

# Un modèle bioclimatique pour la forêt méditerranéenne:

usage  
construction et  
applications  
méthodologiques

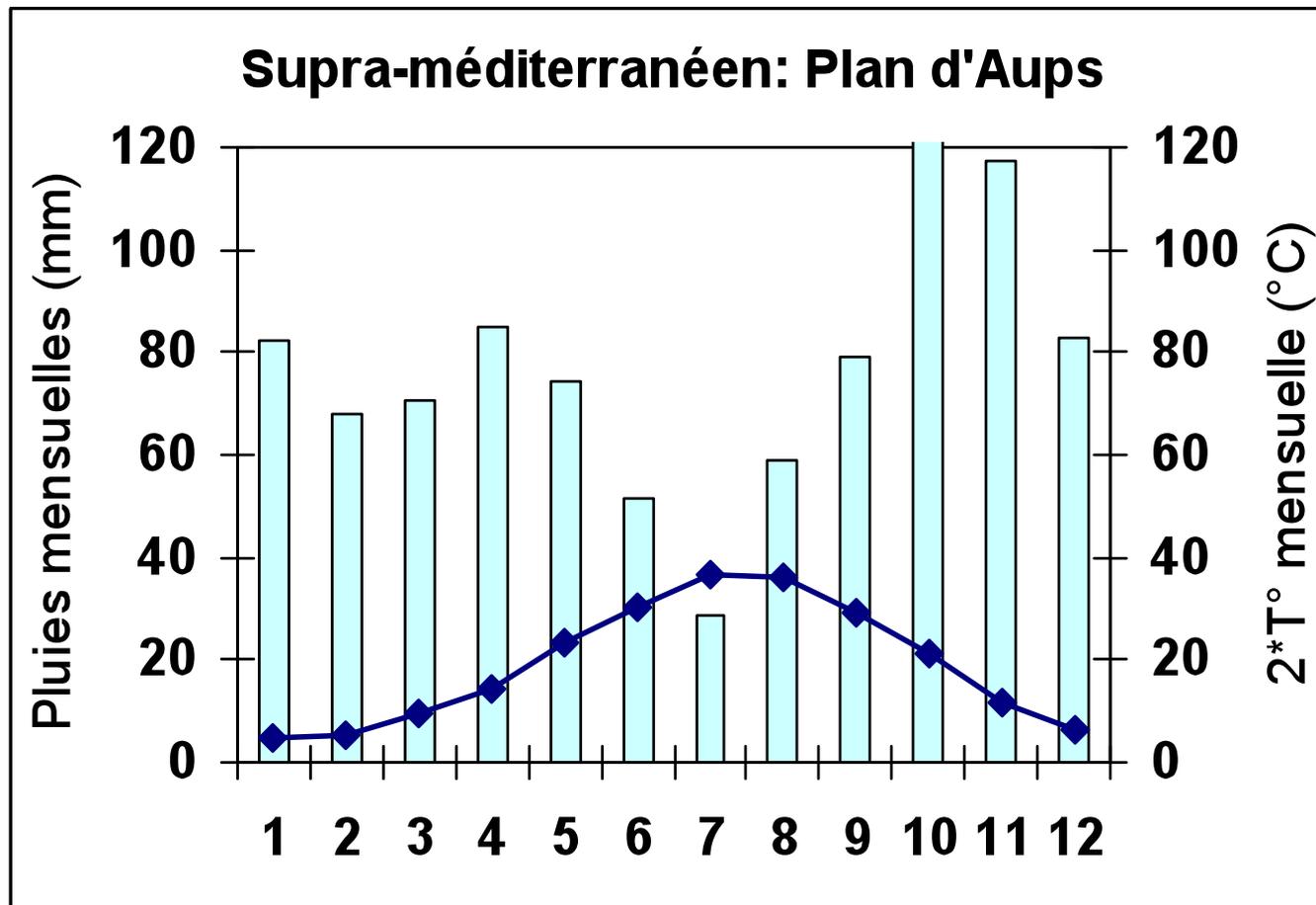
*Ecosystèmes Méditerranéens et Risques*  
Cemagref





# Le climat méditerranéen

... Sécheresse estivale, hivers frais et humide



# Stress hydrique: le facteur critique

... Saison de croissance réduite ou coupée en deux  
... *temps de croissance réduit à quelques mois*

... **Climat très irrégulier**

... *sécheresses p arfois très longues*  
(6-8mois)

... **Fortes chaleur et insolation**

... *évapotranspiration intense*

... **vent fréquent**

... *dessiccation et évaporation accrues*

# Bilan hydrique: 4 point clefs

... Apports d'eau par l'atmosphère

... pluie, *neige*, *condensation*

... Retour d'eau vers l'atmosphère

...*évaporation*, *évapotranspiration*, température

... Capacité de rétention en eau du sol

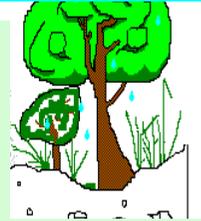
... *texture*, *éléments grossiers*, *structure*, ...

... Circulation d'eau dans le paysage

... *ruissellement*, *infiltration*, *fissures*, topographie

# Bilan hydrique et changement climatique

- **Bassin méditerranéen en première ligne**  
*changement clim plus fort que moyenne*



- **Températures beaucoup plus élevées**  
*en particuliers maximums et été*

- **Diminution des pluies**  
*les modèles sont d'accord dans cette zone ...*



# Hypothèses de base

**... La flore, synthèse du bilan hydrique ?**  
*... intègre tous les facteurs de ce bilan*

**... Les arbres révèlent l'eau profonde ?**  
*... enracinement dépassant 15 m*

**... un plan d'expérience pour le tester**  
*... zone d'étude, placettes, bcp de mesures*

**... des modèles pour le formaliser**  
*... bioclimatique, de croissance des arbres*

## Un modèle bioclimatique calibré avec la flore

- L'eau, facteur limitant principal de la présence des végétaux en région méditerranéenne



- La flore, indicateur intégré du bilan hydrique à long terme



- Notre modèle couple une analyse floristique et une analyse bioclimatique

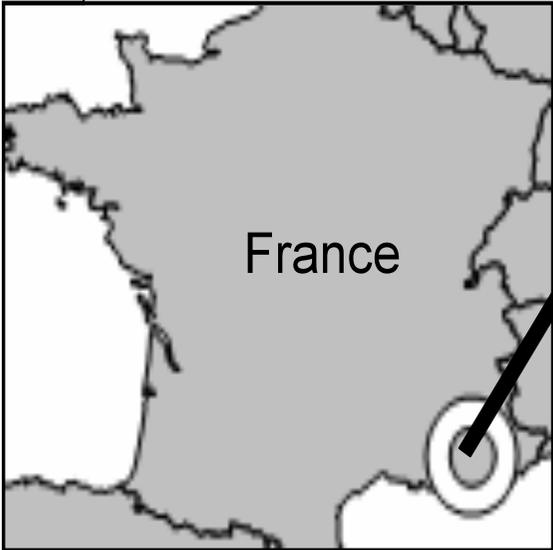
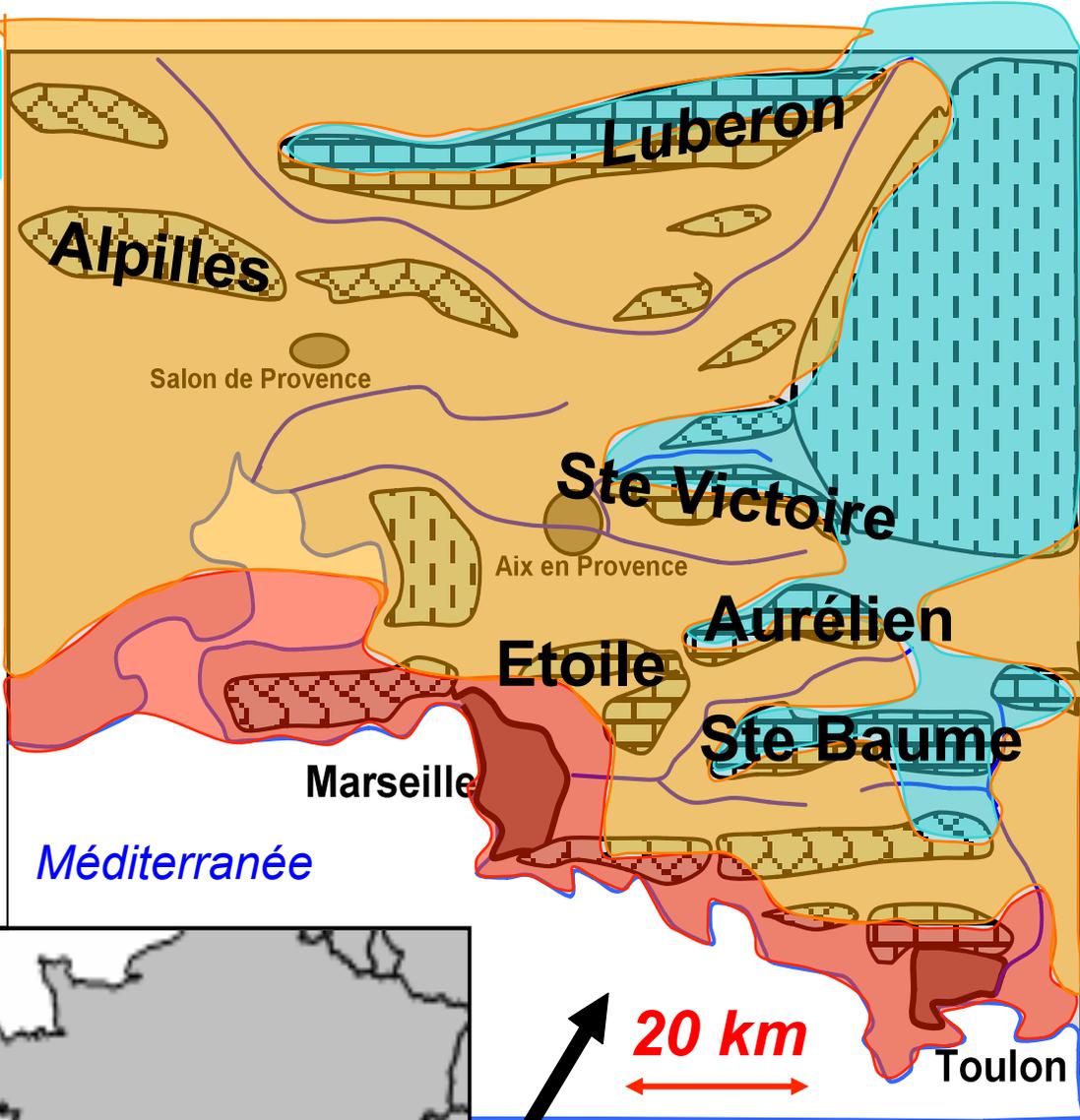
- Vennetier *et al.* (2008). *A new bioclimatic model calibrated with flora for Mediterranean forest areas*. Ann. For. Sci 65(7)

# Zone d'étude

Supra

Méso

Thermo

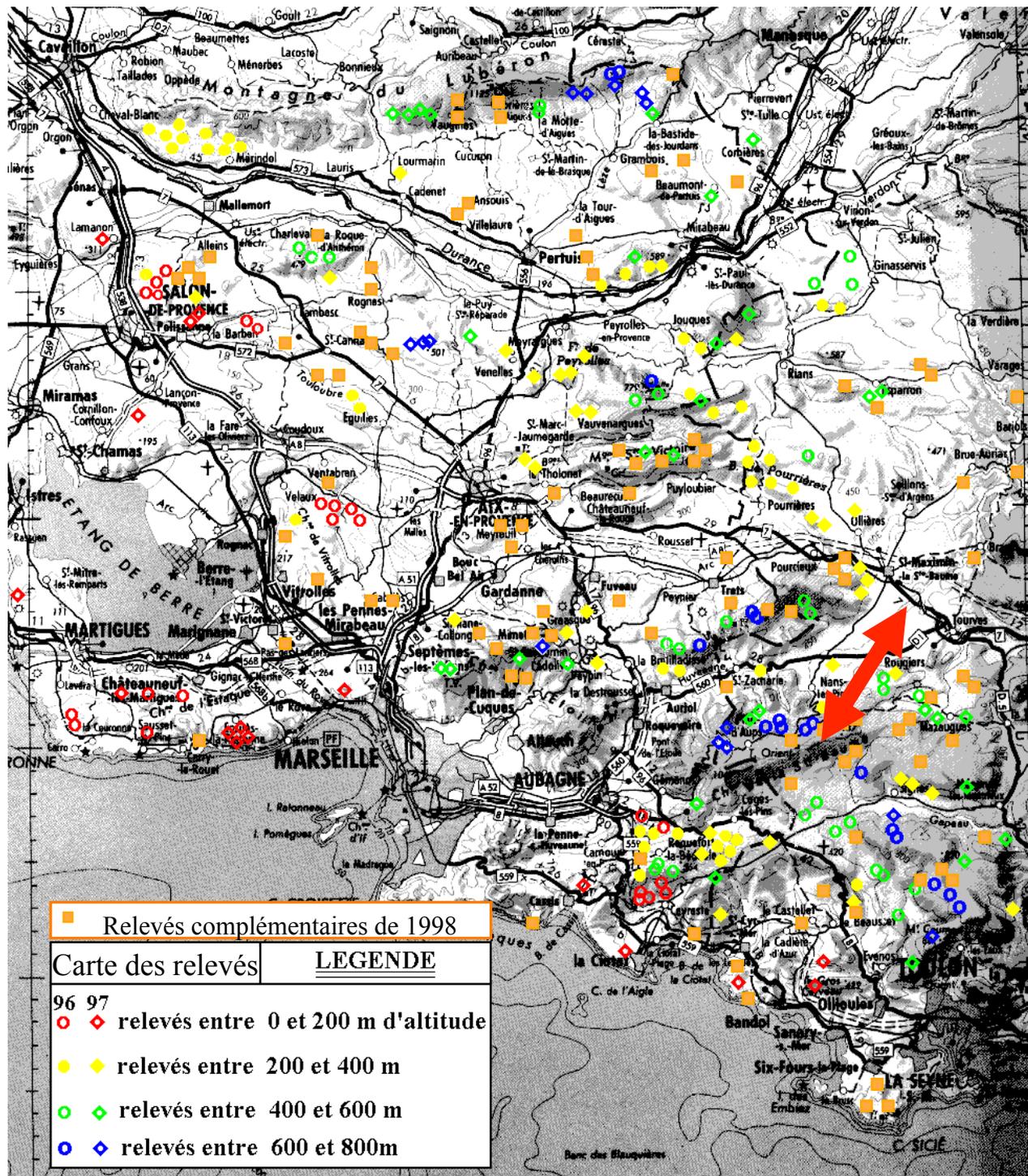


- Montagnes
- Hautes collines
- Plateaux
- Villes

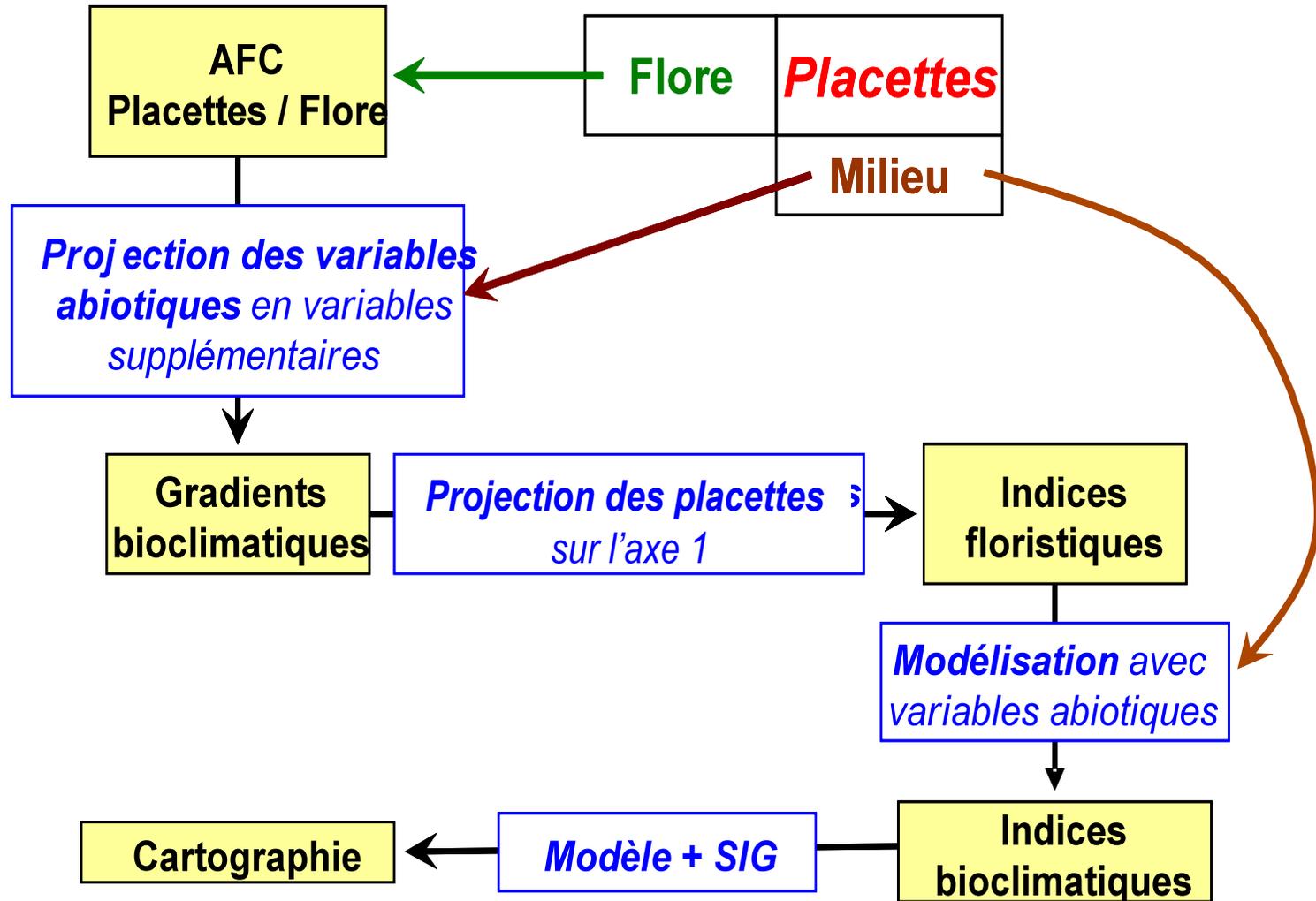
# Réseau de placettes modèle bioclimatique (325 placettes)

Couvrant la  
variabilité des  
principaux facteurs  
du milieu :

Bioclimat, altitude,  
exposition, roche  
mère, matériau,  
topographie



# Les étapes de conception du modèle

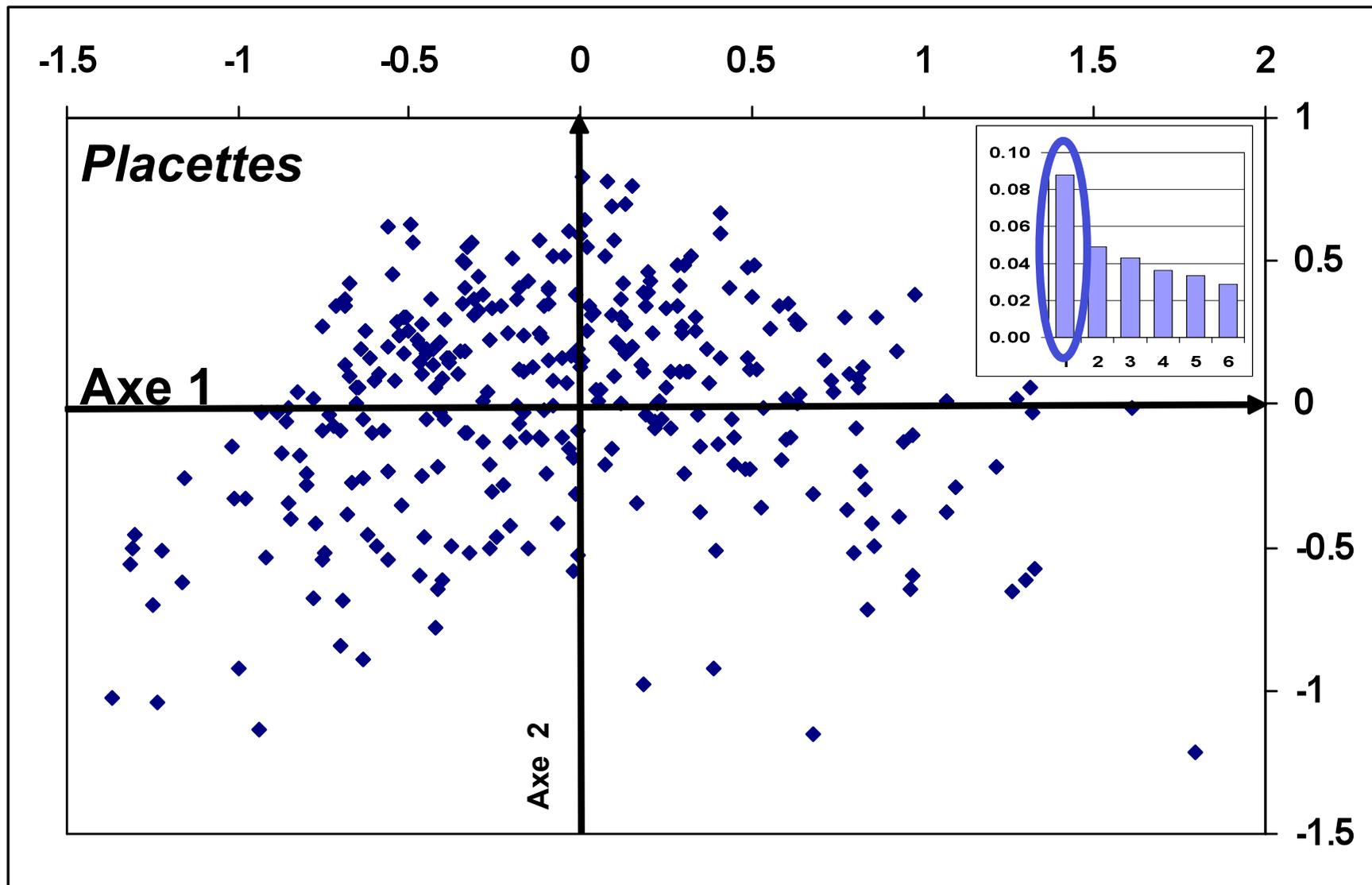


# Données disponibles sur les placettes

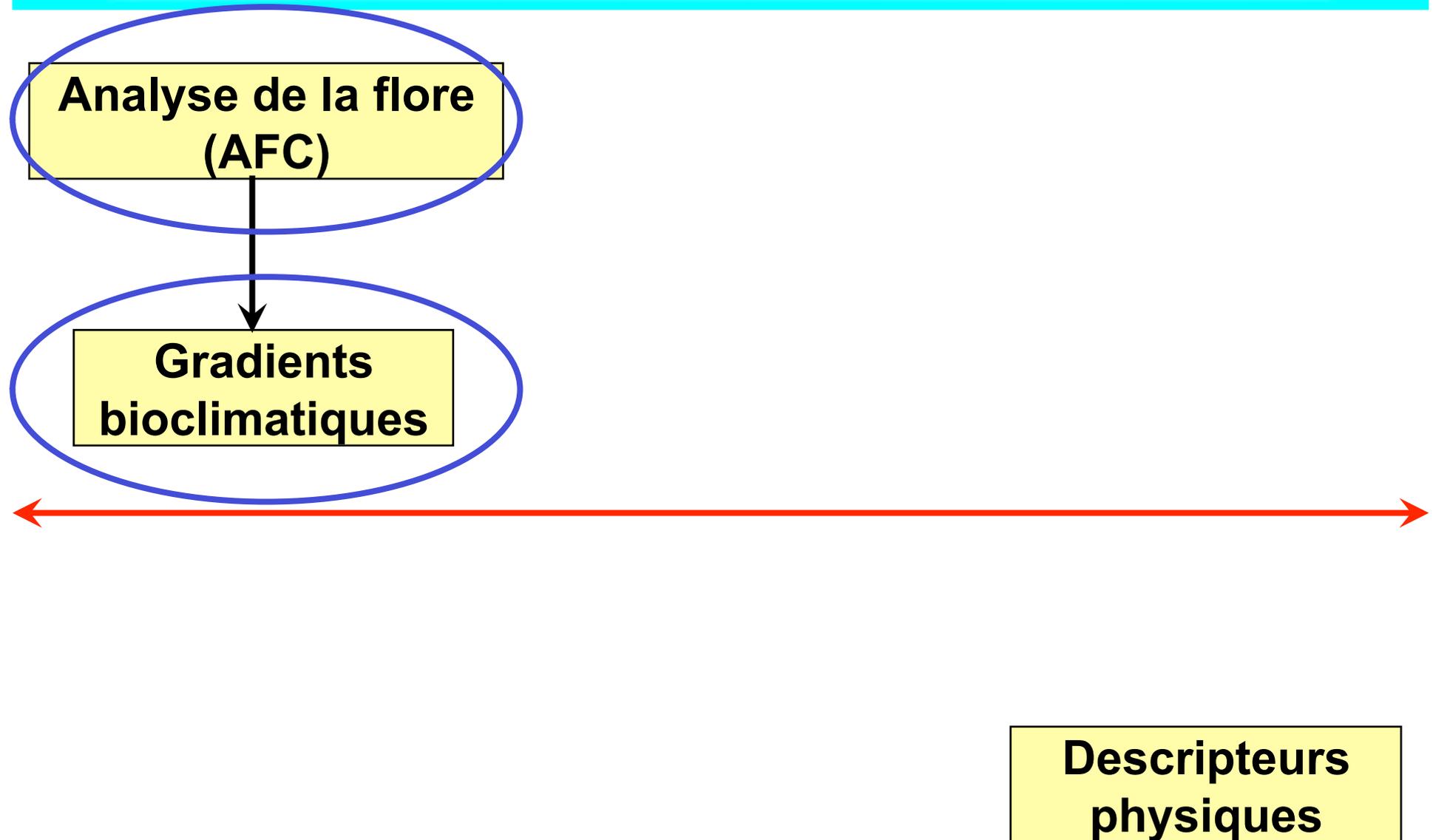
**Flore**

**Descripteurs  
physiques**

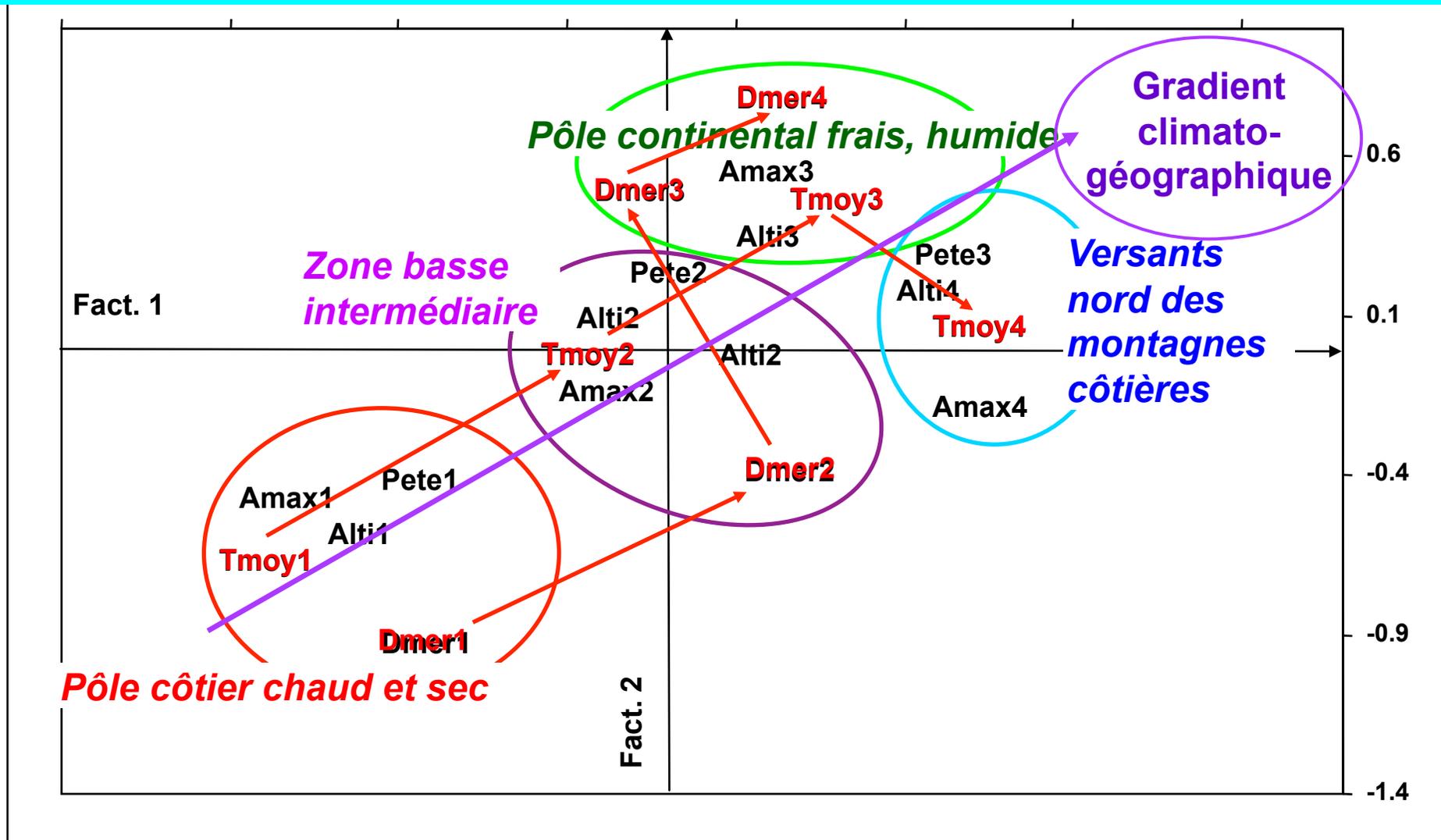
# Plan de l'analyse factorielle sur la flore



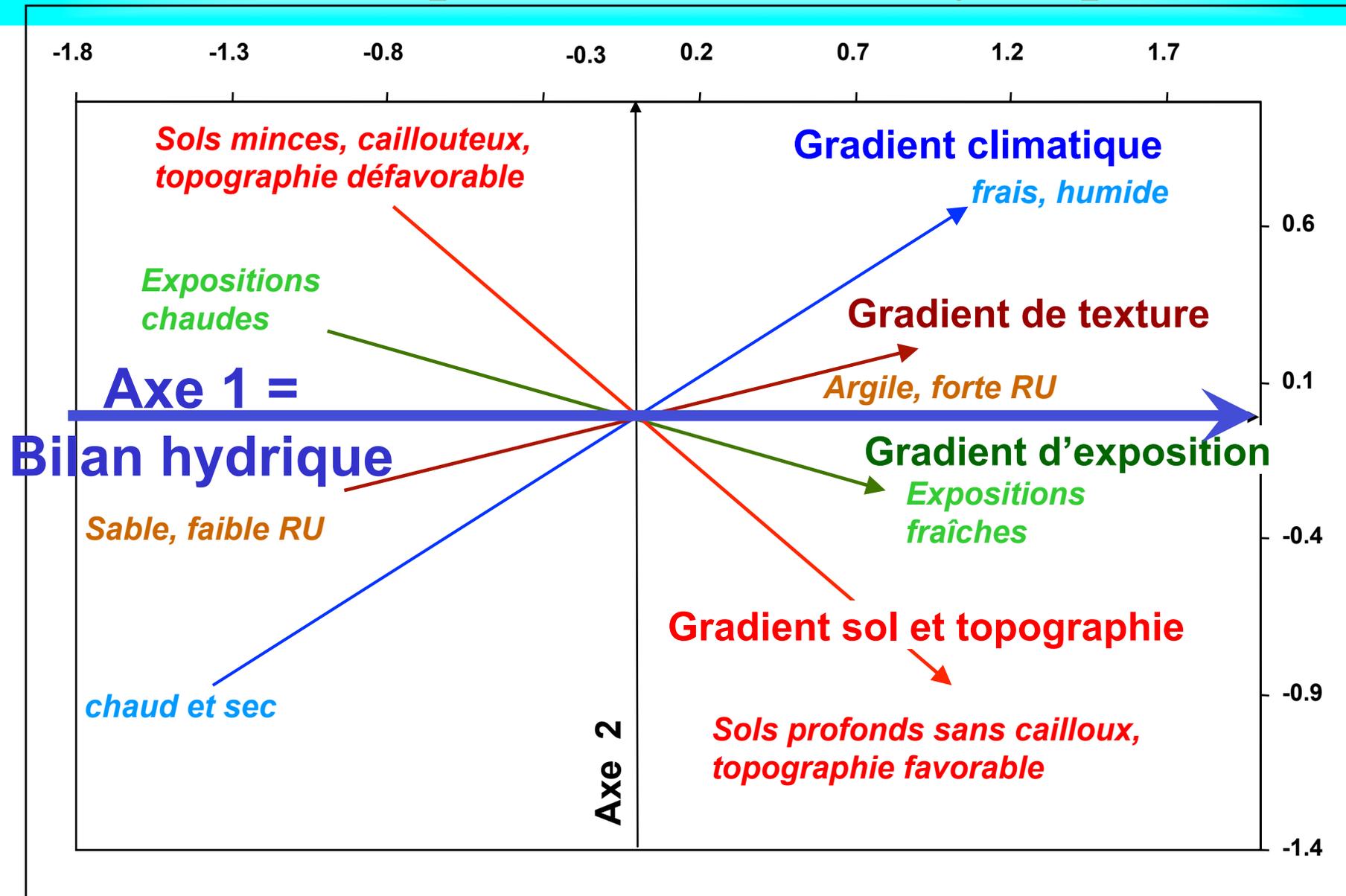
# Point de départ : une analyse purement floristique



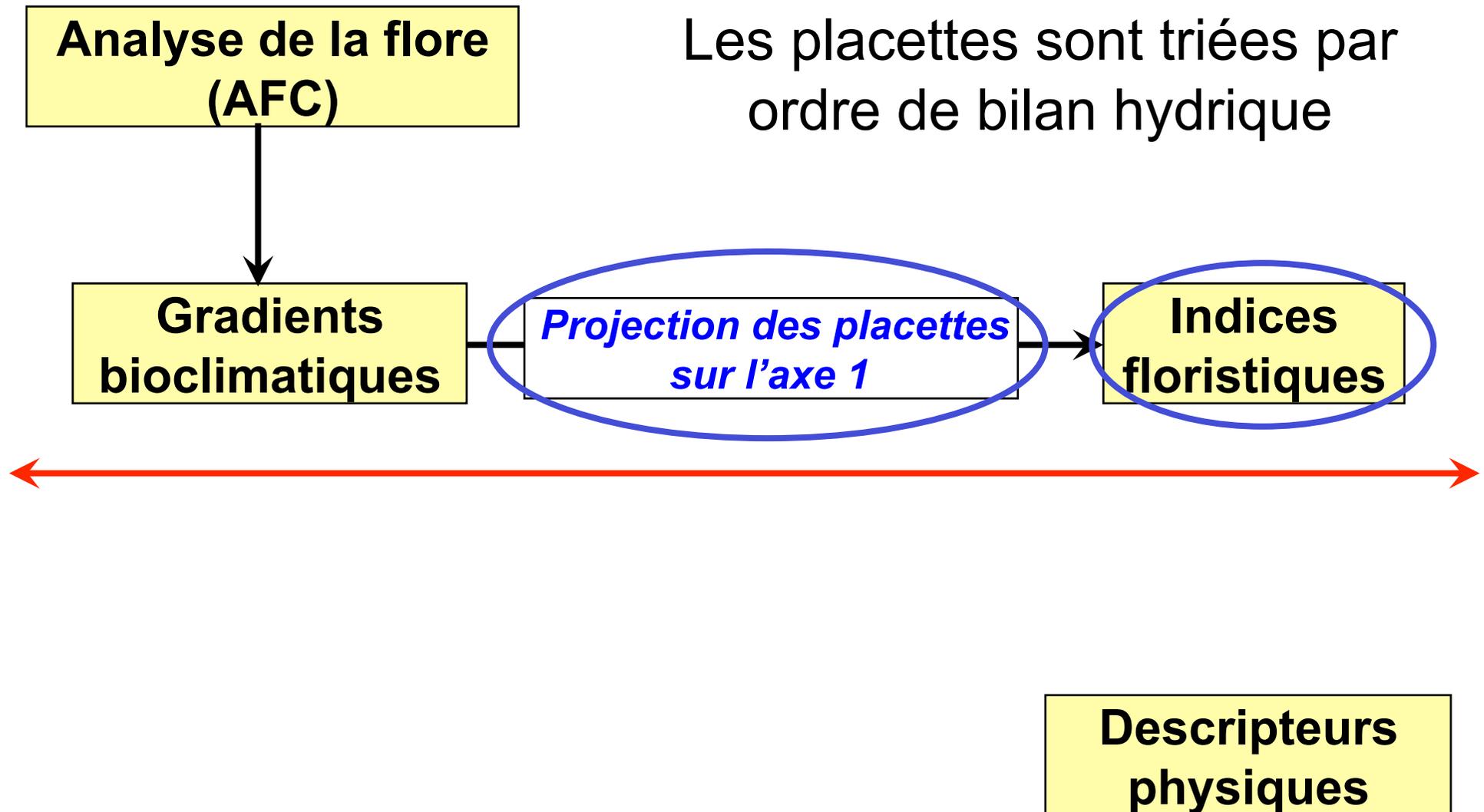
# Bilan hydrique: variables climatiques et géographiques



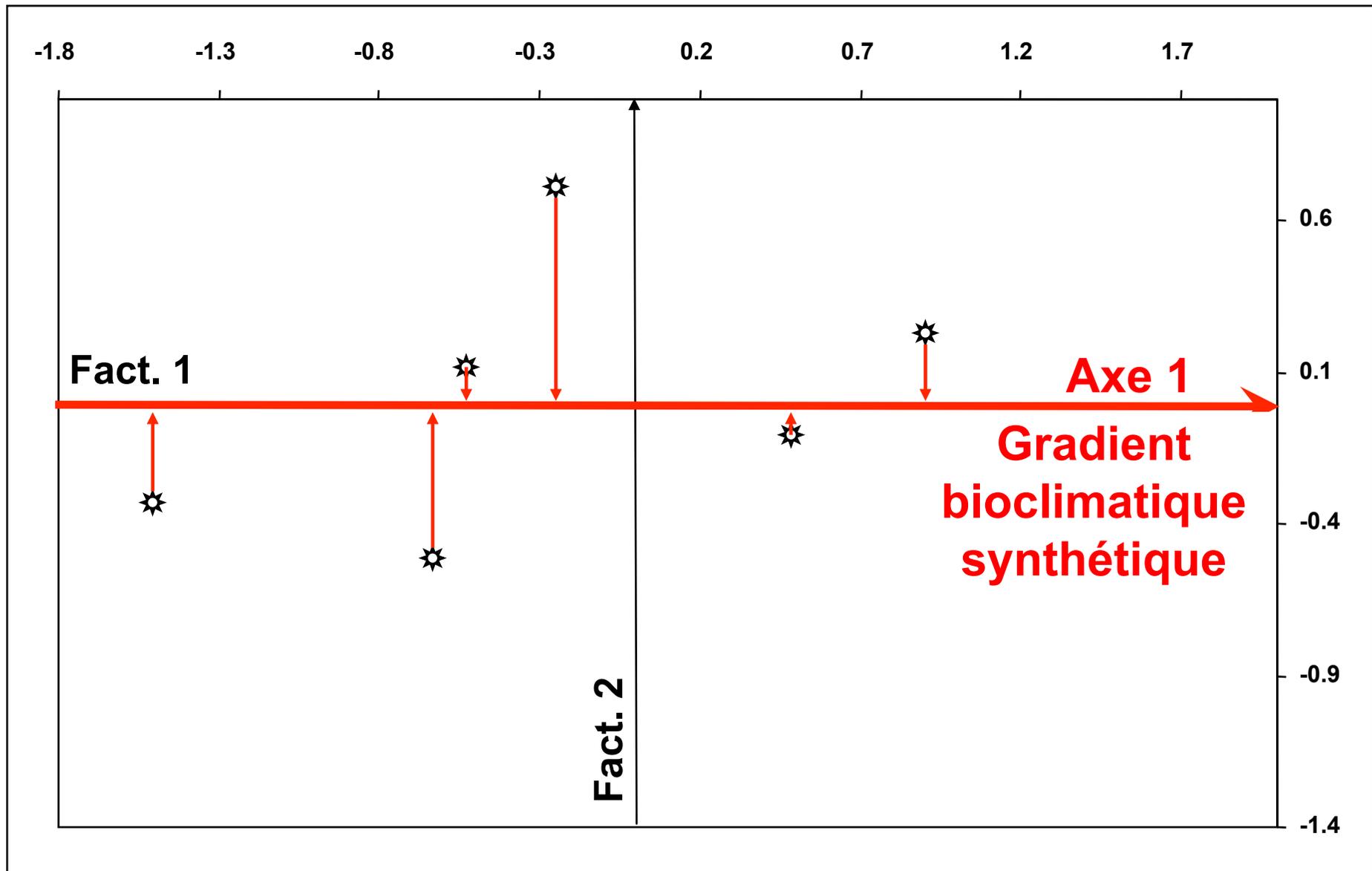
# Les composantes du bilan hydrique



# Bases de l'analyse : calcul d'un indice floristique



# Bases de l'analyse : calcul d'un indice floristique



# Classement des plantes

Analyse de la flore  
(AFC)

Les plantes sont triées par  
ordre de résistance au stress  
hydrique et thermique

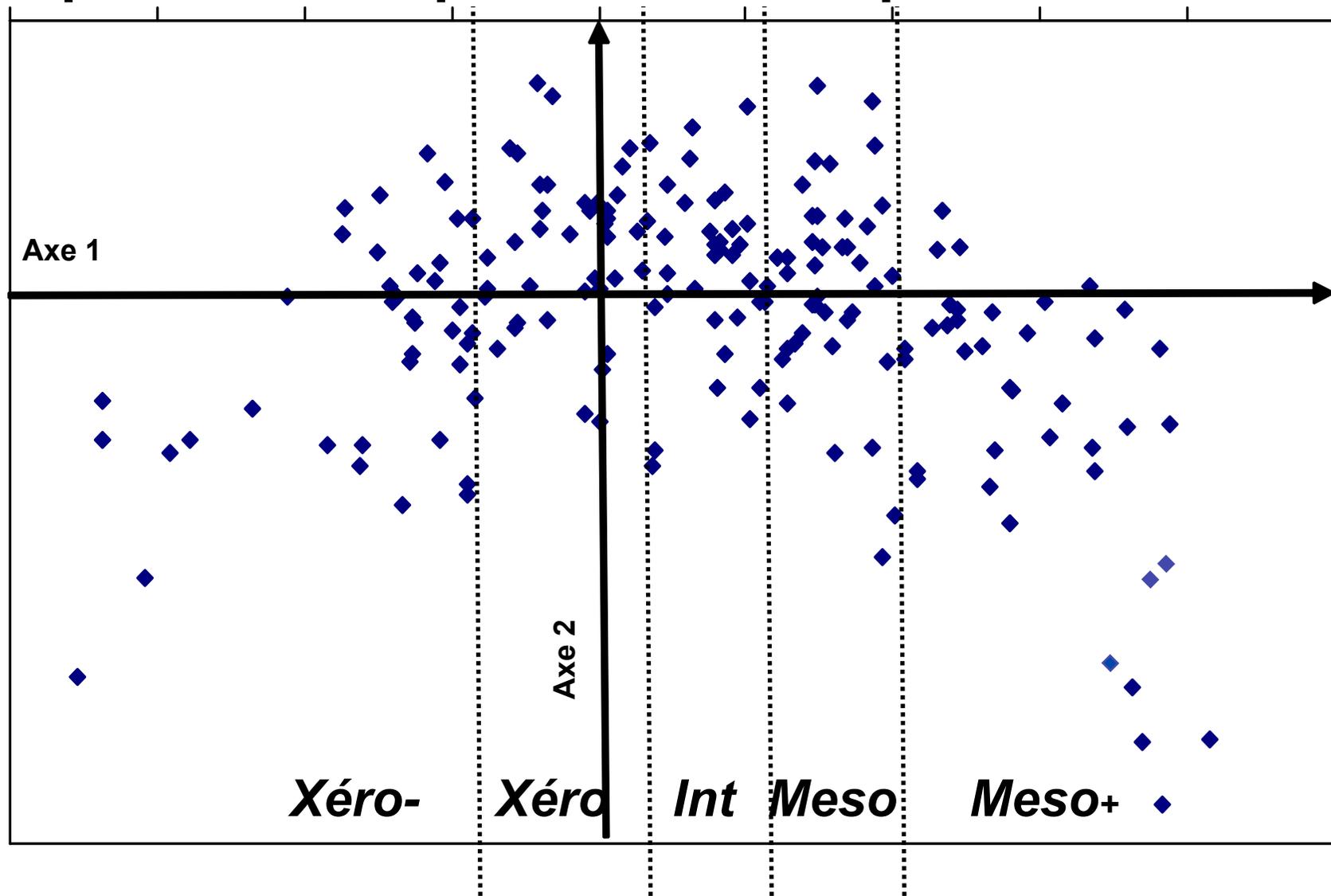
Gradients  
bioclimatiques

*Projection des plantes  
sur l'axe 1*

Descripteurs  
physiques

# Plan de l'analyse factorielle sur la flore

## Répartition des plantes dans le plan de l'AFC



# Bases de l'analyse : calcul d'un l'indice floristique

Analyse de la flore  
(AFC)

Les plantes sont triées par  
ordre de résistance au stress  
hydrique et thermique

Gradients  
bioclimatiques

*Projection des plantes  
sur l'axe 1*

Descripteurs  
physiques

# Choix et transformation des variables

**... > 50 variables descriptives initialement**  
*... il faut faire des choix*

**... Ces variables ne sont pas indépendantes**  
*... choix d'un modèle adapté*

**... réponse non linéaire**  
*... linéarité rare dans les analyses écologiques*

**... dans certains modèles, pb de linéarisation**  
*...détermination statistique*  
*...interprétation écologique*

# Modèle PLS

**... PLS: peu d'individus / beaucoup de variables**

*... la PLS a été conçue pour ça*

**... permet le tri des variables par importance**

*...mais demande méthode itérative*

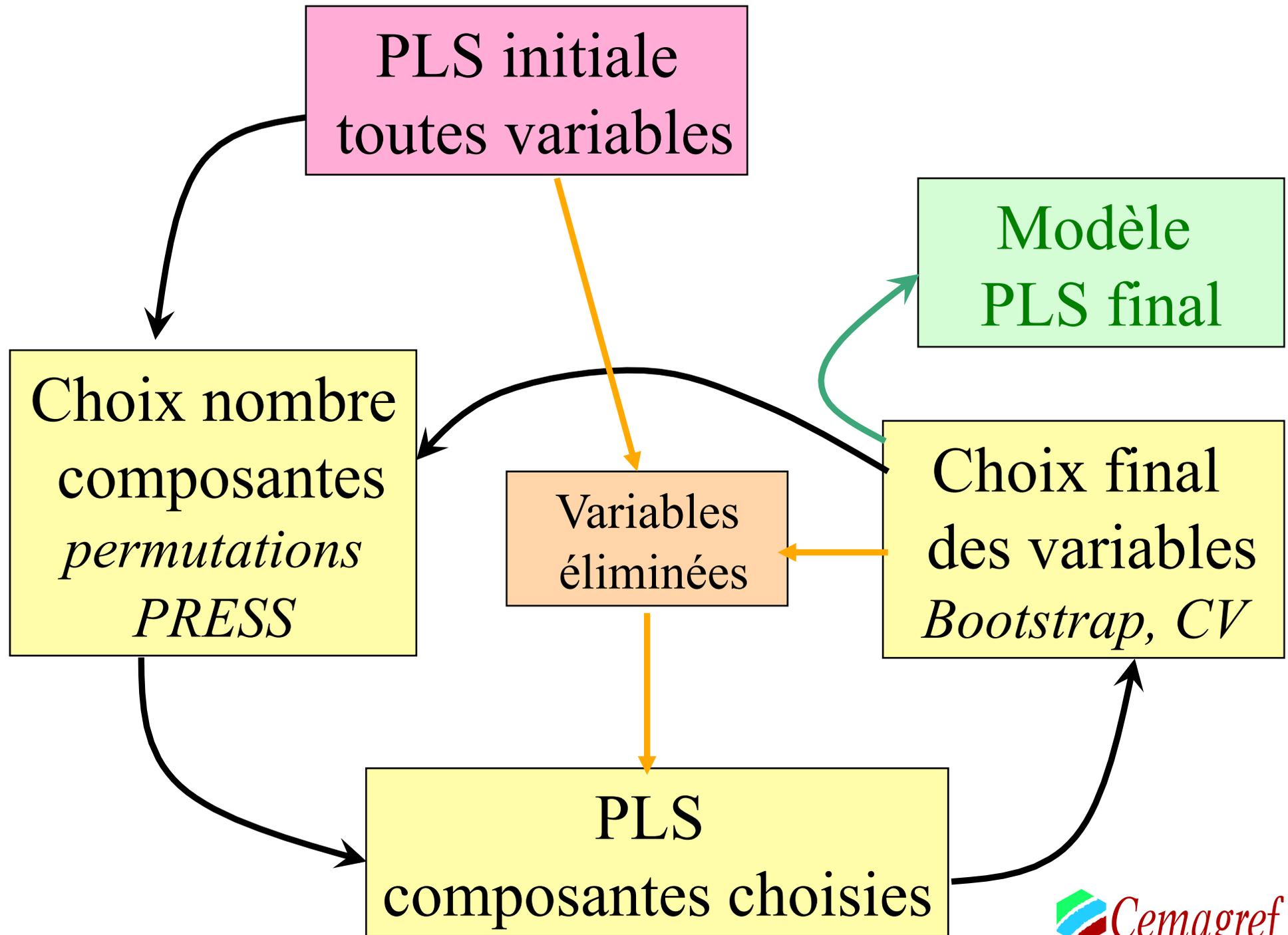
**... corrélations entre variables**

*...prises en compte par la méthode*

**... non linéarité**

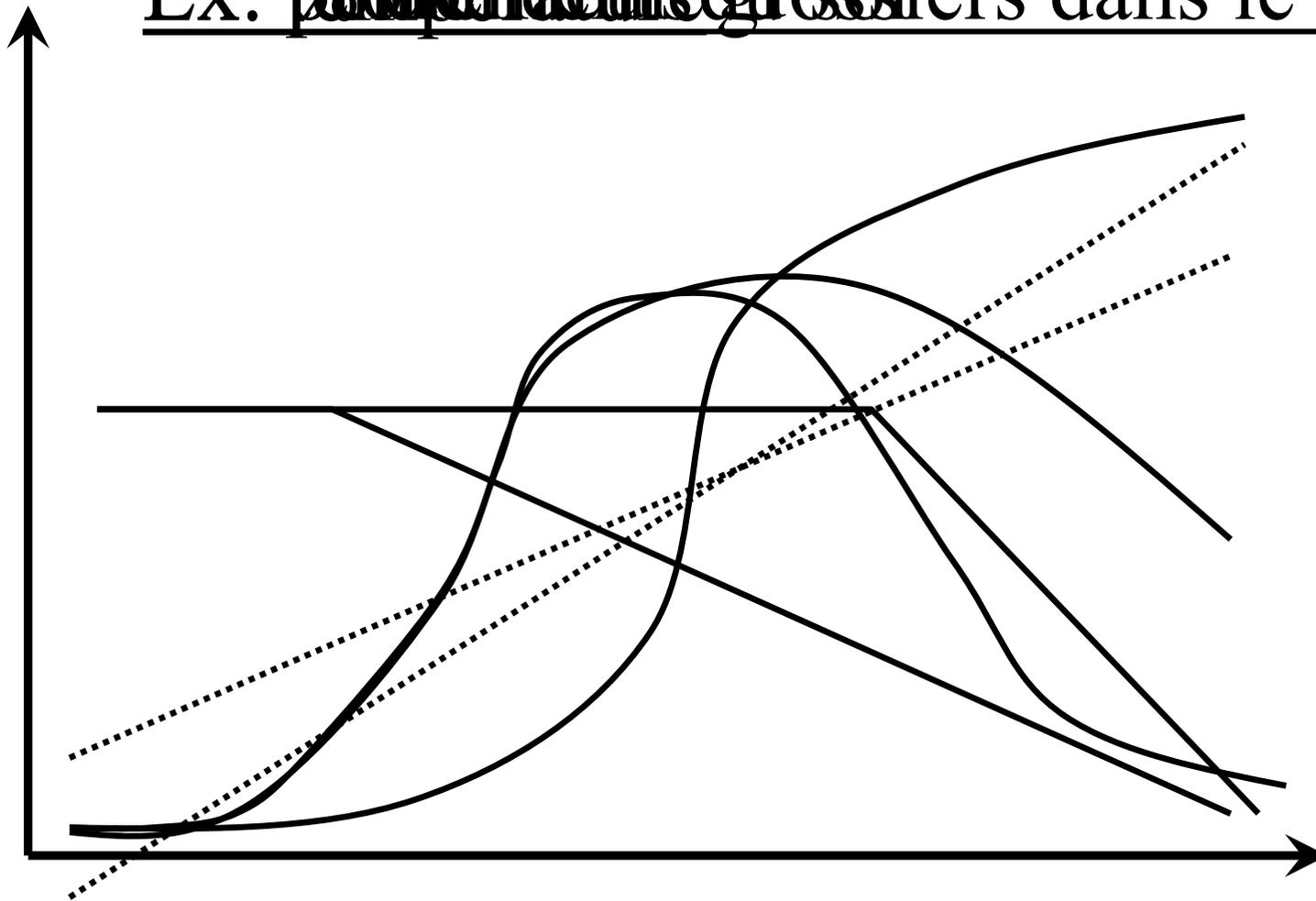
*... à résoudre par transformation,*

*... approche par réseaux de neurone*



# Réponse de la végétation aux variables

Ex: ~~profondeurs~~ grossiers dans le sol



# Réponses par réseaux de neurone (PPPhalos)

... **Traitement des variables par 6**

... *au-delà ce n'est pas fiable*

... **test de variables non ou peu redondantes**

... *dans différentes combinaisons*

... **détermination de la forme de la réponse**

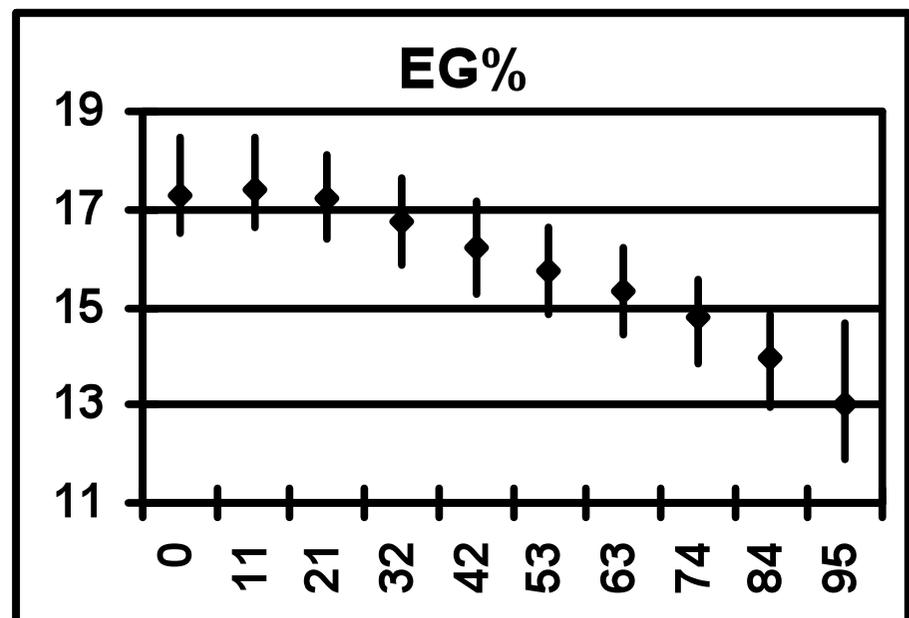
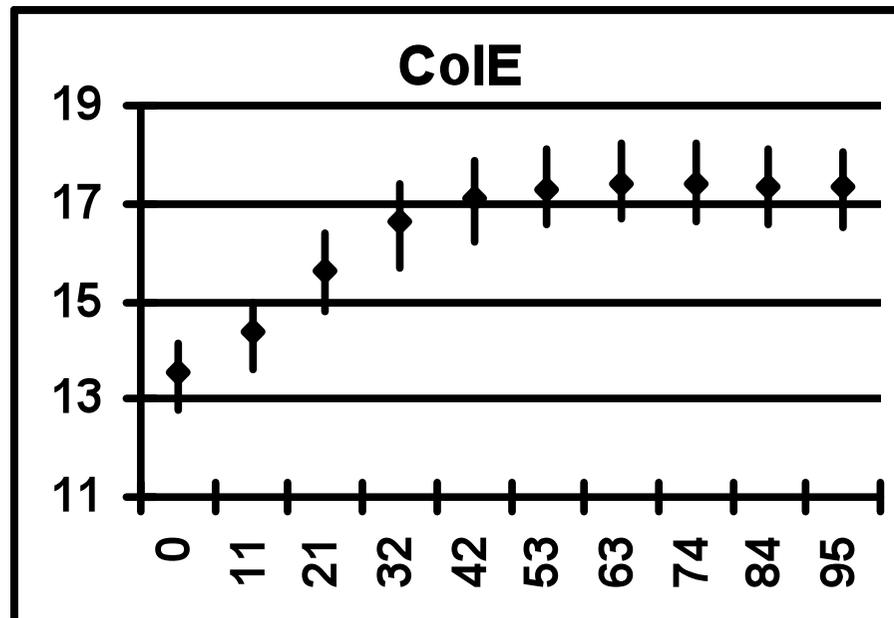
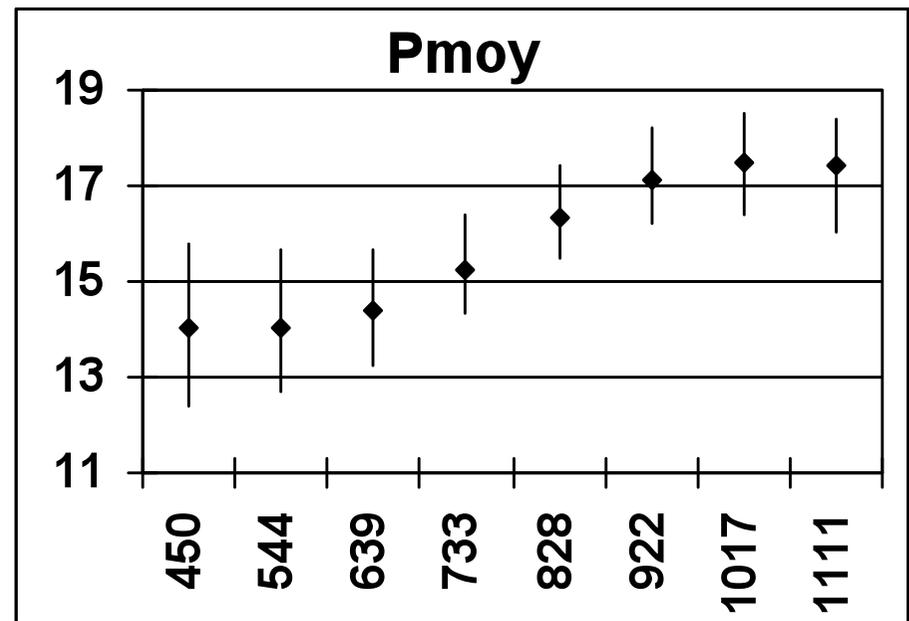
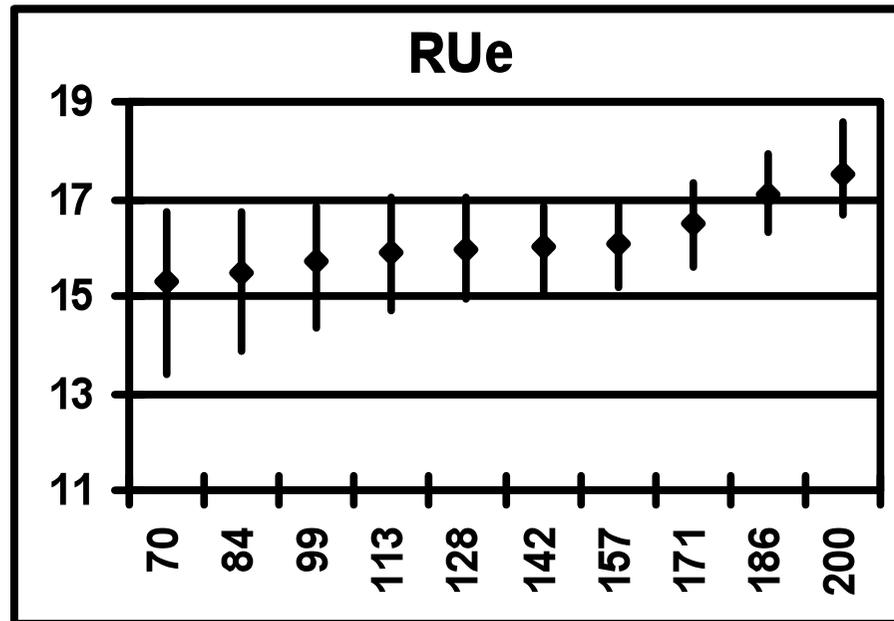
... *interprétation écologique*

... **test dans le modèle PLS**

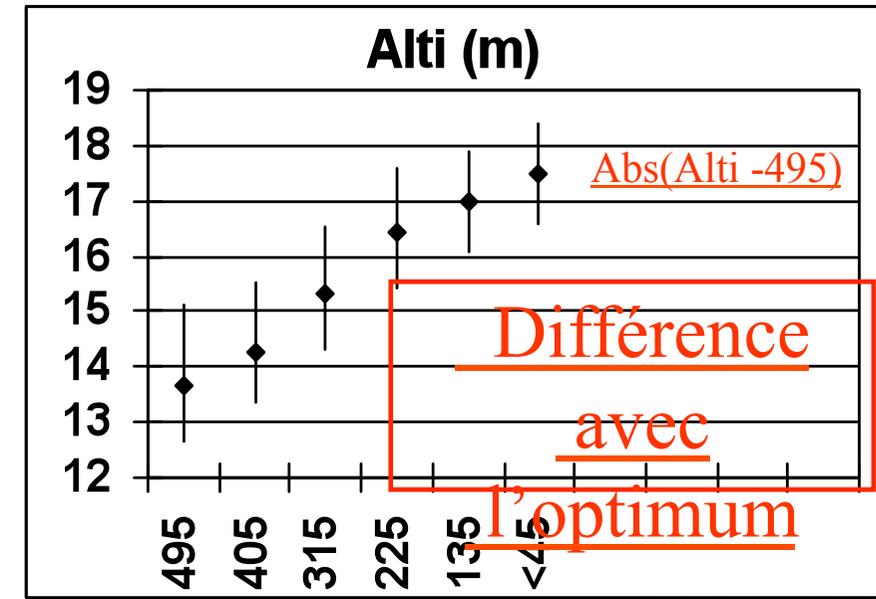
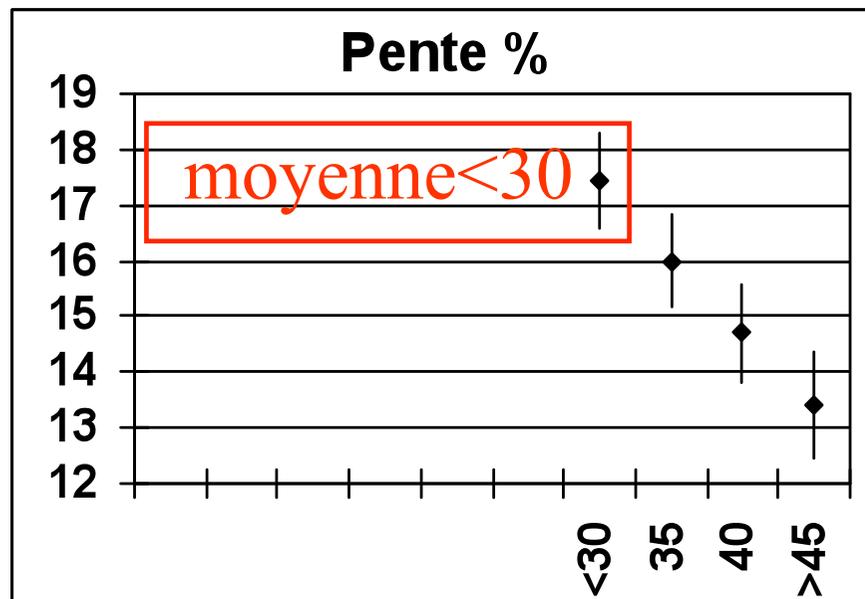
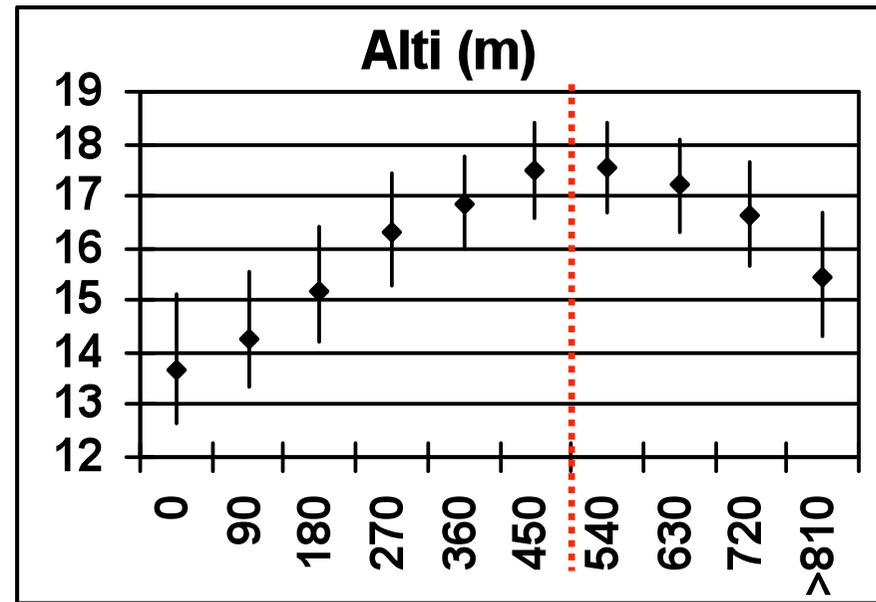
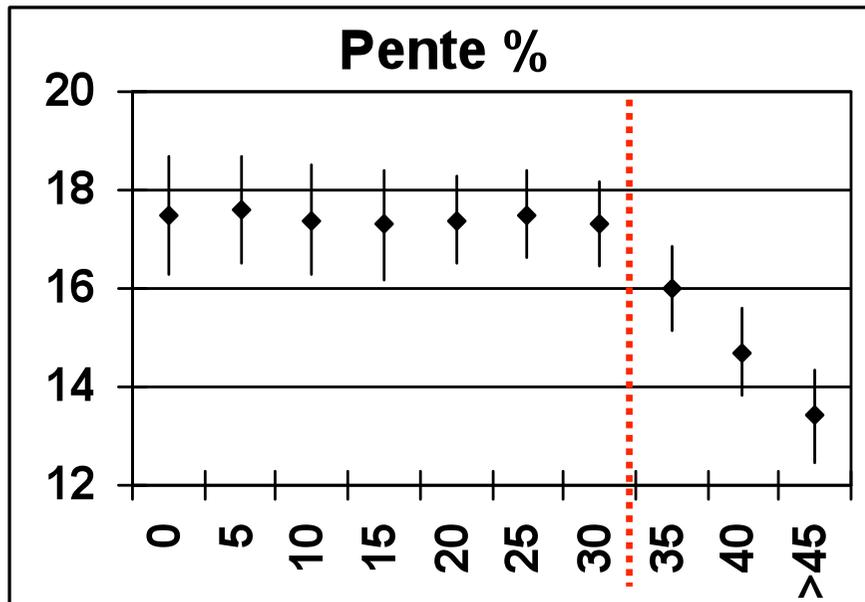
... *ne garder que les transformation « efficaces »,*

... *et écologiquement interprétables*

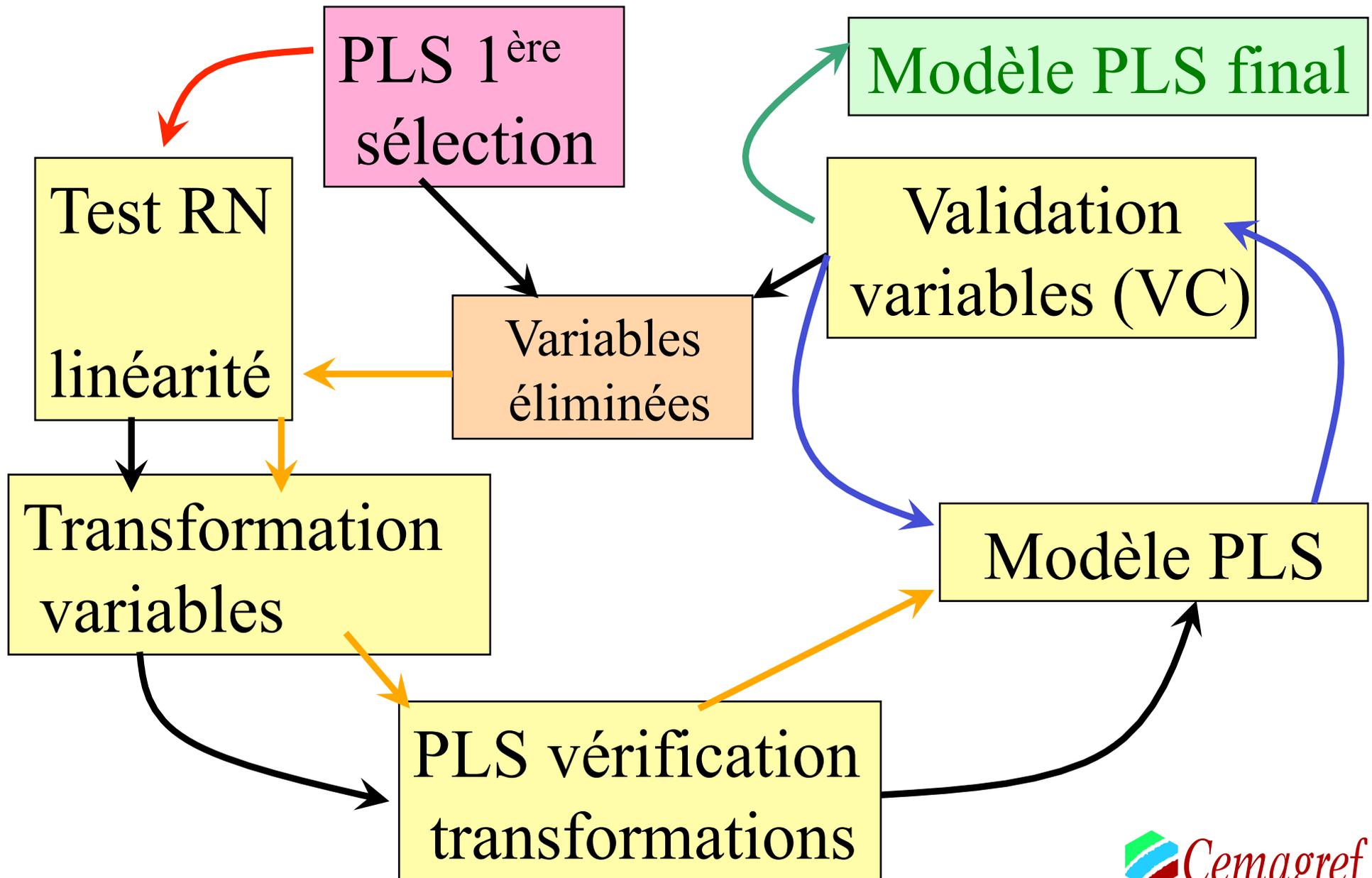
# Réponse de la végétation aux variables



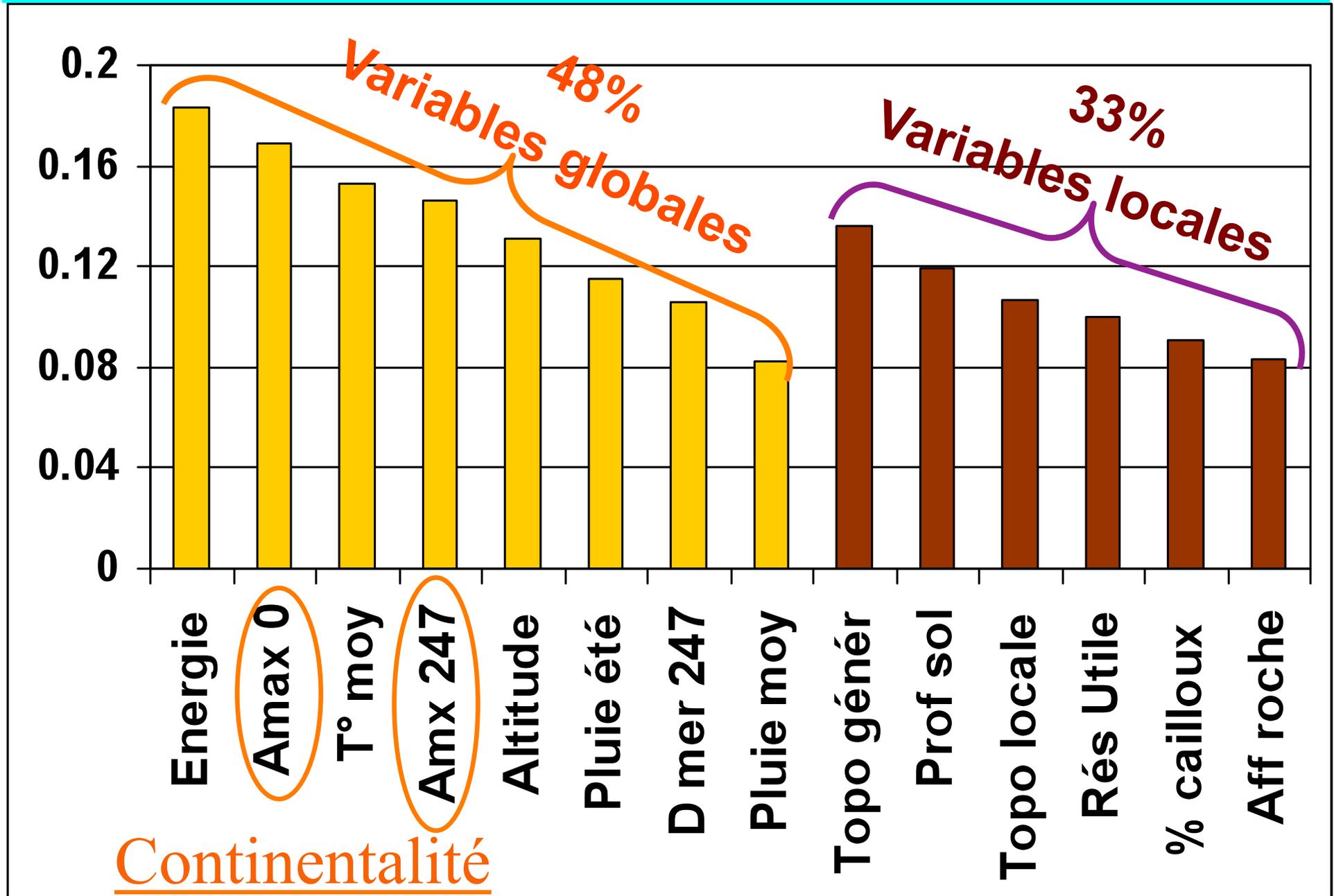
# Réponse de la végétation aux variables



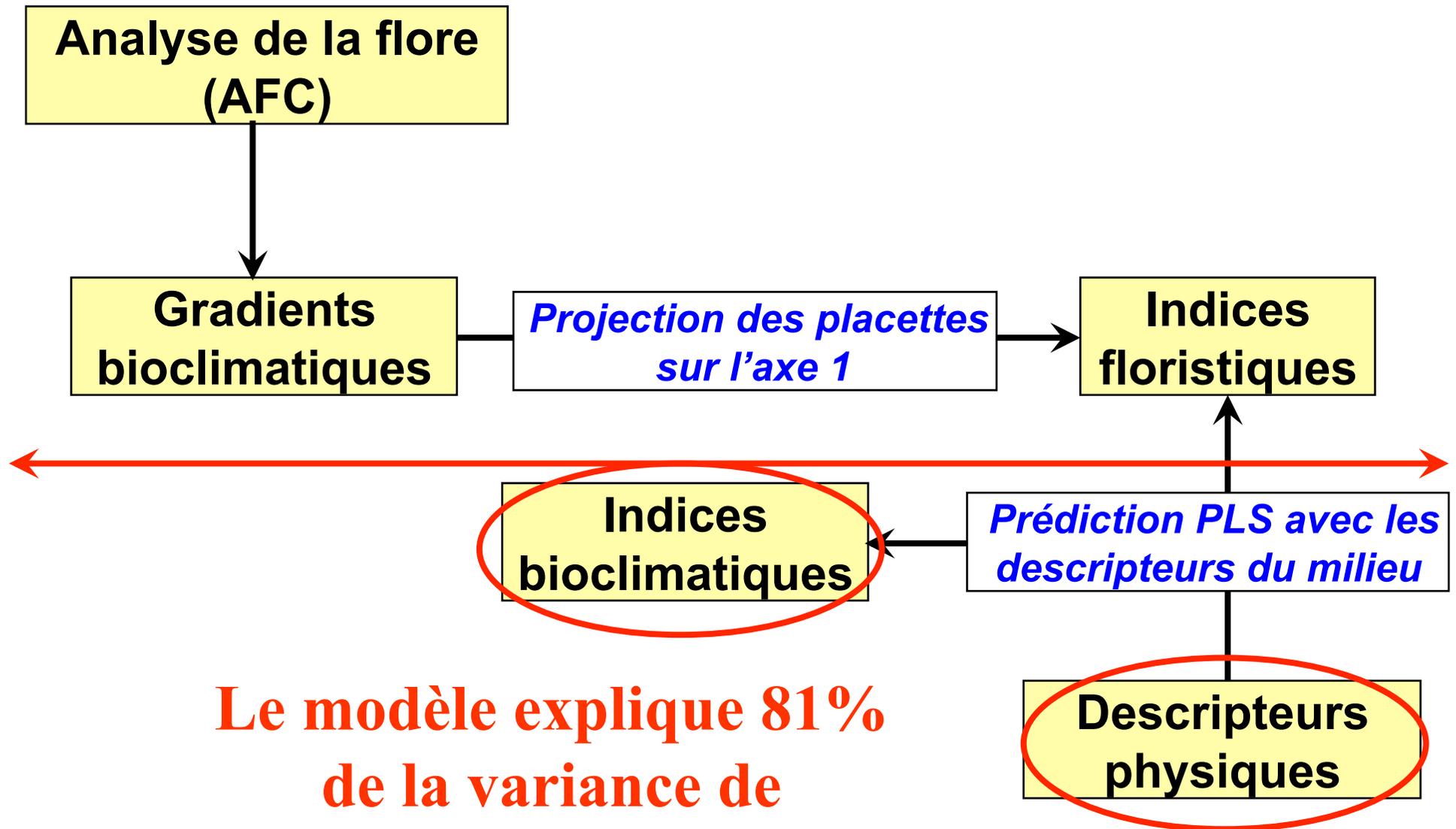
# Chaîne de traitement des données



# Modèle final



## Deuxième étape: modéliser l'indice floristique



**Le modèle explique 81%  
de la variance de  
l'indice floristique**

## Utilisations du modèle

*Cartographie de la productivité et de la flore*  
*Classes d'indice bioclimatique (groupes végétaux),*  
*Aires de répartition des espèces,*  
*Classes de productivité des essences*  
*Impact du changement climatique*



**Simulation sur le 21<sup>ème</sup> siècle**  
**(Scénario IPCC B2 2001)**

*Peut être remplacé par n'importe quel scénario*





# Fiabilité de l'extrapolation temporelle

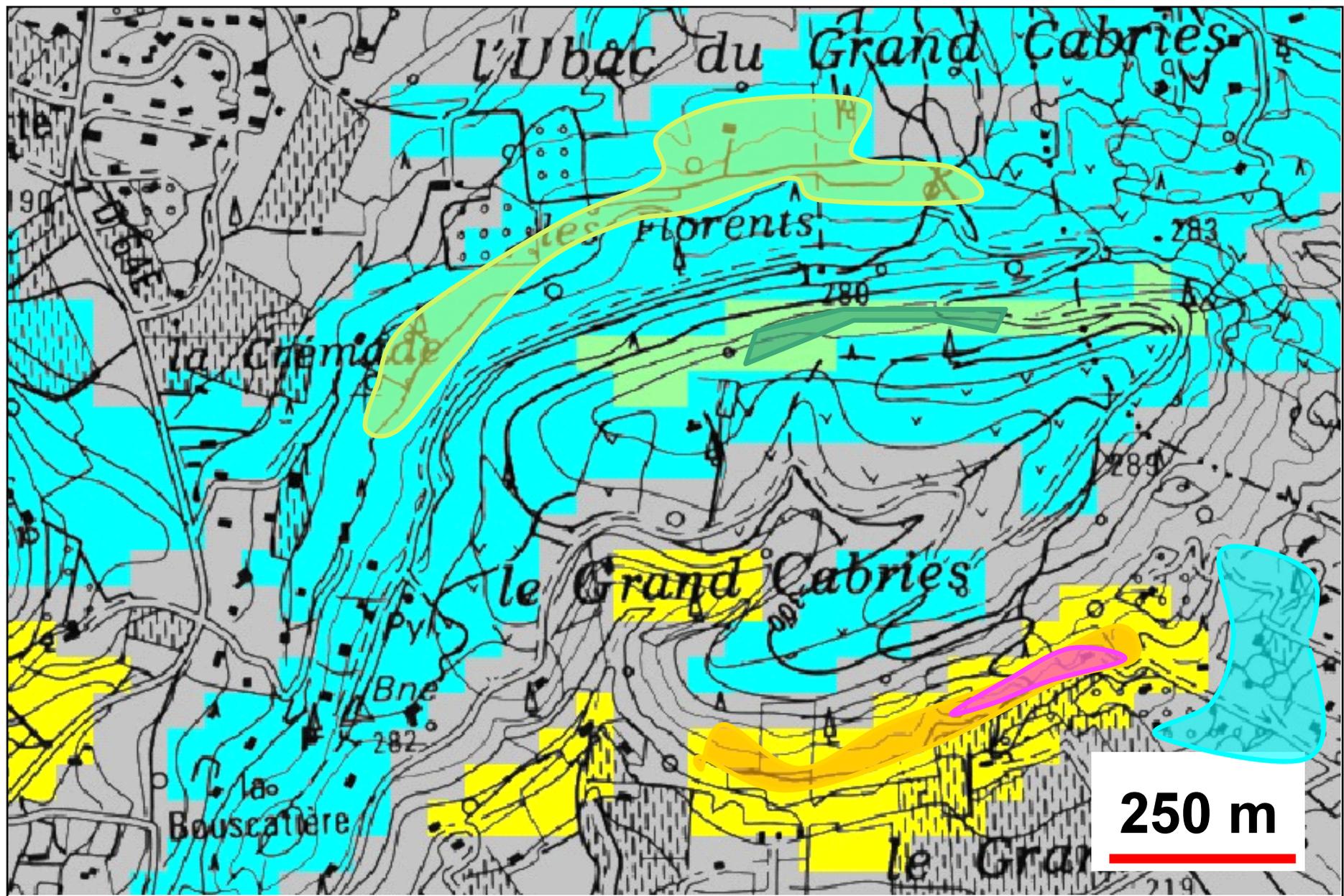
**... se limiter à un changement clim moyen**  
*... 15% max territoire sort de plage de calibration*

**... n'est valable que sur un sol « moyen »**  
*...à l'échelle du paysage*

**... peut être réalisée à échelle plus fine**  
*...là ou topo et sols cartographiés*

**... pourrait être précis à l'échelle paysage**  
*... pour des besoins de recherche,*  
*... après carto topo-sol sur des modèles paysage*

# Les échelles de cartographie et d'analyse



# Utilisations du modèle

## Lien entre modèle bioclimatique et productivité forestière

### *Exemple des classes de productivité du pin d'Alep*

		Classes d'indice topo-édaphique						
		extrême	très défavorable	défavorable	moyen	favorable	très favorable	exceptionnel
Classes d'indice bioclimatique	Class 1	0	0	1	2	2	3	4
	Class 2	0	0	1	2	3	4	4
	Class 3	0	1	2	2	4	4	5
	Class 4	0	1	2	3	4	5	5
	Class 5	1	1	2	3	4	5	5
	Class 6	1	1	2	3	4	5	5
	Class 7	1	1	2	3	4	5	5
	Class 8	1	1	2	3	4	4	4
	Class 9	0	0	1	2	2	2	2

*Le même tableau existe pour les principales essences forestières méditerranéennes*

# Changement floristique et changement climatique

- **Fragmentation forte des enveloppes bioclimatiques**  
*plus si on compte variations de sol/topographie*



- **Des espèces xéro/thermophiles sont dispersées dans l'arrière pays, prêtes à se répandre aux alentours**

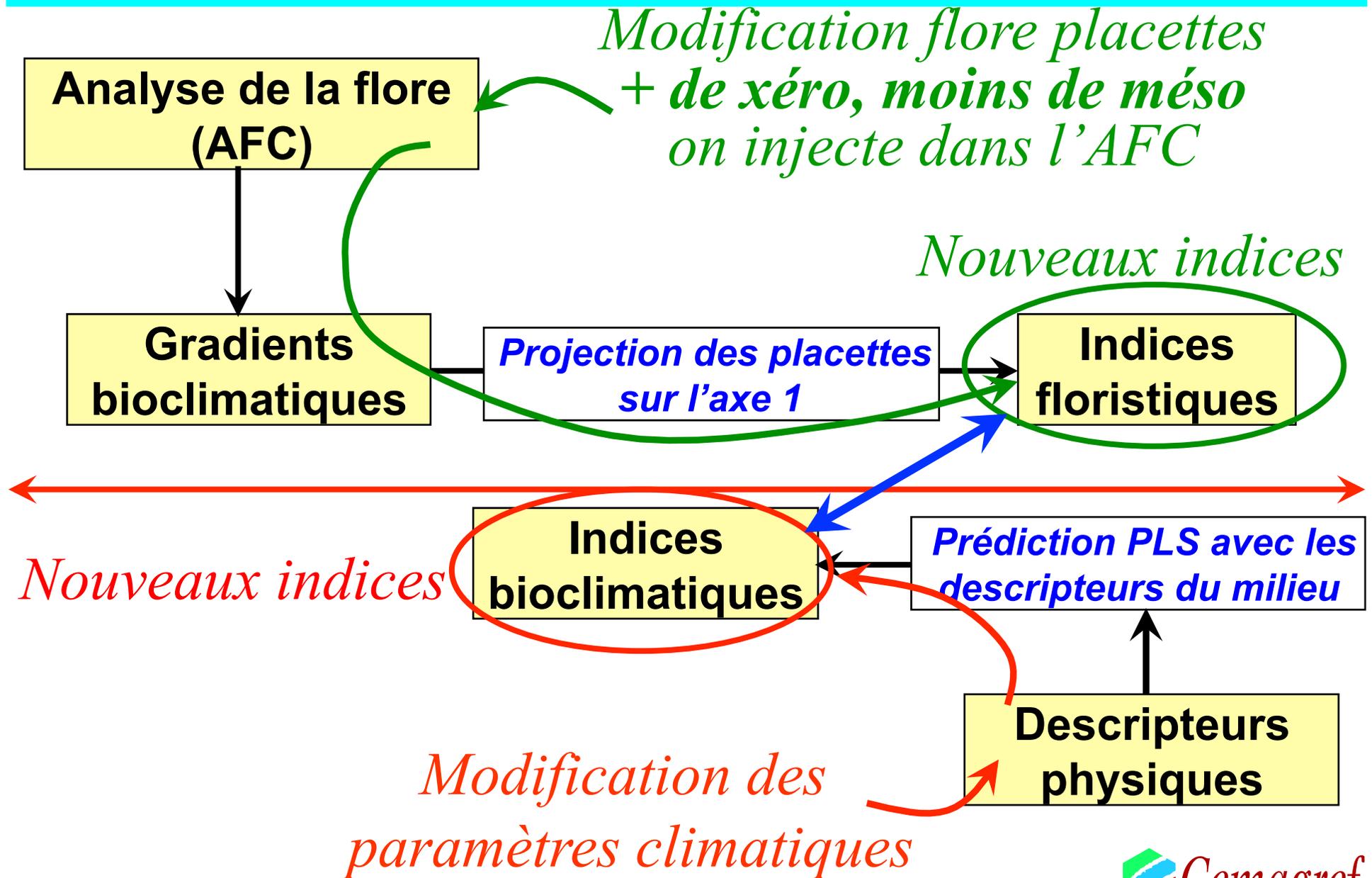


- **Des poches de résistance existent pour les espèces mésophiles en basse Provence**

- **Le grain de fragmentation du même ordre de grandeur que la distance moyenne de dissémination des graines**

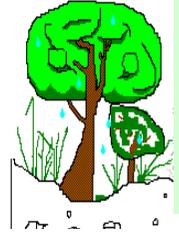


# Quantification des effet du CC sur la flore



# Quantification des effet du CC sur la flore

- **Un stress hydrique et thermique en augmentation**  
*les plantes mésophiles vont souffrir en priorité*



- **Espèces xéro/thermophiles moins concurrencées**  
*vont pouvoir s'étendre spatialement et localement*



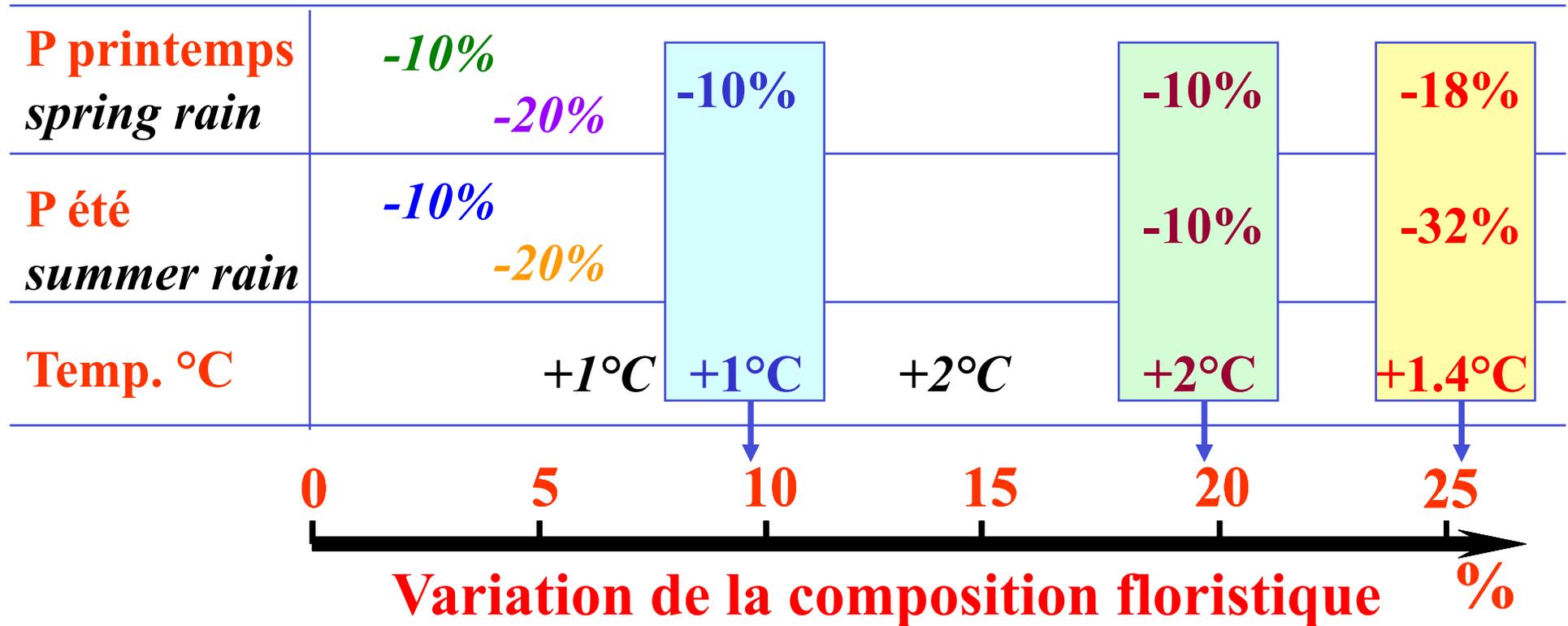
- **Quel ampleur des phénomènes attendus**  
*turn-over de la flore en %*

- **Comment faire le rapport entre CC et modif flore**  
*prenant en compte la structure du paysage*



# Variations de la flore depuis 10 ans : ... théorie

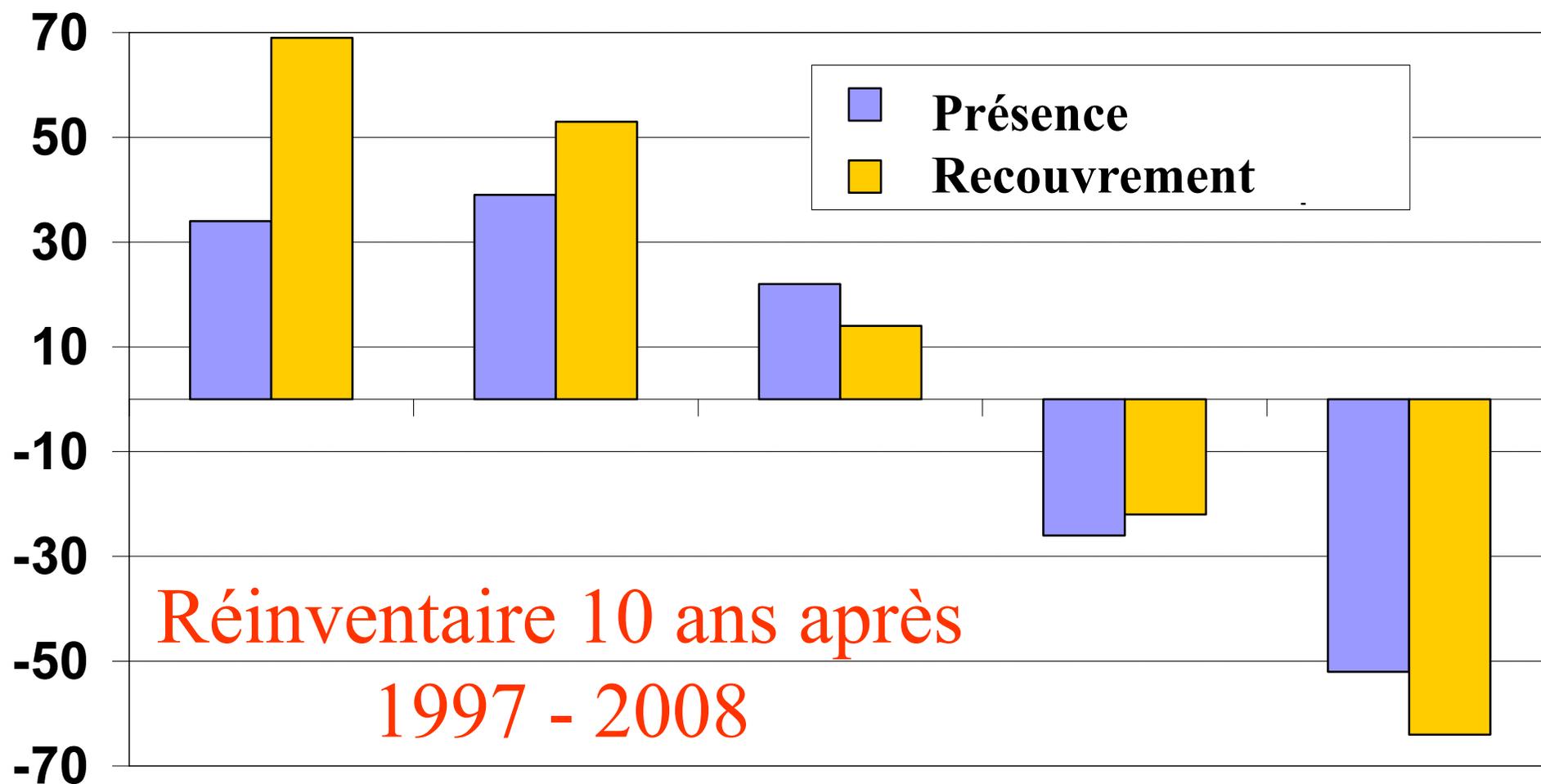
## Changement climatiques et turn-over de la flore



*Flora turn-over*

**Nombre moyen de plantes / 400m<sup>2</sup>**  
*Average number of plants / 400m<sup>2</sup>* } 25

## Variations de la flore depuis 10 ans : ... et pratique



**moins**

*besoin en eau et fraîcheur*

**plus**

# Mortalité sélective

**Coronilla juncea**



## Structure forestière



*Mort en 2007 de rejets  
datant des feux de  
2003 →*

*← Mort de vieux chêne-liège en  
absence de feu. Les chênes vert et  
blanc souffrent aussi beaucoup.*



# Mortalité du pin sylvestre: échelle locale

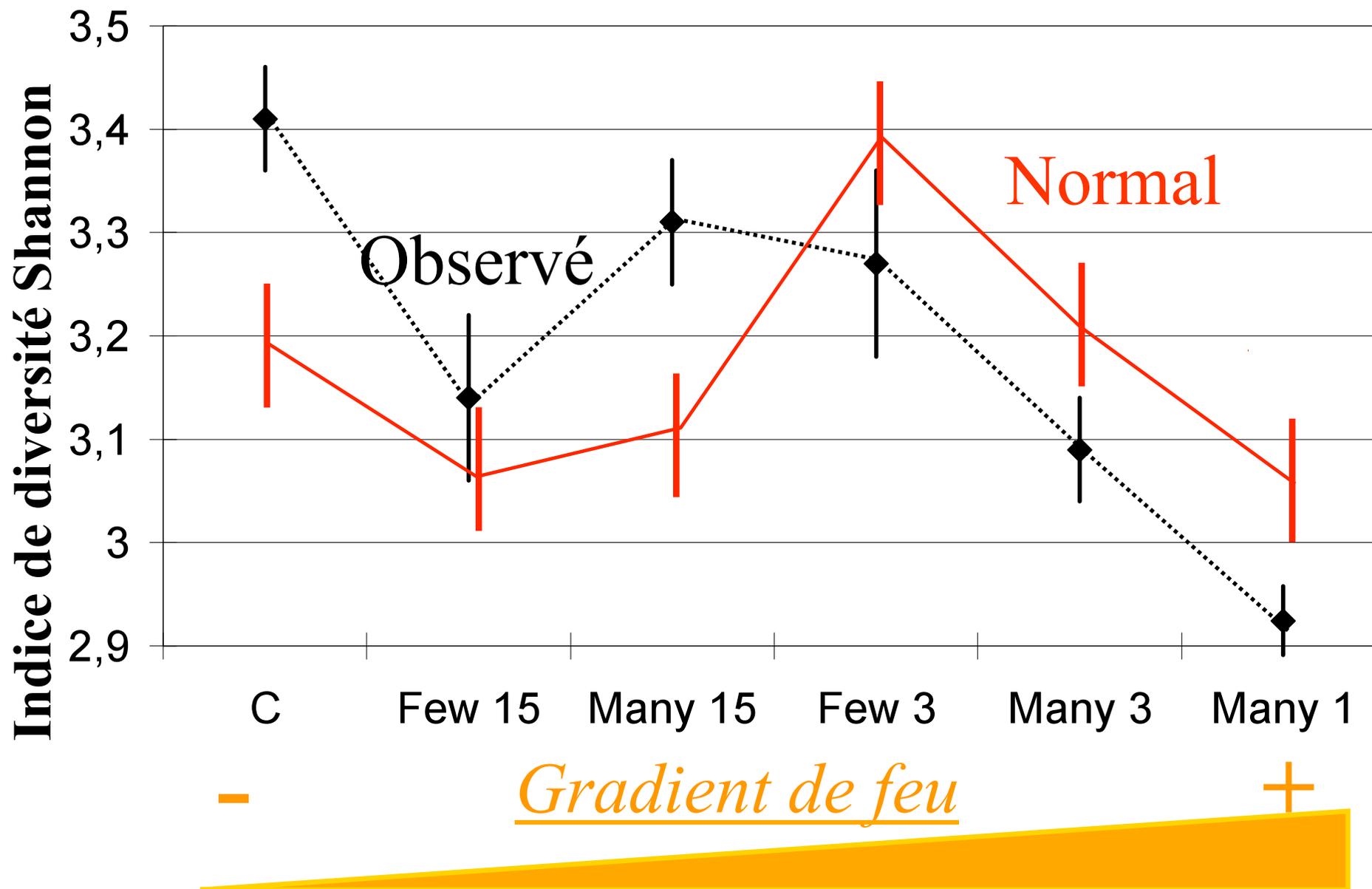


Photo Michel Venetier

# Mortalité du pin sylvestre: échelle du paysage



## Suivi de la flore après incendie



## Flore vs CC: comparaison prédictions / observations

- Sur 10 ans, 25% prévu, 12% observé  
*... la flore fait de la résistance, en moyenne*

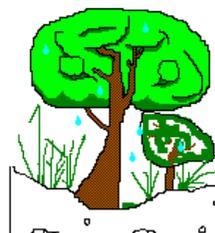


- Mais la tendance dépend de l'environnement  
*Zones mésophiles: 24%, zones xéro-thermo: 5%*



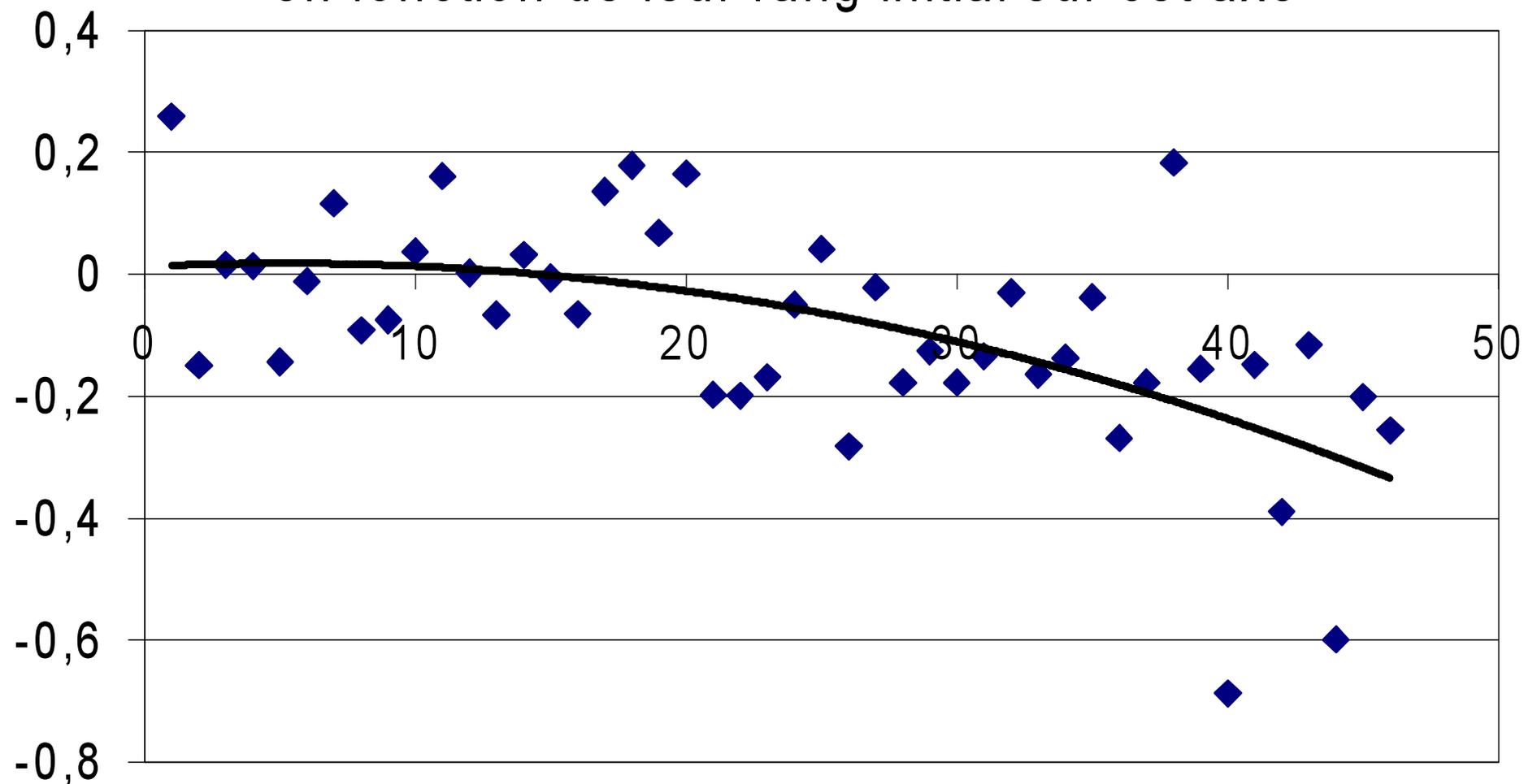
- Le turn-over espèces est très fort: 20-60%  
*Rotation forte dans les groupes*

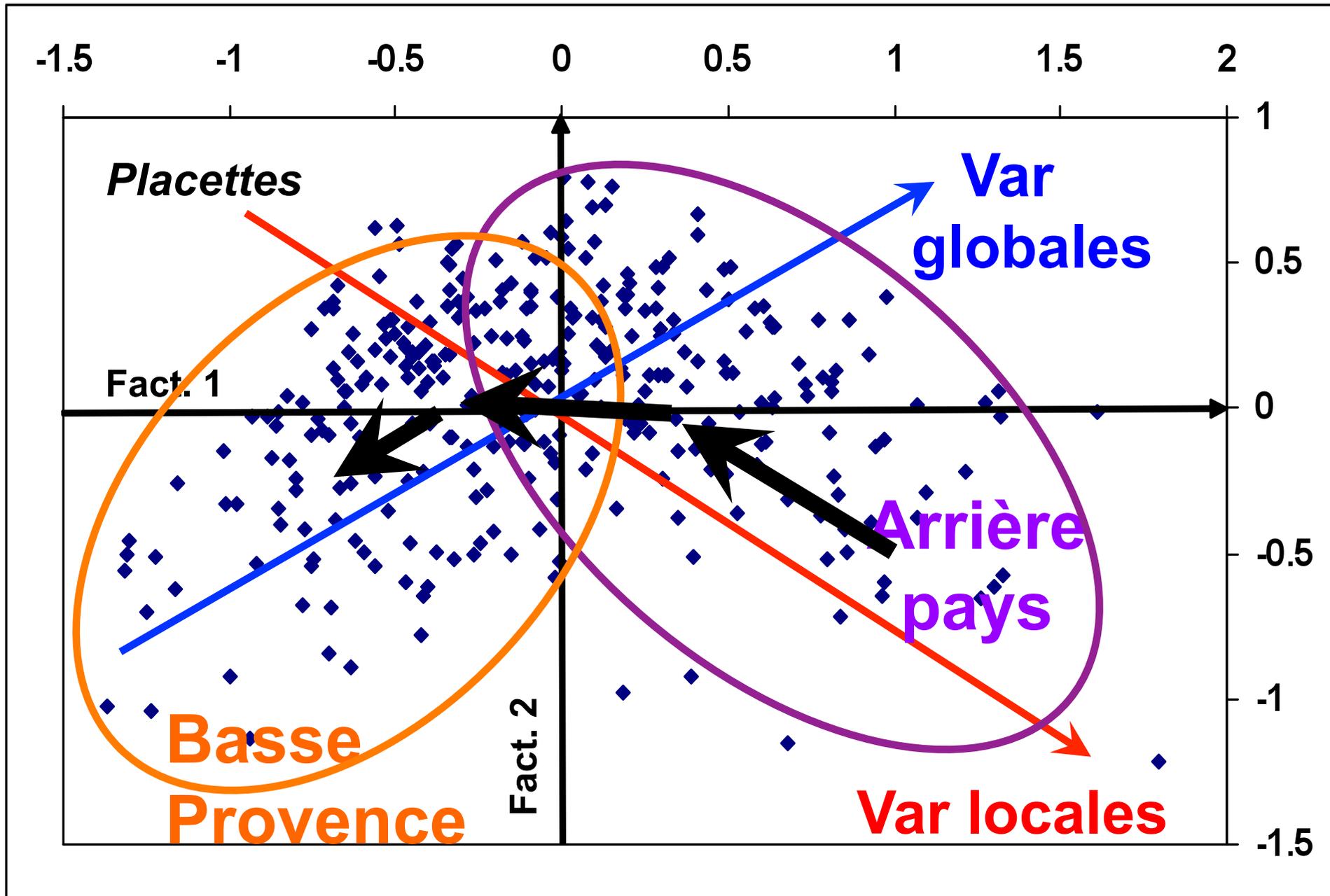
- Il y a clairement un effet de seuil critique  
*non compensation locale du stress hydrique climatique*



## Flore vs CC: effet de seuil des conditions topo-sol

Variation de coordonnée des placettes sur axe 1  
en fonction de leur rang initial sur cet axe





## Autres applications de la chaîne de traitement

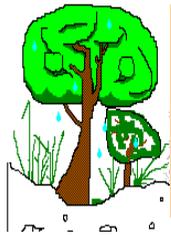
- **Modèle autécologique pin d'Alep**

*Même type de données et de raisonnement*



- **Dendroécologie, architecture des arbres**

*Séries parfois courtes, beaucoup de var corrélées*

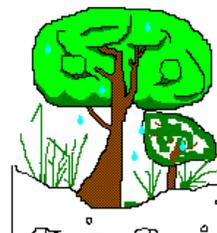


- **Risque d'incendie**

**Variables d'environnement et structure**

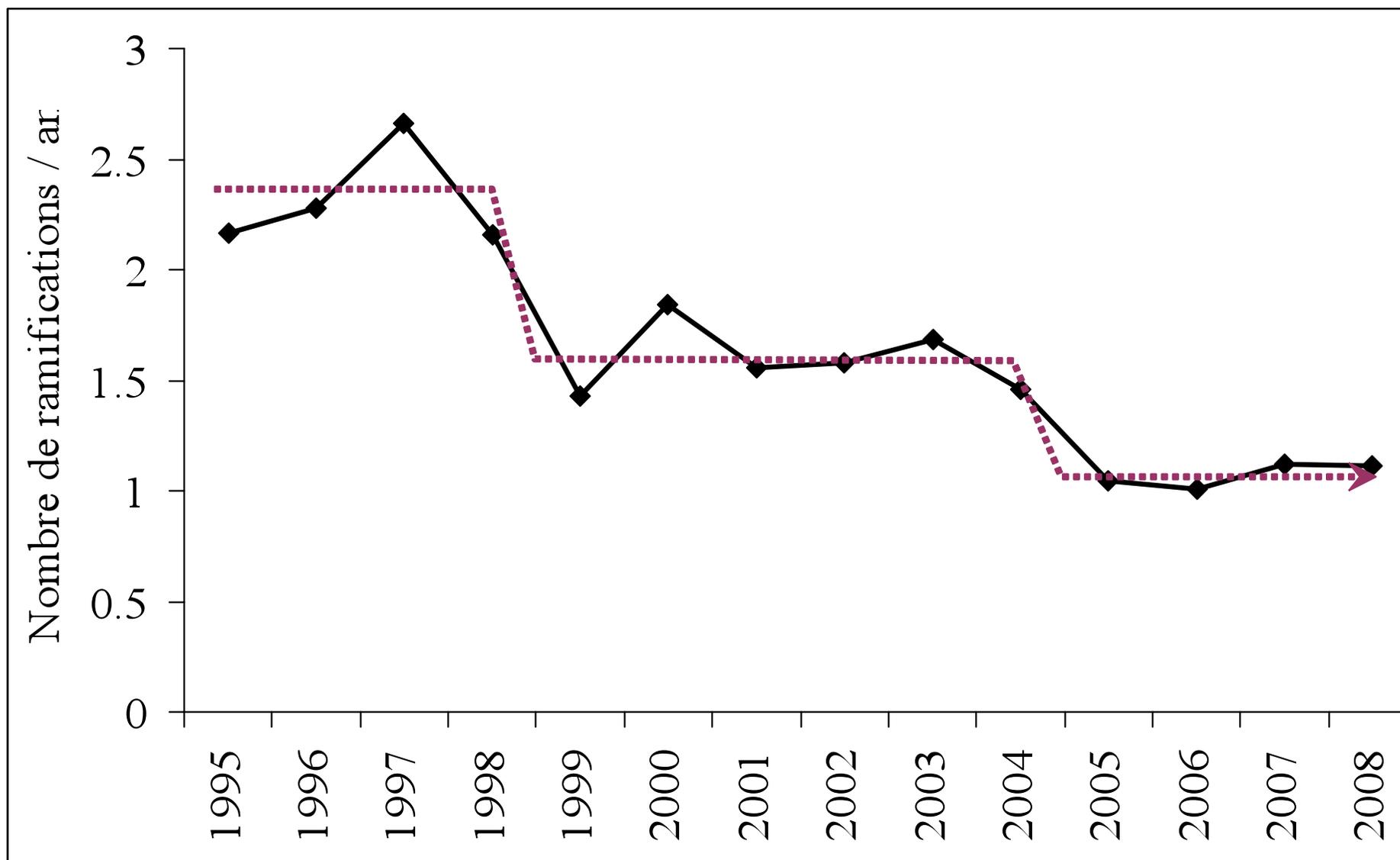
- **Potentiel apicole des zones débroussaillées**

*var environnement et intensité de la perturbation*



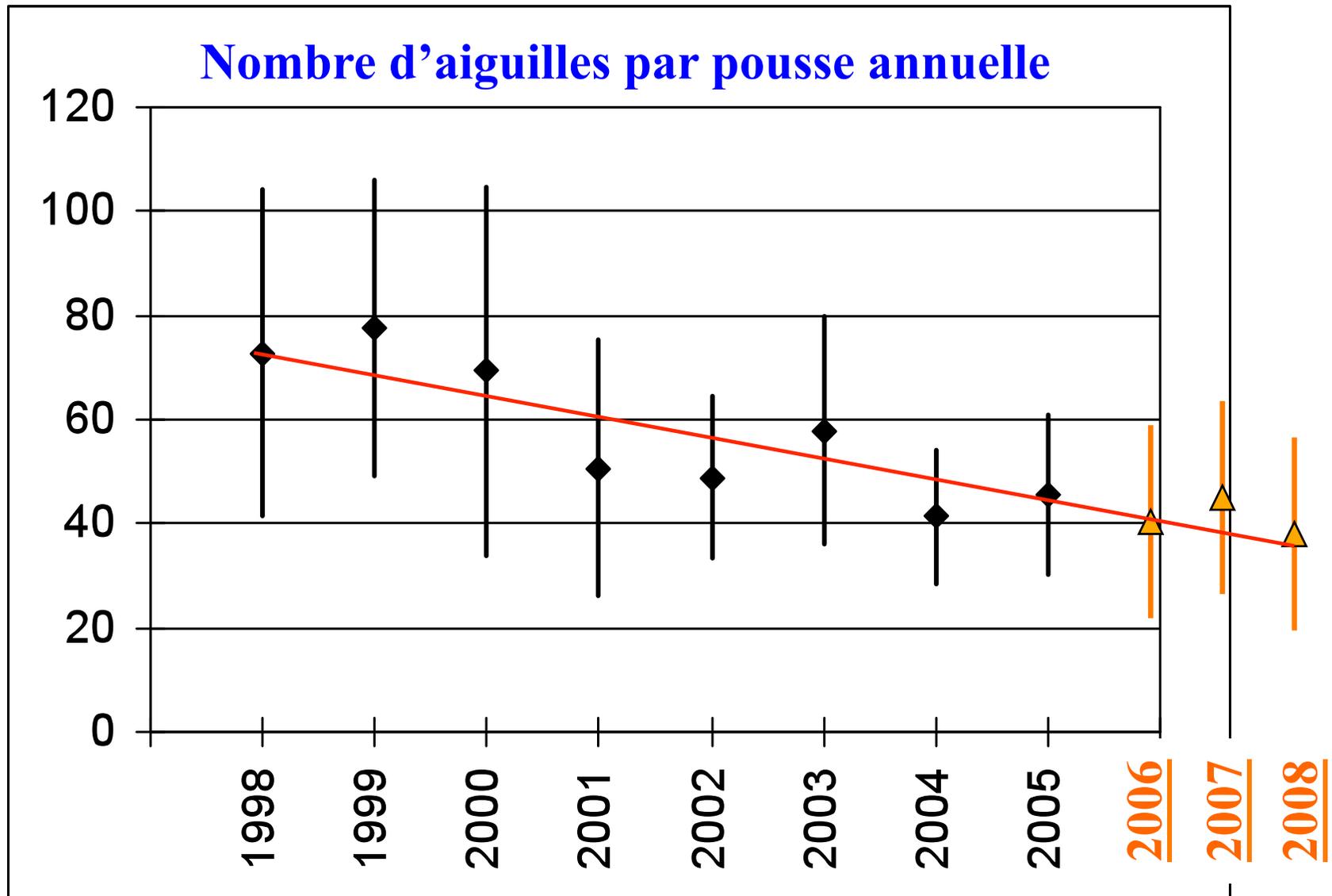
# Autres applications de la chaîne de traitement

## Croissance du houppier pin d'Alep: taux de ramification



# Vigueur des arbres

## Capacité de photosynthèse d'Alep: nombre d'aiguilles



# Relation climat architecture des arbres

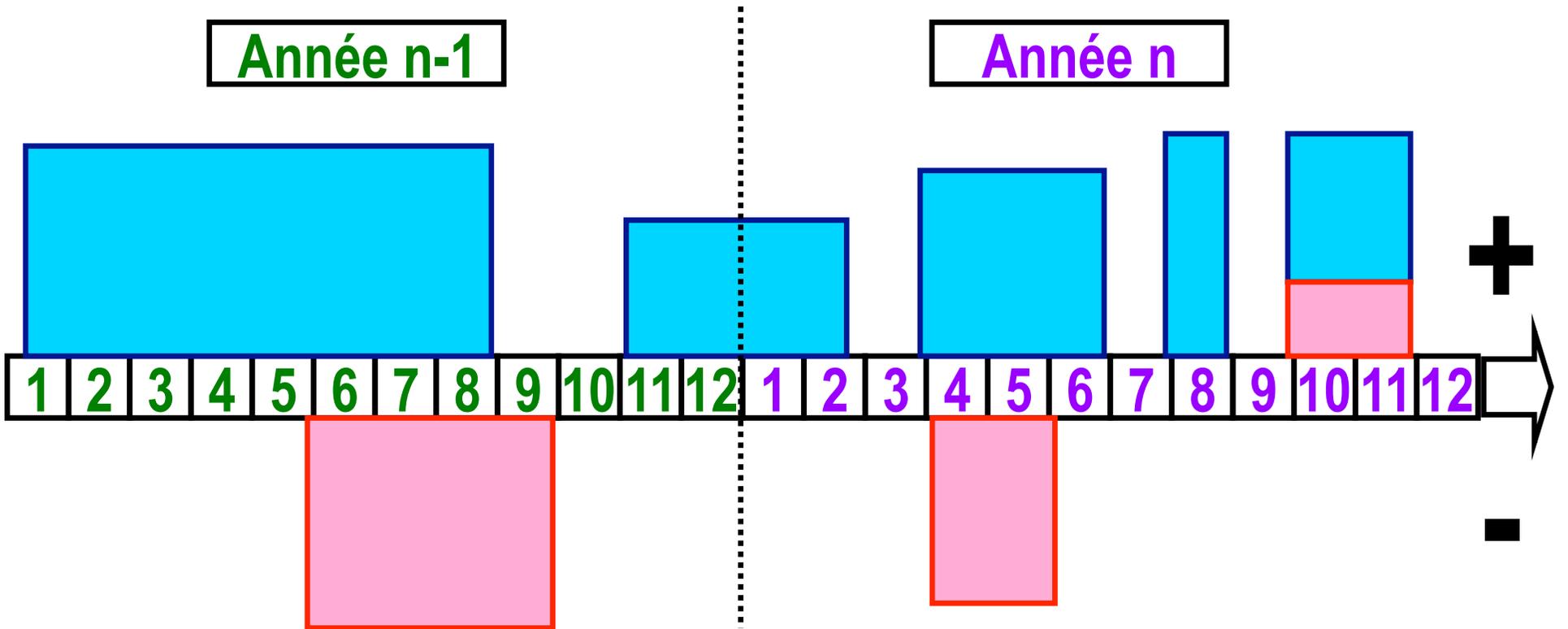
Polycyclisme, ramification

Pluie

Temp

Année n-1

Année n



+

-

← → **Alep**

← → **Sylvestre**

A photograph of a forest floor covered in moss and fallen yellow leaves. A large tree trunk is visible on the left side. The background is filled with more trees and foliage, some showing yellow autumn colors. The text is overlaid on the right side of the image.

**Merci de votre  
attention !**

*Thank you for  
your attention*

# Modèle en arbre de décision

**... Modèles en arbres de décision**  
*... règle certains problèmes !?*

**... nombre de variables**  
*... fais le tri sans à priori*

**... corrélations entre variables**  
*... résolu avec le choix de la plus pertinente*

**... non linéarité**  
*... résolu sur variables croissantes / décroissantes*  
*... Reste pb des réponses en cloche*

# Arbre de décision

