Écologiques  
Exemple du PIN NOIR (*Éric BRUNO - IFN*)

Altitude



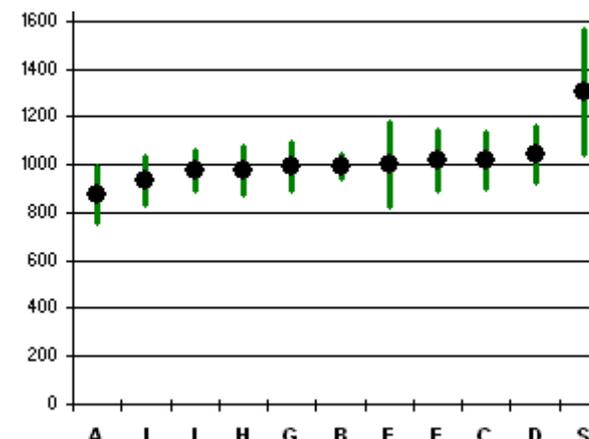
Groupes de relevés

Indice d'aridité de De Martonne



Groupes de relevés

Pluviométrie annuelle



Groupes de relevés

Correspondance Climat <-> Variables Écologiques

lien entre climat et altitude + exposition : notion d'**étage bioclimatique**



## MODE d'EMPLOI :

### Cas n°1 : peuplement existant (*≈ pur, équiennne, plein*)

Utilisation classique :

- mesurer un couple [ Hauteur dominante, Âge ]
- le situer dans le faisceau

### Cas n°2 : pas de peuplement de l'essence d'intérêt

Pour chaque essence d'intérêt :

- rechercher les **modalités présentes** d'après une caractérisation **écologique** (sol, topographie, altitude+exposition, comme IFN) et éventuellement **climatique** (point AURELHY le plus proche) ou **floristique** (groupe floristique)
- calculer la **note du peuplement** = somme de leurs VIDs
- en déduire **Hdom 100 ans** (fonction linéaire de la note)
- se situer dans le faisceau

## Utiliser un Âge « méthode IFN » :

*Manuel du Chef d'Équipe, 1994, Chap. 3, page 17 (« ancienne » méthode)*

**Tarière à 40-50 cm du sol**

**Ajout,**

**selon l'arbre et le contexte :** 

- brin de taillis : 0-1 an
- arbre de futaie en lumière : souvent 2 ans
- ... parfois 10 ans ou plus si a poussé à l'ombre.

En pratique, sur résineux, on compte les traces de verticilles sous le sondage, et on ajoute....



## PERSPECTIVES :

### **FOURNIR AUX UTILISATEURS LES ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES :**

pour chaque essence (x type de substrat) :

- la **relation Hdom(Âge IFN)** (valeur du paramètre b)
- liste des **Modalités** discriminantes avec leur **VID**
  - 3 options** : Flore, Ecologie, avec ou sans Climat
    - les groupes d'espèces pour les Modalités floristiques ;
    - accès à AURELHY pour option Climat
- la relation linéaire donnant **Hdom100 en fonction de la note** (somme des VIDs des modalités présentes sur une placette)
- le **mode opératoire** (mesures, formule des indices (QTF, RUM, indices climatiques))

### **AMÉLIORER LES INDICES :**

- **indices climatiques mensuels**, ou saison de végétation
- **indices stationnels**
- poursuivre échanges avec **LERFoB (Ingrid Seynave)**



# Peuplements Mélangés, Irréguliers ...

**Projet co-financé par ECOFOR :**

Programme « Typologie de Stations Forestières »  
APR 2004

# Estimation du Potentiel Stationnel en Peuplements Mélangés, Irréguliers

= peuplements  
« HÉTÉROGÈNES »

—  
Effets combinés du Milieu,  
de la Compétition et de la Sylviculture

## Démarche globale du projet :

Relations de **référence**

Indice de Fertilité = f(station) en peuplements **HOMOGÈNES**

Tâche 1

**Quantification** précise sur les types du catalogue « Préalpes sèches »

**Ladier J. 2004.** Les stations forestières des Préalpes sèches. Définition, répartition, dynamique et fertilité  
ONF Direction Technique Méditerranée, Aix-en-Provence. 124 pp.

**Comparaison Peuplements HOMOGÈNES / Peuplements HÉTÉROGÈNES**  
à Station donnée  
en fonction de la Composition, de la Structure  
de la Sylviculture qui régule/orient les équilibres de Compétition

« **Potentialité** : éclaircir le lien station-production

... **rôle prépondérant d'autres facteurs**

(microstation, histoire de la parcelle, **sylviculture**, génétique), ...

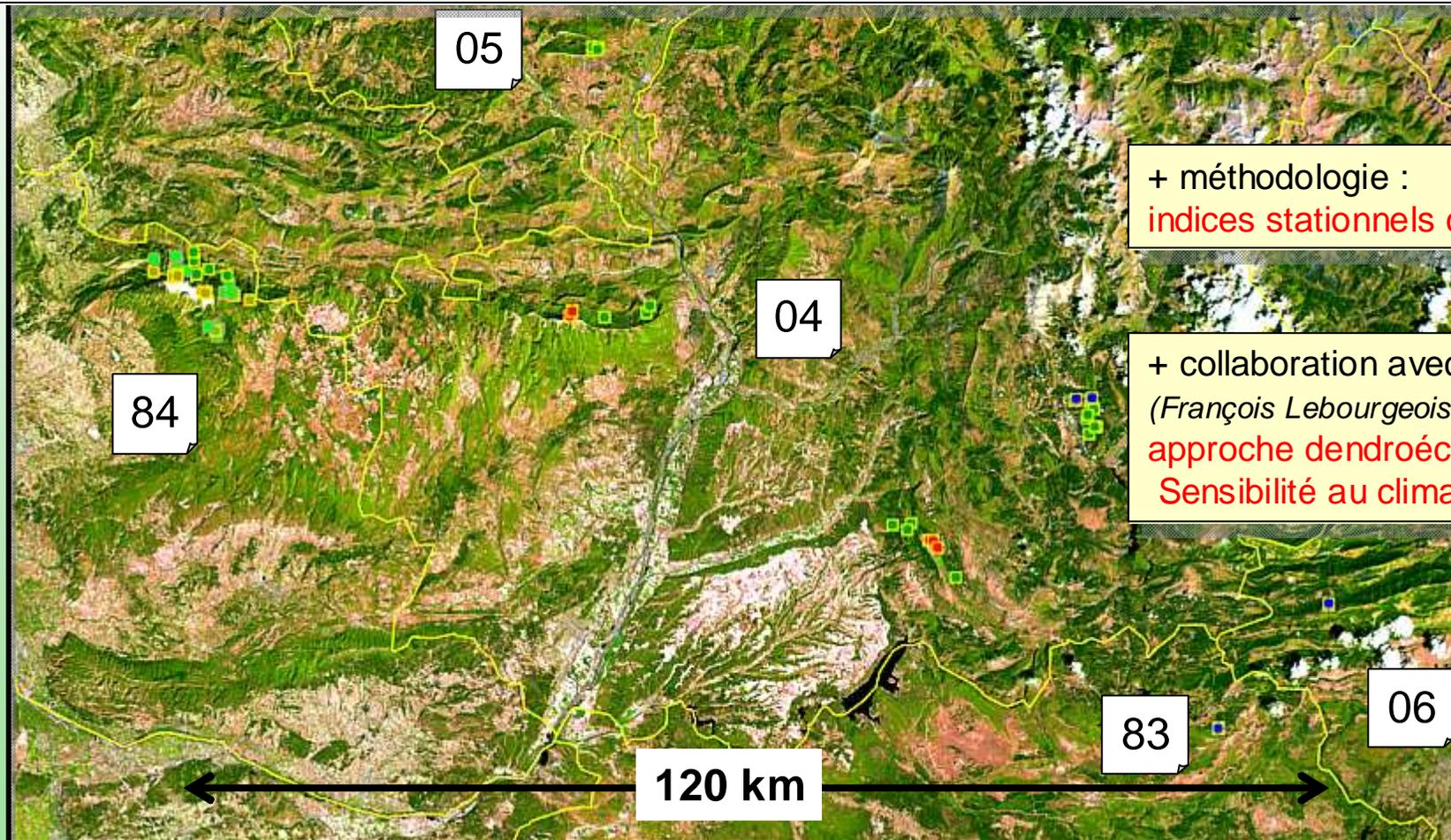
... en particulier dans les **peuplements irréguliers, mélangés**, ...

... évolutions climatiques en cours ... »

**APR 2004 :**

**Quantification précise sur les types du catalogue « Préalpes sèches »**

**Placettes** (caractérisation stationnelle, + **dendrométrie précise**, + **postes météo**)  
couvrant les combinaisons [ essences x types stationnels ]  
du **catalogue ONF « Préalpes sèches »**



+ méthodologie :  
**indices stationnels continus**, seuils

+ collaboration avec le LERFoB  
(François Lebourgeois ...) :  
**approche dendroécologique** :  
**Sensibilité au climat** des 5 espèces

Comparaison **Peuplements HOMOGÈNES** / **Peuplements HÉTÉROGÈNES**

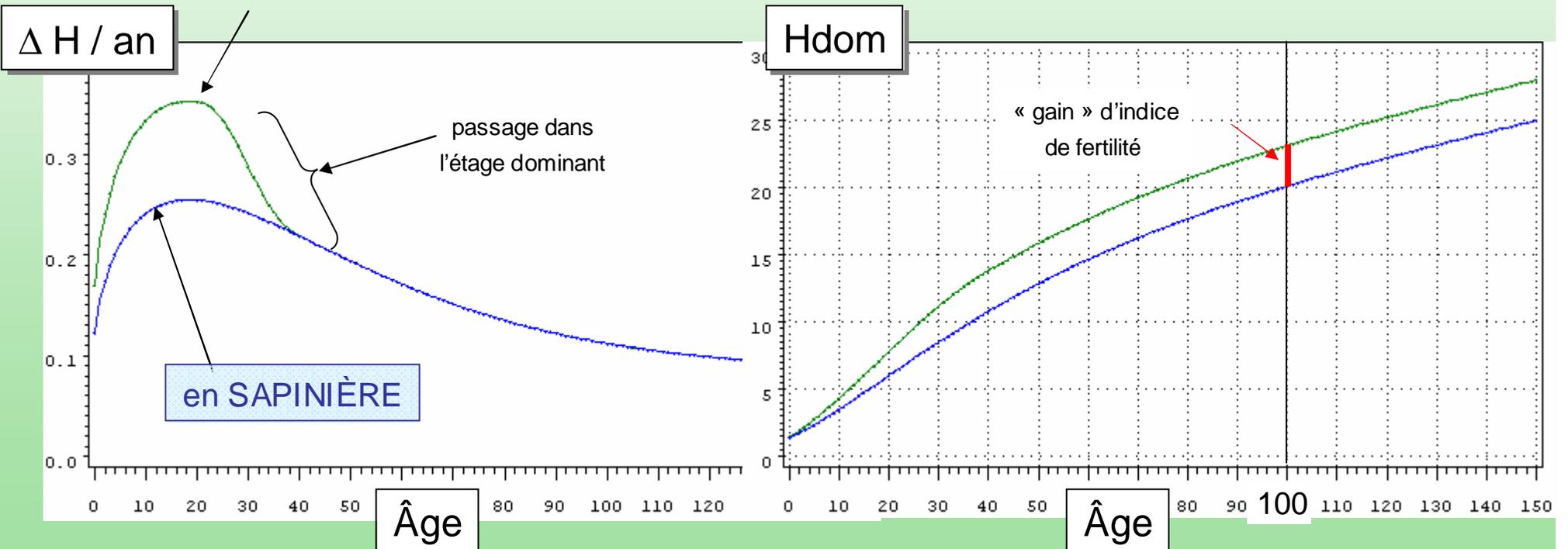
dans la domaine du catalogue « **Préalpes sèches** »

Hypothèse ...

*développement de futurs arbres dominants SOUS COUVERT*

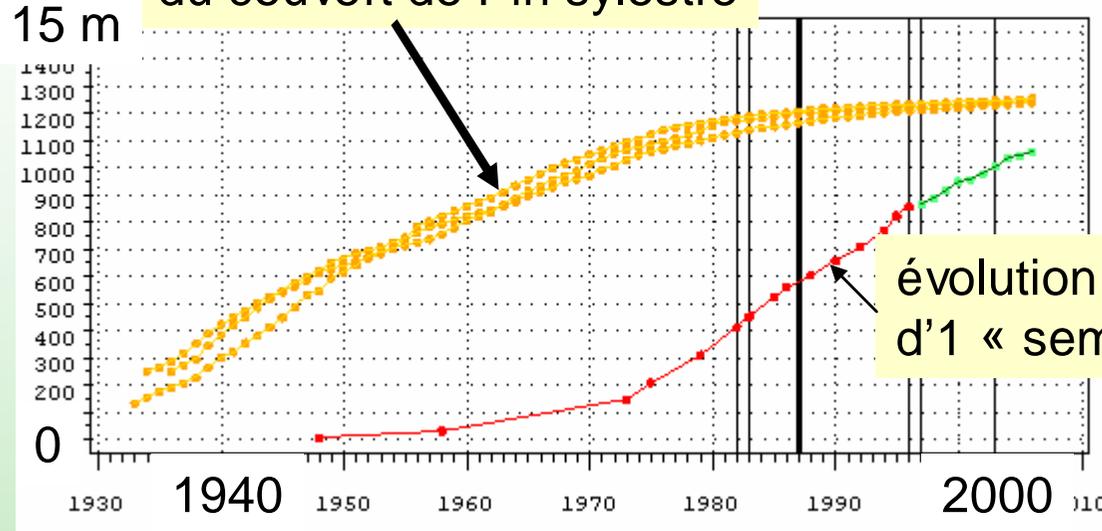
Ex. Régénération de Sapin

sous PIN SYLVESTRE



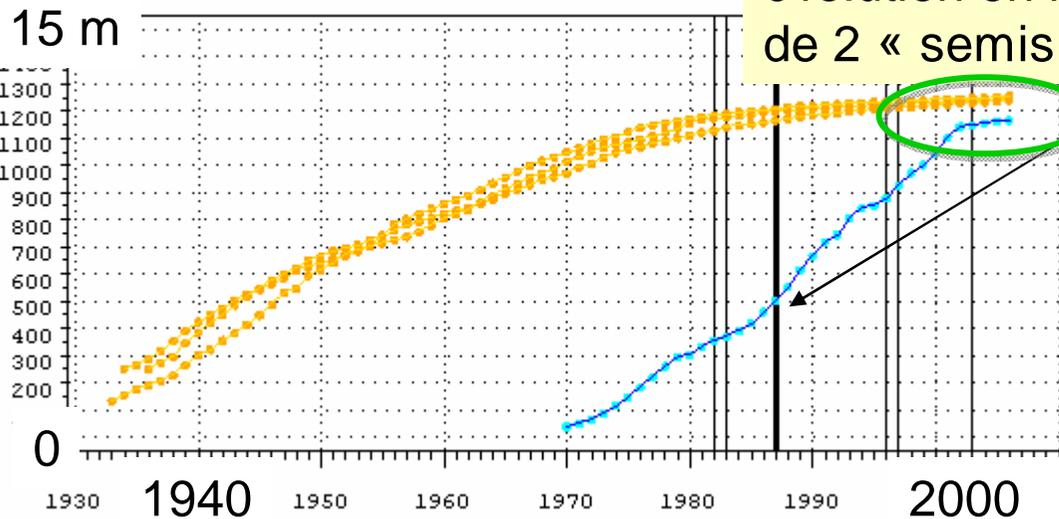
# Tâches 3 et 4

évolution en hauteur  
du couvert de Pin sylvestre



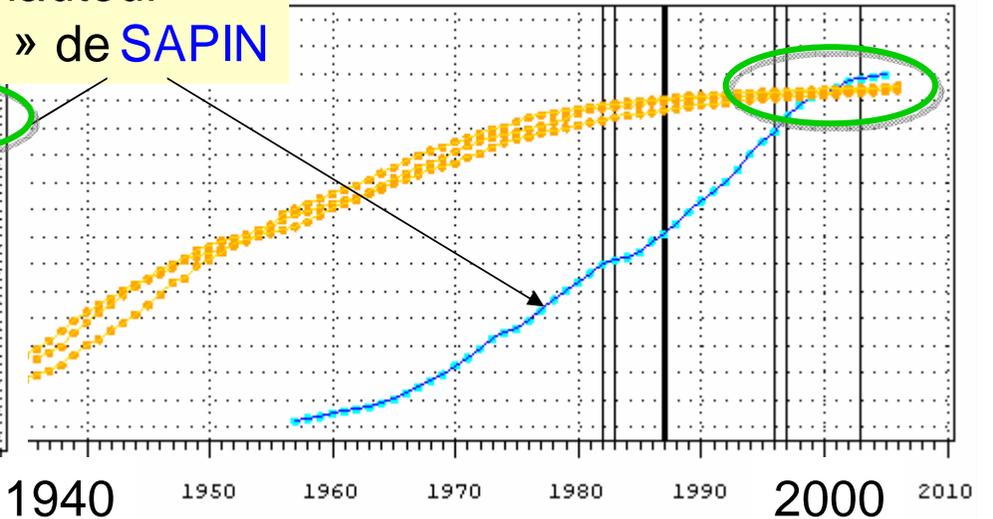
évolution en hauteur  
d'1 « semis » de HÊTRE

vtx34\_s2\_b14



évolution en hauteur  
de 2 « semis » de SAPIN

vtx34\_s2\_b2



## Modèle de Dynamique Forestière

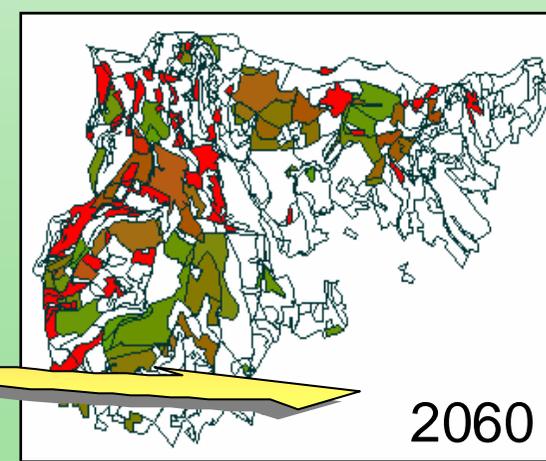
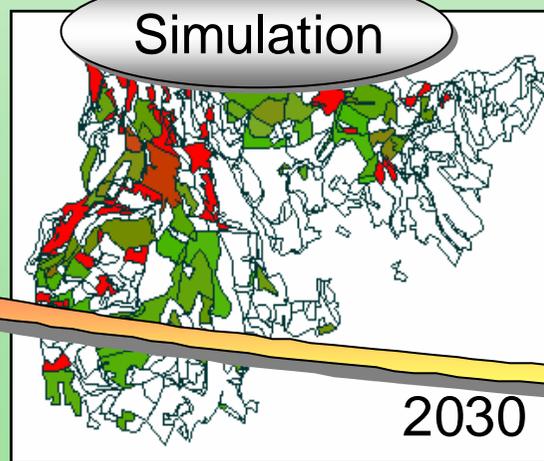
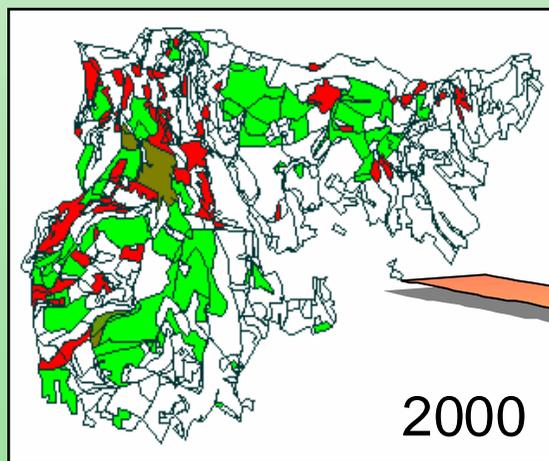
Croissance : hauteur, diamètre

$dH, dD = \text{POTENTIEL}$  (espèce/génotype, âge indiv. **STATION**)

X REDucteur1 (densité, couvert, espèce/génotype)

X REDucteur2 (statut concurrentiel individuel, espèce/génotype)

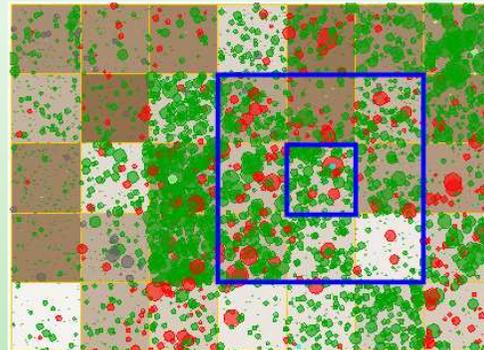
**Sylviculture !!!**



## Simulation de l'effet de la **Variabilité Spatiale** du potentiel stationnel sur l'hétérogénéité du peuplement

... notamment au niveau intra-parcelle

Sensibilité de la structure du peuplement à des variations décimétriques du sol



**... au fait :**

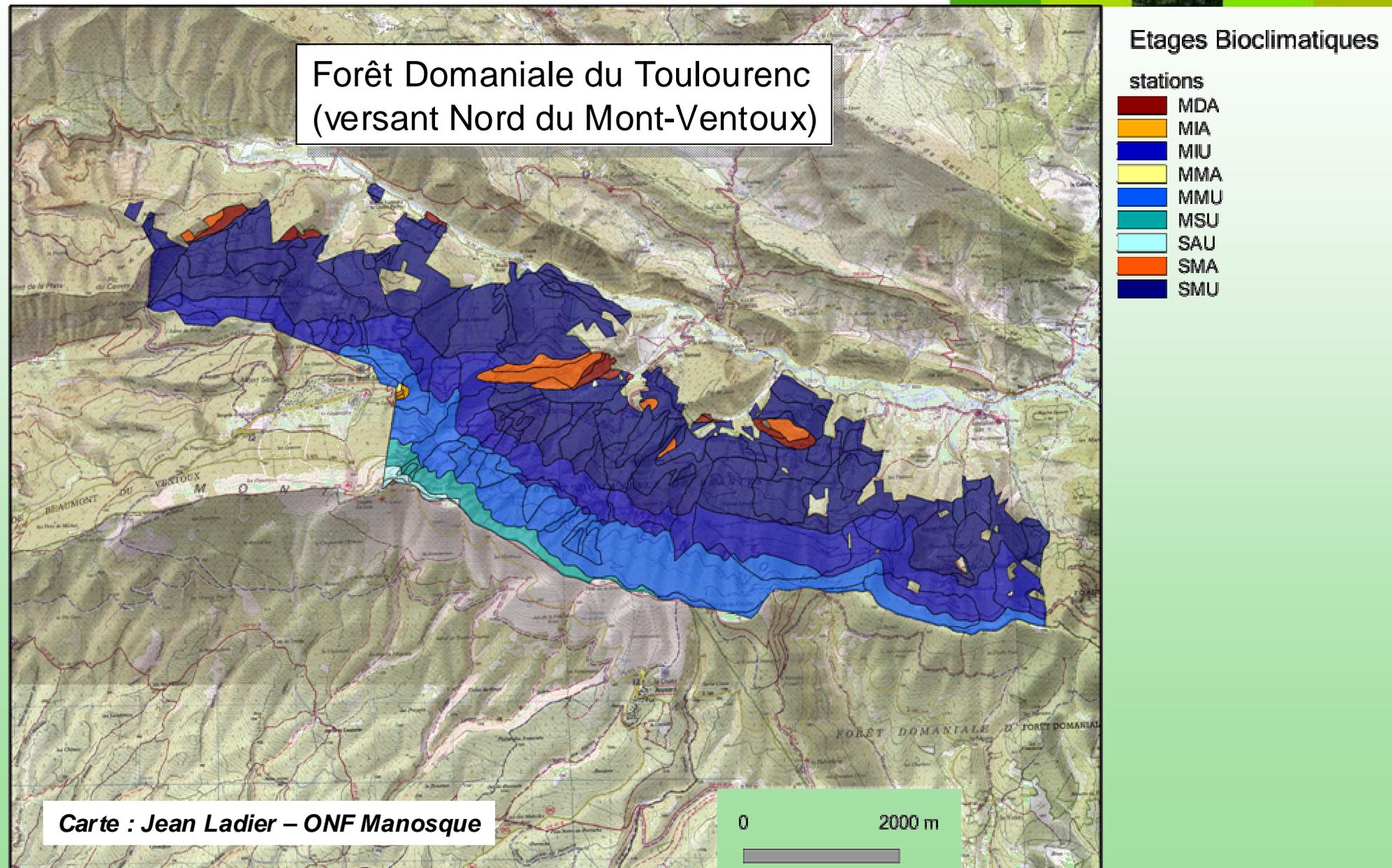
- peut-on **lier une variabilité** de profondeur du sol (par ex.)  
à chaque type stationnel d'un catalogue ?
- quand **peut-on se contenter d'un point (fosse pédo)** pour caractériser une station ?



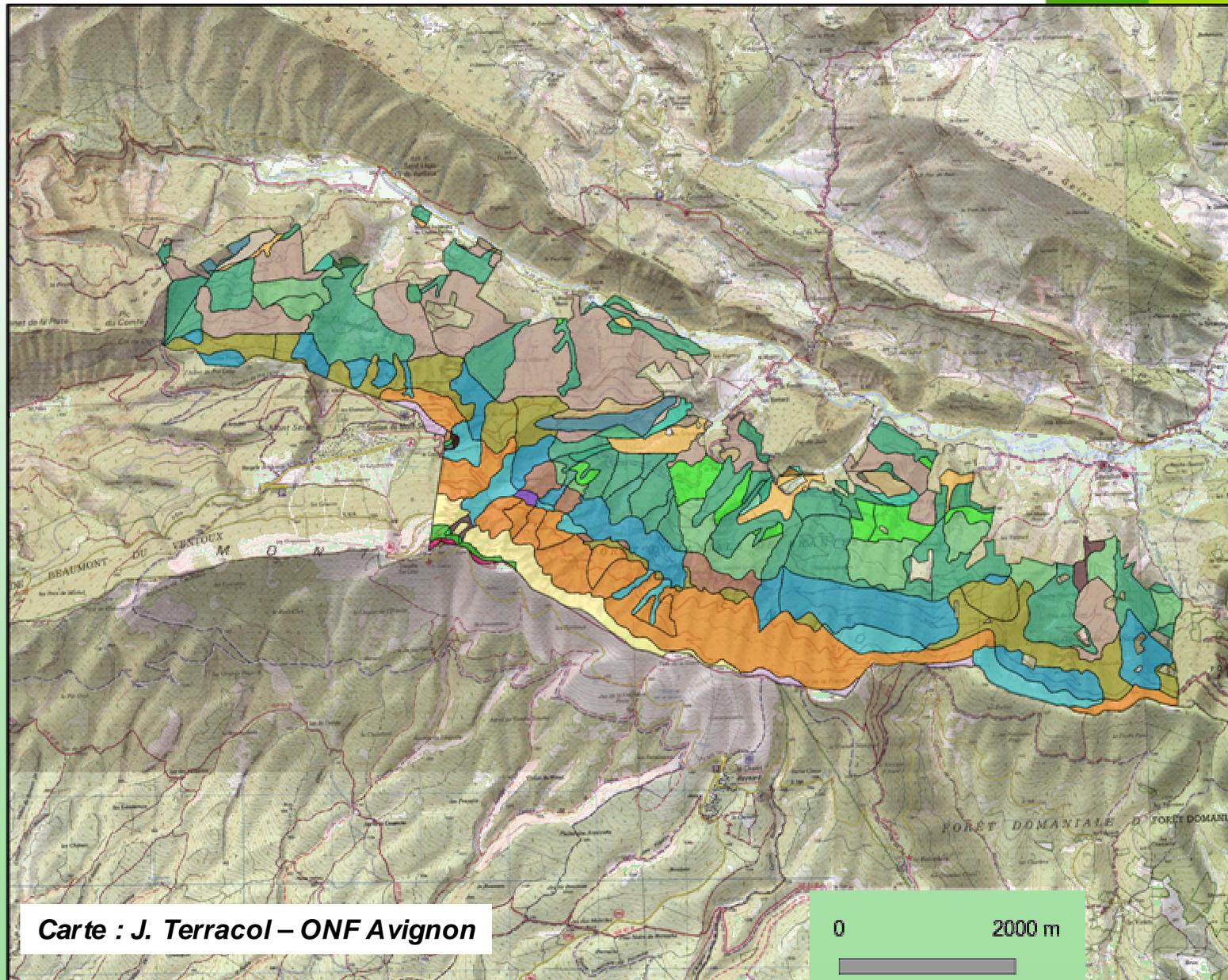
Un autre projet en parallèle :

**Expliciter le lien entre**  
**Climat**  
**et Étage Bioclimatique ...**

## Expliciter le lien entre **Climat et Étage Bioclimatique** ...



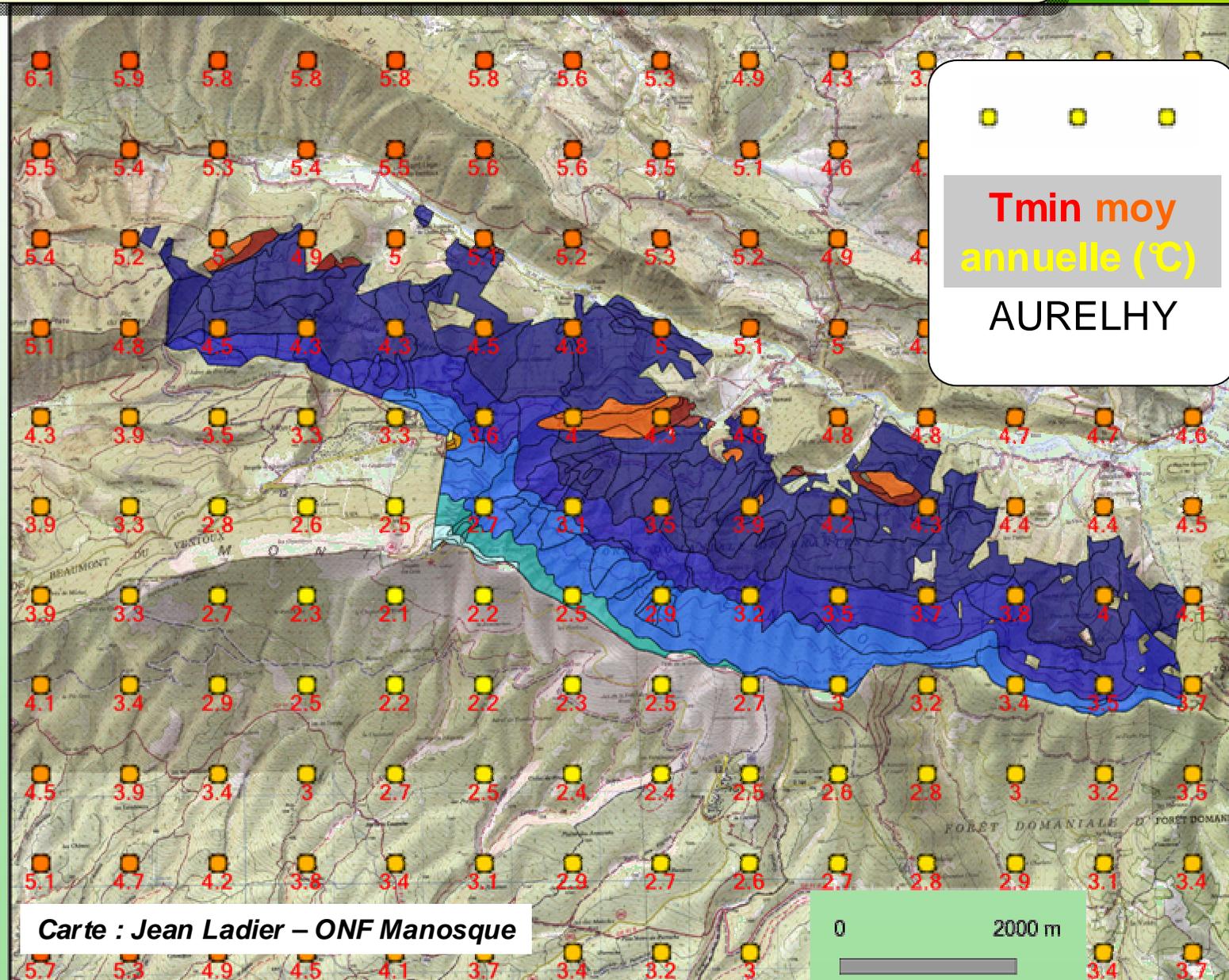
# Expliciter le lien entre Climat et Étage Bioclimatique ...



## Types de Stations

- stations
- MDAccfa
  - MDAccfo
  - MDAccmo
  - MDAebfa
  - MDAebmo
  - MIAccmo
  - MIiebfo
  - MIiebmo
  - MIUccfo
  - MIUcmfo
  - MIUebfo
  - MMAccmo
  - MMUccfa
  - MMUccfo
  - MMUcmfo
  - MMUebfo
  - MSUccfo
  - MSUebfo
  - SAUccfa
  - SAUccfo
  - SAUebfo
  - SMAccfo
  - SMAccmo
  - SMAebfo
  - SMAebmo
  - SMUccfa
  - SMUccfo
  - SMUcmfa
  - SMUcmfo
  - SMUebfa
  - SMUebfo
  - SMUebmo
  - SMUcmfo

+ Grille **AURELHY** : normales mensuelles 1971-2000, maille 1 km

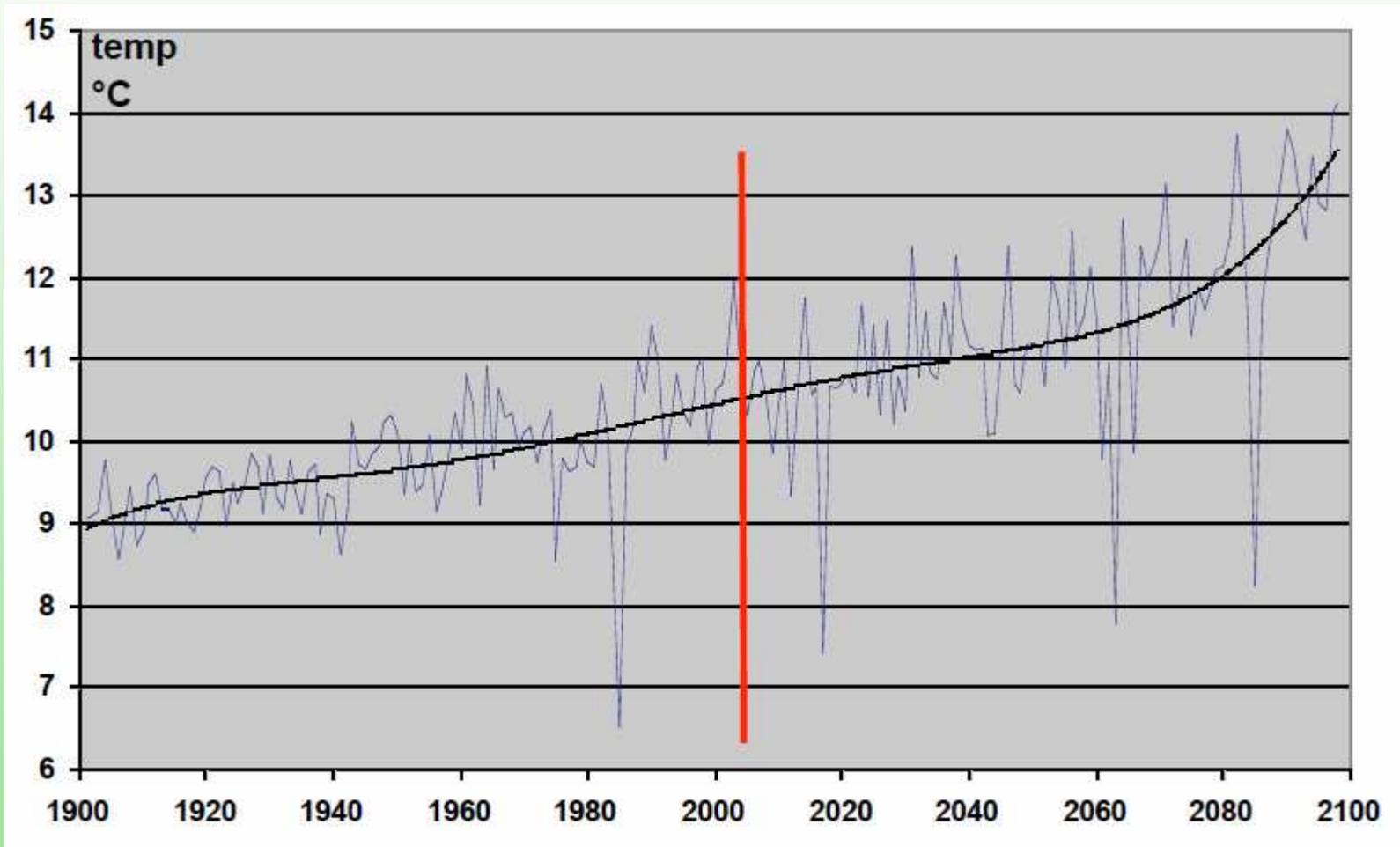


Etages Bioclimatiques

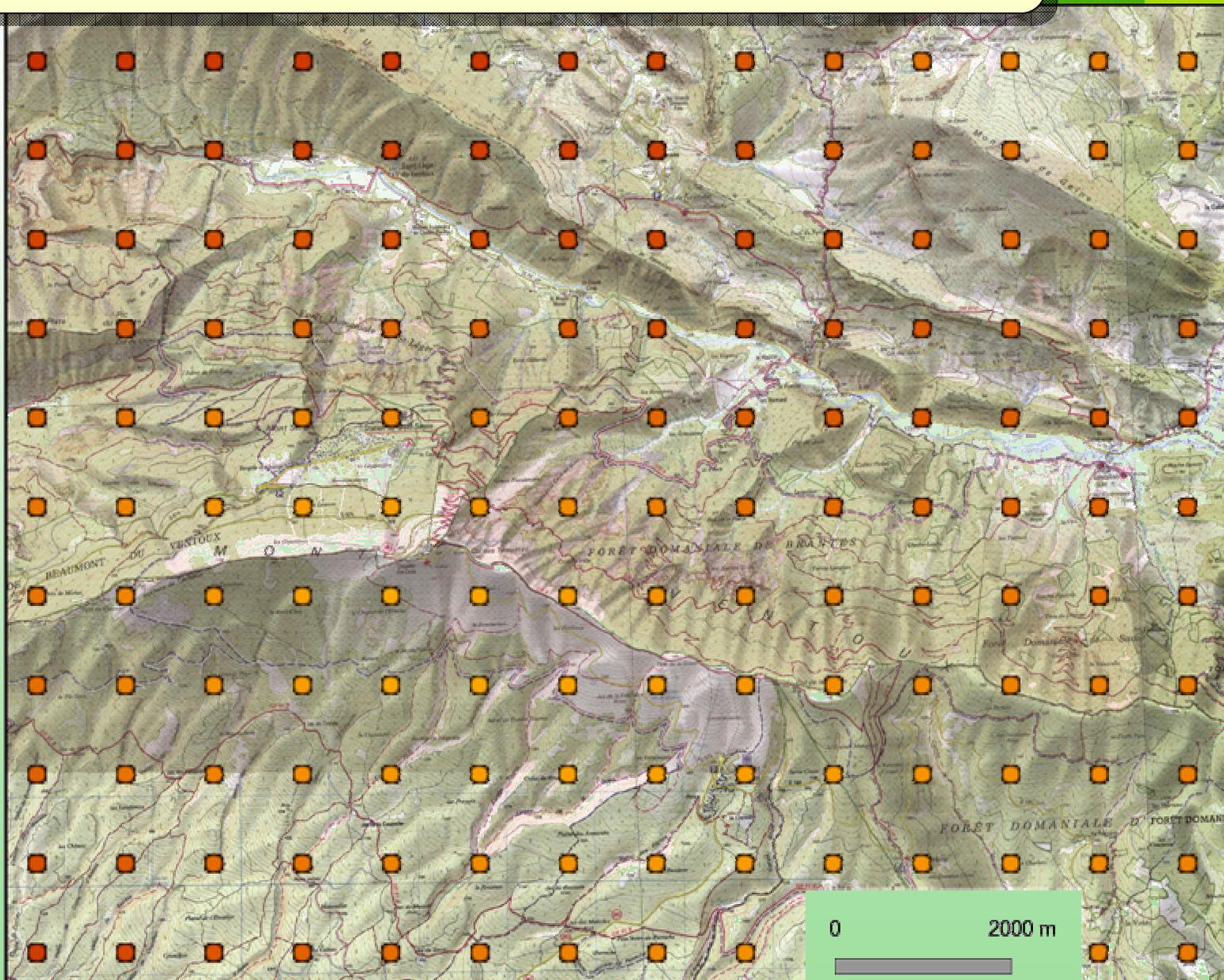
- stations
- MDA
  - MIA
  - MIU
  - MMA
  - MMU
  - MSU
  - SAU
  - SMA
  - SMU

Carte : Jean Ladier – ONF Manosque

+ Scénario(s) **ARPEGE** Climat (Météo-France) ...



Et si « ça chauffe », où seront les étages ?  
Et si il pleut davantage en Automne-Hiver ?





## Caractéristiques Climatiques des Étages de Végétation forestière de l'Arrière-Pays Méditerranéen

*Projet co-financé par la*

*Mission « Changement Climatique et Effet de Serre »*

*(AIP MICCES Coord. B. Seguin)*

### DÉMARCHE :

1. **Cartes d'étagement de végétation** dans les Alpes du Sud et la Haute-Provence  
ONF (*Jean Ladier, Service R&D, DT Méditerranée*) :
2. **Mise en « coïncidence »** de ces étages, *via un SIG, avec AURELHY.*  
*AgroClim (F.Huard), URFM (Ph. Dreyfus), ONF (J.Ladier), IFN (E.Bruno)*
3. **Détermination d'indices bioclimatiques caractérisant chaque étage**  
(diverses méthodes statistiques, notamment d'analyse factorielle).  
*AgroClim (F.Huard), URFM (Ph. Dreyfus, F. Courdier), ONF (J.Ladier), IFN (E.Bruno)*  
*Lien avec Projet « ECOFOR Stations »*

... une étape **vers la prévision de certaines conséquences des changements climatiques**

# ?? Multiples questions ...

- « **migration** » des étages ?
- => nouvelles combinaisons avec paramètres de sol et topographie locale ?  
**nouveaux types stationnels ?**
- **combinaisons inédites** de conditions thermiques et pluviométriques
- notion d'étage de végétation ? discrétisation non-arbitraire mais mal explicitée
  
- conséquences sur les arbres ? :
  - potentialités de croissance et survie ?
  - effet des épisodes extrêmes

*cf . ANR VMC Dryade ? (réponse attendue le 23/11/2006)*



FIN ...