

# Initiation à la phytosociologie



# Présentation de la formation

— [ 5,5 journées

— 1,5 journée dédiée aux concepts généraux

— 2 journées d'application

— 1 journée de terrain

— 1 journée d'atelier numérique

— 2 journées de spécialisation : milieux forestiers

— 1 journée de présentation

— 1 journée de terrain





# Introduction

















# Notion de groupement végétal

# La formation végétale

— [ August Grisebach (1814-1879) : type de végétation caractérisée par son aspect, sa physionomie et sa structure comme une prairie, une lande, une forêt. Énonce **3 concepts-clés** :

- les végétaux doivent être classés en fonction de leurs formes adaptatives plus que pour leur relation phylogénétique ;
- les végétaux doivent être considérés comme des parties d'une société végétale ;
- le climat est le facteur déterminant pour la constitution des communautés végétales.

# La formation végétale

— [ Brockmann-Jerosch et Rübel (1912), Diels (1910), Ellenberg et Mueller-Dombois (1967) : typologie des formations végétales.

— [ Salvador Rivas-Martinez (1996) : ensemble de communautés végétales propre à un grand territoire, délimité par la physionomie résultant de l'organisation spatiale conférée par les formes biologiques des plantes dominantes.

# Le groupement végétal

## ou la communauté végétale

— [ Ensemble d'organismes végétaux, vivant rassemblés dans une portion délimitée de l'espace ;

— [ la phytosociologie est l'une des disciplines dont l'objet est l'étude des groupements végétaux à travers la notion d'association végétale.

# Le continuum

— [ Pose pour principe que chaque espèce présente une réponse **individuelle** aux gradients environnementaux

- ▶ communautés végétales dont la composition floristique varie très **progressivement** de l'une à l'autre, rendant difficile leur individualisation réciproque.

— [ Concept inspiré par Gleason, développé aux États-Unis par Curtis et Mac Intosh qui remettent en cause l'association végétale telle que définie par la phytosociologie.

— [ La phytosociologie, au contraire, est fondée sur la recherche de **discontinuités**.



# Méthodes d'études de la végétation

# La phytogéographie

— [ Étude de la **répartition** des végétaux et des communautés végétales en analysant les causes ;

— [ ancêtre de la phytosociologie.



# La phytosociologie

— [ Étude des associations végétales.

# La phytoécologie

— [ Initiée par les travaux de Louis Emberger (1897-1969), développée par Philippe Daget (1964), Michel Godron (1967), Michel Gounot (1969) ;

— [ introduit le concept de **groupes écologiques statistiques** à partir de la notion de **groupes socioécologiques** (Paul Duvigneaud, 1946) ;

— [ se concentre sur l'explication du **déterminisme écologique** de la végétation.

# La phytoécologie

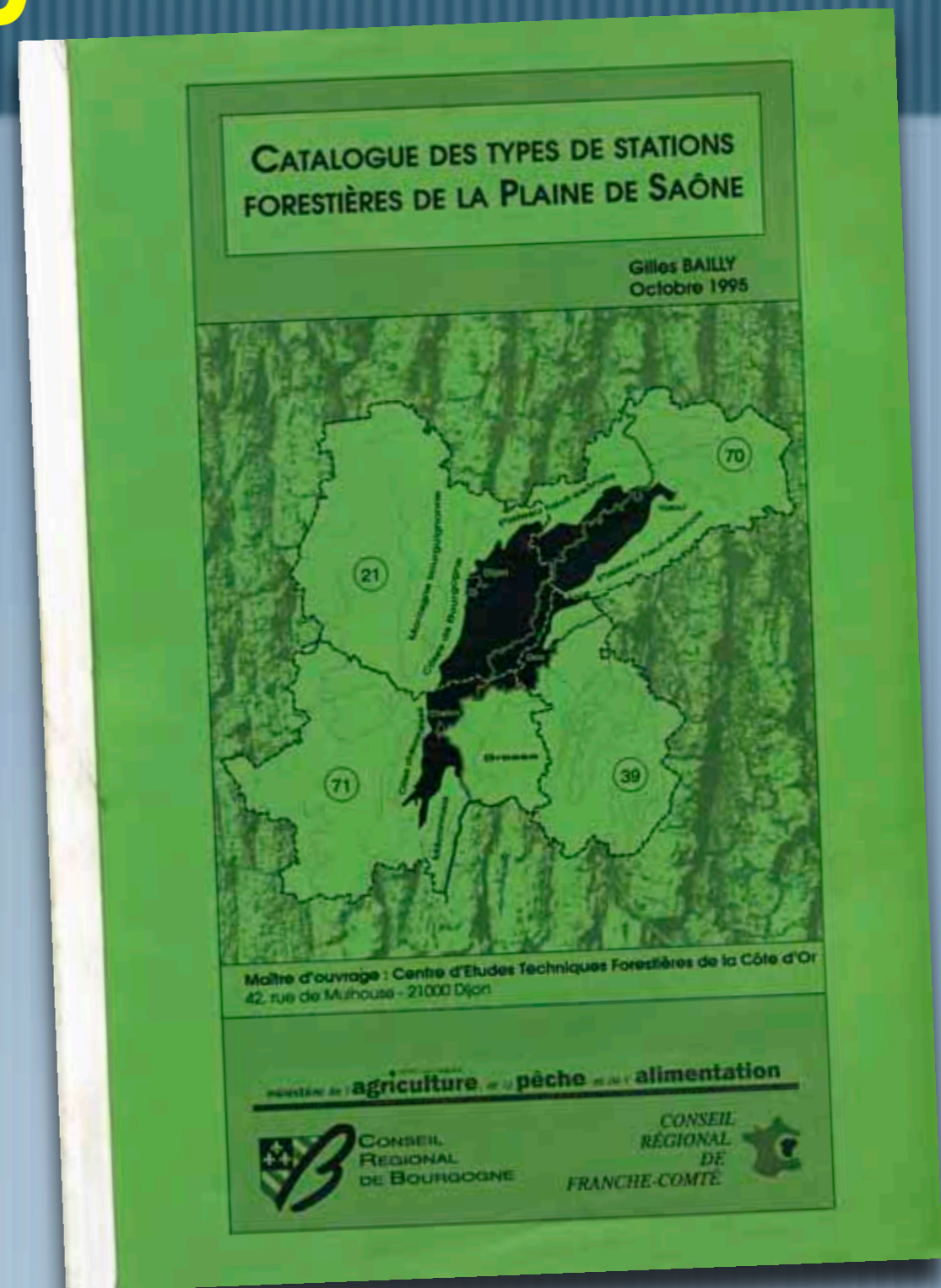
— [ Approche **réductionniste** de la végétation / approche **holistique** :

- la végétation est étudiée par le biais du taxon ;
- on établit le profil écologique de chaque taxon relativement aux données mésologiques mesurées (pH, taux de saturation, granulométrie...) ;
- on définit des **groupes socio-écologiques** rassemblant des espèces présentant des profils semblables ;
- les communautés végétales sont conçues comme des **assemblages de groupes écologiques**.

# La phytoécologie

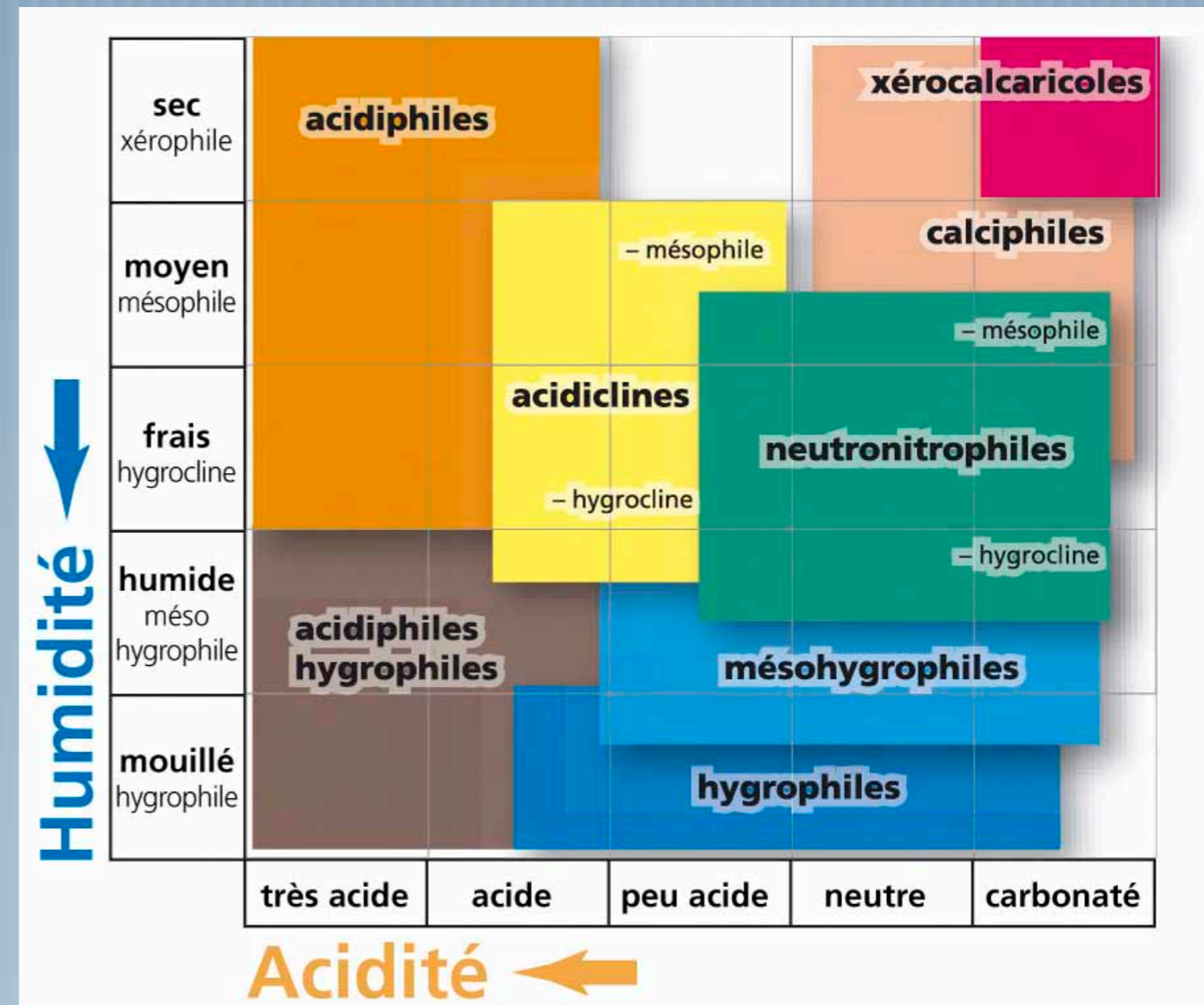
l'étude des **stations forestières** est une application de la phytoécologie (**groupes écologiques d'espèces indicatrices**) ;

utilisée également dans des programmes de modélisation de l'évolution de la végétation consécutive au changement climatique (D. Marage, J.-P. Gégout).



# La phytoécologie

en typologie forestière, par exemple, les groupes d'espèces indicatrices sont couramment utilisés pour estimer le régime hydrique de la station et le niveau trophique du sol.





# Aperçu historique sur la phytosociologie

# Introduction

Elle prend racine dans la **phytogéographie** :

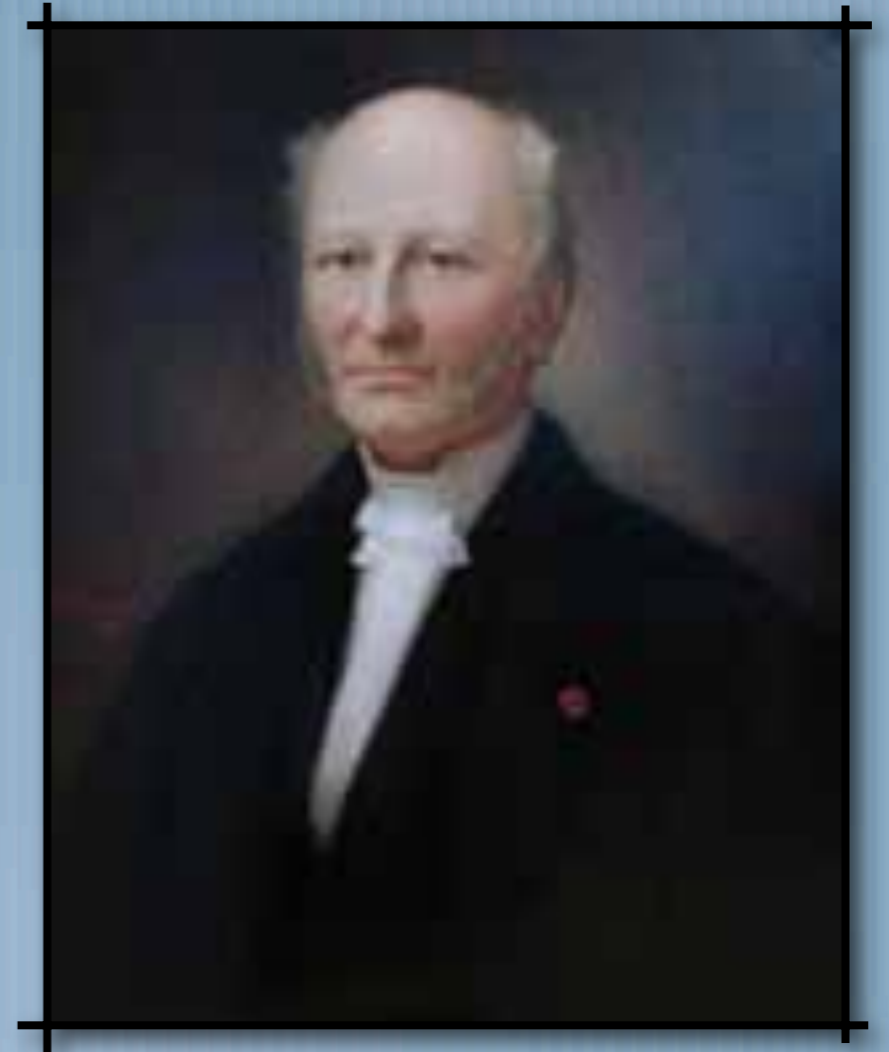
rôle fondateur d'Alexandre de Humbolt (1769-1859) : définit les notions d'étages de végétation, de zonation, de forme de croissance des végétaux, préfigure la notion de formation ;

August Grisebach (1814-1879) : propose le concept de **formation végétale**, préfigure la notion d'association.



# Introduction

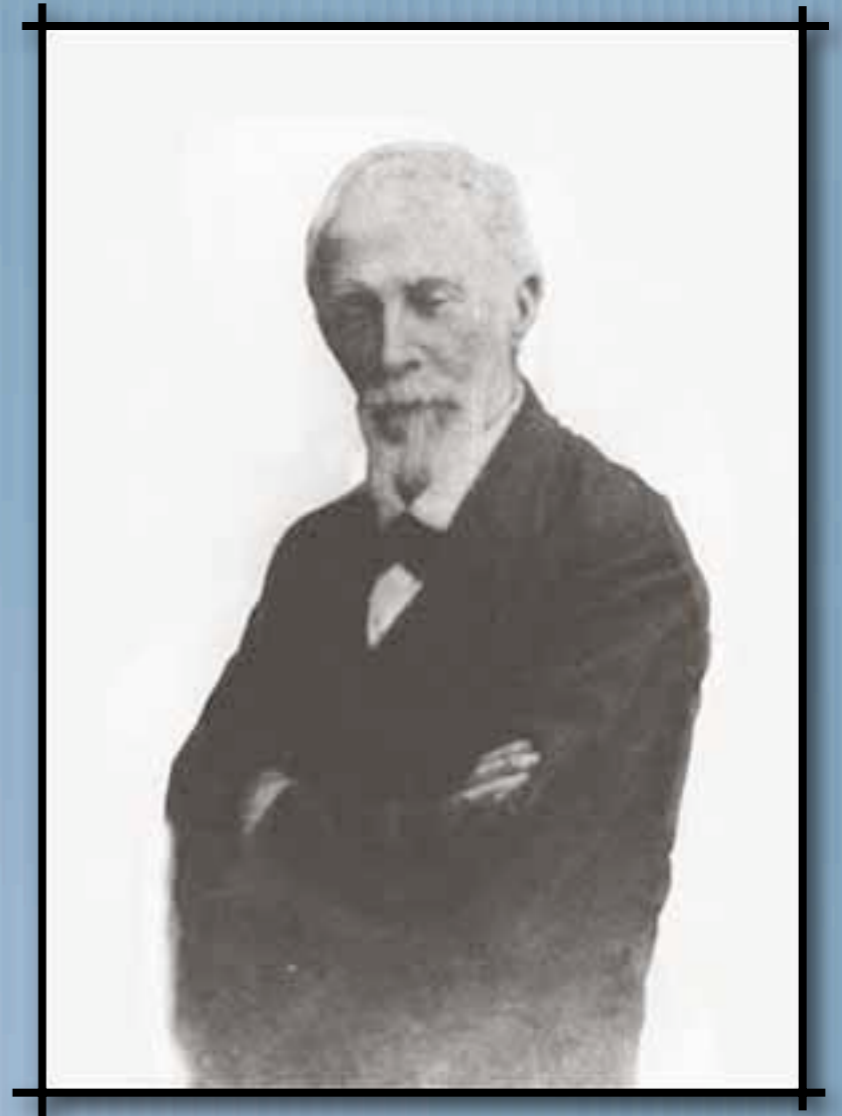
- Henri Lecoq (1802-1871) sur « *la géographie botanique de l'Europe et en particulier sur la végétation du plateau central de la France* »
- rôle fondateur de Charles Flahaut (1852-1935), ces deux auteurs étant considérés comme des précurseurs de la phytosociologie.





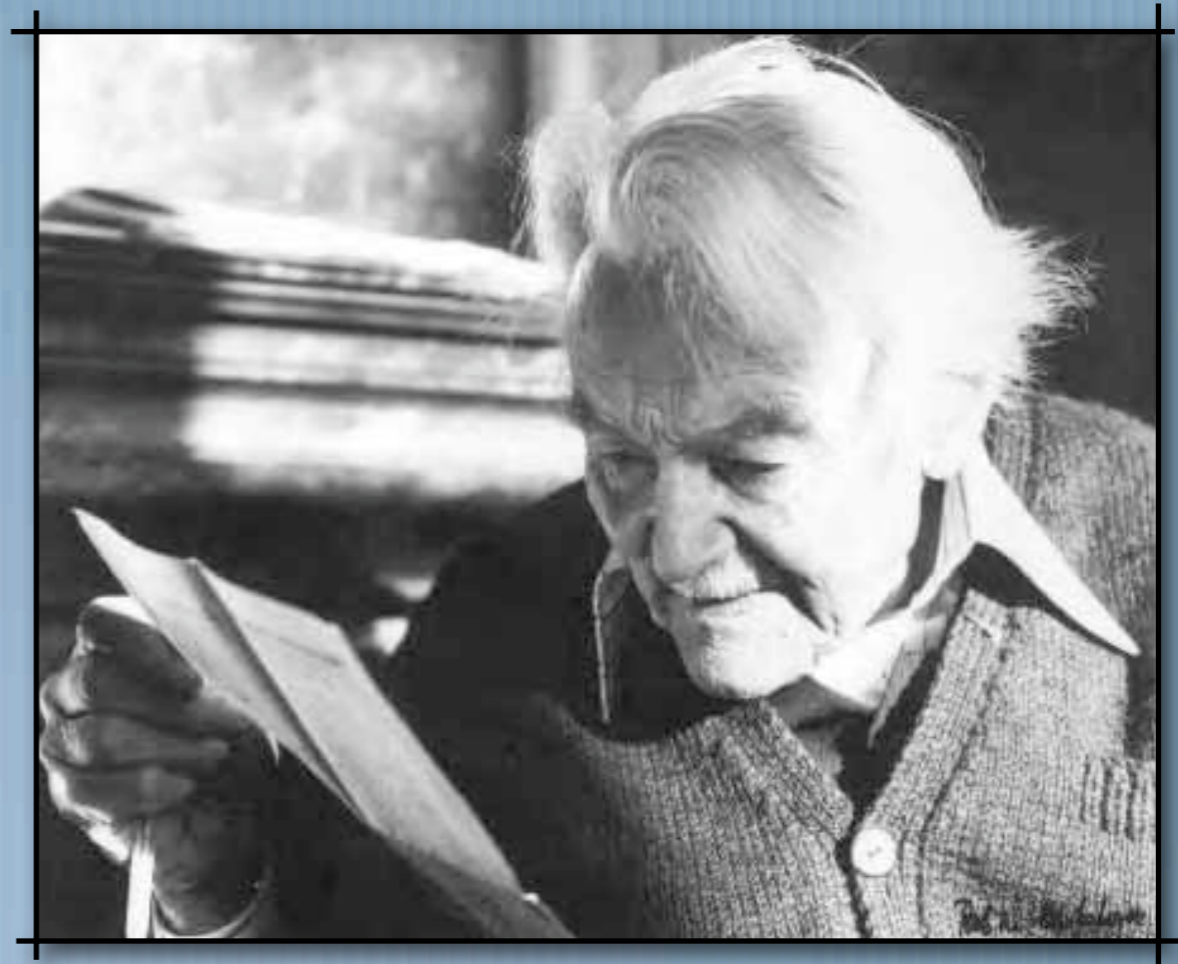
# Introduction

- Charles Flahaut (1852-1935), né à Bailleul ;
- fonde l'Institut de Botanique de Montpellier ;
- initie les premières cartographies synthétiques de la végétation ;
- ébauche le concept d'association végétale ;
- forme Louis Emberger ;
- forme Josias Braun-Blanquet.



# Introduction

La phytosociologie est née avec les travaux du Zurichois Josias Braun-Blanquet (1884 - 1980) (notamment sa thèse portant sur *l'étude des associations végétales des Cévennes*) et de ses échanges avec le phytogéographe montpelliérain Jules Pavillard (1868-1961) concrétisés par la publication en 1922 du «*Vocabulaire de Sociologie Végétale*».



# Introduction

— [ La méthode est alors qualifiée de **phytosociologie zuricho-montpelliéraine** ou de **Sigmatiste** relativement à l'école **SIGMA** (**S**tation **I**nternationale de **G**éobotanique **M**éditerranéenne et **A**lpine, fondée à Montpellier par J. Braun-Blanquet).

# Les écoles

— [ **L'école parisienne** influencée par Pierre Allorge (1891-1944) se rapproche de la phytogéographie classique ;

— nombreuses monographies : le Vexin (Allorge, 1922), les Vosges (Malcuit, 1928), la Brenne (Rallet, 1935), le Perche (Lemée, 1937), le Valois (Jovet, 1949).

# Les écoles

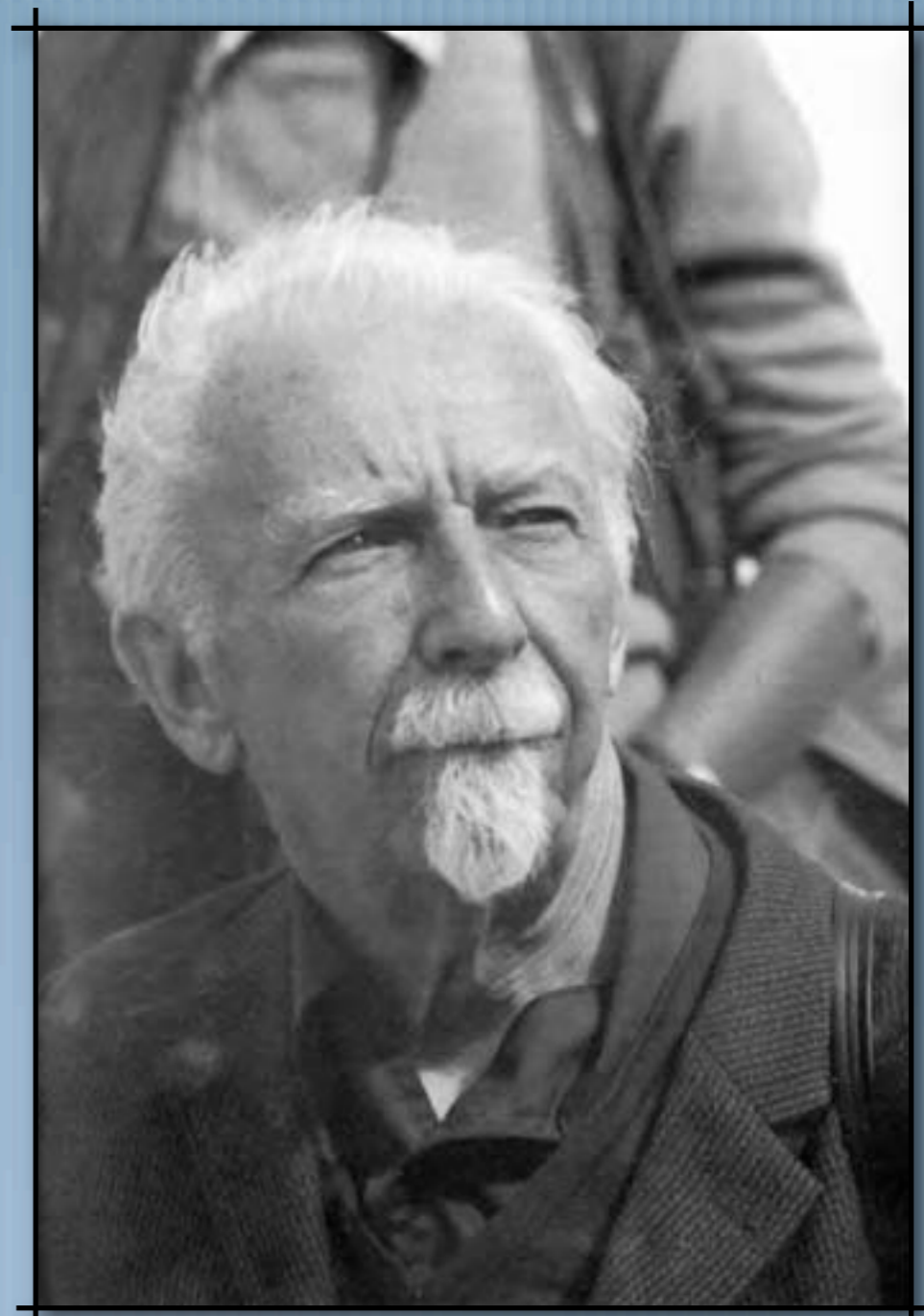
— [ l'école « ethnophytosociologique » de Georges Kuhnholz-Lordat, essentiellement appliquée. Fait une grande place à la dynamique de la végétation ;

# Les écoles

## [ l'école Sigmatiste :

— elle attire de nombreux phytosociologues français comme Marcel Guinochet (1909-1997) et étrangers comme Reinhold Tüxen (1899-1980) ;

— ces deux phytosociologues ont eu une influence considérable sur la phytosociologie moderne, le premier en ayant une **réflexion épistémologique** poussée sur la phytosociologie, le second en **codifiant** les principes de la phytosociologie.



# Les écoles

- à leur tour ils forment d'autres élèves comme Salvador Rivas Goday (1905-1981), Salvador Rivas-Martinez et Jean-Marie Géhu.

# Les écoles

- En 1975 une autre discipline émerge sous l'influence de Reinhold Tüxen, Jean-Marie Géhu, Salvador Rivas-Martinez, Otto Hegg et Claude Béguin : la **symphytosociologie** ou **phytosociologie paysagère** dont l'objectif est d'analyser et de définir le paysage aux travers des associations végétales ;
- il s'agit d'une **phytosociologie intégrée** c'est-à-dire que les différentes unités sont définies en intégrant les unités de rangs inférieurs à l'image d'une poupée russe depuis **l'association** jusqu'à l'unité de paysage, la **catena (géosigmassociation)**.



# Les écoles

## L'école synusiale intégrée :

- elle est née dans les années 1980 à partir des travaux de François Gillet, Bruno de Foucault et Philippe Julve et s'inspire notamment des travaux de Theodor Lippmaa (1892-1943) de J. Braun-Blanquet et de R. Tüxen ;
- le concept de base repose sur la définition des **synusies végétales** par opposition à la phytosociologie classique reposant sur la définition de groupements à l'échelle de la **phytocénose** ;
- en phytosociologie synusiale, les **phytocénoses** sont décrites par intégration des **synusies** ;
- les niveaux supérieurs (**tesela, catena**) sont également décrits par intégration successives des niveaux inférieurs.



# Concepts de base

# Cadre de la formation

Il s'agit d'une formation de **phytosociologie sigmatiste** ;

la plupart des concepts et des méthodes présentés au cours de cette formation sont repris ou fortement inspirés par B. de Foucault (1984)

un certains nombres de concepts, compatibles avec le paradigme sigmatiste, sont repris de F. Gillet, B. de Foucault & Ph. Julve (1991) et de F. Gillet (1998)

# La phytosociologie

— [ Terme créé par Józef Paczoski (1864-1942), botaniste polonais, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle pour désigner la science qui étudie la genèse, la vie, le développement et la distribution des formations végétales ;

— [ ce terme à pris son sens actuel suite aux travaux de J. Braun-Blanquet ;

— [ c'est en premier lieu une taxonomie donc une **morphologie**  
c'est-à-dire un discours sur des **formes** ;

— [ en botanique les formes étudiées sont des plantes.

# La phytosociologie

— [ en phytosociologie sigmatiste les formes étudiées sont des **individus d'associations** correspondant, approximativement, à des **phytocénoses** ;

— [ c'est aussi une physique dans le sens où elle possède une loi : le **synsystème** ;

— [ la mise en oeuvre de la méthode est classiquement décomposée en deux étapes : **analytique** et **synthétique**.

# L'association végétale

— [ C'est l'unité conceptuelle de base de la phytosociologie.

— [ Plusieurs définitions ont été proposées au cours du temps par les auteurs ;

— J. Pavillard écrivait en 1927 : « je ne crois pas à la possibilité de définir l'association, pas plus que l'espèce » ;

— M. Guinochet (1973) propose la définition suivante : « une association végétale est une combinaison originale d'espèces dont certaines, dites caractéristiques, lui sont plus particulièrement liées, les autres étant qualifiées de compagnes » ;

# L'association végétale

— la définition suivante est adaptée de F. Gillet *et al.* (1991) : une **association** est une **unité abstraite** fondamentale de la classification hiérarchique des individus d'association, constituée de un ou plusieurs **syntaxons élémentaires** partageant significativement plus de caractères communs que de caractères différentiels. **Les caractères floristiques sont prioritaires** sur les propriétés structurelles, chorologiques, historiques et écologiques.





# Étape analytique



# Principes

— [ La mise en évidence des associations végétales s'appuie essentiellement sur leur **composition floristique** ;

— [ la première étape est donc de réaliser des relevés selon un plan d'échantillonnage sur une surface **homogène** et **représentative** de l'individu d'association.

# Plan d'échantillonnage

— [ Du point de vue du statisticien, il devrait être réalisé au **hasard** sur une surface donnée ;

— [ cependant, compte tenu de la nature des objets étudiés, ce type d'échantillonnage n'est pas adapté car il aboutirait à **sur-échantillonner** les types de végétation les plus courantes et ignorerait les types les plus rares ;

— [ on pratique généralement un **échantillonnage stratifié** en sélectionnant à l'avance les sites présentant un éventail aussi complet et équilibré que possible des diverses situations en fonction d'une série de critères devant être explicités.

# Plan d'échantillonnage

Toutes les informations disponibles sur le sujet pourront être mises à profit pour la sélection des sites les plus intéressants : photographie aérienne, cartes topographiques, géologiques, pédologiques, catalogues floristiques, comptes-rendus d'excursions botaniques, etc ;

on organisera l'échantillonnage de manière à obtenir **un nombre de relevés à peu près équivalent** pour chaque situation supposée déterminante ;

dans la pratique on aura intérêt à élaborer une carte où seront portés des itinéraires, recoupant un maximum de situations, définis à partir des éléments disponibles ;

# Plan d'échantillonnage

— [ Le phytosociologue ne doit pas perdre de vue que **le fait unique n'a aucun intérêt**, c'est le premier critère dont il devra tenir compte lors de la mise en oeuvre de son plan d'échantillonnage.

# Surface homogène et représentative

- [ Un individu d'association est un « ensemble flou » de végétaux ;
- [ afin de définir une surface homogène représentative de l'individu d'association on négligera les zones de transition ;
- [ cette surface présentera une forte homogénéité des facteurs liés aux milieux : même substrat, même pente, même exposition, même éclaircissement...
- [ on s'assurera de procéder dans le cadre d'une formation végétale homogène ;

# Surface homogène et représentative

— On s'assure que la composition floristique est la même partout sur cette surface définie ;

— pour ce faire, on explore la surface dans plusieurs directions : tant que la composition de la flore ne change pas brusquement on peut estimer que l'on n'est pas sorti des limites de l'individu d'association ;

— la surface doit être suffisamment grande pour être représentative de l'individu d'association, cette surface est généralement désignée comme l'aire minimale ;

— dans le cas contraire, on cours le risque d'échantillonner un individu fragmentaire, non représentatif, susceptible de poser d'importants problèmes lors de l'interprétation.

# Aire minimale

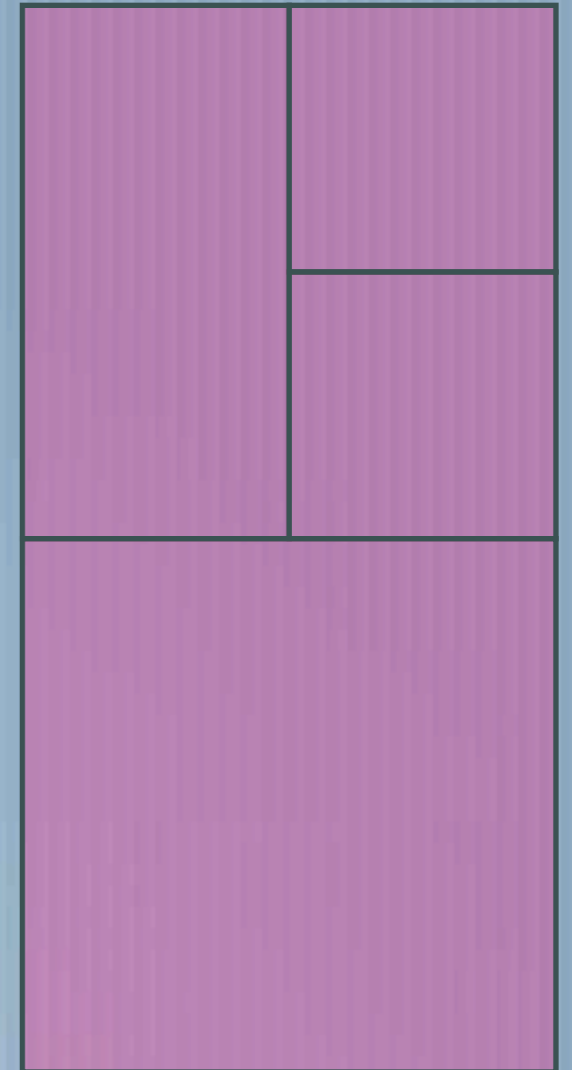
— [ Le concept d'aire minimale a été défini par J. Braun-Blanquet et J. Pavillard (1928) c'est « l'espace minimum [que demande un individu d'association] pour acquérir le développement auquel correspond l'ensemble spécifique normal » ;

— [ un relevé ne sera considéré comme représentatif de l'individu d'association étudié que s'il est effectué sur une surface au moins supérieure à l'aire minimale.

# Aire minimale

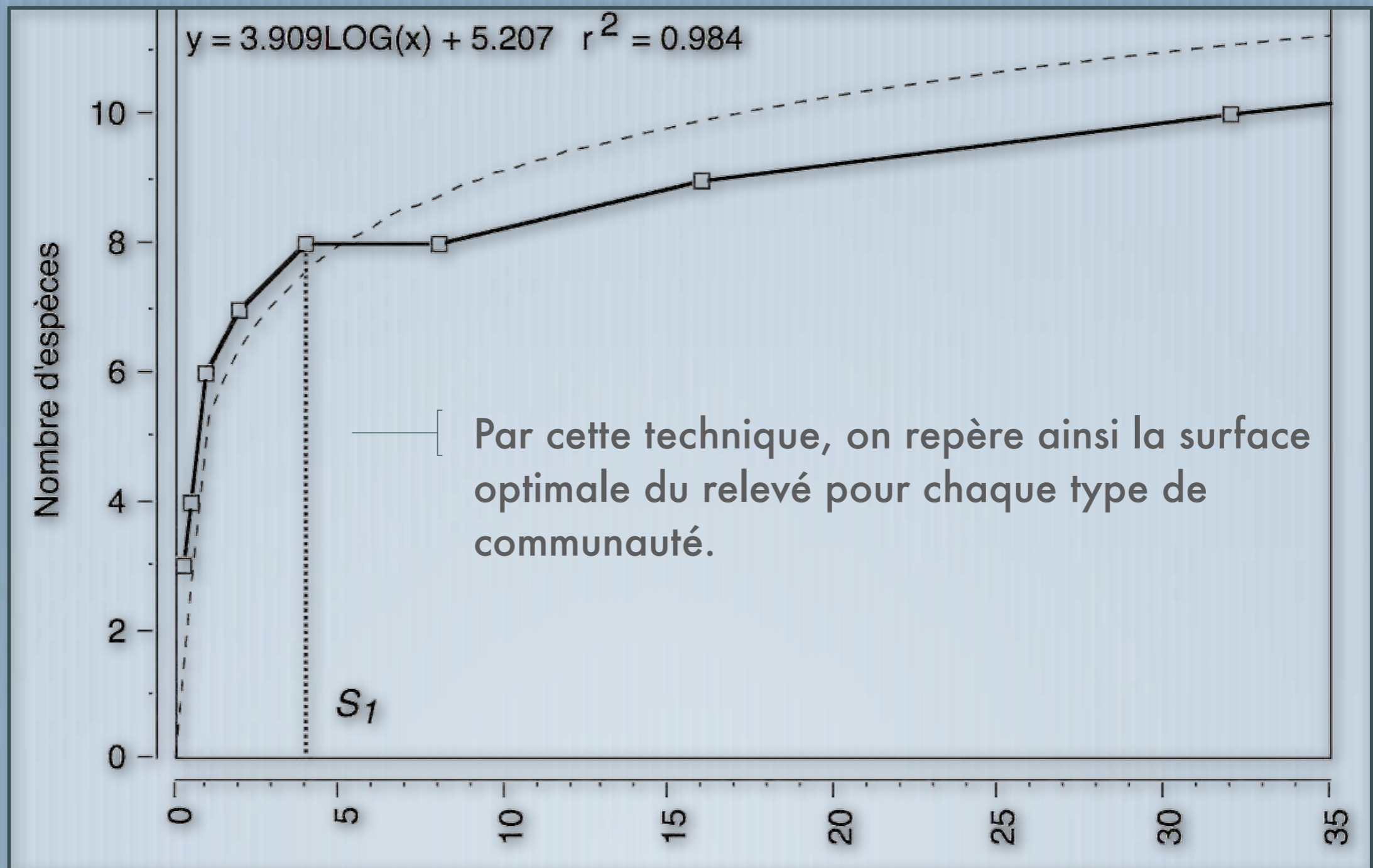
On définit classiquement l'aire minimale d'un individu d'association à partir de la **courbe aire-espèces** :  
courbe d'accroissement du nombre d'espèces en fonction de la surface, que l'on augmente par **doubléments successifs** de placettes imbriquées ;

on détermine alors l'aire minimale qualitative comme **abscisse du point de courbure maximale** de la courbe.





# Aire minimale



# Aire minimale

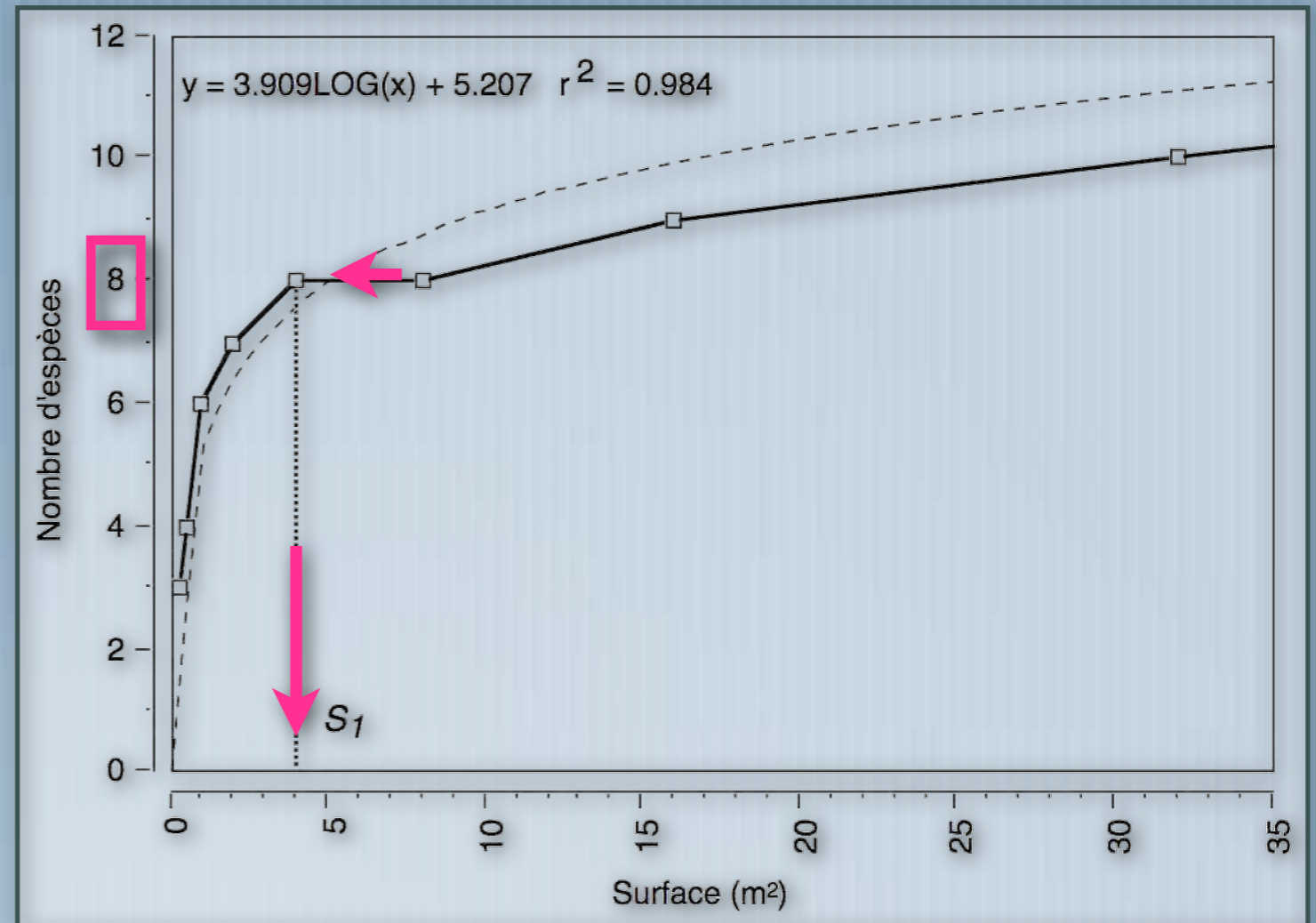
— [ Cette approche a cependant été critiquée par M. Gounot (1969) et Barkman (1968) ;

— [ F. Gillet (1998) a testé l'intérêt de cette méthode en prenant le cas d'une **synusie** constituant le **sous-bois herbacé d'une hêtraie-chênaie-charmaie marnicole** de plateau floristiquement homogène et très recouvrante (recouvrement 95%) ;

# Aire minimale

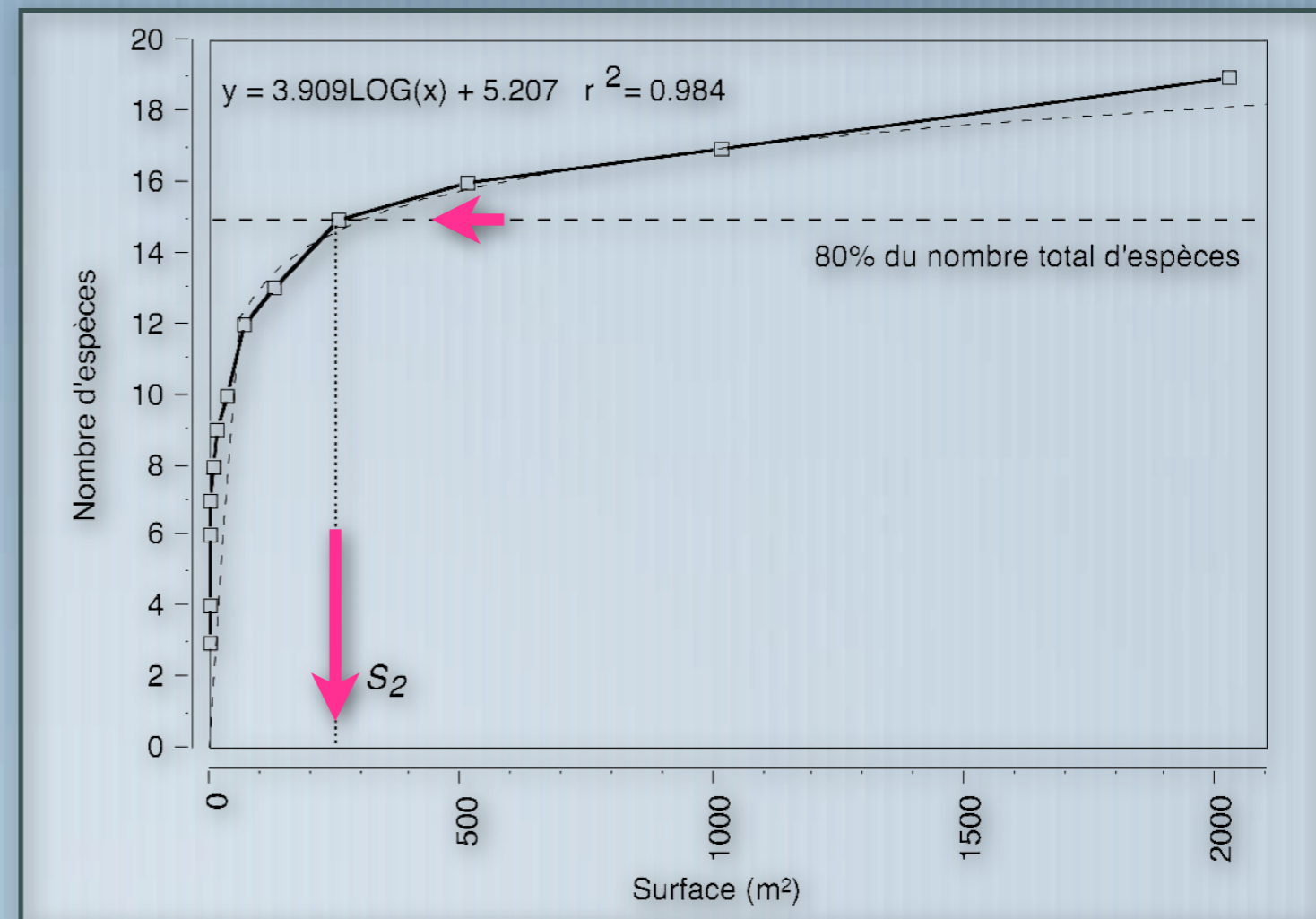
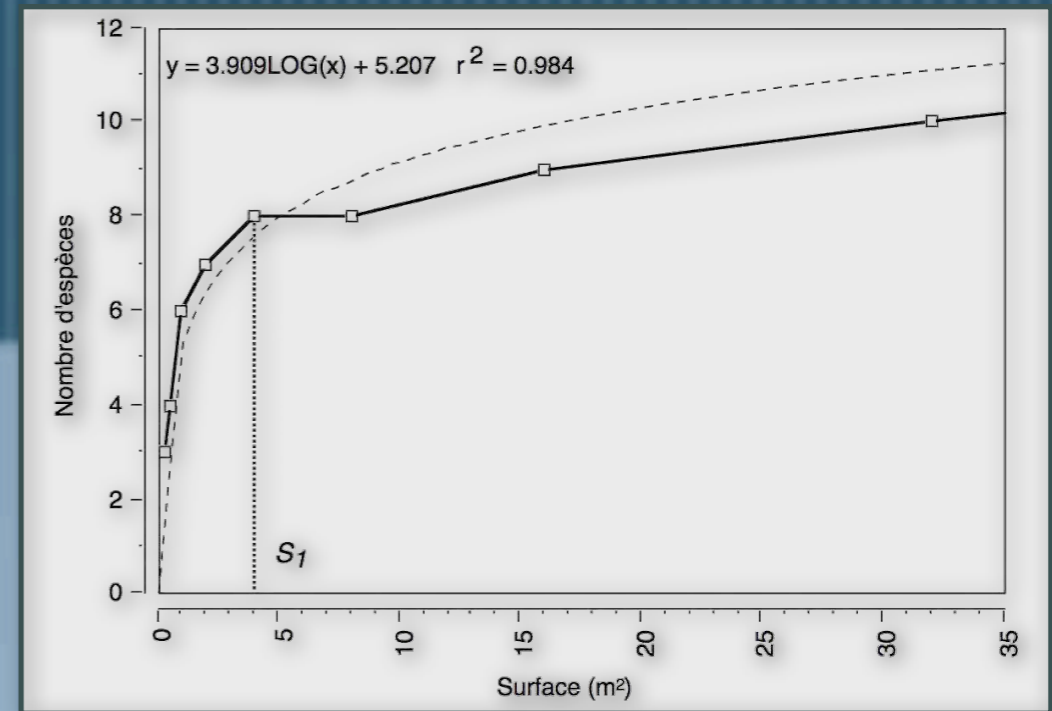
une courbe aire-espèces classique, limitée à une surface maximale de 32 m<sup>2</sup>, permet de déterminer sans ambiguïté une aire minimale proche de 4 m<sup>2</sup> ;

au-delà, le nombre d'espèces tend à se stabiliser. Or, les 8 espèces recensées à l'intérieur d'une telle aire minimale ne sont nullement représentatives de l'ensemble spécifique maximal de l'individu d'association.



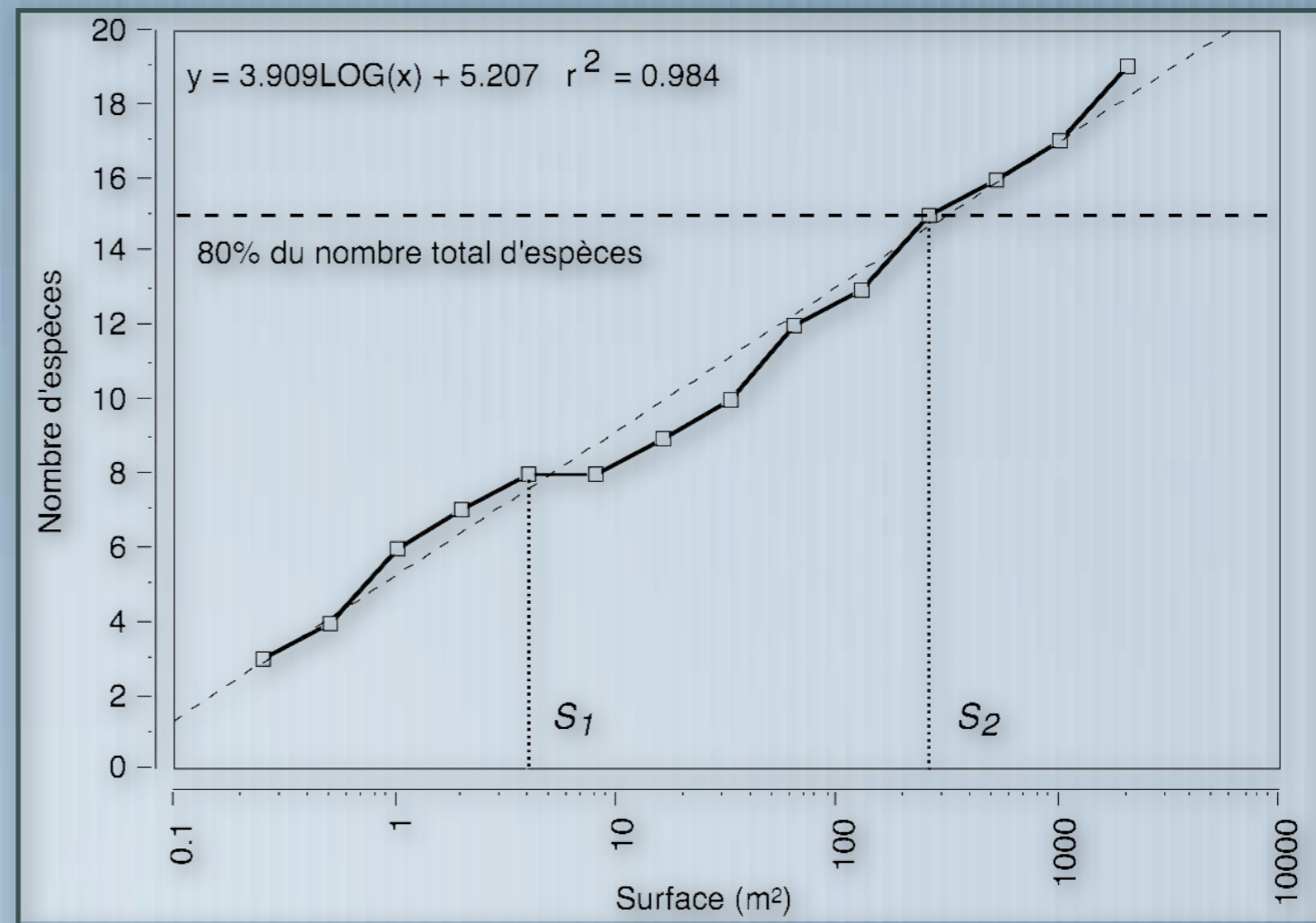
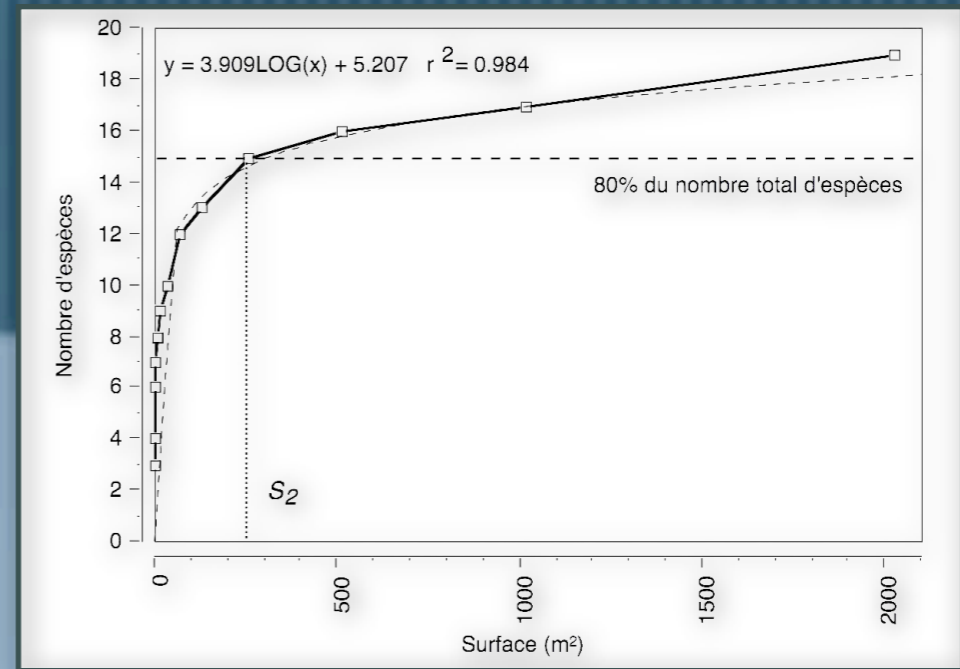
# Aire minimale

une deuxième courbe aire-espèces classique, effectuée sur l'échantillon complet (jusqu'à 2 048m<sup>2</sup>) aboutit à considérer une nouvelle aire minimale, aux alentours de 250m<sup>2</sup>, plus représentative de l'ensemble taxonomique maximal ;

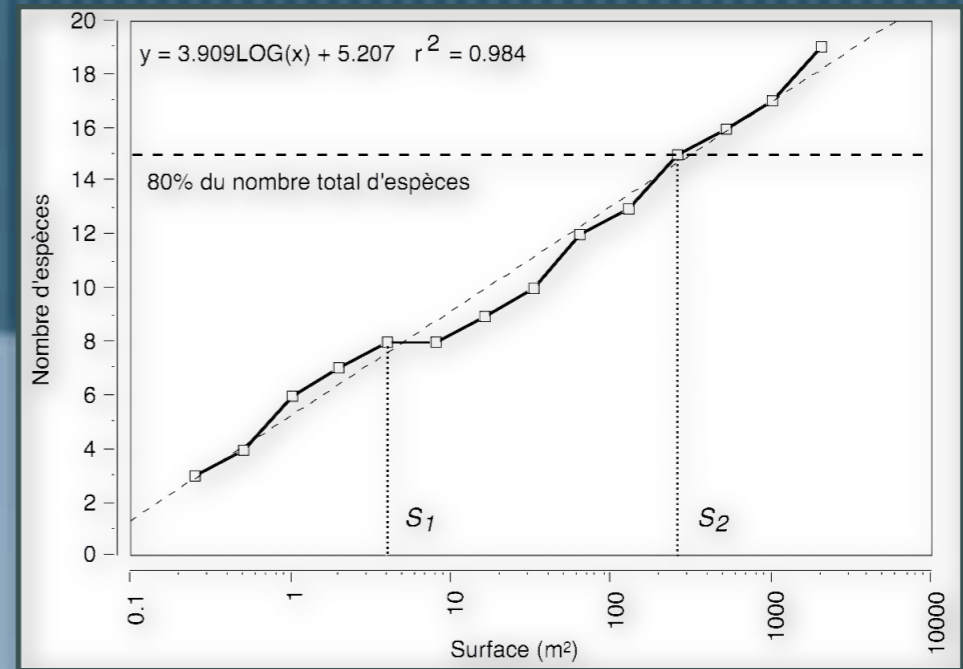


# Aire minimale

pour ce même exemple, si l'on représente la surface par une **échelle logarithmique**, on constate que l'accroissement du nombre d'espèces est, non pas **asymptotique**, mais **logarithmique**, tout au moins entre 10 cm<sup>2</sup> et 2 000 m<sup>2</sup>. «L'aire minimale» déterminée graphiquement à partir des représentations précédentes apparaît donc comme un **artefact** lié à un choix arbitraire de l'échelle d'investigation.



# Aire minimale



dans le cas étudié, l'aire minimale « absolue », i.e. correspondant à un plafonnement réel de la courbe, est, en fait, plus grande que 2 000m<sup>2</sup>, surface largement supérieure à toutes celles qui sont habituellement considérées à propos des communautés herbacées ! Ces résultats viennent confirmer les observations de M. Gounot : « il semble plutôt que le nombre d'espèces croisse d'une manière plus ou moins linéaire en fonction du logarithme de la surface inventoriée, dans la gamme de surfaces où l'on situe généralement l'aire minimale ».

# Aire minimale

— [ La conséquence méthodologique la plus importante est **qu'il est toujours souhaitable d'exécuter un relevé sur une portion la plus grande possible d'un individu d'association**, bien au-delà de l'aire minimale empirique apparente, dans les seules limites de l'homogénéité floristique, structurale et écologique nécessaire.

# Aire minimale

— [ Valeurs empiriques habituellement retenues :

— quelques  $\text{dm}^2$  pour les associations de bryophytes ou de micro-spermaphytes (gpt à *Sagina procumbens*)

— 10-20  $\text{m}^2$  pour les pelouses (hémicryptophytes, petits chaméphytes)

— 20-50  $\text{m}^2$  pour les prairies ou les ourlets (hémicryptophytes)

— 50-100  $\text{m}^2$  pour les landes (grands chaméphytes)

— 300-1 000  $\text{m}^2$  pour les forêts (phanérophytes)



# Méthodes de relevé

Deux méthodes peuvent être appliquées selon l'état de fragmentation de l'individu d'association :

- la première s'applique à des individus **peu fragmentés**, à large développement spatial, pour lesquelles l'aire-échantillon peut se réduire à **un unique quadrilatère**. Dans ce cas, on choisit d'effectuer un relevé non fragmenté sur une portion homogène de l'individu d'association, en évitant les zones de contact avec les autres individus d'association ;
- la seconde s'applique à des individus **fragmentés en taches plus ou moins régulières et bien délimitées**. Dans ce cas, où aucune tache ne possède une surface suffisante pour atteindre l'aire minimale, il est préférable de faire un relevé fragmenté, en additionnant les surfaces de plusieurs fragments homogènes de l'individu d'association

# La liste floristique

— [ L'emplacement du relevé étant délimité, on procède à l'échantillonnage floristique proprement dit ;

— [ celui-ci consiste à dresser la liste la plus complète que possible des taxons (espèces, sous-espèces, variétés) représentés dans l'aire-échantillon considérée ;

— [ en théorie tous les végétaux (spermaphytes, bryophytes, ptéridophytes, algues) devraient être relevés ;

# La liste floristique

— [ dans la pratique, compte tenu des compétences des botanistes, seules les **spermaphytes** et les **ptéridophytes** (rarement les bryophytes) sont relevés ;

— [ les espèces dont l'appartenance à l'individu d'association est douteuse peuvent être ajoutées **entre parenthèses** à la liste du relevé (elles seront ignorées dans les traitements ultérieurs, au moins dans un premier temps).

# Les indices d'abondance-dominance et d'agrégation

— [ Chaque **idiotaxon** élémentaire est affecté d'un indice semi-quantitatif ou « **coefficient d'abondance-dominance** » et d'un indice d'agrégation ou « **coefficient de sociabilité** » ;

— [ d'autres indices complémentaires peuvent être utilisés en cas de besoin (**vitalité-fertilité, coefficient phénologique**) ;

— [ l'indice d'abondance-dominance est une estimation globale de la **densité** (nombre d'individus, ou abondance) et du **taux de recouvrement** (projection verticale des parties aériennes des végétaux, ou dominance) des éléments de l'individu d'association dans l'aire-échantillon ;

# Les indices d'abondance-dominance et d'agrégation

on distingue les classes suivantes :

<b>r</b>	un individu
<b>+</b>	éléments peu ou très peu abondants, recouvrement inférieur à 5% de la surface
<b>1</b>	éléments assez abondants, recouvrement inférieur à 5% de la surface
<b>2</b>	éléments très abondants, recouvrement inférieur à 25% de la surface
<b>3</b>	recouvrement compris entre 25 et 50% de la surface, abondance quelconque
<b>4</b>	recouvrement compris entre 50 et 75% de la surface, abondance quelconque
<b>5</b>	recouvrement supérieur à 75% de la surface, abondance quelconque

# Les indices d'abondance-dominance et d'agrégation

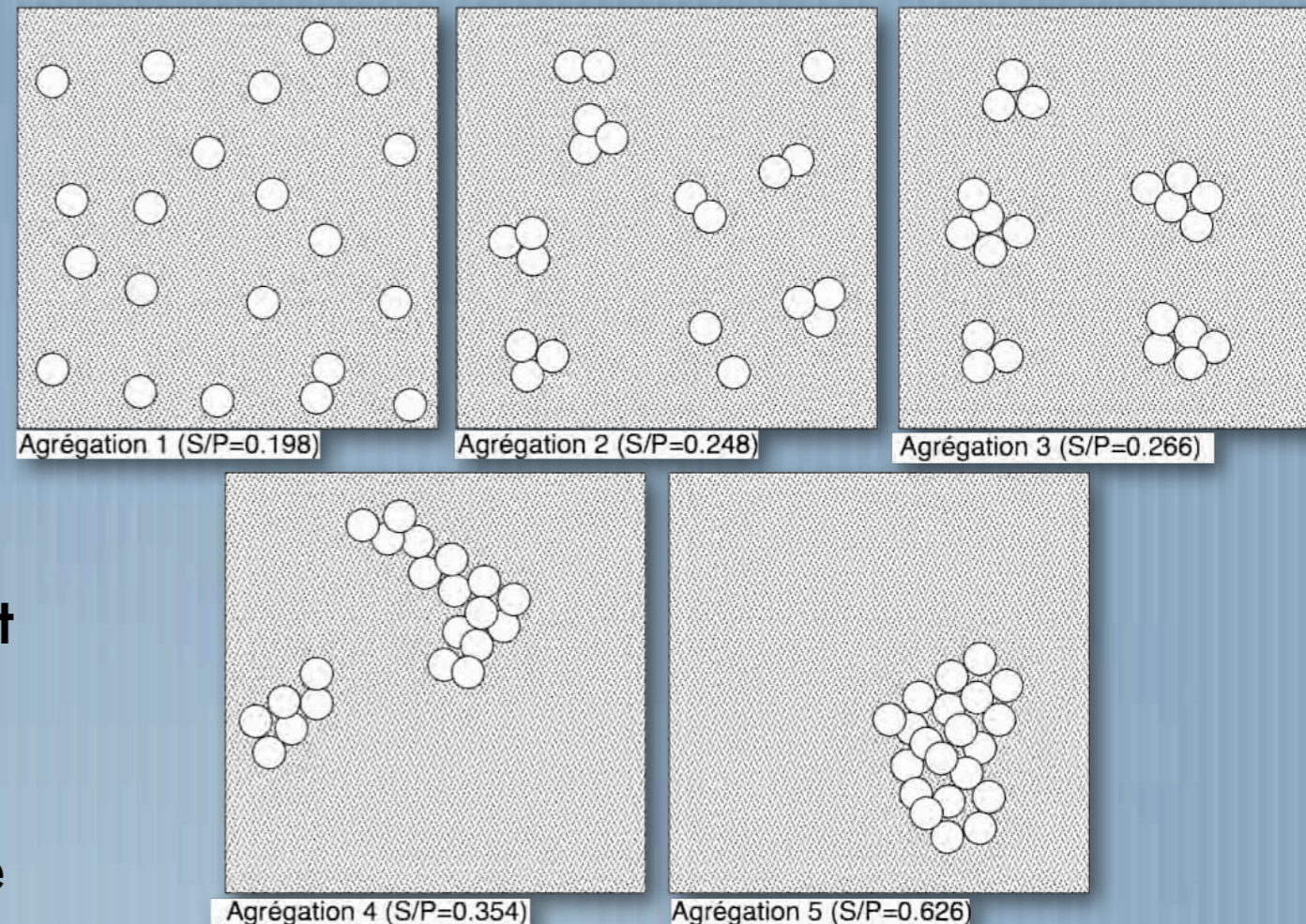
Certains auteurs (Barkman *et al.*, 1964; Westhoff et Van Der Maarel, 1978; Theurillat, 1992) proposent trois subdivisions pour l'indice 2 :

- **2m** : éléments très abondants, recouvrement inférieur à 5% ;
- **2a** : recouvrement compris entre 5 et 12,5%, abondance quelconque ;
- **2b** : recouvrement compris entre 12,5 et 25%, abondance quelconque.

# Les indices d'abondance-dominance et d'agrégation

L'indice d'agrégation (ou de sociabilité) est une estimation globale du mode de répartition spatiale et du degré de dispersion des espèces dans l'aire-échantillon ;

cet indice, qui améliore sensiblement la lisibilité d'un relevé ou d'un tableau, présente un intérêt informatif certain sur la physionomie et la structure horizontale de la strate, même si ces indications sont rarement exploitées et mises en valeur.



# Les indices d'abondance-dominance et d'agrégation

## Codification de la sociabilité :

1	éléments répartis de façon ponctuelle ou très diluée (pieds isolés)
2	éléments formant des peuplements ouverts, très fragmentés en petites taches à contours souvent diffus (touffes, bouquets)
3	éléments formant des peuplements fermés mais fragmentés en petits îlots (nappes, bosquets)
4	éléments formant plusieurs peuplements fermés, souvent anastomosés, à contours nets (réseaux)
5	éléments formant un seul peuplement dense



# L'entête du relevé

Le relevé floristique doit être complété par des indications précises permettant son **identification** et sa **localisation** dans **l'espace** et dans **le temps** :

- **identification** : numéro du relevé ;
- **situation géographique** : pays, département, commune, lieu-dit, coordonnées GPS, altitude ;
- **caractères de l'aire-échantillon** : surface, recouvrement, relevé fragmenté ;
- **date** : jour-mois-année ;
- **localisation (micro-)topographique** : exposition, pente, surface inclinée, plane, convexe ou concave ;
- **informations structurelles** : pourcentage de recouvrement, hauteur optimale, hauteur minimale, hauteur maximale, croquis de situation, contacts ;
- **informations écologiques** : substrat géologique, pédologique ou biologique, microclimat, action de l'homme... ;
- **informations dynamiques...**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
% recouvr. h1	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	99	98	98	93	100	100	100	100	99	100	100	
haut. moy. h1	0,4	0,3	0,5	0,9	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,1	0,07	0,4	0,4	0,6	0,4	0,7	0,4	0,9	0,4	0,6	0,6	
nb taxons	30	26	25	29	28	25	22	27	22	29	26	32	17	20	25	22	25	17	29	34	36	22	32	29	37	35	29	32	28	40	
<b>Combinaison caractéristique</b>																															
Bromus hordeaceus subsp. hordeaceus	1	+	2	3	+	2	.	2	+	.	+	1	2	4	3	2	2	2	2	1	4	2	2	+	+	+	1	1	1	+	
Poa trivialis subsp. trivialis	.	.	1	2	+	.	3	4	3	3	4	4	5	3	2	3	4	4	2	2	2	2	4	4	3	3	3	2	2	4	3
Heracleum sphondylium subsp. sphondylium	2	1	+	1	2	1	.	+	+	1	2	2	+	1	2	.	.	+	2	2	1	+	2	1	1	+	2	.	+	+	
Anthriscus sylvestris	1	2	.	.	4	3	.	.	.	1	+	+	.	2	+	+	r	3	.	.	+	.	1	3	.	.	1	r	.	1	
<b>Espèces de l'Arrhenatherion elatioris</b>																															
Holcus lanatus	2	1	2	4	1	2	3	2	2	2	1	2	2	+	2	1	+	.	4	3	.	.	2	.	3	2	2	.	2	3	
Crepis biennis	1	+	.	1	.	.	.	1	.	.	.	+	+	2	1	2	+	.	2	2	.	.	1	.	1	2	2	2	2	2	
Rumex obtusifolius subsp. obtusifolius	1	.	+	+	+	.	+	.	+	1	.	+	1	.	.	+	.	+	+	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	
Centaurea jacea	1	2	+	+	+	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	
Leucanthemum vulgare	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	+	1	.	+	.	.	
Tragopogon pratensis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	2	.	+	
Lolium multiflorum	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Tragopogon pratensis subsp. orientalis	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	
Silene vulgaris subsp. vulgaris	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	
Colchicum autumnale	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<b>Espèces du Centaureo - Arrhenatherenion (dif.)</b>																															
Medicago lupulina subsp. lupulina	.	1	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	2	+	.
Arrhenatherum elatius subsp. elatius	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	3	.	1	+
Knautia arvensis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	+	.	2	.
Rhinanthus alectorolophus subsp. alectorolophus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.
Avenula pubescens	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	1	1	
Sanguisorba minor	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	+	.
Lotus corniculatus subsp. corniculatus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.
<b>Espèces du Trisetum flavescens - Polygonion bistor</b>																															
Trisetum flavescens subsp. flavescens	.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	+	+	.	.	.	2	.	.	.	2	+	.	1	3	2	.	+	.	.	2	
Geranium sylvaticum	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	2	
Polygonum bistorta (dif.)	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.	.	
<b>Espèces des Arrhenatheretalia elatioris</b>																															
Trifolium pratense subsp. pratense	2	2	2	1	2	2	1	+	1	2	1	1	1	2	2	2	2	.	+	2	1	1	2	1	1	2	2	3	2	2	
Rumex acetosa subsp. acetosa	1	2	2	2	1	2	2	+	+	2	1	.	1	1	1	1	1	1	2	2	+	2	2	2	2	2	1	2	2		
Dactylis glomerata subsp. glomerata	.	.	.	1	1	.	.	2	.	1	2	.	2	+	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	
Achillea millefolium	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	+	.	+	+	.	+	1	.	+	+	+	2	+	2	.	+	
Festuca pratensis	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	2	2	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	+	+	.	+	1	.	+	.	
Phleum pratense subsp. pratense	.	.	.	+	.	.	.	.	2	.	2	3	.	.	.	.	.	.	3	.	.	2	.	.	.	1	.	2	.	.	
Poa pratensis	.	3	1	+	+	+	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Vicia sepium	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+	r	.	.	.	.	+	
Stellaria graminea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	
<b>Espèces des Trifolio repentis - Phleetalia pratensis</b>																															
Cynosurus cristatus	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2	1	1	+	2	1	.	.	.	.	
Alchemilla monticola	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	1	.	.	.	.	.	

# Première étape synthétique : mise en évidence et interprétation des syntaxons

# Principes

— [ La comparaison d'un lot quelconque de relevés vise à établir une partition de celui-ci en un certain nombre **d'ensembles homogènes** (à l'intérieur desquels les relevés se ressemblent plus entre eux qu'ils ne ressemblent aux autres) correspondant à autant de **syntaxons élémentaires** (en abrégé **SyE**) ;

— [ la comparaison des relevés se fait, dans un premier temps, **exclusivement en présence-absence**, sans tenir compte de l'abondance-dominance et de l'agrégation des espèces ;

— [ ces dernières informations ne seront utilisées qu'ultérieurement, dans la définition des **faciès**, et/ou pour la **caractérisation biologique et écologique des syntaxons élémentaires** ;

# Principes

Toutes les espèces possèdent *a priori* **la même valeur** dans la comparaison des relevés : aucune importance particulière ne doit être attachée subjectivement à telle espèce en fonction des connaissances préalables (de nature écologique ou autre) du phytosociologue ;

les données écologiques associées aux relevés seront totalement ignorées à ce stade, afin de pouvoir être corrélées ultérieurement avec les données floristiques ;

un seul critère universel de ressemblance sert donc à la classification des relevés : **la présence ou l'absence commune** de taxons.

# Le syntaxon élémentaire

Pour servir à la définition d'un **syntaxon élémentaire**, un ensemble de relevés doit satisfaire à deux conditions complémentaires et obligatoires : il doit être **homogène** et posséder des **espèces différentielles**. La première est une condition de **symétrie interne**, la deuxième de **dissymétrie** ;

comme le résume De Foucault (1986) : « le syntaxon élémentaire se définit **absolument par ses espèces constantes** et **relativement par ses espèces différentielles** » ;

# Le syntaxon élémentaire

— [ l'homogénéité endogène (intrinsèque, absolue) d'un SyE, qui ne fait référence qu'aux relevés d'un ensemble, se traduit par l'existence d'espèces constantes :

— une espèce constante est définie par un haut niveau de fréquence relative (présente dans plus de 60% des relevés de l'ensemble) ;

— [ l'homogénéité d'un SyE peut également être appréciée relativement à un échantillon plus ou moins grand et hétérogène de relevés ;

# Le syntaxon élémentaire

une **espèce différentielle** est une espèce qui, par sa **présence** (différentielle positive) ou son **absence** (différentielle négative), permet de différencier un ensemble de relevés d'un autre ensemble. La présence d'une seule espèce différentielle, même si elle est constante et dominante, ne peut être considérée comme suffisante ;

un SyE doit posséder **plusieurs espèces différentielles positives ou/et négatives**, dont au moins une constante, par rapport à chacun des autres ensembles homogènes de relevés ;

chaque SyE est décrit par un tableau **homogène** doué d'une **symétrie interne statistique**.

# Traitements des données

— [ Il existe deux grands types de méthodes :

- la technique du tri **manuel** des tableaux phytosociologiques ;
- les techniques **d'analyses multivariables**.



# Traitements des données

## Dans la technique du tri manuel :

- on part d'un tableau brut dans lequel on essaie de rapprocher les espèces qui « marchent ensemble » ;
- on recherche également celles qui s'excluent ;
- il est recommandé de travailler sur un tableau « différentiel » réduit dans lequel on a éliminé les taxons trop abondants ou trop rares ;
- on rapproche les espèces et les relevés par permutation des lignes et des colonnes ;
- on affine le tableau en procédant de manière récurrente ;
- on ré-intègre l'ensemble des taxons.

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

— [ Chacun des tableaux **homotones** issus du tri manuel ou numérique des relevés présente des propriétés statistiques particulières ;

— [ pour qu'un tableau puisse être considéré comme **homotone** (*sensu lato*), il suffit qu'il satisfasse à des conditions d'homogénéité relative (**présence d'espèces constantes et différentielles**).

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

L'homogénéité endogène d'un syntaxon élémentaire peut être testée à l'aide de l'indice de similarité (ou coefficient de communauté) de Jaccard,  $SJ_{ij}$ , qui mesure la proportion d'espèces communes à deux relevés  $i$  et  $j$  par rapport au total des espèces qu'ils contiennent ensemble.

$$SJ_{ij} = \frac{a}{a + b + c}$$

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

$$SJ_{ij} = \frac{a}{a + b + c}$$

- $a$  = nombre d'espèces communes au relevé  $i$  et au relevé  $j$
- $b$  = nombre d'espèces présentes seulement dans le relevé  $i$
- $c$  = nombre d'espèces présentes seulement dans le relevé  $j$

$$a = 13$$

$$b = 11$$

$$c = 16$$

$$SJ_{ij} = 13 / (13 + 11 + 16) = 0,325$$

	$i$	$j$
<i>Colchicum autumnale</i>	1	+
<i>Crepis biennis</i>	1	1
<i>Cynosurus cristatus</i>	2	1
<i>Festuca pratensis</i>	2	1
<i>Leucanthemum vulgare</i>	1	1
<i>Tragopogon pratensis</i> subsp. <i>pratensis</i>	1	1
<i>Trifolium pratense</i> subsp. <i>pratense</i>	1	1
<i>Alchemilla monticola</i>		+
<i>Arrhenatherum elatius</i> subsp. <i>elatius</i>	1	
<i>Carum carvi</i>		+
<i>Centaurea jacea</i>		1
<i>Cerastium fontanum</i> subsp. <i>vulgare</i>	1	
<i>Cirsium tuberosum</i>		+
<i>Holcus lanatus</i>	3	
<i>Knautia arvensis</i>		1
<i>Lolium perenne</i>	1	
<i>Pimpinella major</i> subsp. <i>major</i>		+
<i>Plantago lanceolata</i> subsp. <i>lanceolata</i>		+
<i>Poa trivialis</i> subsp. <i>trivialis</i>	1	
<i>Ranunculus acris</i> subsp. <i>friesianus</i>	1	
<i>Rhinanthus alectorolophus</i> subsp. <i>alektorolophus</i>		1
<i>Rumex acetosa</i> subsp. <i>acetosa</i>	1	
<i>Trisetum flavescens</i> subsp. <i>flavescens</i>	1	
<i>Vicia cracca</i> subsp. <i>cracca</i>		1
<i>Bromus erectus</i>	1	3
<i>Galium pumilum</i>	1	1
<i>Medicago lupulina</i> subsp. <i>lupulina</i>	1	1
<i>Ranunculus bulbosus</i>	1	1
<i>Sanguisorba minor</i>	1	1
<i>Anthyllis vulneraria</i>		+
<i>Avenula pubescens</i>	1	
<i>Briza media</i>		1
<i>Campanula glomerata</i> subsp. <i>glomerata</i>		1
<i>Carex flacca</i> subsp. <i>flacca</i>		+
<i>Centaurea pannonica</i>		1
<i>Euphorbia flavicoma</i> subsp. <i>verrucosa</i>	+	
<i>Lotus corniculatus</i> subsp. <i>corniculatus</i>		1
<i>Onobrychis viciifolia</i>	+	
<i>Phyteuma orbiculare</i> subsp. <i>orbiculare</i>		+
<i>Salvia pratensis</i> subsp. <i>pratensis</i>		1

$b = 11$   $c = 16$

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

$$SJ_{ij} = \frac{a}{a + b + c}$$

$$a = 13$$

$$b = 11$$

$$c = 16$$

$$SJ_{ij} = 13 / (13 + 11 + 16) = 0,325$$

On peut considérer que dans un tableau homotone, la valeur minimum des indices de Jaccard ne doit pas être inférieure à 0,1 ; dans le cas contraire, le SyE doit être considéré comme provisoire.

	i	i
<i>Colchicum autumnale</i>	1	+
<i>Crepis biennis</i>	1	1
<i>Cynosurus cristatus</i>	2	1
<i>Festuca pratensis</i>	2	1
<i>Leucanthemum vulgare</i>	1	1
<i>Tragopogon pratensis subsp. pratensis</i>	1	1
<i>Trifolium pratense subsp. pratense</i>	1	1
<i>Alchemilla monticola</i>		+
<i>Arrhenatherum elatius subsp. elatius</i>	1	
<i>Carum carvi</i>		+
<i>Centaurea jacea</i>		1
<i>Cerastium fontanum subsp. vulgare</i>	1	
<i>Cirsium tuberosum</i>		+
<i>Holcus lanatus</i>	3	
<i>Knautia arvensis</i>		1
<i>Lolium perenne</i>	1	
<i>Pimpinella major subsp. major</i>		+
<i>Plantago lanceolata subsp. lanceolata</i>		+
<i>Poa trivialis subsp. trivialis</i>	1	
<i>Ranunculus acris subsp. friesianus</i>	1	
<i>Rhinanthus alectorolophus subsp. alectorolophus</i>		1
<i>Rumex acetosa subsp. acetosa</i>	1	
<i>Trisetum flavescens subsp. flavescens</i>	1	
<i>Vicia cracca subsp. cracca</i>		1
<i>Bromus erectus</i>	1	3
<i>Galium pumilum</i>	1	1
<i>Medicago lupulina subsp. lupulina</i>	1	1
<i>Ranunculus bulbosus</i>	1	1
<i>Sanguisorba minor</i>	1	1
<i>Anthyllis vulneraria</i>		+
<i>Avenula pubescens</i>	1	
<i>Briza media</i>		1
<i>Campanula glomerata subsp. glomerata</i>		1
<i>Carex flacca subsp. flacca</i>		+
<i>Centaurea pannonica</i>		1
<i>Euphorbia flavicoma subsp. verrucosa</i>	+	
<i>Lotus corniculatus subsp. corniculatus</i>		1
<i>Onobrychis viciifolia</i>	+	
<i>Phyteuma orbiculare subsp. orbiculare</i>		+
<i>Salvia pratensis subsp. pratensis</i>		1

b = 11 c = 16

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

— [ Le calcul de la **moyenne des indices entre chaque relevé et tous les autres** permet de trier les relevés afin de définir un « **relevé-type** » (moyenne la plus élevée) et d'écartier éventuellement les relevés les plus excentriques (moyennes les plus basses) ;

— [ ces relevés excentriques, qui ne sont pas utilisés pour la définition des SyE, seront secondairement rattachés au SyE dont ils se rapprochent le plus.

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

D'autres indices permettant de tester **l'homotonité** d'un tableau phytosociologique ont été proposés comme :

— **le quotient de saturation Q** (Tüxen *et al.*, 1977) : rapport, exprimé en pourcentage, du nombre spécifique moyen  $n$  sur le nombre total d'espèces  $N$  (borne supérieure = 100%) :  $Q = 100n/N$  ;

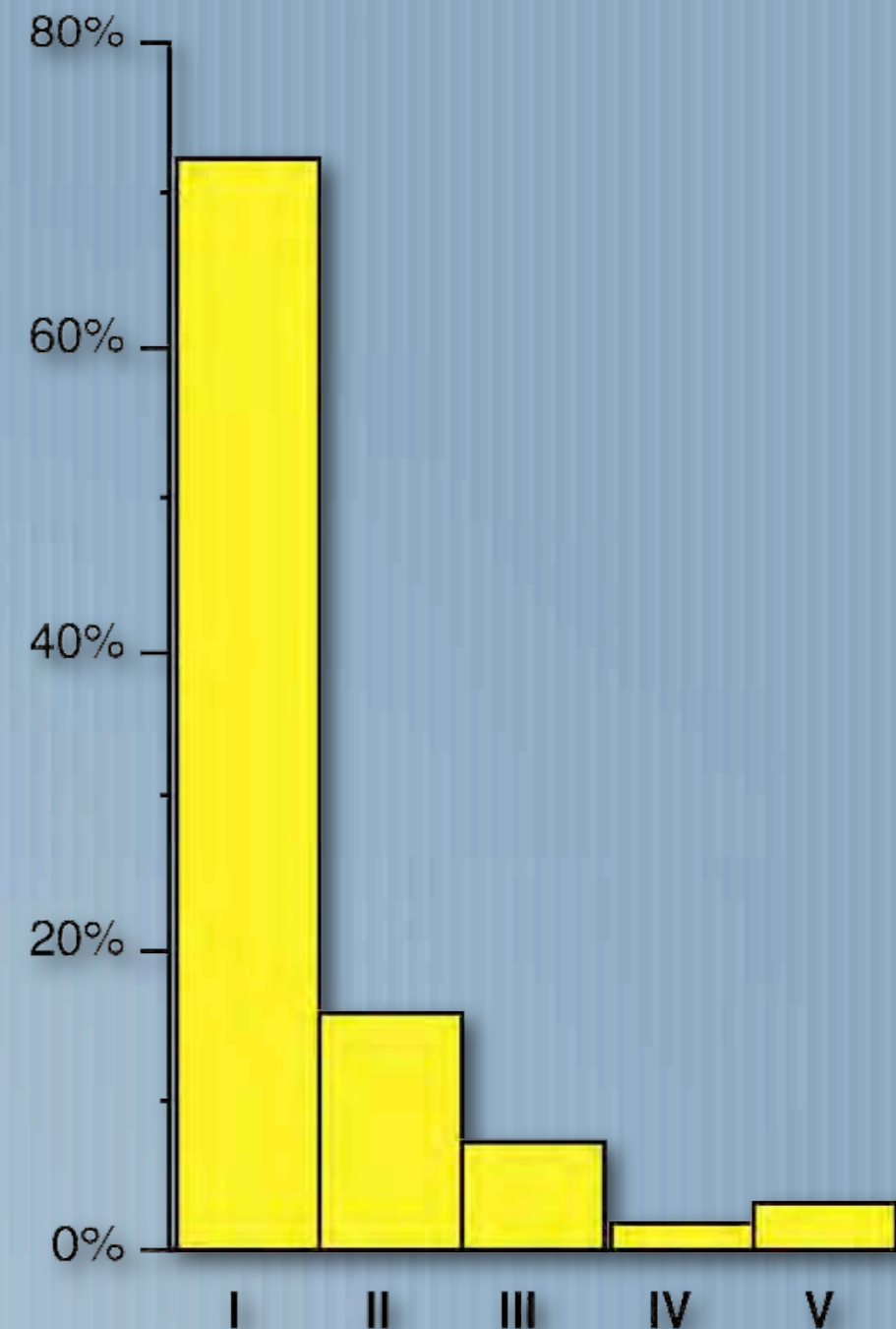
— **l'indice d'hétérogénéité H** (Klement, 1941) : c'est l'inverse du rapport précédent ;

— **le taux d'accidentelles A** : proportion d'espèces accidentelles du tableau (dépendant du nombre de relevés) ;

— **l'histogramme des classes de fréquences** de Raunkiaer (1934).

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

Selon la « loi de fréquence » de Raunkier, l'histogramme d'un tableau homotone doit présenter une forme régulière en J ou en U et satisfaire les conditions suivantes :  $N_I > N_{II} > N_{III}$  et  $N_{IV} < N_V$ .





# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

— [ D'après F. Gillet (1998), aucun critère quantitatif ne permet, à ce jour, de déterminer de façon **objective et absolue** si un tableau est suffisamment homotone pour ne représenter qu'**un seul syntaxon élémentaire** ;

— [ par contre, ils peuvent être utilisés pour la détermination du **nombre minimum nécessaire de relevés** (valeur indicative) ainsi que pour une caractérisation statistique des syntaxons élémentaires ;

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

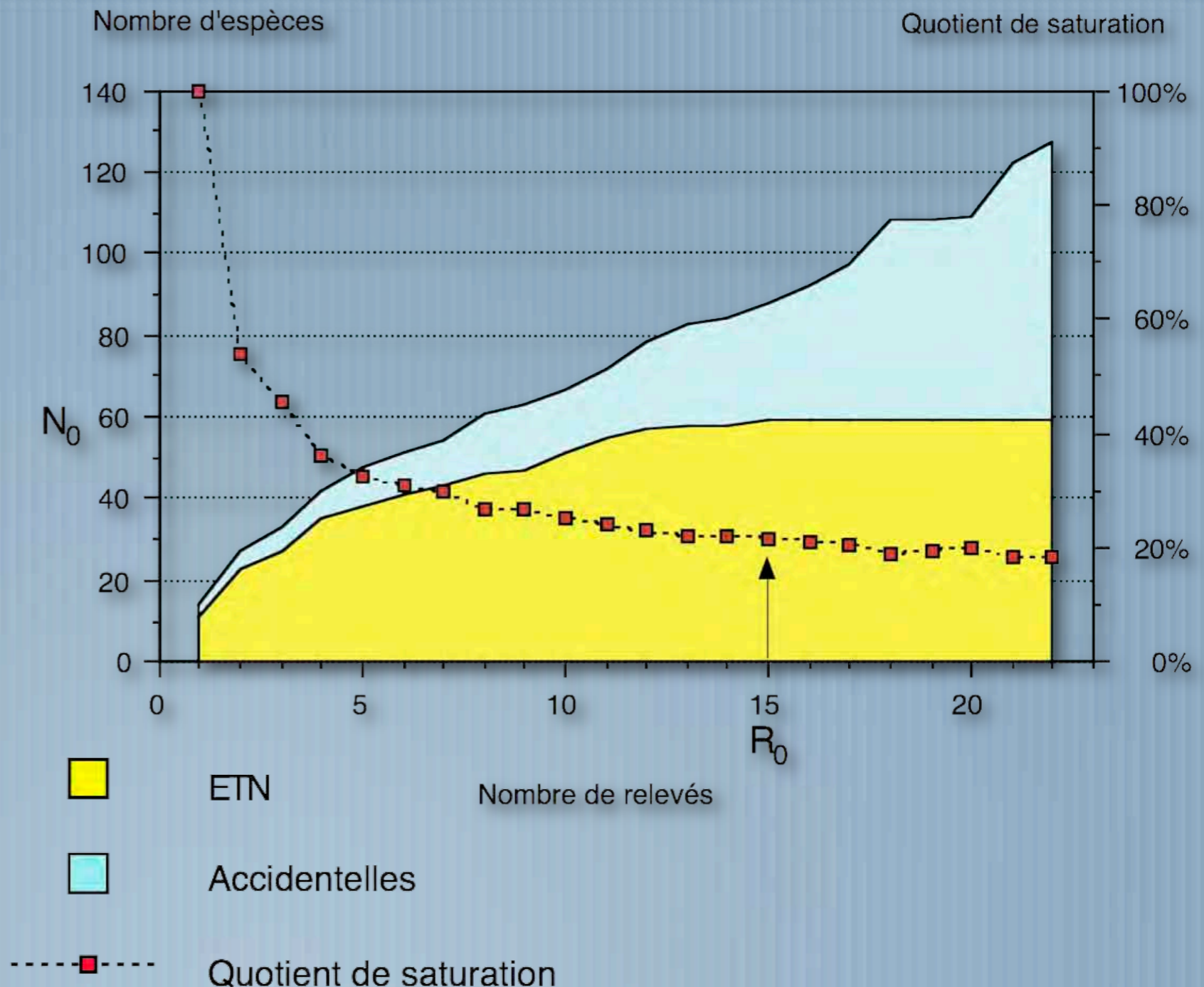
— [ à partir du tableau de chaque syntaxon élémentaire, on peut construire un graphique présentant **l'accroissement du nombre d'espèces en fonction du nombre de relevés** (les relevés étant classés par ordre croissant du nombre d'espèces par relevé), en différenciant les espèces accidentelles (dont la fréquence relative dans le tableau est strictement inférieure à 10%) des autres espèces constituant **l'ensemble taxonomique normal (ETN)** ;

— [ on peut superposer à ce graphique la courbe du **quotient de saturation** ;

# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

si le nombre de relevés est suffisant, les courbes présentent une allure générale asymptotique

après une augmentation plus ou moins rapide du nombre total d'espèces, celui-ci tend à se stabiliser



# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

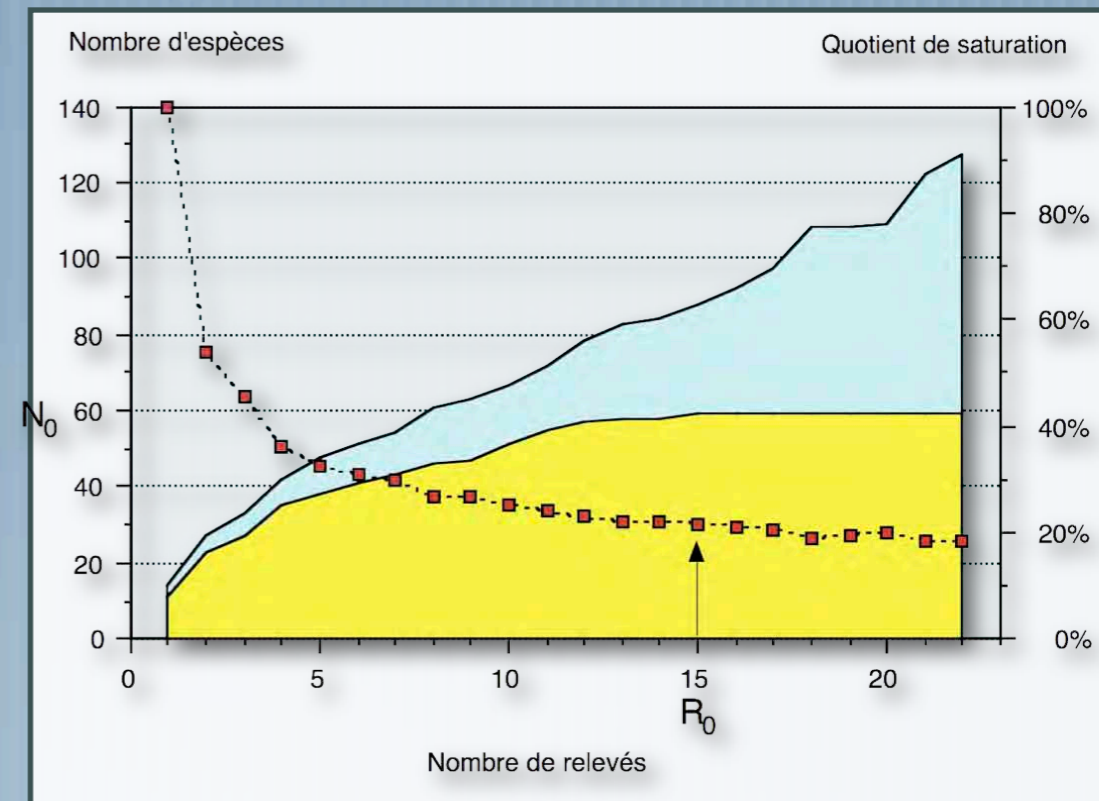
cette stabilisation n'est le plus souvent que relative, le nombre d'espèces accidentelles continuant à croître régulièrement avec le nombre de relevés ;

en revanche, on peut aisément mettre en évidence une saturation effective de **l'ensemble taxonomique normal**, correspondant à un nombre fini d'espèces  $N_0$ , à partir d'un nombre minimum de relevés  $R_0$  ;

ce nombre minimum de relevés dépend de l'ordre des relevés dans le tableau et doit donc être considéré comme une donnée indicative ;

il est généralement compris entre **2 et 20** ;

le quotient de saturation tend lui-même à se stabiliser à partir de ce seuil critique, bien que sa valeur continue généralement à baisser légèrement avec l'apparition de nouvelles espèces accidentelles.



# Les propriétés statistiques d'un tableau phytosociologique homotone

## Conclusions :

- un tableau phytosociologique est d'autant plus homogène et représentatif de l'ensemble taxonomique normal d'un syntaxon élémentaire que le nombre de relevés est proche de  $R_0$  (ou légèrement supérieur) ;
- les valeurs d'homotonité des tableaux de syntaxons élémentaires dépendent dans une large mesure de paramètres intrinsèques aux types de communautés considérés : nombre d'espèces, degré de maturité) ;
- voire du mode d'échantillonnage : représentativité des aires-échantillons, homogénéité floristique et structurelle, etc.

# Le déterminisme des syntaxons élémentaires, la loi phytosociologique

— [ Le déterminisme en phytosociologie c'est la **recherche des causes** des groupements végétaux ;

— [ ce phénomène se rattache au concept de **cause et d'effet** ;

— [ la végétation est **un effet** et la **causalité** tient à l'ensemble des **facteurs F** écologiques, dynamiques et historiques ;

# Le déterminisme des syntaxons élémentaires, la loi phytosociologique

— [ il existe d'autres causalités secondaires comme :

- la **phénologie**, variation floristique temporelle en relation avec la biologie des espèces ;
- la **surface du relevé**, lorsqu'elle est inférieure à l'aire minimale ;
- le **hasard**.

# Le déterminisme des syntaxons élémentaires, la loi phytosociologique

— [ La plupart du temps la causalité est réduite à **F**, mais il faut auparavant **éliminer ou limiter** l'effet des facteurs secondaires :

— **en complétant** le relevé au cours de la saison de terrain ;

— en ayant la certitude d'avoir opéré sur **une aire supérieure à celle de l'aire minimale** ;

— en minimisant l'effet du hasard **en rassemblant un nombre suffisamment important** de relevés.



# Le déterminisme des syntaxons élémentaires, la loi phytosociologique

— [ En science, la loi naît de la **répétition** absolue de la relation entre une cause et un effet ;

— [ par exemple la loi d'Ohm  $V = R \times I$  exprime la variation (effet) de l'une des valeurs (différence de potentielle, résistance, intensité) par rapport à la variation (cause) de l'une des autres ;

— [ en phytosociologie, la relation binaire entre **une partie des variables écologiques** et un **syntaxon élémentaire** est assimilable à une loi scientifique ;

— [ la phytosociologie présente donc en ce sens les caractères d'une physique (De Foucault, 1984) ;

# Le déterminisme des syntaxons élémentaires, la loi phytosociologique

— [ un **syntaxon élémentaire**, outre sa définition floristico-statistique, admet donc une **définition écologique, chorologique et dynamique** et présente des **propriétés structurelles** qui lui sont propres (physionomie, types morphologiques et biologiques dominants, phénologie).

# Renseignements déduits de la composition floristique

— [ Un certain nombre de renseignements peuvent être déduit de la composition floristique :

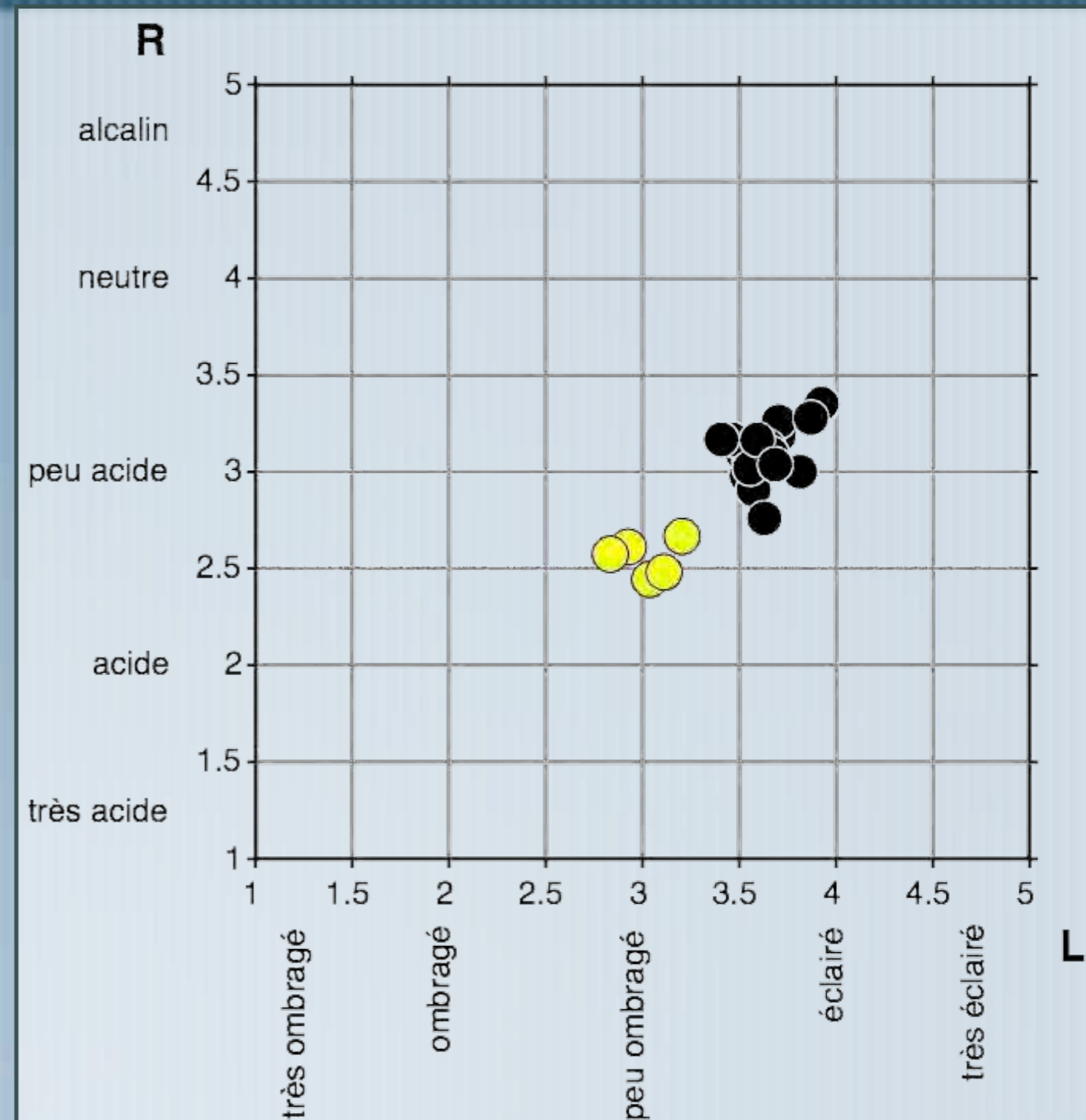
— on peut utiliser les **valeurs écologiques** des espèces constitutives du SyE (Ellenberg *et al.*, 1991; Landolt, 1977) pour préciser son écologie ;

— chaque espèce étant considérée comme un **bioindicateur** des conditions climatiques (continentalité, température, lumière) et édaphiques (pH, richesse trophique, humidité, humus, texture), on peut établir un spectre écologique en calculant des moyennes à partir de chaque relevé ou à partir du relevé centroïde.

# Renseignements déduits de la composition floristique

On peut représenter graphiquement la variabilité écologique du SyE à l'aide d'écogrammes.

Écogramme représentant la dispersion des relevés de deux syntaxons élémentaires par rapport à deux valeurs écologiques de LANDOLT (lumière **L** et acidité du sol **R**).



# Renseignements déduits de la composition floristique

Le spectre biologique du SyE (représentation relative des **types biologiques de Raunkier**) donne de précieuses indications sur la structure, la physionomie et les stratégies adaptatives de la communauté ;

la **valeur pastorale moyenne** d'un syntaxon élémentaire herbacé peut être calculée à partir de la **fréquence, de l'abondance-dominance moyenne et de l'indice de valeur pastorale** des espèces. Cette valeur pastorale pourra directement être reliée à un potentiel fourrager pour des applications agronomiques.

# Corrélations avec des variables indépendantes

Les données écologiques et structurelles associées aux relevés (hauteur de la végétation, degré d'ombrage, altitude, etc.) peuvent faire l'objet d'une analyse statistique, afin d'appréhender leur variabilité et de dégager des caractères différentiels entre SyE ;

l'outil statistique le mieux adapté à cette tâche est l'analyse canonique des correspondances ;

cette technique d'ordination sous contrainte permet de traiter simultanément deux matrices de relevés (la matrice «espèces» contenant les données floristiques et la matrice «environnement» les descripteurs écologiques) dans le but de déterminer la part de chaque facteur explicatif dans la variation floristique.

# Interprétation des syntaxons élémentaires définis et délimitation des associations

— [ Le syntaxon élémentaire n'est pas l'unité élémentaire de la phytosociologie mais l'association.

— [ Rappel : une association est une unité abstraite fondamentale de la classification hiérarchique des individus d'associations, constituée de un ou plusieurs syntaxons élémentaires partageant significativement plus de caractères communs que de caractères différentiels. Les caractères floristiques sont prioritaires sur les propriétés structurelles, chorologiques, historiques et écologiques ;

# Interprétation des syntaxons élémentaires définis et délimitation des associations

il faut cependant admettre que l'association végétale résulte d'une interprétation personnelle et qu'elle demeure **une entité à définition arbitraire**.

De Foucault, 1984 : « *mon inquiétude de phytosociologue est d'être le seul à reconnaître l'ensemble des êtres phytosociologiques que j'ai décrits ou que je vais décrire dans ce mémoire ; elle se dissipera lorsque d'autres chercheurs auront reconnu, sans mon intervention, ce que j'ai vu et dès lors "mes" associations seront devenues des êtres objectifs parce que transmissibles* ».



# Description d'une association végétale

— [ les associations végétales sont décrites par un **tableau phytosociologique** élaboré accompagné d'un commentaire ;

— [ ce tableau regroupant, la plupart du temps, plusieurs syntaxons élémentaires **n'est pas homotone** ;

# Description d'une association végétale

Le tableau phytosociologique élaboré se présente de la manière suivante :

les taxons sont présentés en ligne et les relevés en colonne ; aux intersections lignes-colonnes sont indiqués les coefficients d'abondance-dominance (éventuellement d'agrégation) de l'espèce dans le relevé correspondant ;

l'en-tête doit indiquer au minimum :

un identifiant du relevé renvoyant à une liste permettant la localisation spatio-temporelle du relevé (date, lieu le plus précis possible) et permettant d'identifier l'auteur du relevé ;

la surface (en m<sup>2</sup>) ;

le recouvrement de la végétation en % détaillé pour chaque strate ;

le nombre d'espèces dans chaque relevé.

	R1	R2	R3	R4	R5	
surface h1 (m2)	25	40	30	25	50	
% recouvr. h1	95	90	80	-	85	
nb taxons	30	28	34	36	36	
<b>Combinaison caractéristique</b>						
<i>Sesleria caerulea</i>	4	4	1	3	3	V
<i>Carex ornithopoda</i>	1	.	2	1	1	IV
<i>Carduus defloratus</i>	.	1	.	+	+	III
<i>Leucanthemum adustum</i>	.	+	.	+	+	III
<i>Epipactis atrorubens (dif.)</i>	.	.	+	1	1	III
<b>Espèces du Mesobromion erecti</b>						
<i>Euphorbia flavicoma</i> subsp. <i>verrucosa</i>	1	1	.	2	2	IV
<i>Carex flacca</i> subsp. <i>flacca</i>	1	.	1	+	+	IV
<i>Lotus corniculatus</i> subsp. <i>corniculatus</i>	+	.	1	+	+	IV
<i>Briza media</i>	+	+	.	+	+	IV
<i>Festuca lemanii</i>	+	.	.	1	1	III
<i>Gymnadenia conopsea</i> subsp. <i>conopsea</i>	.	.	1	+	+	III
<i>Leontodon hispidus</i> subsp. <i>hispidus</i>	.	+	.	+	+	III
<i>Helianthemum nummularium</i> subsp. <i>obscurum</i>	.	1	.	.	1	II
<i>Trifolium montanum</i> subsp. <i>montanum</i>	+	1	.	.	.	II
<i>Carex caryophyllea</i>	.	.	.	+	+	II
<i>Centaurea pannonica</i>	.	+	.	+	.	II
<i>Orchis militaris</i>	+	.	+	.	.	II
<i>Plantago media</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Espèces des Brometalia erecti</b>						
<i>Asperula cynanchica</i>	.	+	2	1	1	IV
<i>Hippocrepis comosa</i>	.	+	2	1	+	IV
<i>Bromus erectus</i>	.	.	.	1	1	II
<i>Galium pumilum</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Espèces des Festuco valesiacae - Brometea erecti</b>						
<i>Pimpinella saxifraga</i> subsp. <i>saxifraga</i>	+	+	1	+	+	V
<i>Sanguisorba minor</i>	.	2	+	1	1	IV
<i>Euphorbia cyparissias</i>	.	.	+	1	1	III
<i>Carlina vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>	.	.	+	+	+	III
<i>Festuca longifolia</i> subsp. <i>pseudocostei</i>	.	1	1	.	.	II
<i>Teucrium chamaedrys</i> subsp. <i>germanicum</i>	.	1	+	.	.	II
<b>Espèces des Trifolio medii - Geranietea sanguinei</b>						
<i>Brachypodium pinnatum</i>	1	.	2	+	+	IV
<i>Anthericum ramosum</i>	1	.	.	3	3	III
<i>Viola hirta</i>	+	.	.	1	3	III
<i>Origanum vulgare</i>	.	.	1	+	+	III
<i>Galium mollugo</i> subsp. <i>erectum</i>	.	+	1	.	.	II
<i>Hypericum montanum</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Autres taxons</b>						
<i>Campanula rotundifolia</i>	+	+	1	+	+	V
<i>Scabiosa lucida</i>	1	.	1	1	1	IV
<i>Hieracium semisilvaticum</i>	+	.	2	+	+	IV
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>virgaurea</i>	1	.	+	+	+	IV
<i>Succisa pratensis</i>	+	.	.	+	+	III
<i>Polygala amarella</i>	.	.	.	+	+	II

# Description d'une association végétale

des renseignements complémentaires peuvent y être directement portés comme la hauteur des différentes strates, ou dans le cas de relevés aquatiques la profondeur de la lame d'eau, l'altitude, la pente, l'exposition ;

la dernière colonne, dite **colonne synthétique** ou colonne romaine, indique la classe de fréquence de chaque espèce dans le tableau de I à V :

I : 1 à 20%

II : 21 à 40%

III : 41 à 60%

IV : 61 à 80%

V : 81 à 100%

si le nombre de relevés composant le tableau est inférieur à 5 on portera alors directement le nombre de présence de l'espèce dans le tableau

	R1	R2	R3	R4	R5	
surface h1 (m2)	25	40	30	25	50	
% recouvr. h1	95	90	80	-	85	
nb taxons	30	28	34	36	36	
<b>Combinaison caractéristique</b>						
<i>Sesleria caerulea</i>	4	4	1	3	3	V
<i>Carex ornithopoda</i>	1	.	2	1	1	IV
<i>Carduus defloratus</i>	.	1	.	+	+	III
<i>Leucanthemum adustum</i>	.	+	.	+	+	III
<i>Epipactis atrorubens (dif.)</i>	.	.	+	1	1	III
<b>Espèces du Mesobromion erecti</b>						
<i>Euphorbia flavicoma</i> subsp. <i>verrucosa</i>	1	1	.	2	2	IV
<i>Carex flacca</i> subsp. <i>flacca</i>	1	.	1	+	+	IV
<i>Lotus corniculatus</i> subsp. <i>corniculatus</i>	+	.	1	+	+	IV
<i>Briza media</i>	+	+	.	+	+	IV
<i>Festuca lemanii</i>	+	.	.	1	1	III
<i>Gymnadenia conopsea</i> subsp. <i>conopsea</i>	.	.	1	+	+	III
<i>Leontodon hispidus</i> subsp. <i>hispidus</i>	.	+	.	+	+	III
<i>Helianthemum nummularium</i> subsp. <i>obscurum</i>	.	1	.	.	1	II
<i>Trifolium montanum</i> subsp. <i>montanum</i>	+	1	.	.	.	II
<i>Carex caryophyllea</i>	.	.	.	+	+	II
<i>Centaurea pannonica</i>	.	+	.	+	.	II
<i>Orchis militaris</i>	+	.	+	.	.	II
<i>Plantago media</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Espèces des Brometalia erecti</b>						
<i>Asperula cynanchica</i>	.	+	2	1	1	IV
<i>Hippocrepis comosa</i>	.	+	2	1	+	IV
<i>Bromus erectus</i>	.	.	.	1	1	II
<i>Galium pumilum</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Espèces des Festuco valesiacae - Brometea erecti</b>						
<i>Pimpinella saxifraga</i> subsp. <i>saxifraga</i>	+	+	1	+	+	V
<i>Sanguisorba minor</i>	.	2	+	1	1	IV
<i>Euphorbia cyparissias</i>	.	.	+	1	1	III
<i>Carlina vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>	.	.	+	+	+	III
<i>Festuca longifolia</i> subsp. <i>pseudocostei</i>	.	1	1	.	.	II
<i>Teucrium chamaedrys</i> subsp. <i>germanicum</i>	.	1	+	.	.	II
<b>Espèces des Trifolio medii - Geranietea sanguinei</b>						
<i>Brachypodium pinnatum</i>	1	.	2	+	+	IV
<i>Anthericum ramosum</i>	1	.	.	3	3	III
<i>Viola hirta</i>	+	.	.	1	3	III
<i>Origanum vulgare</i>	.	.	1	+	+	III
<i>Galium mollugo</i> subsp. <i>erectum</i>	.	+	1	.	.	II
<i>Hypericum montanum</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Autres taxons</b>						
<i>Campanula rotundifolia</i>	+	+	1	+	+	V
<i>Scabiosa lucida</i>	1	.	1	1	1	IV
<i>Hieracium semisilvaticum</i>	+	.	2	+	+	IV
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>virgaurea</i>	1	.	+	+	+	IV
<i>Succisa pratensis</i>	+	.	.	+	+	III
<i>Polygala amarella</i>	.	.	.	+	+	II

# Description d'une association végétale

Les espèces sont classées par affinités sociologiques dans l'ordre suivant :

- combinaison caractéristique de l'association ;
- espèces différentielles de variation (le cas échéant) ;
- espèces caractéristiques de l'alliance, de l'ordre et de la classe de l'association ;
- autres espèces classées par appartenance phytosociologique de la plus représentée à la moins représentée ;
- autres espèces : espèces non rattachées à une classe phytosociologique ;

les espèces présentes une seule fois sont placées dans une liste annexe dite d'espèces accidentelles.

	R1	R2	R3	R4	R5	
surface h1 (m2)	25	40	30	25	50	
% recouvr. h1	95	90	80	-	85	
nb taxons	30	28	34	36	36	
<b>Combinaison caractéristique</b>						
<i>Sesleria caerulea</i>	4	4	1	3	3	V
<i>Carex ornithopoda</i>	1	.	2	1	1	IV
<i>Carduus defloratus</i>	.	1	.	+	+	III
<i>Leucanthemum adustum</i>	.	+	.	+	+	III
<i>Epipactis atrorubens (dif.)</i>	.	.	+	1	1	III
<b>Espèces du Mesobromion erecti</b>						
<i>Euphorbia flavicoma subsp. verrucosa</i>	1	1	.	2	2	IV
<i>Carex flacca subsp. flacca</i>	1	.	1	+	+	IV
<i>Lotus corniculatus subsp. corniculatus</i>	+	.	1	+	+	IV
<i>Briza media</i>	+	+	.	+	+	IV
<i>Festuca lemanii</i>	+	.	.	1	1	III
<i>Gymnadenia conopsea subsp. conopsea</i>	.	.	1	+	+	III
<i>Leontodon hispidus subsp. hispidus</i>	.	+	.	+	+	III
<i>Helianthemum nummularium subsp. obscurum</i>	.	1	.	.	1	II
<i>Trifolium montanum subsp. montanum</i>	+	1	.	.	.	II
<i>Carex caryophyllea</i>	.	.	.	+	+	II
<i>Centaurea pannonica</i>	.	+	.	+	.	II
<i>Orchis militaris</i>	+	.	+	.	.	II
<i>Plantago media</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Espèces des Brometalia erecti</b>						
<i>Asperula cynanchica</i>	.	+	2	1	1	IV
<i>Hippocrepis comosa</i>	.	+	2	1	+	IV
<i>Bromus erectus</i>	.	.	.	1	1	II
<i>Galium pumilum</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Espèces des Festuco valesiacae - Brometea erecti</b>						
<i>Pimpinella saxifraga subsp. saxifraga</i>	+	+	1	+	+	V
<i>Sanguisorba minor</i>	.	2	+	1	1	IV
<i>Euphorbia cyparissias</i>	.	.	+	1	1	III
<i>Carlina vulgaris subsp. vulgaris</i>	.	.	+	+	+	III
<i>Festuca longifolia subsp. pseudocostei</i>	.	1	1	.	.	II
<i>Teucrium chamaedrys subsp. germanicum</i>	.	1	+	.	.	II
<b>Espèces des Trifolio medii - Geranietea sanguinei</b>						
<i>Brachypodium pinnatum</i>	1	.	2	+	+	IV
<i>Anthericum ramosum</i>	1	.	.	3	3	III
<i>Viola hirta</i>	+	.	.	1	3	III
<i>Origanum vulgare</i>	.	.	1	+	+	III
<i>Galium mollugo subsp. erectum</i>	.	+	1	.	.	II
<i>Hypericum montanum</i>	.	.	.	+	+	II
<b>Autres taxons</b>						
<i>Campanula rotundifolia</i>	+	+	1	+	+	V
<i>Scabiosa lucida</i>	1	.	1	1	1	IV
<i>Hieracium semisilvaticum</i>	+	.	2	+	+	IV
<i>Solidago virgaurea subsp. virgaurea</i>	1	.	+	+	+	IV
<i>Succisa pratensis</i>	+	.	.	+	+	III
<i>Polygala amarella</i>	.	.	.	+	+	II

# Description d'une association végétale

— [ Ce tableau ne se suffit pas à lui même et il doit obligatoirement être accompagné d'un commentaire sur :

- **la synfloristique** : on y commente la liste des espèces caractéristiques, différentielles positives et négative par rapport aux associations voisines, une conclusion sur le statut phytosociologique du groupement y est proposé : rapport à une association déjà décrite, variation d'une association connue, association nouvelle ou groupement provisoire ;
- **la physionomie** : espèces dominantes, stratification, formes biologiques ;
- **la synécologie** : climatologie, type de sol, dynamique hydrique, influences biotiques des animaux et de l'homme ;
- **la syndynamique** : influence du temps sur le groupement végétal, contact avec les autres groupements ;
- **la synchorologie** : répartition géographique de l'association ;
- **la synsystématique** : place de l'association dans le synsystème.

# Campanulo-Trisetenion

Spalten-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Mittlere Höhe in 10m	110	124	140		144	188	186	179	154	115	120		106	106	113	113	115	115	102	116	102
Zahl der Aufnahmen	16	13	21	15	17	6	5	5	29	20	66	15	19	7	24	24	12	28	7	7	25
Mittlere Artenzahl	46	33	32		37	41	29		33	47	42	62	40	39	41	41	42		59	31	
<hr/>																					
<u>Trisetetum leponiticum</u>																					
<i>Centaurea nigrescens</i> ssp. transalp.	III	II																			
<i>Salvia pratensis</i>	IV	IV	II			I	I			I											
<i>Clinopodium vulgare</i>	IV		II																		
<u><i>Thalictrum minus</i></u>	IV			II	I					I											
<hr/>																					
<i>Phyteuma betonicifolium</i>	V	III			V	II	II			II											
<i>Trifolium badium</i>			III	III	I	IV															
<i>Poa alpina</i>	IV	II	III	I	IV	V	II	V	II	II											
<u><i>Potentilla aurea</i></u>				I	II			IV	II	II											
<hr/>																					
<u>Geranio lividi-Trisetetum</u>																					
<i>Geranium phaeum</i> agg.								I													
<u><i>Carduus personata</i></u>	II				I																

## Deuxième étape synthétique : le synsystème

# Principes

Cette démarche n'a de sens que dans le cadre d'une **synthèse** portant sur un **vaste territoire** ;

l'analyse d'un très grand nombre de données aboutie à l'élaboration d'un **synsystème** ;

il s'agit d'un système regroupant un **ensemble d'unités hiérarchiques emboîtées les unes dans les autres** ;

chacune est différenciée des autres par quelques espèces ;

à partir d'un tableau brut construit à partir des colonnes synthétiques de chaque syntaxon on met en évidence la hiérarchie synsystématique par permutation successive des lignes et des colonnes ; **la construction est ascendante** en partant des associations ;

il est également possible d'utiliser des méthodes statistiques.

# Principes

La liste des espèces caractéristiques et différentielles des différentes unités est lue directement sur le tableau ;

depuis J. Braun-Blanquet, quatre niveaux hiérarchiques principaux sont retenus : **l'association, l'alliance, l'ordre et la classe** ;

quatre niveaux intermédiaires ont été introduits par la suite : **sous-alliance, sous-ordre, sous-classe** ;

Polygono-Trisetion Br-Bl. et Tx. ex<sup>N</sup> arschall 1947 Tx. et Prsg. 1951 no

		Campanulo-Trisetion																							
Spalten-Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
Mittlere Höhe in 10m		110	124	140	144	158	186	193	154	145	120	104	106	113	113	115	145	102	146	102	146	102			
Zahl der Aufnahmen		46	43	21	45	47	6	5	5	29	20	66	15	19	17	24	24	42	28	7	7	25			
Mittlere Artenzahl		46	33	32	37	41	29			33	47	42	62	40	39	41	41	42			59	31			
<u>Trisetum leptoticum</u>																									
Centaurea nigrescens ssp. transalp.		III	II																						
Salvia pratensis		IV	IV	II			I	I			I														
Clinopodium vulgare		IV		II																					
Thalictrum minus		IV			II	I																			
Phyteuma betonicifolium		V	III				V	II	II		II														
Trifolium badium				III	III	I	IV																		
Poa alpina		IV	II	III	I	IV	V	II	V	II	II														
<u>Potentilla aurea</u>					I	II			IV	II	II														
<u>Geranio lividi-Trisetum</u>																									
Geranium phaeum agg.												III													
Carduus personata		II																							
Trifolium montanum		II						II		I	III	III	III									I			
Carlina acaulis																									
Gymnadenia conopsea																									
<u>Astrantio-Trisetum</u>																									
Astrantia major													IV	V								II			
Knautia sylvatica		I				II	I	I				III	II									IV			
Luzula sylvatica ssp. sieberi													II	IV											
Listera ovata													II	III								II			
Linum catharticum				II									III	IV								I			
Carex montana													II	IV											
<u>Rumex-Gruppe von Rumex alpestris</u>																									
Rumex alpestris		V	V	IV	V	V	V	III	V	V	V	III	V	V											
Phleum alpinum		I		II	IV	IV	V	II	IV	V		I													
Veratrum album						III	II	I	III	II		IV	I									I			
Crepis pyrenaica				II		IV	III		I	I															
Rumex alpinus						II	I	I	III	II		I		II	I										
Phyteuma ovatum				IV						III	I		V												
Crepis aurea										III	I	II		I	I										
Polygonum viviparum								I		I	II	II	II												
Rhinanthus aristatus										II	IV	II	V												
<u>Campanulo-Trisetion</u>																									
Campanula scheuchzeri		V	IV	II	II	IV	I		V	V	IV	V	III	III	III	II	II					III			
Rhinanthus alectorolophus		III	II	III	III	III	V		III	I	III		II	I	III	I	IV	IV							
Viola tricolor ssp. subalpina		V	V	IV	V	V	I				II	V				IV	IV								
Silene dioica		IV	V	V	II	V	III	III	V	III	I		V	V	V	V	II	III				I			
Chaerophyllum hirsutum		I				I	IV	II	III	I				I	III	III	I								
Veronica serpyllifolia																									
Myosotis alpestris		IV	II	III		II	V	V	V				III	III	IV	IV									
Chaerophyllum aureum		I					IV	IV														II			
Campanula rhomboidalis								V	V	III						V	V	V	V						
Crocus albiflorus						III	IV	III	V	III	V											IV			
Silene vulgaris		V	V	V	V	V	III	IV	IV	II						I	V	II	II			IV			
Tragopogon pratensis agg.		IV	V	II	IV	II	I		II	V	III	V	II	V	IV	IV	IV	IV	V			II			
<u>Gesellschaften im Südwesten</u>																									
Narcissus radiiflorus															V						III	II			
Narcissus pseudonarcissus																					III	II			
Campanula carnica																					IV	II			
Armeria alliacea																					IV	II			
<u>Viola lutea ssp. sudetica</u>																					III	II			
Avenochloa pubescens		II	IV	I	III	I			III	III	V		IV	V	V	V	I	V			III	II			
Trollius europaeus				II	II	I	II	III	III	III	III	V		III	III	III	I	V				I			
Colchicum autumnale				IV	III	I	IV	I			III	V	III		III	III	I	V				I			
Geranium sylvaticum		IV	V	V	V	II	III	V	III	IV	V	V	V	V	V	V	V	V				II			
Anthriscus sylvestris		I																				II			
Holcus lanatus		IV	II																			II			
Ajuga reptans		III	III										II	V	IV	IV	IV	I	III			I			
Cardamine pratensis		III																				I			



# Principes

Le suffixe du nom d'une unité permet d'identifier son **niveau hiérarchique** :

-**etea** : classe (*Festuco - Brometea*)

-**etalia** : ordre (*Brometalia erecti*)

-**ion** : alliance (*Mesobromion erecti*)

-**etum** : association (*Gentiano vernaе - Brometum*)

-**enea** : sous-classe (*Nardenea strictae*), inusité de nos jours

-**enalia** : sous-ordre (*Carpino betuli-Fagenalia sylvaticae*)

-**enion** : sous-alliance (*Tetragonolobo maritimi - Mesobromenion erecti*)

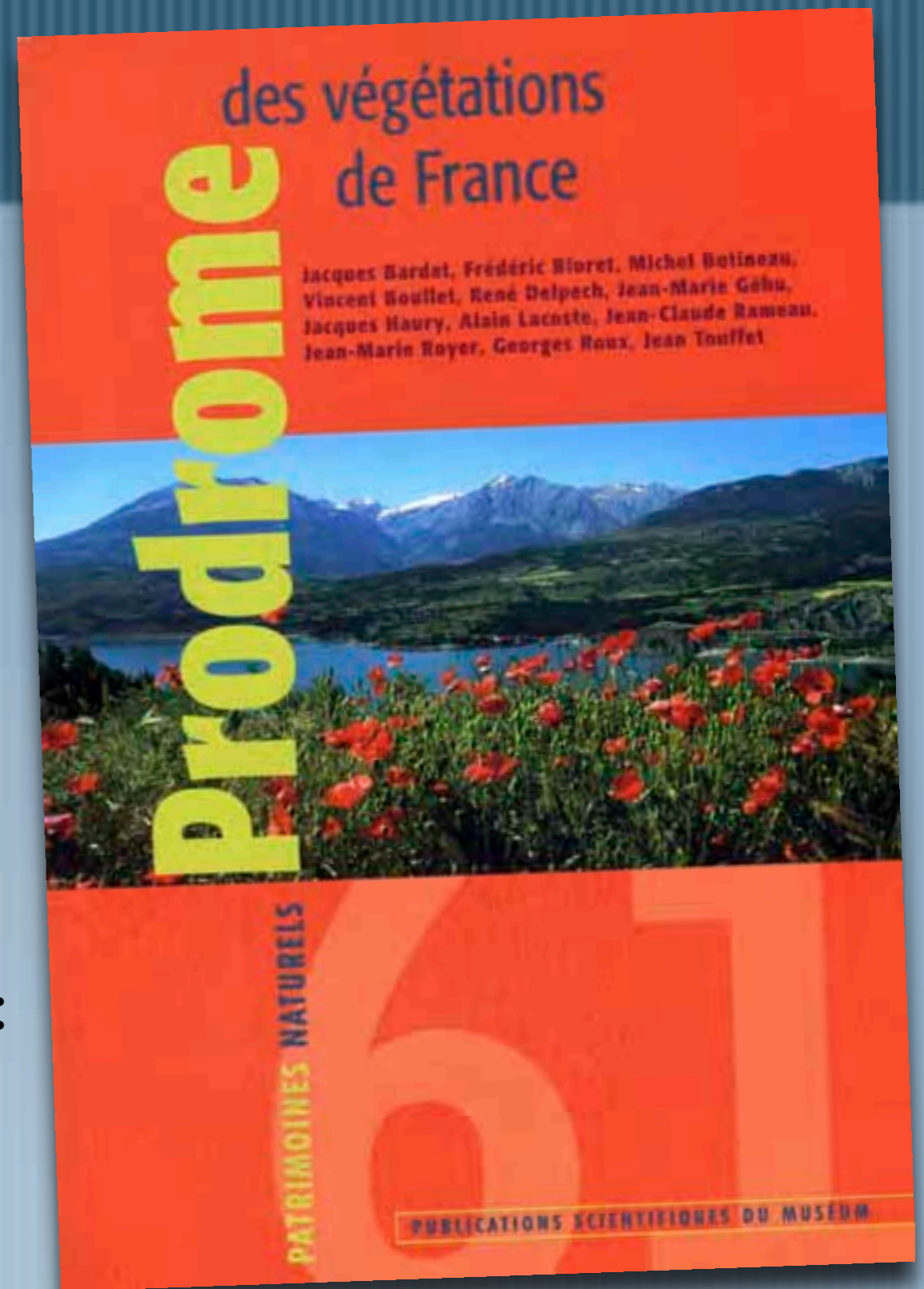
-**etosum** : sous-association (*Senecio aquatici - Oenanthetum mediae caricetosum distichae*)

Polygono-Trisetion Br-Bl et Tx. ex<sup>N</sup> arschall 1947 Tx et Prsg.1951 no

		Campanulo-Trisetenion																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Spalten-Nr.		110	124	140	144	188	186	193	154	145	120	106	106	113	113	115	145	102	116	102	116	102
Mittlere Höhe in 10m		16	13	21	15	17	6	5	5	29	20	66	15	19	17	24	24	42	28	7	7	25
Zahl der Aufnahmen		46	33	32	37	41	29			33	47	42	62	40	39	41	41	42		59	31	
Mittlere Artenzahl																						
<b>Trisetetum leptoticum</b>																						
Centaurea nigrescens ssp.transalp.		III	II																			
Salvia pratensis		IV	IV	II				I	I													
Clinopodium vulgare		IV		II																		
Thalictrum minus		IV			II	I								I								
<b>Phyteuma betonicifolium</b>		V	III					V	II	II		II										
Trifolium badium					III	III	I	IV														I
Poa alpina		IV	II	III	I	IV	V	II	V	II	II											
<b>Potentilla aurea</b>					I	II					IV	II	II									
<b>Geranio lividi-Trisetetum</b>																						
Geranium phaeum agg.												III										
Carduus personata		II				I																
Trifolium montanum		II						II			I	III	III	III								I
Carlina acaulis													II	II	III							I
Gymnadenia conopsea													II	II	III							I
<b>Astrantio-Trisetetum</b>																						
Astrantia major													IV	V	I							II
Knautia sylvatica								II	I	I			III	II								IV
Luzula sylvatica ssp.sieberi														I	II	IV						
Listera ovata														I	II	III						II
Linum catharticum				II										III	IV	I						I
Carex montana														II	IV							
<del>Asa-Gruppe von Rumex alpestris</del>																						
Rumex alpestris		V	V	IV	V	V	V	III	V	V	III	V	V									
Phleum alpinum		I		II	IV	IV	V	II	IV	V		I										I
Veratrum album								III	II	III	III	IV	I									I
Crepis pyrenaica				II				II	IV	III	I	I										
Rumex alpinus								II	I	III	II	I			II	I						
Phyteuma ovatum				IV				I			III	I			V							
Crepis aurea											III	I	II		I	I						
Polygonum viviparum										I	I	II	II	II								
Rhinanthus aristatus											II	IV	II	V								
<b>Campanulo-Trisetenion</b>																						
Campanula scheuchzeri		V	IV	IV	II	IV	I			V	V	IV	V	III	III	II	II	III				III
Rhinanthus alectorolophus		III	II	III	III	III	V			III	I	III		II	I	III	IV	IV				IV
Viola tricolor ssp.subalpina		V	V	IV	V	V	I			II	V					IV	IV					
Silene dioica		IV	II	V	II	V	III	III	III	V	III	I			V	V	V	V	II	III		I
Chaerophyllum hirsutum		I		IV	I	II	III	III	I						V	V	III	III				I
Veronica serpyllifolia																						
Myosotis alpestris		IV	II	III		II	V	V	V					III	II	IV	IV					
Chaerophyllum aureum		I					IV	IV						III								II
Campanula rhomboidalis																V	V	V	V			
Crocus albiflorus						III	IV	III														
Silene vulgaris		V	V	V	V	V	III	IV	IV	II					I	V	II	II	IV	III		III
Tragopogon pratensis agg.		IV	V	II	IV	II	I			II	V	III	V	II	V	IV	IV	IV	V			II
<b>Gesellschaften im Südwesten</b>																						
Narcissus radiiflorus														V				III	III		II	I
Narcissus pseudonarcissus																			III	III		I
Campanula carnica																					IV	I
Armeria alliacea																					IV	I
<b>Viola lutea ssp.sudetica</b>																						III
Avenochloa pubescens		II	IV		I	III	I			III			V		IV	V	V	V	I	V	III	III
Trollius europaeus																						II
Colchicum autumnale				IV	III	I	IV	I					III	V	III	III					I	IV
Geranium sylvaticum		IV	V	V	V	II	III	V	III	IV	V	II	V	V	V	V	V	V	V	V		II
Anthriscus sylvestris																						II
Holcus lanatus		IV	II																			II
Ajuga reptans		III		III									II	V	IV	IV	IV					I
Cardamine pratensis		III				II									III	II	I					V

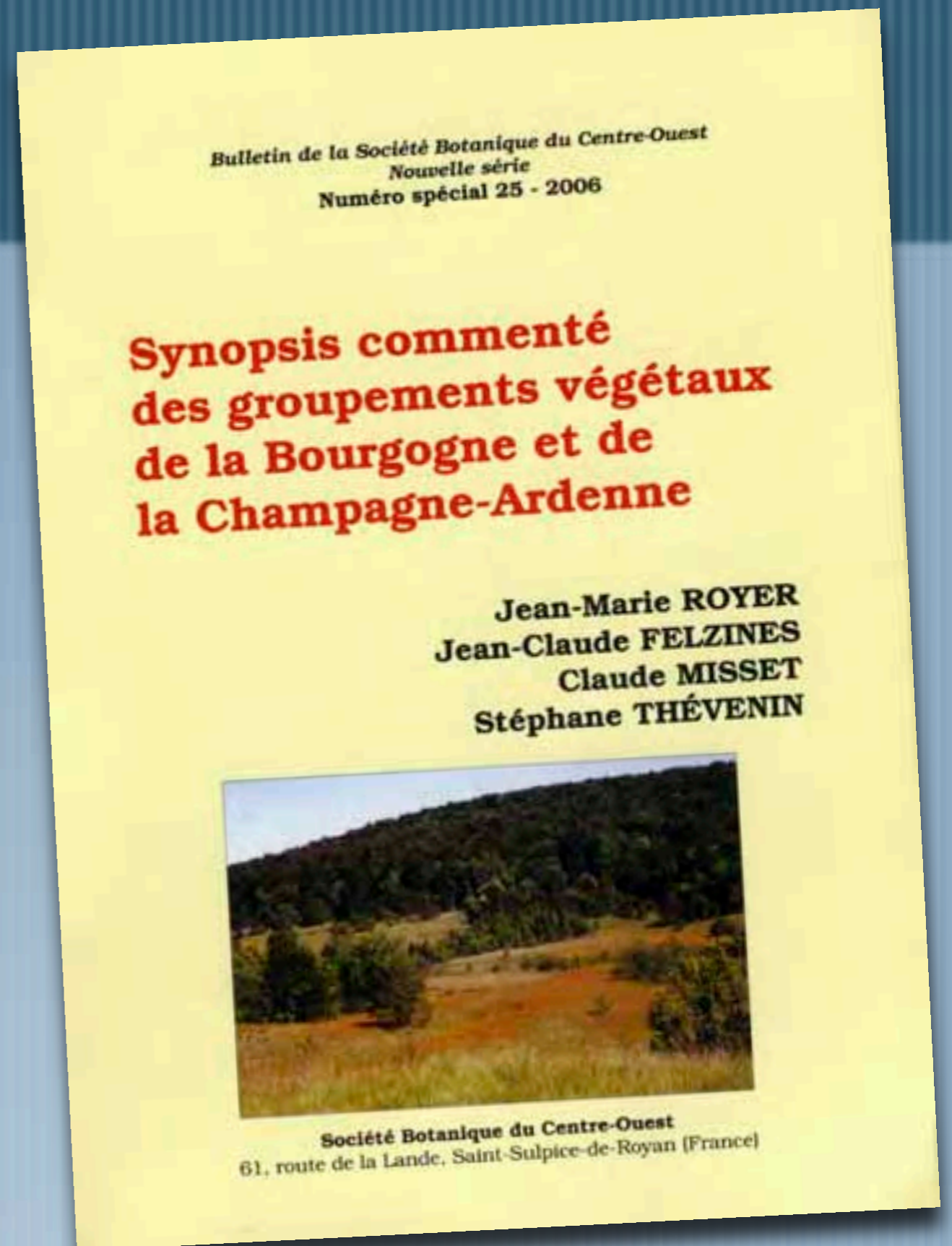
# Principes

- Le référentiel actuellement proposé pour la France est celui de Bardat *et al.* (2001) : **prodrome des végétations de France** ;
- cependant le système phytosociologique **n'est pas figé** : il doit évoluer parallèlement au progrès des connaissances ;



# Principes

ainsi Royer et al. (2006) dans leur **Synopsis commenté des groupements végétaux de la Bourgogne et de la Champagne-Ardenne** proposent des modifications par rapport au prodrome des végétations de France.



# Rôle des synsystèmes

De Foucault (1984) a explicité le rôle du synsystème :

à l'instar d'une théorie physique, le synsystème est d'abord **une classification hiérarchique des lois** (relation de cause à effet entre un syntaxon et ses conditions écologiques) ;

il permet une reconnaissance des lois en permettant de décider si un syntaxon est déjà connu ou non ;

lorsqu'il est stabilisé, il permet d'élaborer des **clefs de détermination des groupements végétaux** ;

il permet la **prévision** de lois inconnues comme en physique ou en chimie.

# La prévision en phytosociologie

— [ Un exemple de prévision : le tableau périodique des éléments :

— La première véritable version du **tableau périodique des éléments**, incomplète car tous les éléments n'étaient pas encore connus, a été créée par le Russe **Dimitri Ivanovich Mendeleïev** en 1869 ;

— **Mendeleïev** remarqua que certaines propriétés variaient de manière périodique avec la masse atomique. Ainsi, au lieu de classer tous les éléments sur une même colonne, il les classa sur cinq colonnes de dix-huit éléments, en laissant des cases vides, prévoyant que d'autres éléments seraient découverts plus tard.

# La prévision en phytosociologie

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	VIII B	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	** Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	Uus	118 Uuo

* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition
Métaux pauvres	Métalloïdes	Non-métaux	Halogènes	Gaz nobles

# La prévision en phytosociologie

De Foucault à mis en évidence **trois niveaux de prévision** en phytosociologie :

**au niveau du relevé de végétation** : l'existence d'une association végétale est conditionnée par la **répétitivité** de sa combinaison floristique. La réalisation de plusieurs relevés d'un même syntaxon permet de prévoir l'apparition dans la liste floristique **d'une ou plusieurs espèces significatives du syntaxon** lors de la réalisation d'un nouveau relevé ;

**au niveau du paysage** : en parcourant une région naturelle nouvelle correspondant à un paysage déjà connu et déjà étudié **on peut y prévoir l'existence d'un certain nombre d'association liées à ce paysage**, on peut même anticiper sur leur agencement.

# La prévision en phytosociologie

Ces deux niveaux de prédiction sont une conséquence du déterminisme (principe de causalité) : dans les mêmes conditions, les mêmes causes produisent les mêmes effets

le troisième niveau concerne la prévision d'associations inconnues déduites du synsystème :

dans sa thèse, de Foucault (1984) décrit le *Lobelio urentis - Agrostietum caninae* association thermo-atlantique. Cette association entre en contact ou en superposition avec des groupements thérophytique du *Cicindion filiformis*. Or les groupements du *Cicendion* sont présents en dehors du domaine thermo-atlantique notamment dans le sub-atlantique où certaines espèces composant le *Lobelio urentis - Agrostietum caninae* ne pénètrent pas. De Foucault prévoit l'existence d'un syntaxon vicariant du *Lobelio urentis - Agrostietum caninae* essentiellement définie par l'absence des espèces atlantiques. Il confirme effectivement sa théorie en décrivant le *Carici demissae - Agrostietum caninae* dans quelques sites du nord de la France.



# La prévision en phytosociologie

Dynamique	Paroi rocheuse	Dalle rocheuse érodée	Éboulis	Pelouse	Herbacé surpiétiné	Friche rudérale
Niveau trophique	oligotrophique	oligotrophique	oligotrophique à mésotrophique	oligotrophique	mésotrophique à eutrophique	eutrophique
<b>cryo-xérophile</b>	<i>Minuartio cerastiifoliae</i> - <i>Androsacetum ciliatae</i>	<i>Minuartio cerastiifoliae</i> - <i>Androsacetum ciliatae</i>	<i>Minuartio cerastiifoliae</i> - <i>Androsacetum ciliatae</i>	<i>Oxytropido foucaudii</i> - <i>Kobresietum myosuroidis</i>	∅	? Grpt à <i>Urtica dioica</i>
<b>mésoxérophile-chionophobe</b>	<i>Saxifrago iratiana</i> - <i>Potentilletum nivalis</i>	?	<i>Violetum diversifoliae</i>	<i>Oxytropido pyrenaici</i> - <i>Festucetum scopariae</i>	?	Grpt à <i>Urtica dioica</i>
<b>mésohydrique</b>	<i>Saxifrago iratiana</i> - <i>Potentilletum nivalis</i>	?	<i>Linario alpinae</i> - <i>Minuartietum cerastiifoliae</i>	<i>Carici sempervirentis</i> - <i>Geetum pyrenaici</i>	Grpt à <i>Poa supina</i> et <i>Polygonum aviculare</i>	( <i>Chenopodio bonus-henrici</i> - <i>Taraxacetum pyrenaici</i> )
<b>mésohygrophile-chionophile</b>	<i>Violo biflorae</i> - <i>Cystopteridetum alpinae</i>	?	<i>Oxyrio digynae</i> - <i>Doronicetum pyrenaicae</i>	<i>Potentillo dubiae</i> - <i>Omalothecetum hoppeanae</i>	Grpt à <i>Poa supina</i> et <i>Polygonum aviculare</i>	?
<b>édapho-mésohygrophile</b>	∅	?	?	( <i>Geranio cinerei</i> - <i>Ranunculetum gouanii</i> )	Grpt à <i>Poa supina</i> et <i>Polygonum aviculare</i>	?
<b>hygrophile</b>	∅	∅	∅	<i>Leontodonto duboisii</i> - <i>Caricetum bicoloris</i>	Grpt à <i>Poa supina</i> et <i>Polygonum aviculare</i>	∅
<b>hydrophile</b>	∅	∅	∅	Grpts de sources, essentiellement bryophytiques	Grpt à <i>Poa supina</i>	∅
<b>amphibie exondable</b>	∅	∅	∅	?	Grpt à <i>Poa supina</i>	∅
<b>amphibie permanent</b>	∅	∅	∅	∅	∅	∅

la présentation des données d'une région sous forme d'un tableau rappelant celui de Mendeleïev permet de **prévoir** l'existence de syntaxons non décrits.

# Nomenclature des syntaxons

— [ Pour pouvoir nommer les syntaxons, il est indispensable de se référer aux **résultats publiés antérieurement** pour rechercher si ils ont déjà été décrits et nommés par ailleurs ; dans ce cas, et si les conceptions sont compatibles, il suffit de reprendre les noms préalablement créés, qui précisent s'il s'agit d'associations ou de subdivisions de celles-ci ;

— [ dans le cas contraire, on propose un **nouveau nom de syntaxon** de rang déterminé (association, sous-association ou variante) pour **chaque syntaxon élémentaire nouvellement créé**.

# Nomenclature des syntaxons

la nomenclature des syntaxons suit des règles précises regroupées dans le **Code International de Nomenclature Phytosociologique (CINP)** dont la version la plus récente est celle de **Weber et al. (2000)** ;

la création d'un syntaxon et/ou la validation d'un syntaxon existant impliquent :

— une **publication effective par diffusion d'un document imprimé** ; si ce n'est pas le cas (thèse, rapport d'expertise...) le nom du syntaxon est un **nomen ineditum** ;

— la formation du nom selon les règles (article 10 à 14) ;

— l'élaboration d'une **diagnose** également définie par des règles selon le rang auquel le syntaxon est placé sinon il s'agit d'un **nomen nudum** ;

— la désignation codifiée d'un **type nomenclatural** (articles 5 et 15 à 22).

# Nomenclature des syntaxons

pour les syntaxons publiés avant certaines dates (1979, 2002) des aménagements sont prévus pour les considérer comme valides ; cependant certains sont illégitimes (*nomen illegitimum*) en application des art. 29 à 34) et d'autres non valides (*nomen invalidum*), en application de l'art. 2, parag. a, c ou d) ; le CINP permet de les valider dans une nouvelle publication, cette procédure de validation a notamment été utilisée à de nombreuses reprises par *Royer et al.* (2006) ;

les syntaxons validés ou nouveaux doivent obligatoirement être suivis de la mention *nov. hoc. loco.* signifiant « **nouveau dans cette publication** » ;

dans le cas d'un syntaxon nouveau un **holotype** doit être désigné dans la publication.

# Nomenclature des syntaxons

— [ Exemple d'écriture :

— dans Royer et al. (2006) *Alyso montani - Sedetum albi*  
*Royer ass. nov. hoc. loco* ;

— la citation de cette association dans un document ultérieure  
s'écrira : *Alyso montani - Sedetum albi Royer in Royer et al.*  
*2006.*

# Nomenclature des syntaxons

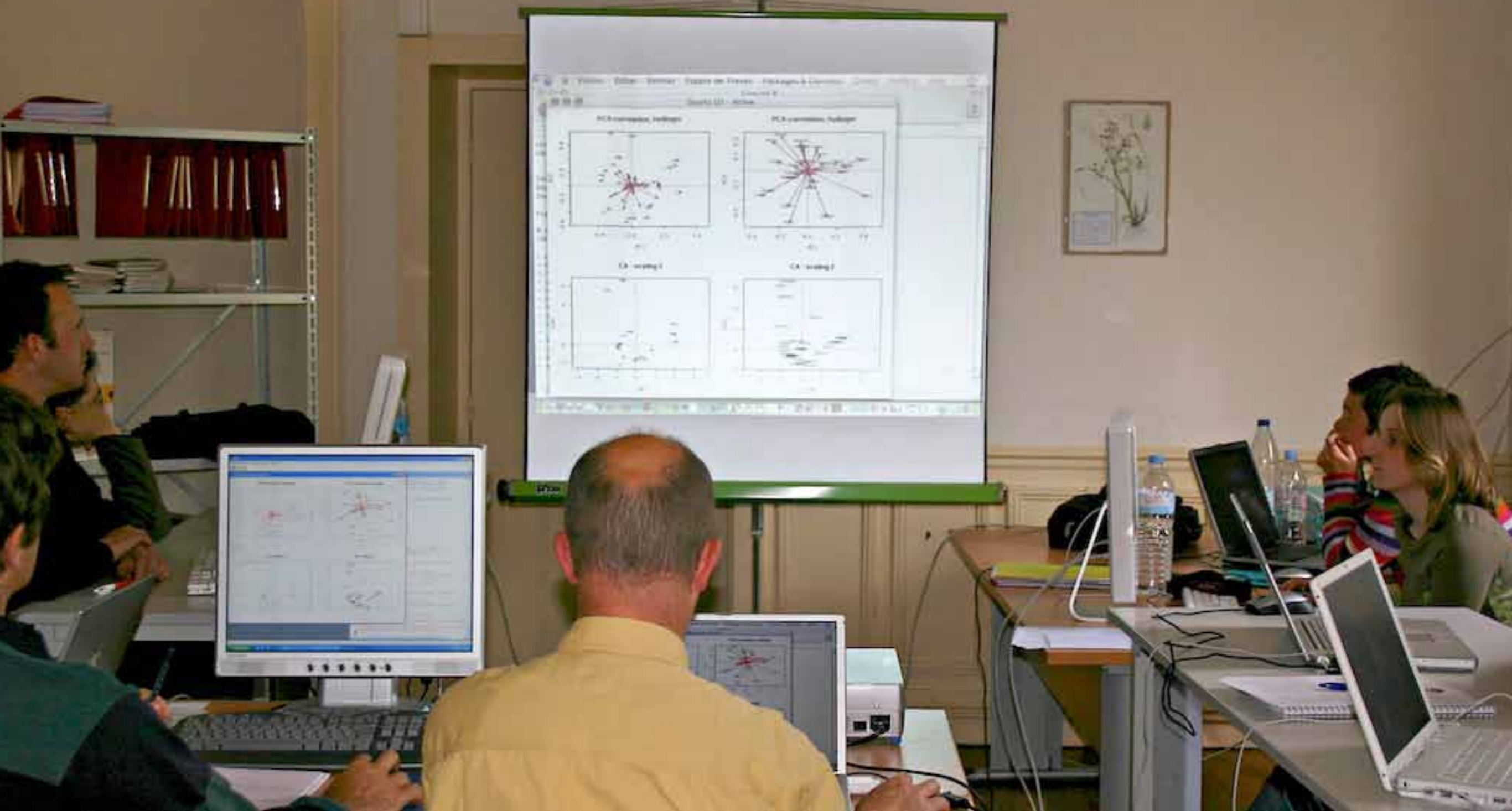
Dans le cas de la validation d'un syntaxon publié antérieurement avec son rang mais **non validé**, un **lectotype** ou un **néotype** doit être désigné :

— le nom du syntaxon est suivi **du nom du ou des auteurs** puis de « **ex** » puis du ou des **auteurs de la publication**.

Exemple d'écriture :

— dans Royer *et al.* (2006), ***Cicerbito plumieri - Aceretum pseudoplatani* Robbe *ass. nov. hoc. loco.***

— la citation de cette association dans un document ultérieure s'écrira : ***Cicerbito plumieri - Aceretum pseudoplatani* Robbe *ex Royer et al. 2006***



# Traitement statistique des données

# Traitement statistique des données

(d'après F. Gillet, laboratoire des système écologiques, École polytechnique Fédérale de Lausanne)

— [ Le phytosociologue peut être amené à réaliser des traitements statistiques dans au moins dans trois cas :

— pour établir une **typologie** ;

— pour analyser des **gradients floristiques** ;

— pour analyser des **gradients écologiques** ;

— [ à chaque cas correspond une technique particulière de traitement statistique relevant de l'écologie numérique ;

— [ toutes ces techniques sont des **méthodes multivariées**.



	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Dryopteris carthusiana</i>	<i>Dryopteris dilatata</i>	<i>Athyrium filix-femina</i>	<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Dactylis glo. glomerata</i>	<i>Polygonatum verticillatum</i>	<i>Silene dioica</i>
<b>1115</b>	1	0	0	1	0	0	1	0
<b>1342</b>	0	0	0	0	0	0	1	0
<b>3107</b>	1	1	0	0	1	1	2	0
<b>3307</b>	0	0	0	0	0	1	2	0
<b>3503</b>	1	2	1	2	1	1	2	2
<b>4208</b>	0	0	0	0	1	1	2	0
<b>21653</b>	0	0	0	0	0	0	0	0

# Généralités

# Objets et descripteurs

— [ objets = **observations**

— **relevés**

— [ descripteurs = **variables observées ou mesurées**

— **variables biologiques**

— espèces (ou leurs attributs)

— mesures d'abondance, de dominance

— **variables environnementales**

— température, pH, type de sol...

— **variables spatiales**

— coordonnées géographiques

# Le complexe des données écologiques

## — [ multidimensionnalité :

- chaque objet est décrit par plusieurs descripteurs ;
- il doit donc être représenté selon autant de dimensions ;
- représentation graphique directe **impossible au delà de 3 dimensions !**

## — [ buts des analyses multivariées :

- **réduire** la dimensionnalité des données ;
- **dégager les grandes tendances** de la variation des données (gradients, groupes) pour les rendre interprétables.

# Le complexe des données écologiques

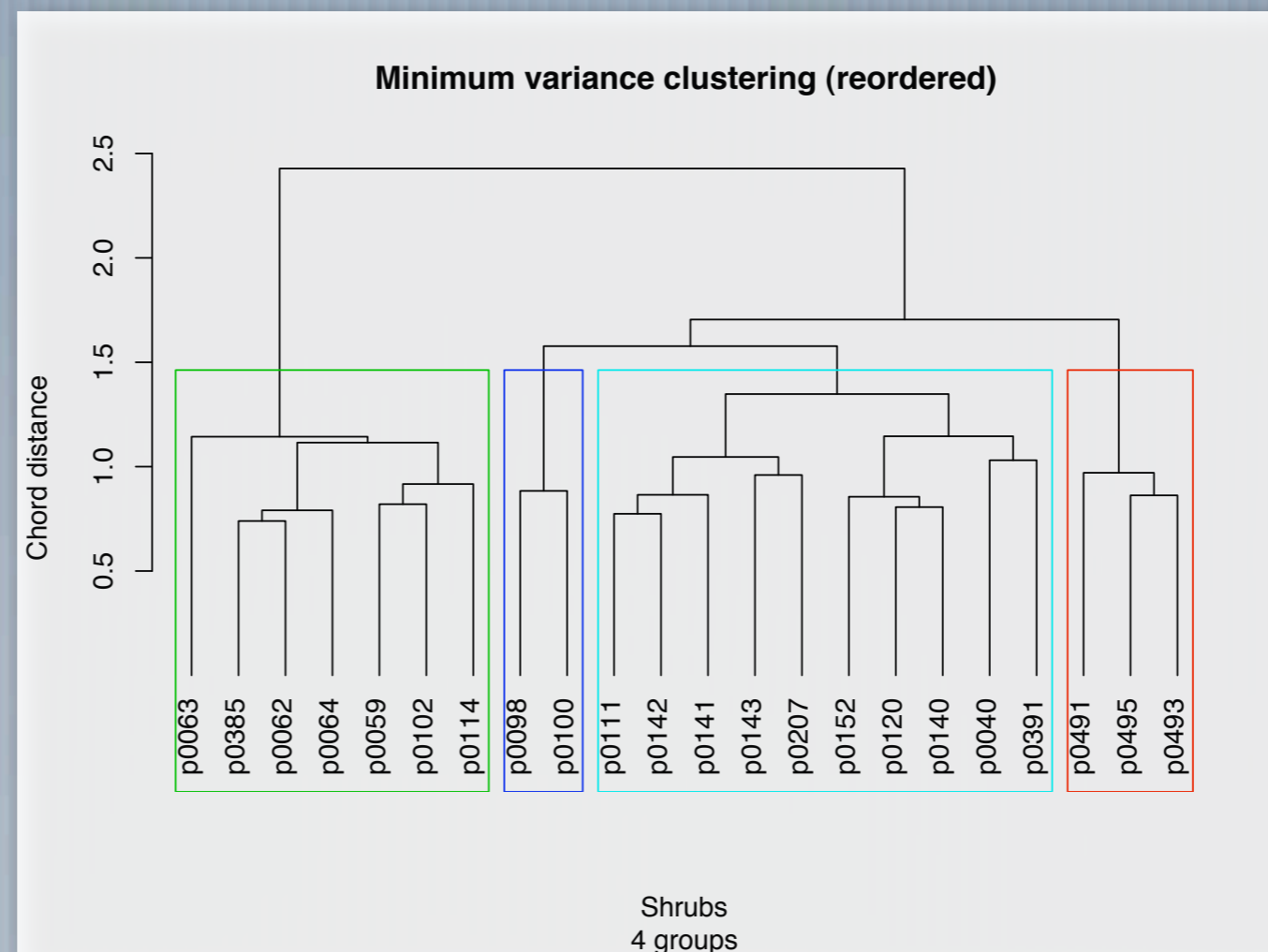
— [ On peut poursuivre diverses finalités :

— l'exploration de la structure des données (approche descriptive) ;

— la recherche d'une modélisation statistique à partir des données (approche explicative).

# Les méthodes multivariées en écologie numérique

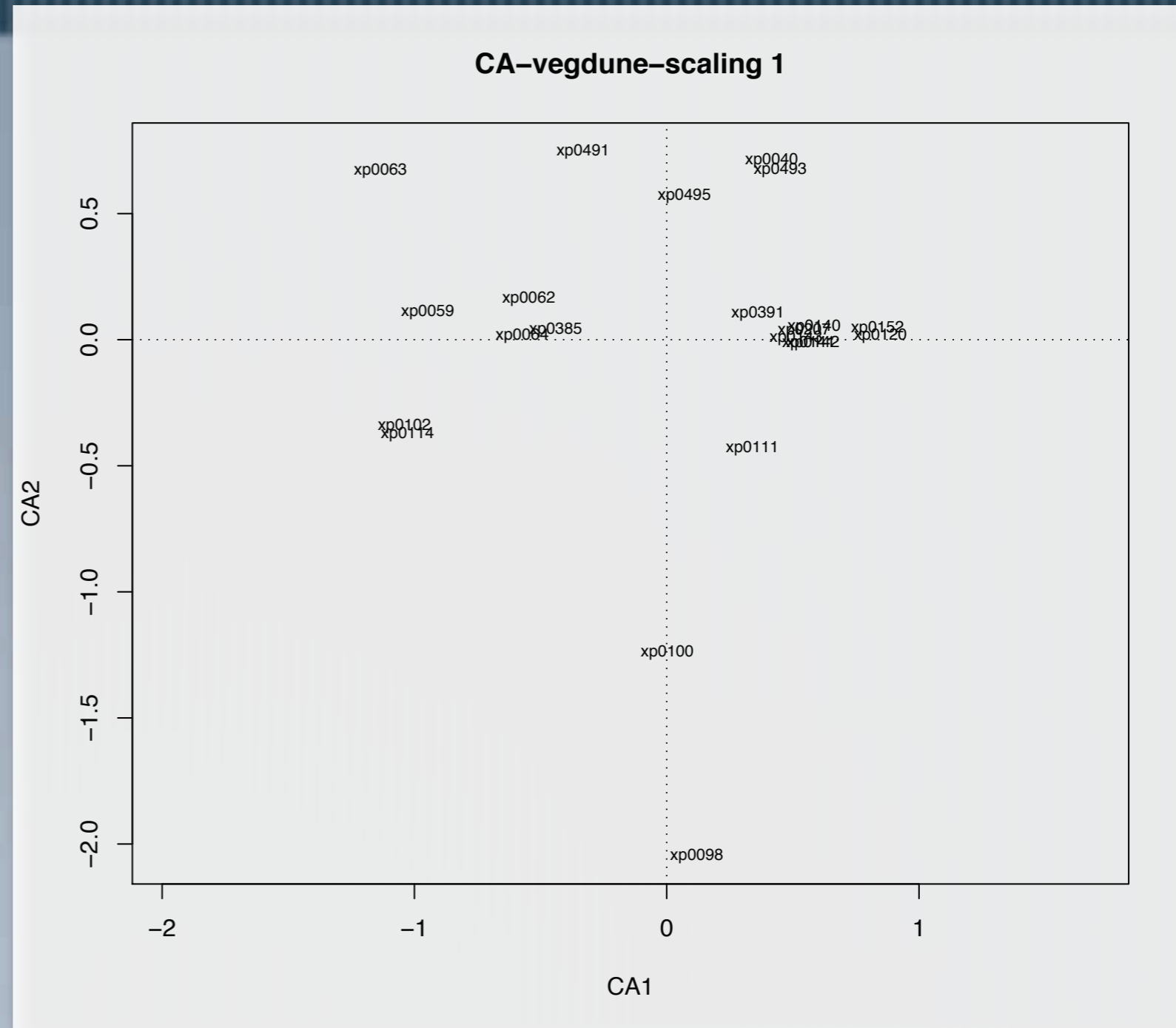
- Exploration de la structure des données (approche descriptive) :
- recherche de discontinuités : groupement (clustering).



# Les méthodes multivariées en écologie numérique

Exploration de la structure des données (approche descriptive) :

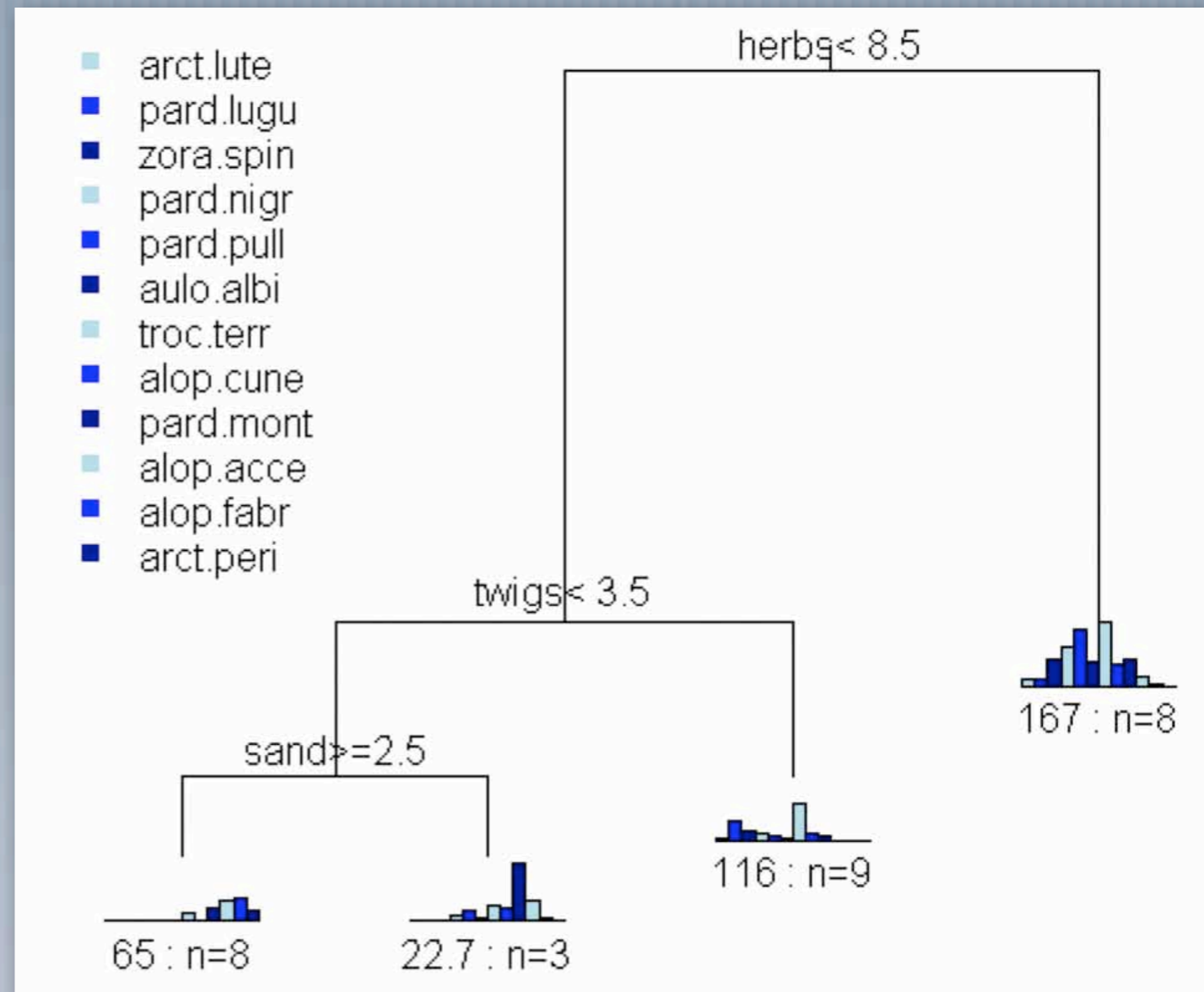
recherche de gradients : ordination.



# Les méthodes multivariées en écologie numérique

**Modélisation** statistique à partir des données (approche explicative) :

— **analyse directe des discontinuités** : arbres de classification et de régression.

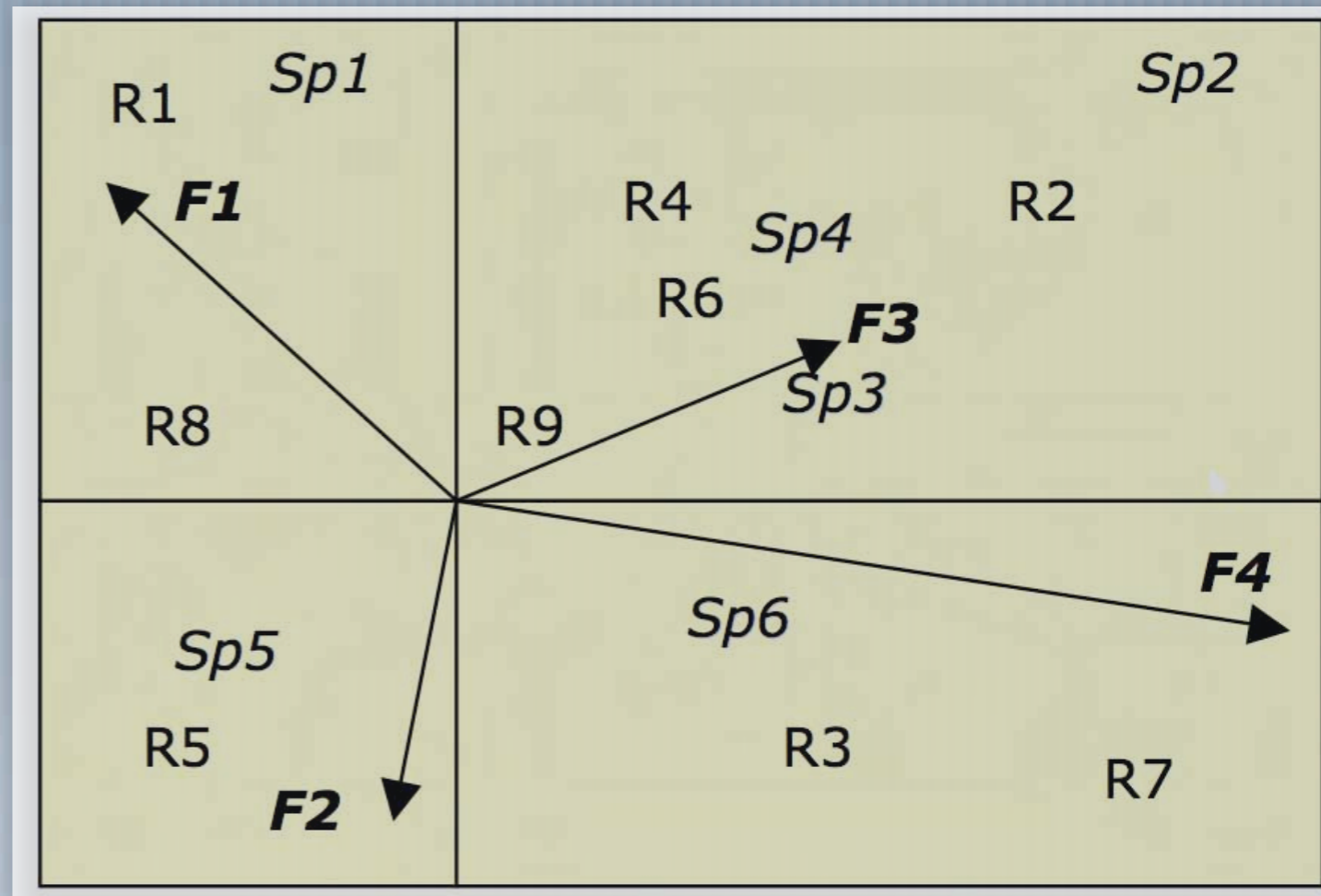


# Les méthodes multivariées en écologie numérique

— [ **modélisation** statistique à partir des données (**approche explicative**) :

— analyse directe des gradients : **ordination canonique** ;

— tests d'hypothèses : **test de Mantel**.





# Types de descripteurs écologiques

— [ **binaires** (booléens, qualitatifs à deux modalités)

○ ex. : présence (1) ou absence (0) d'une espèce

— [ **multiples**

— **non ordonnés** (qualitatifs multiclassés)

○ ex. : type de sol, exposition

— **ordonnés**

— **semi-quantitatifs** (ordinaux)

○ ex. : faible - moyen - fort (codé 1 2 3)

○ ex. : code de dominance d'une espèce (r + 1 2 3 4 5)

— **quantitatifs** (cardinaux)

— **discrets**

○ ex. : nombre d'individus d'une espèce (abondance s.s.)

— **continus**

○ ex. : biomasse, altitude

— [ **synthétiques** (complexes)

○ ex. : fréquence relative d'une espèce

○ ex. : rapport C/N de la matière organique

# Représentation matricielle des données

— [ matrice de données  $Y_{np}$  :

—  $n$  vecteurs objets  $x_1 \dots x_n$  en lignes ;

—  $p$  vecteurs descripteurs  $y_1 \dots y_p$  en colonnes ;

—  $n \times p$  valeurs  $y_{ij}$  à l'intersection des lignes et des colonnes (scalaires) ;

— [ données généralement réparties en  $3$  matrices ;

— les objets (lignes) sont communs aux  $3$  matrices (même dimension  $n$ , même ordre, mêmes étiquettes).

# Représentation matricielle des données

$p = 45$  descripteurs espèces  
(code dominance)  
 $n = 7$  objets relevés

matrice « espèces »  $Y_{np}$

	<i>Dryopteris flix-mas</i>	<i>Dryopteris carthusiana</i>	<i>Dryopteris dilatata</i>	<i>Athyrium flix- femina</i>	<i>Agrostis capillaris</i>	<i>Dactylis glo. glomerata</i>	<i>Polygonatum verticillatum</i>	<i>Silene dioica</i>
1115	1	0	0	1	0	0	1	0
1342	0	0	0	0	0	0	1	0
3107	1	1	0	0	1	1	2	0
3307	0	0	0	0	0	1	2	0
3503	1	2	1	2	1	1	2	2
4208	0	0	0	0	1	1	2	0
21653	0	0	0	0	0	0	0	0

matrice « environnement »  $X_{np'}$

	pente	exposition	altitude	valF	valL	valT	valR
1115	6	N	1215	3,15	2,54	2,96	2,97
1342	10	S	1160	3,06	2,84	2,97	2,95
3107	5	N	1220	3,03	2,53	3,05	2,9
3307	0	S	1060	3	2,71	2,8	3,03
3503	5	E	1220	3,13	2,24	2,79	2,82
4208	5	W	1380	2,79	2,5	2,87	3,31
21653	15	E	1360	3,01	2,99	2,96	2,96

matrice « spatiale »  $Z_{np}$

$p' = 7$  descripteurs  
environnementaux (de  
différents types)  
 $n = 7$  objets relevés

# Codage des données

pour pouvoir être traitées les données qualitatives doivent être **codées** :

exemple : codage d'une **variable qualitative multiclasse** en **plusieurs variables binaires** (dummy variables) ;

une des 4 variables binaires peut être **éliminée** (n'importe laquelle) car il n'y a que 3 variables indépendantes.

N	E	S	W
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1

Matrice environnement après codage des variables qualitatives  
 $p' = 9$  descripteurs environnementaux (de différents types)  
 $n = 7$  objets relevés

	pente	altitude	valF	valL	valT	valR	N	E	S
1115	6	1215	3,15	2,54	2,96	2,97	1	0	0
1342	10	1160	3,06	2,84	2,97	2,95	0	0	1
3107	5	1220	3,03	2,53	3,05	2,90	1	0	0
3307	0	1060	3,00	2,71	2,80	3,03	0	0	1
3503	5	1220	3,13	2,24	2,79	2,82	0	1	0
4208	5	1380	2,79	2,50	2,87	3,31	0	0	0
21653	15	1360	3,01	2,99	2,96	2,96	0	1	0

# Transformation des données

Les données doivent, la plupart du temps, être **transformées** pour les rendre compatible avec les traitements statistiques :

rendre **quantitatifs** des descripteurs **semi-quantitatifs** : transformation des codes de dominance en recouvrements moyens ;

rendre **comparables** des descripteurs mesurés dans des **unités différentes** (standardisation des vecteurs descripteurs) :

— cadrage des valeurs entre 0 et 1 ou entre -1 et 1 (ranging) ;

— centrage autour de 0 (centering) ;

● moyenne = 0

— réduction (scaling) ;

— centrage et réduction (standardization).

● moyenne = 0

● écart-type = 1

# Transformation des données

— [ Améliorer la **distribution des descripteurs** (simple transformation des données) :

— transformation par la **racine carrée** ;

— transformation par le **logarithme** ;

— transformation par **l'arcsinus** (proportions).

# Transformation des données

— [ **Rendre comparables** des objets dont les descripteurs ont des valeurs très différentes :

— **transformation** des abondances, recouvrements ou fréquences absolus en valeurs relatives (proportions par objet) :

— division par la somme des valeurs mesurées pour toutes les espèces d'un relevé ;

— somme par relevé = 1.

— **normalisation** des vecteurs objets :

— chaque valeur est divisée par la norme (longueur) du vecteur objet ;

— la norme de chaque vecteur objet est ajustée à 1.

# Logiciels disponibles

**R 2.6.2** pour Windows, Mac OS X ou Linux :

calcul matriciel, statistiques multivariées, groupement, ordination, etc.  
logiciel statistique polyvalent, open source, clone de S-Plus ;

packages dédiés à l'écologie numérique: vegan (Oksanen), ade4 (Chessel).

**CANOCO 4.5** pour Windows (3.1 pour Mac OS 9) :

logiciel commercial de référence (Ter Braak).

**MVSP 3.1** pour Windows :

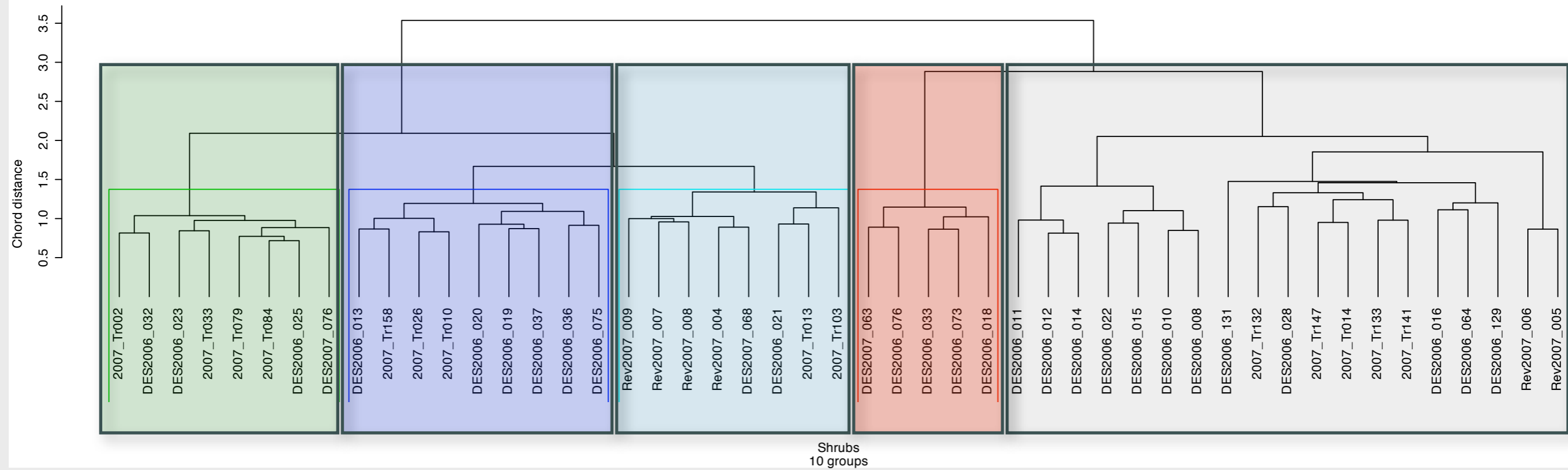
logiciel commercial, simple à utiliser.

**Progiciel R 4.0d6** pour Mac OS 9 (environnement Classic) :

domaine public, développement inachevé (Legendre).



Minimum variance clustering (reordered)



# Analyse des discontinuités : les techniques de groupement

# Principes généraux

— [ **Groupement** (clustering, cluster analysis) = recherche de discontinuités dans la matrice de données (méthode non supervisée) :

— **tri et partitionnement** des objets ou des descripteurs ;

— **formation de groupes** (clusters) d'objets ou de descripteurs.

— [ En écologie, les groupes sont généralement **flous** (multiples gradients, variation continue) :

— démarche **heuristique** : découverte de **structures** dans les données (class discovery) ;

— **typologie** : **identification** d'un nombre défini de types d'objets (ou de descripteurs) ;

— **classification hiérarchique** : représentation des **affinités** entre objets (ou descripteurs) par un **dendrogramme**.

# Choix d'un critère de ressemblance

— [ Les méthodes de groupement se basent presque toujours sur une **matrice d'association** :

— (dis)similarité ou **distance** entre les objets (mode **Q**) ;

— **dépendance** entre les descripteurs (mode **R**).

# Mesures d'association entre objets (mode Q)

## indices de similarité :

- bornés entre 0 et 1 ;
- 1 pour deux objets identiques.

## indices de dissimilarité :

- bornés entre 0 et 1 ;
- 0 pour deux objets identiques.

## indices de distance :

- pas de borne supérieure (ou  $> 1$ ) ;
- 0 pour deux objets identiques.

Un indice de similarité peut être simplement converti en indice de dissimilarité et réciproquement.

# Choix d'un critère de décision

— [ Deux objets (ou descripteurs) sont-ils assez **semblables** pour faire partie d'un **même groupe** ?

— [ La plupart des méthodes considèrent des groupes **mutuellement exclusifs** :

— un objet (ou un descripteur) ne peut appartenir qu'à un seul groupe au même niveau hiérarchique (hard or crisp partition) ;

— [ alternative : la théorie des **ensembles flous** (fuzzy sets) :

— à chaque objet (ou descripteur) est associée une **probabilité** d'appartenir à chaque groupe (fuzzy partition).

# Choix d'un algorithme de groupement

## groupement non hiérarchique (partition clustering) :

- une simple partition d'objets ou de descripteurs ;
- le nombre de groupes est fixé au départ.

## groupement hiérarchique (hierarchical clustering) :

- dans un dendrogramme, des groupes de rang hiérarchique inférieur se regroupent dans des groupes de rang hiérarchique supérieur .

## construction séquentielle du dendrogramme :

- par **agglomération** (classification hiérarchique ascendante) : le dendrogramme est construit de manière ascendante, de  $n$  (ou  $p$ ) groupes à 1 groupe ;
- par division (classification hiérarchique descendante) : le dendrogramme est construit de manière descendante, de 1 groupe à  $n$  (ou  $p$ ) groupes.

le nombre de groupes dépend du choix d'un **niveau de coupure**.

# Principales méthodes de groupement hiérarchique

groupement **agglomératif à liens simples ou complets** ;

groupement **agglomératif moyen** ;

modèle **général de Lance et Williams** ;

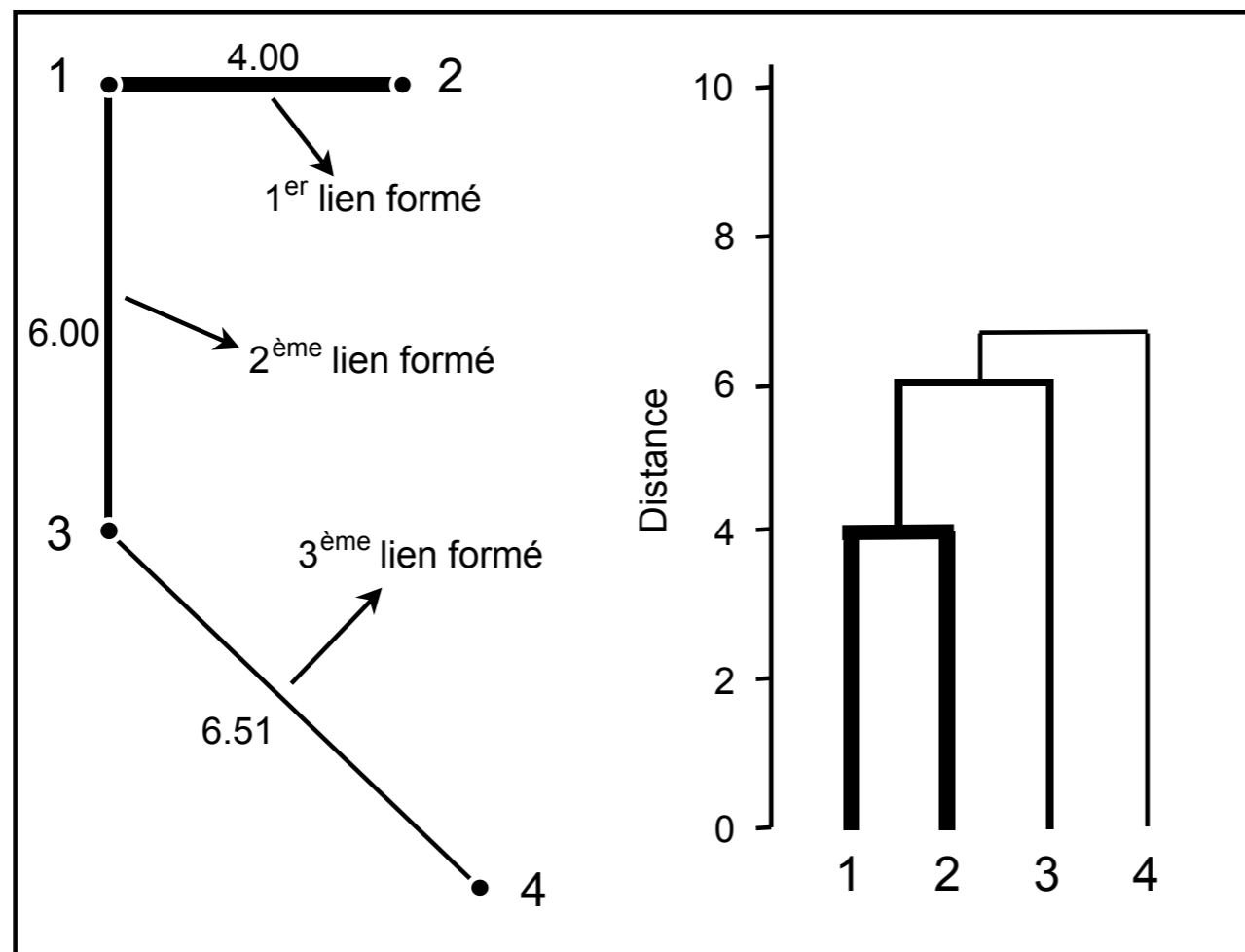
groupement **agglomératif de Ward** : c'est la méthode qui semble donner les meilleurs résultats en **typologie phytosociologique**.

# Groupement agglomératif à liens simples

*Single linkage clustering, nearest neighbour clustering*

La distance entre deux groupes est la plus petite dissimilarité entre un point dans un groupe et un point dans l'autre groupe

Fusion des objets les plus proches : un objet isolé se rattache au groupe auquel appartient l'objet situé à la plus faible distance



Enchaînement des objets selon l'ordre des distances

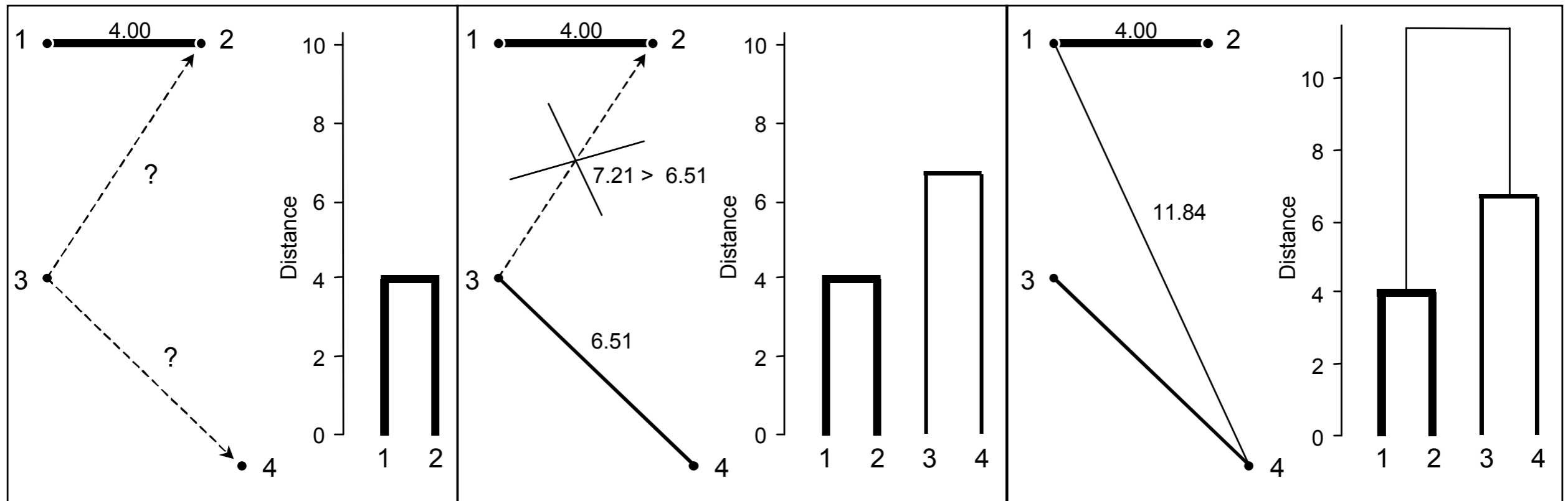


# Groupement agglomératif à liens complets

*Complete linkage clustering, furthest neighbour clustering*

La distance entre deux groupes est la plus grande dissimilarité entre un point dans un groupe et un point dans l'autre groupe

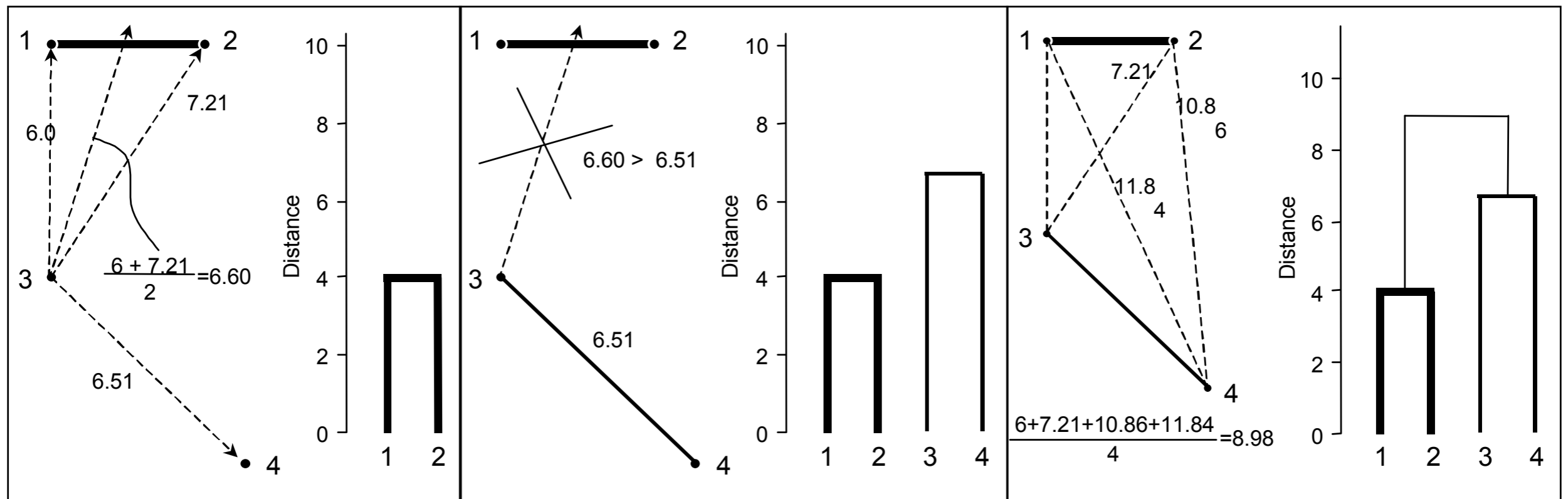
Fusion entre groupes A et B si la distance entre les deux objets les plus éloignés de A et B est plus petite que n'importe quelle autre distance avec un objet (ou groupe) libre ou entre objets (ou groupes) libres



# Groupement selon l'association moyenne *UPGMA*

*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic averages*

La distance entre deux groupes est la moyenne des dissimilarités entre les points dans un groupe et les points dans l'autre groupe  
 Fusion entre groupes A et B si la moyenne des distances entre les objets de A et B est plus petite que la moyenne des distances avec un objet (ou groupe) libre ou entre objets (ou groupes) libres



# Méthode de Ward

— [ minimise la variance à l'intérieur des groupes ;

— [ à chaque étape, l'algorithme recherche la paire d'objets ou de groupes dont la fusion augmente le moins possible la somme des carrés des distances entre objets et centroïdes des groupes ;

— [ méthode élégante et robuste mais supposant théoriquement une mesure d'association métrique et euclidienne ;

# Méthode de Ward

— [ utilisation d'une matrice d'association avec un **indice de distance de corde** : bornée, métrique, asymétrique (ne tenant pas compte des doubles zéro) et euclidienne ;

— [ **indice de corde** : racine carrée de la somme des carrés des différences entre les valeurs des descripteurs après normalisation des vecteurs objets ;

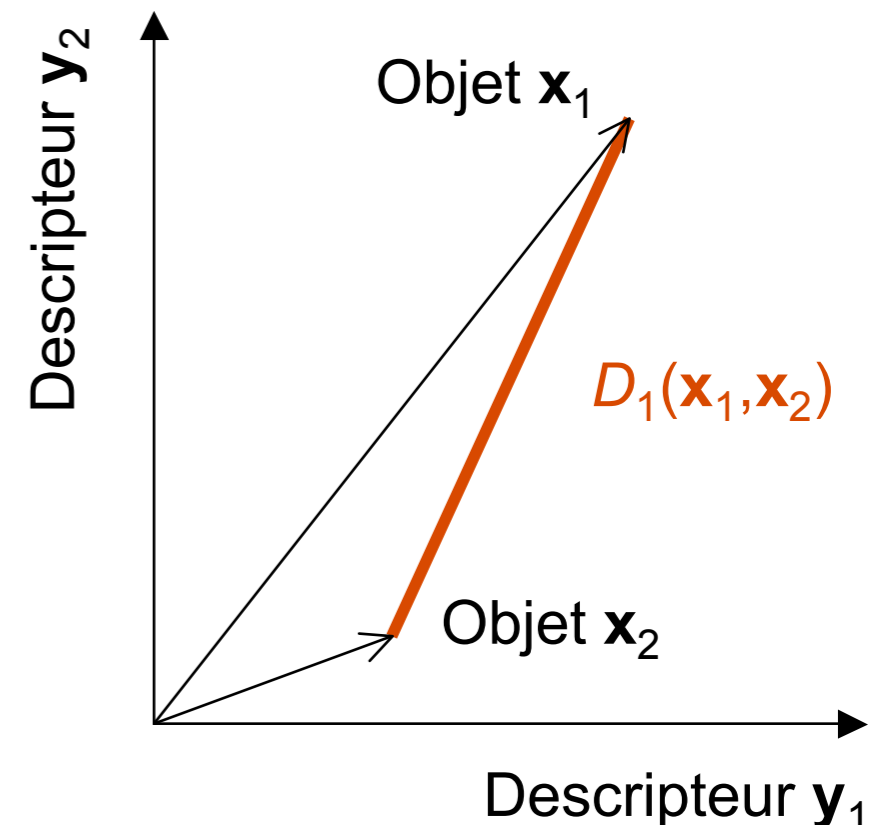
— [ tend à produire des dendrogrammes avec des **groupes compacts de taille égale**.

# Distances entre objets pour autres données quantitatives (mode Q)

## o Distance euclidienne (*euclidean distance*)

- Racine carrée de la **somme des carrés** des différences entre les valeurs des descripteurs
  - $y_{ij}$  = valeur du descripteur  $j$  pour l'objet  $i$
  - $p$  = nombre de descripteurs
- Utilisée dans l'analyse en composantes principales
- Pas de borne supérieure
  - Dépend de l'échelle des variables
  - Calculée de préférence **après standardisation** des descripteurs
- Métrique
- Symétrique

$$D_1(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \sqrt{\sum_{j=1}^p (y_{1j} - y_{2j})^2}$$



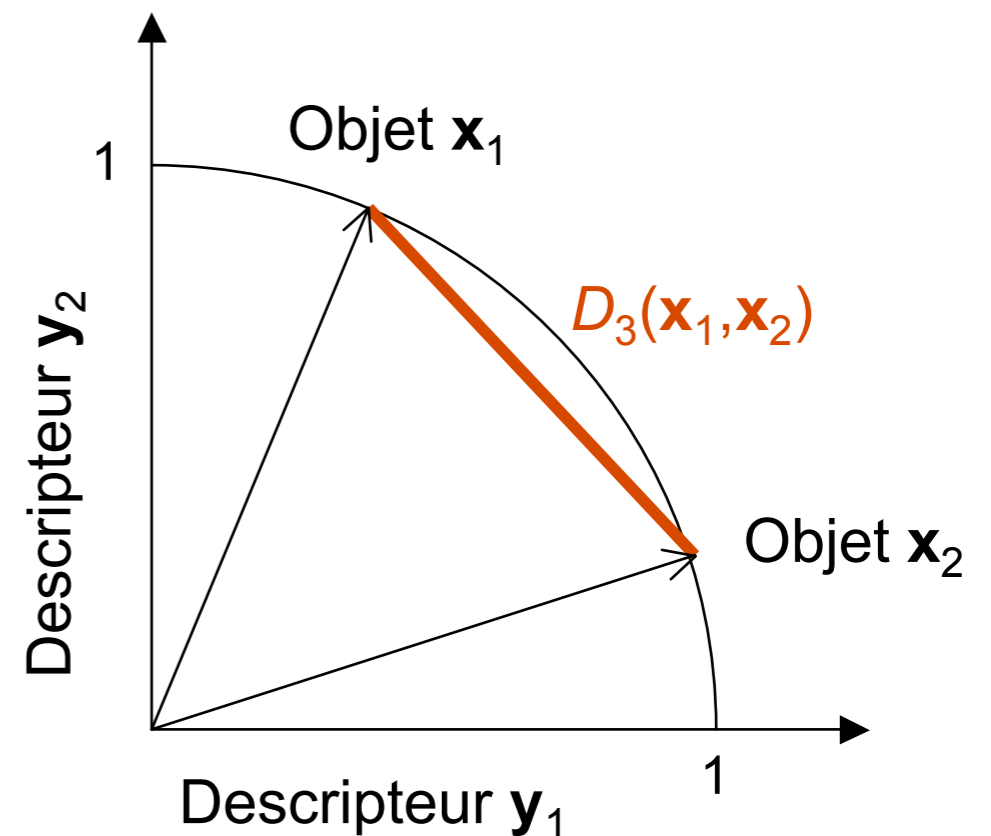
# Distances entre objets pour autres données quantitatives (mode Q)

## o Distance de corde (*chord distance*)

- Racine carrée de la somme des carrés des différences entre les valeurs des descripteurs **après normalisation des vecteurs objets**
- Bornée entre 0 et  $2^{0.5}$
- Métrique
- Asymétrique

Calcul direct

$$D_3(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \sqrt{2 \left( 1 - \frac{\sum_{j=1}^p y_{1j} y_{2j}}{\sqrt{\sum_{j=1}^p y_{1j}^2} \sqrt{\sum_{j=1}^p y_{2j}^2}} \right)}$$



# Exemple d'application

matrice espèces de dimension 10 relevés x 124 espèces

	X1PlaLan	X1ColAut	X1LeuVul	X1CenJac	X1CreBie	X1CynCri	X1FesPra	X1Hollan	X1RanAcr
p0499	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1,0	1,0	0.5	0.0
p0504	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1,0	1,0	0.0	0.0
p0009	0.5	0.5	1.0	0.5	3.0	1,0	1,0	0.0	1.0
p0401	2.0	0.5	0.5	1.0	0.0	2,0	3,0	1.0	3.0

normalisation des vecteurs : racine carrée et valeurs ramenées entre 0 et 1

	X1PlaLan	X1ColAut	X1LeuVul	X1CenJac	X1CreBie	X1CynCri	X1FesPra	X1Hollan	X1RanAcr
p0499	0,16439900	0,16439900	0,16439900	0,00000000	0,16439900	0,16439900	0,16439900	0,11624760	0,00000000
p0504	0,12598820	0,12598820	0,17817420	0,17817420	0,17817420	0,17817420	0,17817420	0,00000000	0,00000000
p0009	0,11111110	0,11111110	0,15713480	0,11111110	0,27216550	0,15713480	0,15713480	0,00000000	0,15713484
p0401	0,22645540	0,11322770	0,11322770	0,16012820	0,00000000	0,22645540	0,27735010	0,16012820	0,27735010

# Exemple d'application

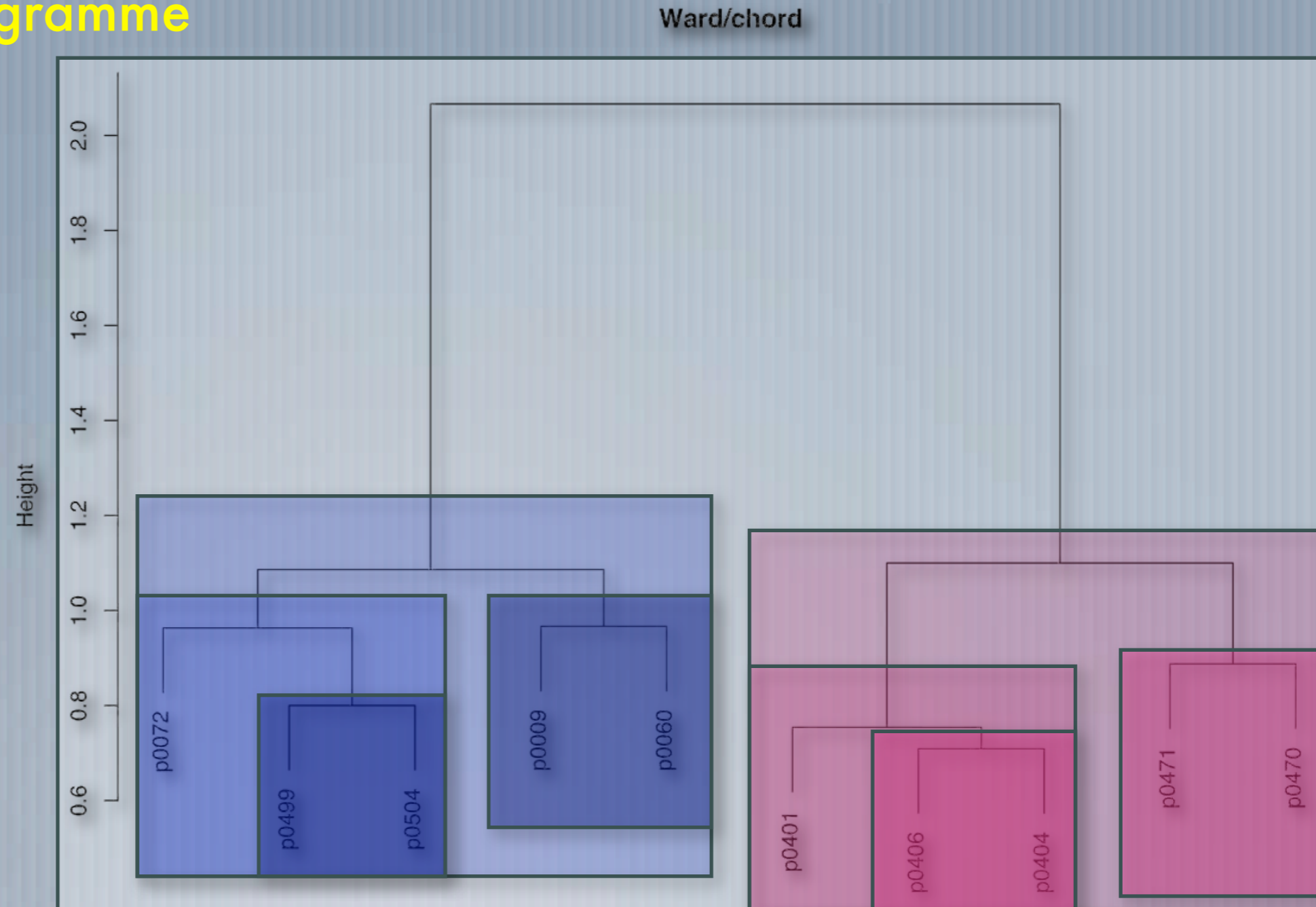
matrice d'association : distance de corde

	p0499	p0504	p0009	p0401	p0471	p0470	p0406	p0404	p0072
p0504	0,8002952								
p0009	0,9506805	0,948648							
p0401	1,1323876	1,0934632	1,1131315						
p0471	1,2094596	1,2860177	1,2153196	1,045024					
p0470	1,1265537	1,0926156	1,0521908	0,7882966	0,8875734				
p0406	1,1391716	1,177437	1,1249234	0,7737287	1,0132042	0,8891923			
p0404	1,1611669	1,1663233	1,0748401	0,7120426	0,9692949	0,8401874	0,7091339		
p0072	0,8917695	0,9536543	1,0004897	1,1190383	1,1886653	1,0873973	1,1745372	1,125445	
p0060	0,967509	1,0264107	0,9667039	1,0876284	1,1846628	1,0484561	1,1303952	1,1902338	1,0361875



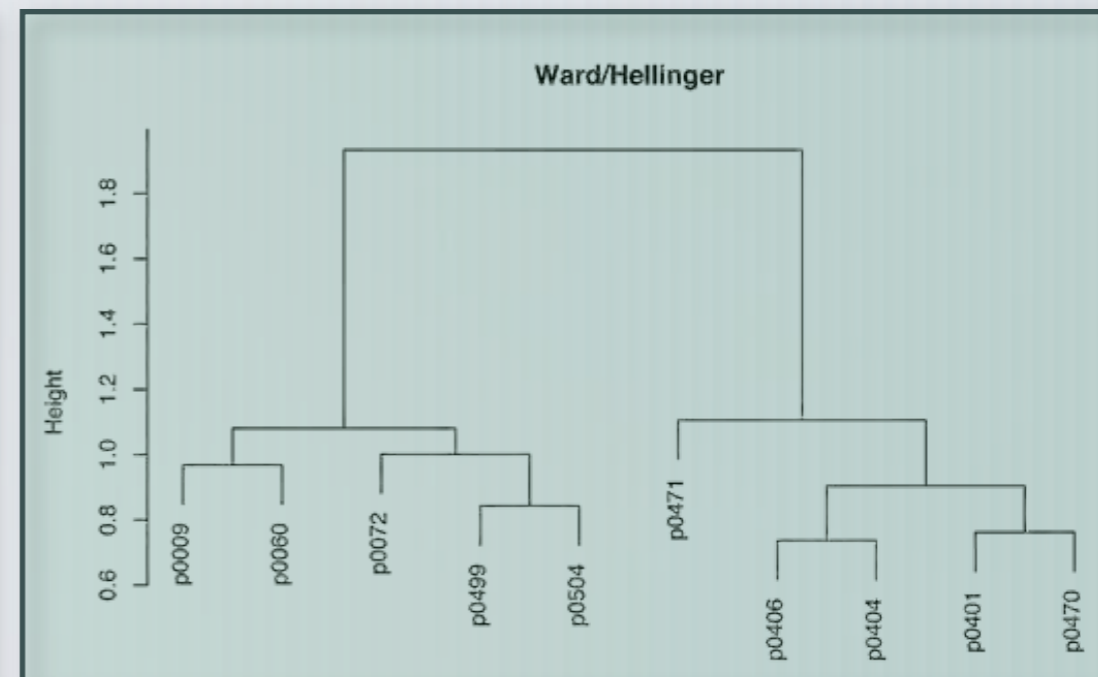
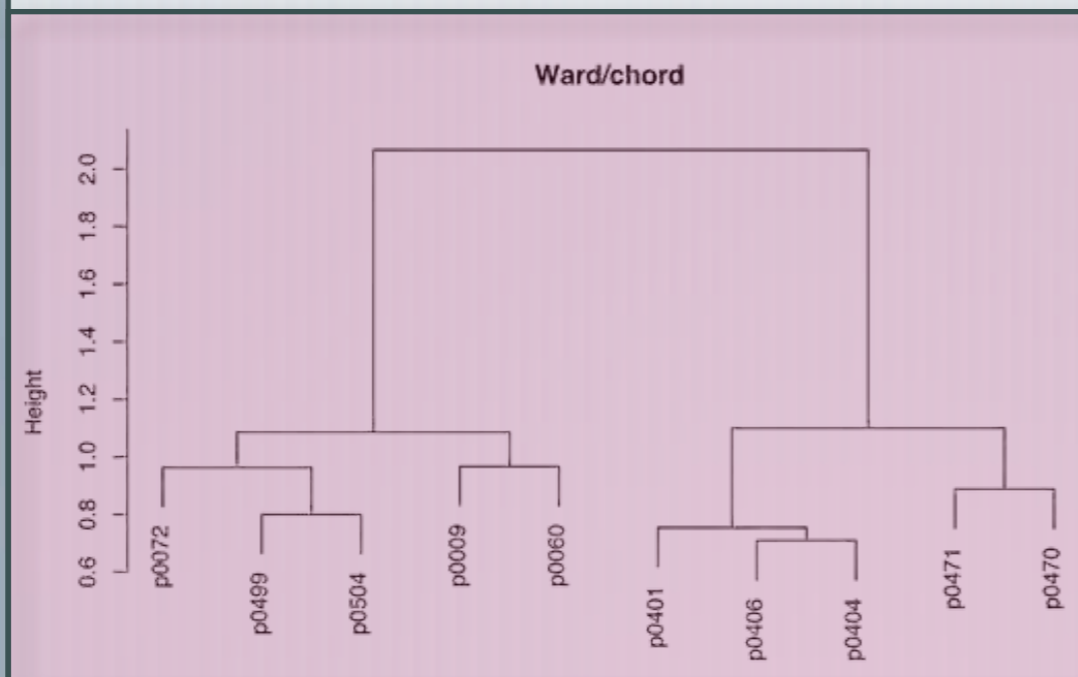
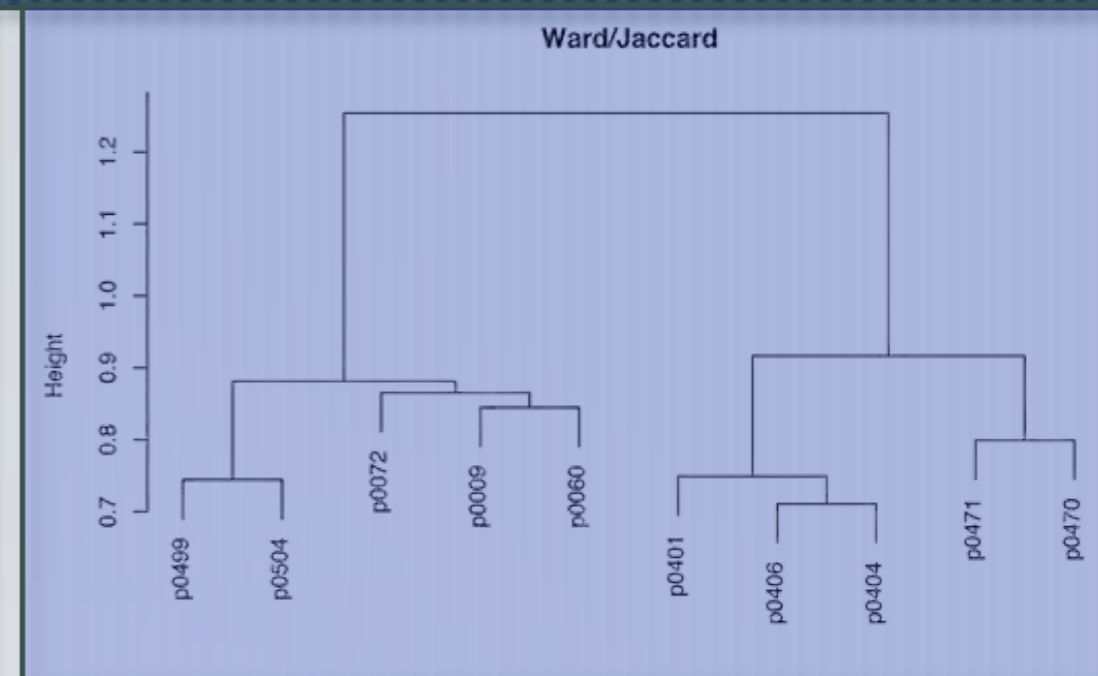
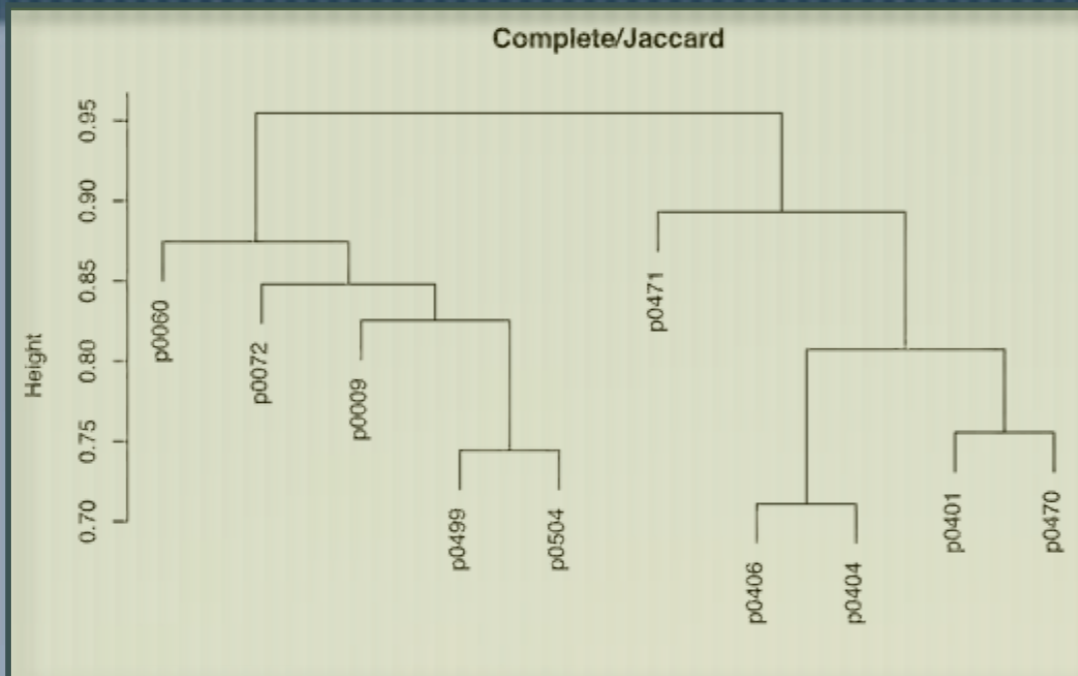
# Exemple d'application

Résultat : dendrogramme



# Exemple d'application

Comparaison  
avec d'autres  
méthodes



# Interprétation d'un dendrogramme

L'ordre des objets ou des descripteurs sur le dendrogramme ne doit pas être utilisé pour interpréter les ressemblances ;

un dendrogramme peut être assimilé à un mobile dont les branches (groupes) peuvent pivoter autour des nœuds (niveaux de fusion).

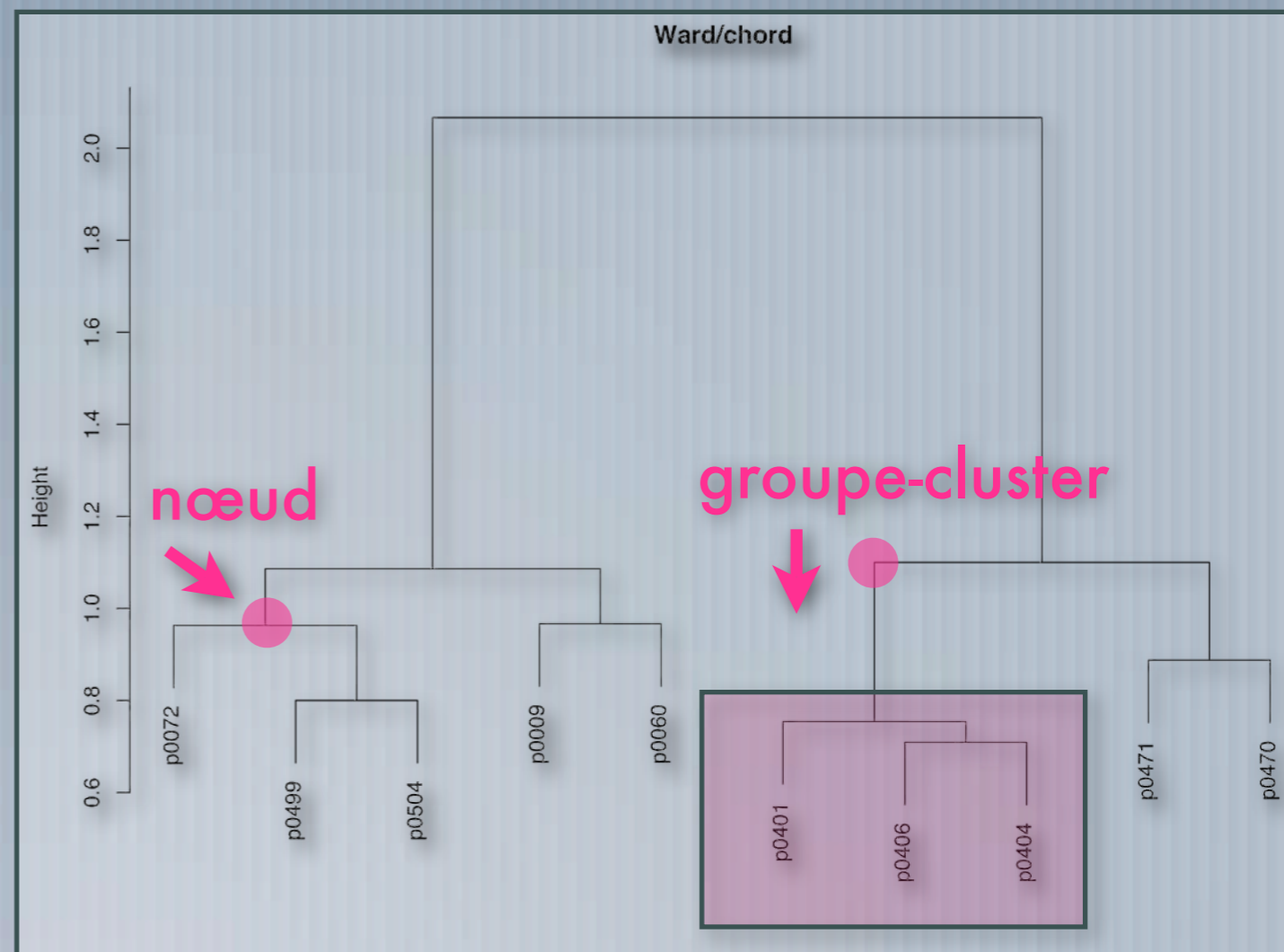
Choix du niveau de coupure pour une typologie :

il n'existe pas de méthode objective pour décider du nombre « optimal » de groupes ;

critère empirique : on essaie de couper les branches les plus longues ;

rien n'oblige de couper à un même niveau toutes les branches du dendrogramme ;

le critère prépondérant est lié à la possibilité d'interprétation biologique ou écologique des groupes obtenus.

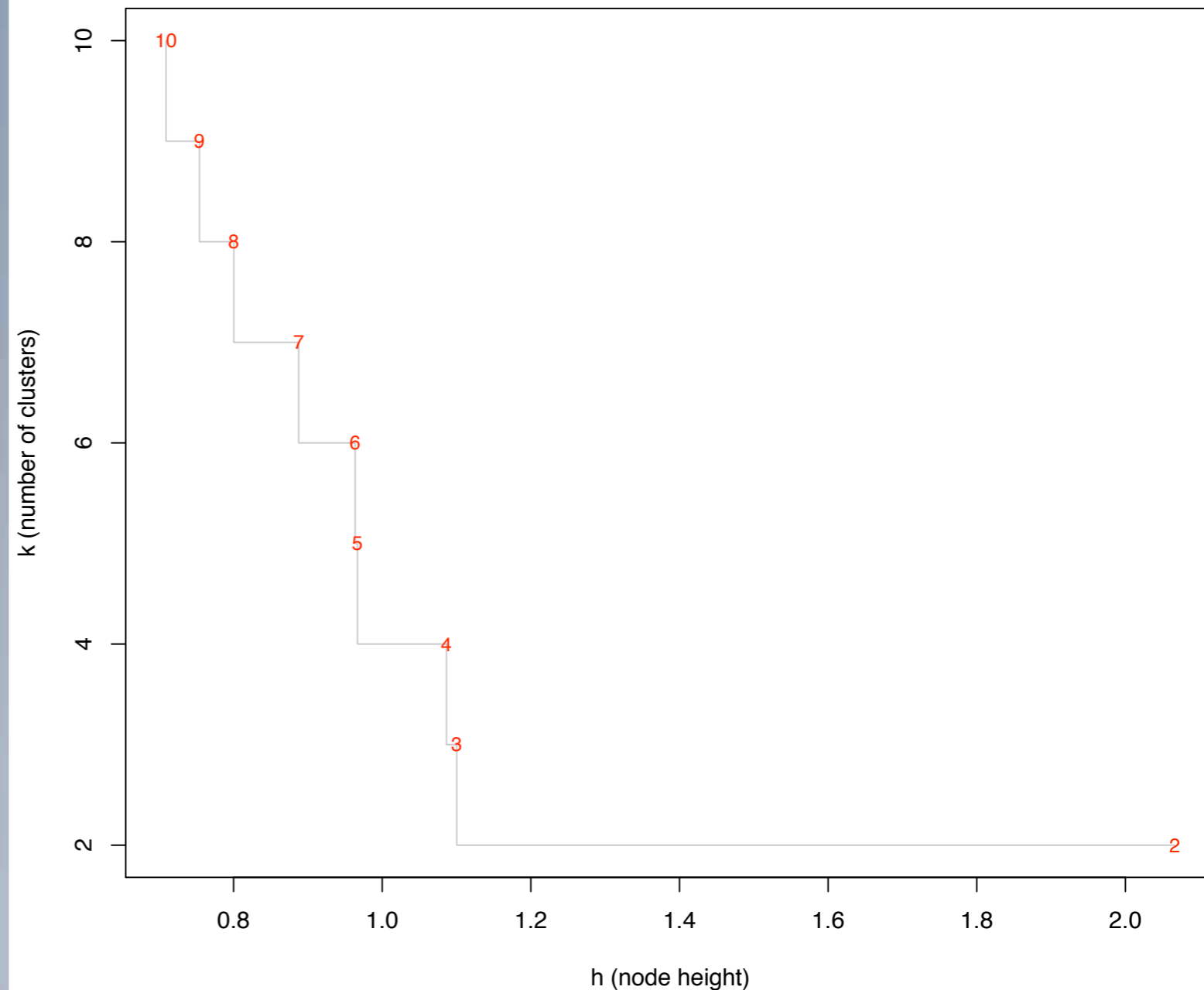


# Graphe des niveaux de fusion

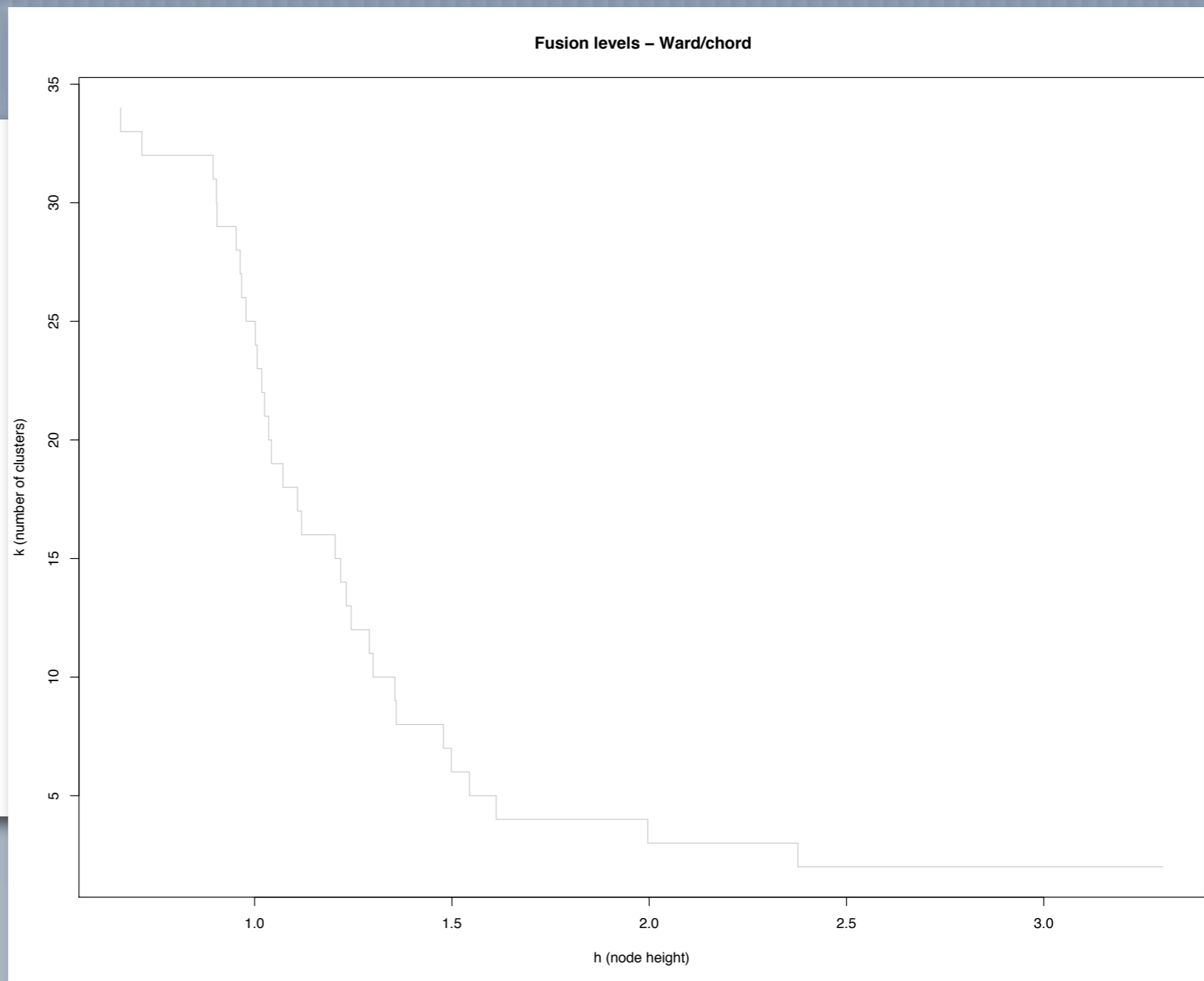
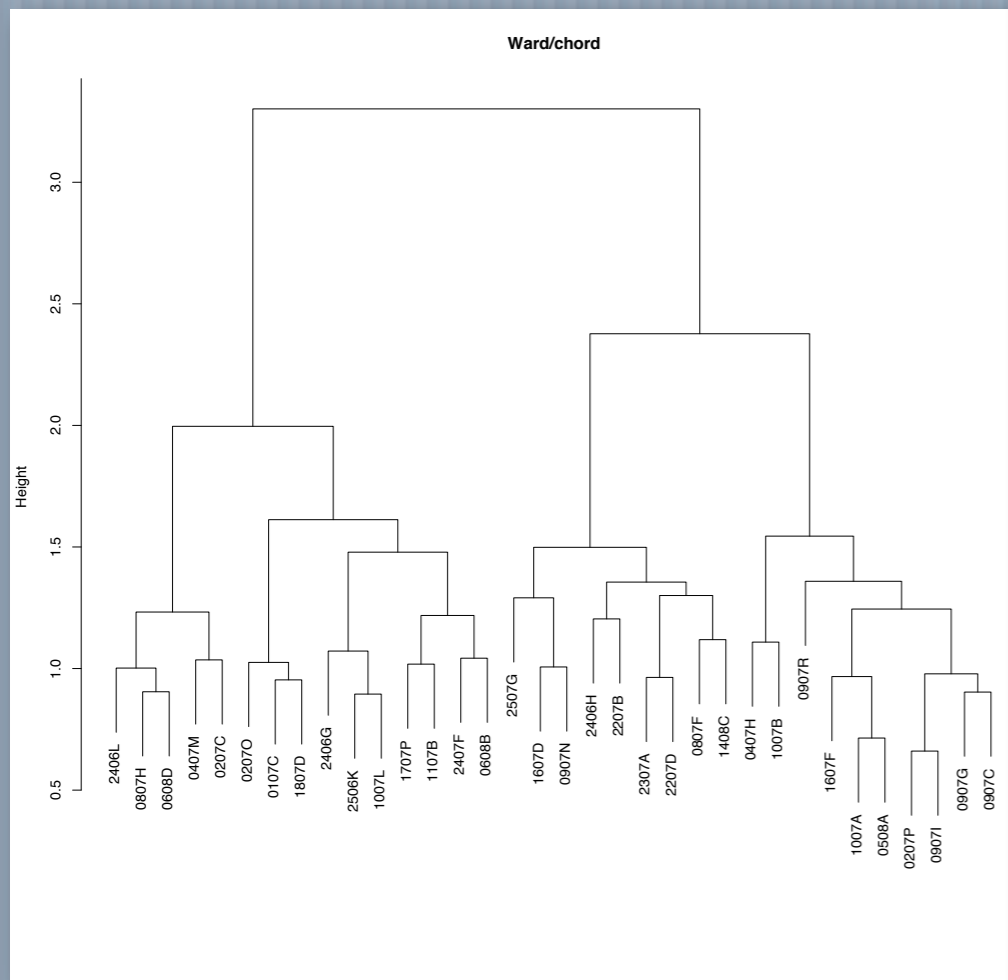
Représentation graphique de  $k$  (nombre de groupes) en fonction de  $h$  (niveau de fusion) ;

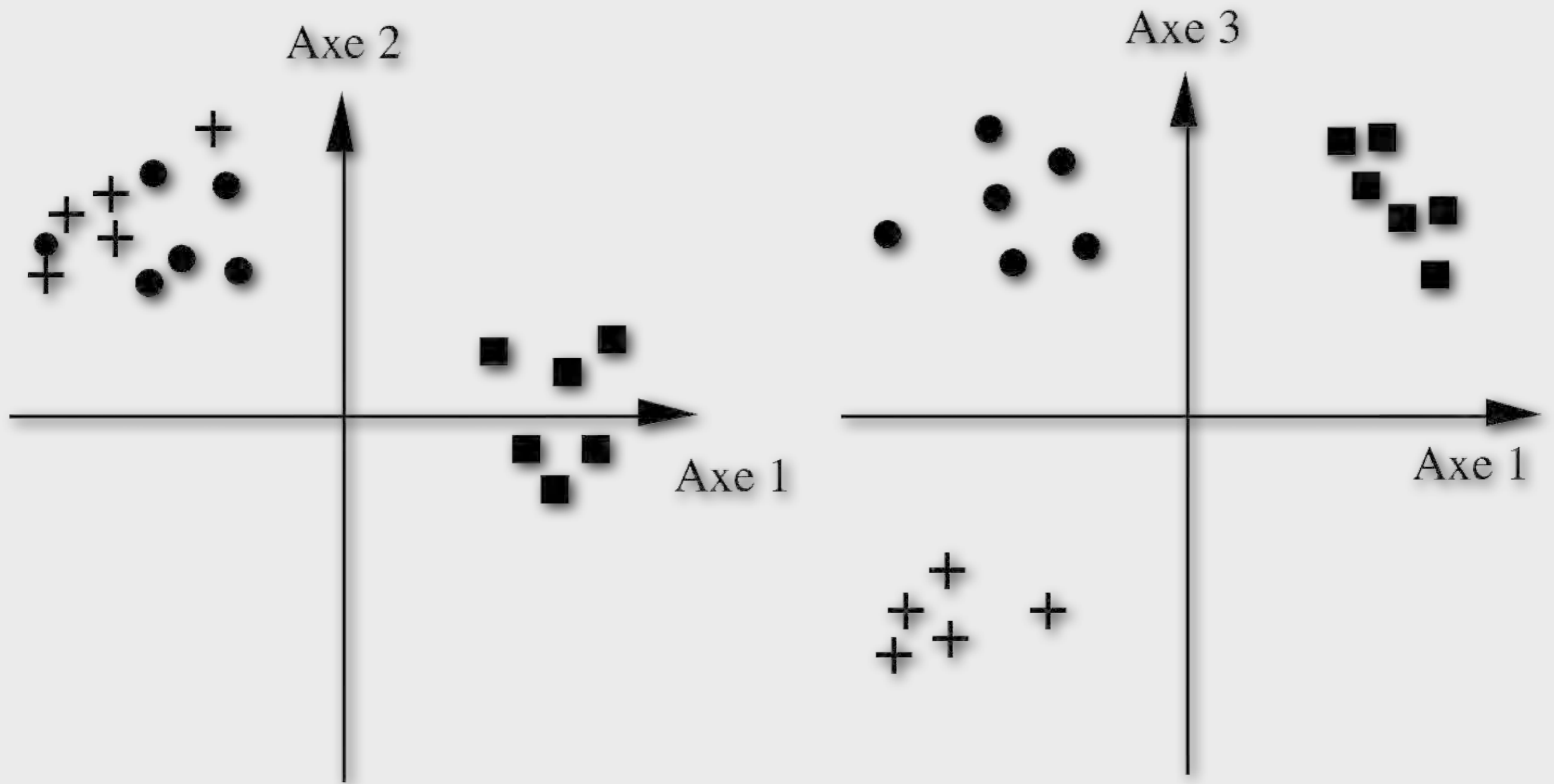
permet de décider du **niveau de coupure** pour une typologie (segment le plus long).

Fusion levels – Ward/chord



# Graphe des niveaux de fusion





# Analyse des gradients : techniques d'ordination en espace réduit

# Principe de l'ordination en espace réduit

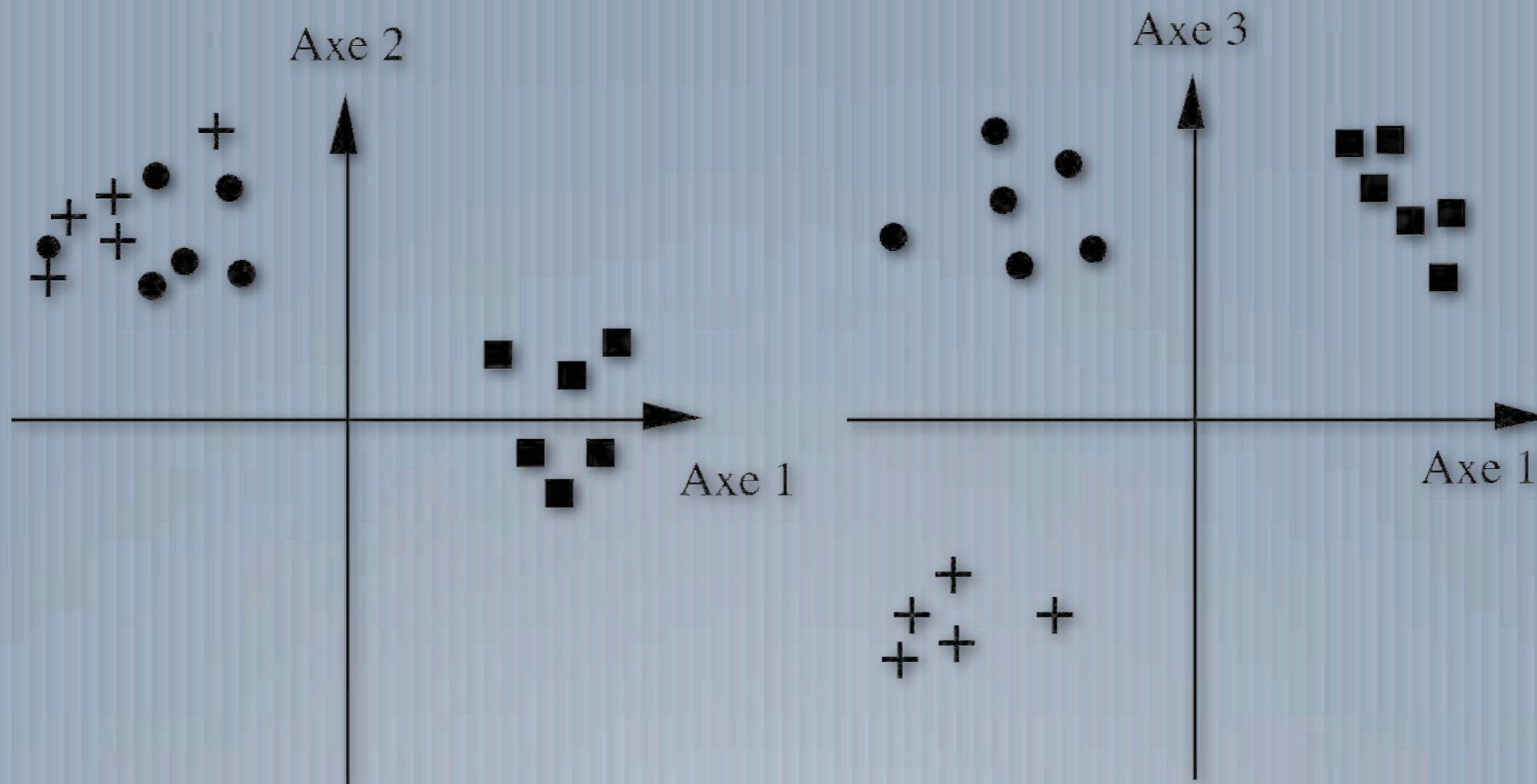
— [ **Transposer un nuage** de points-objets, situés dans l'espace initial des descripteurs, **dans un sous-espace** où les ressemblances entre objets sont représentées sur un petit nombre d'axes hiérarchisés :

— les nouvelles dimensions (composantes ou facteurs) du nuage des points objets sont représentés par des **axes orthogonaux** ;

— **chaque axe est indépendant du suivant** ;

— la variance est **maximale** sur **le premier axe** et diminue selon la hiérarchie des axes ;

# Principe de l'ordination en espace réduit



l'espace réduit est projetés sur un plan en choisissant **2 axes** ;

sur le **plan 1x2** deux groupes d'objets apparaissent, mais l'examen du plan **1x3** montre qu'en réalité un troisième groupe est distinct.



# Les différentes méthodes

— [ l'analyse de composante principale (**ACP** ou **PCA**) ;

— [ l'analyse factorielle des correspondances (**AFC** ou **CA**) ;

— [ l'analyse en coordonnées principales (**ACoP** ou **PCoA**) ;

— [ cadrage non métrique multidimensionnel (**NMDS**) : méthode non paramétrique.

# L'Analyse factorielle des correspondances

- Variante de l'ACP qui s'applique à un **tableau de contingence** :
  - on assimile une matrice objets x descripteurs à un tableau de contingence ;
  - les descripteurs doivent être de **même nature** (dimensionnellement homogènes) ;
  - **les valeurs négatives et les vecteurs nuls** (objets ou descripteurs) dans la matrice de données **ne sont pas supportés** ;
- Préserve dans l'espace réduit **la distance du Chi carré** :
  - méthode particulièrement bien adaptée aux données espèces en **présence-absence** ou en **recouvrements** ;
  - ne tient pas compte des **doubles zéro** dans l'estimation de la ressemblance.

# L'Analyse factorielle des correspondances

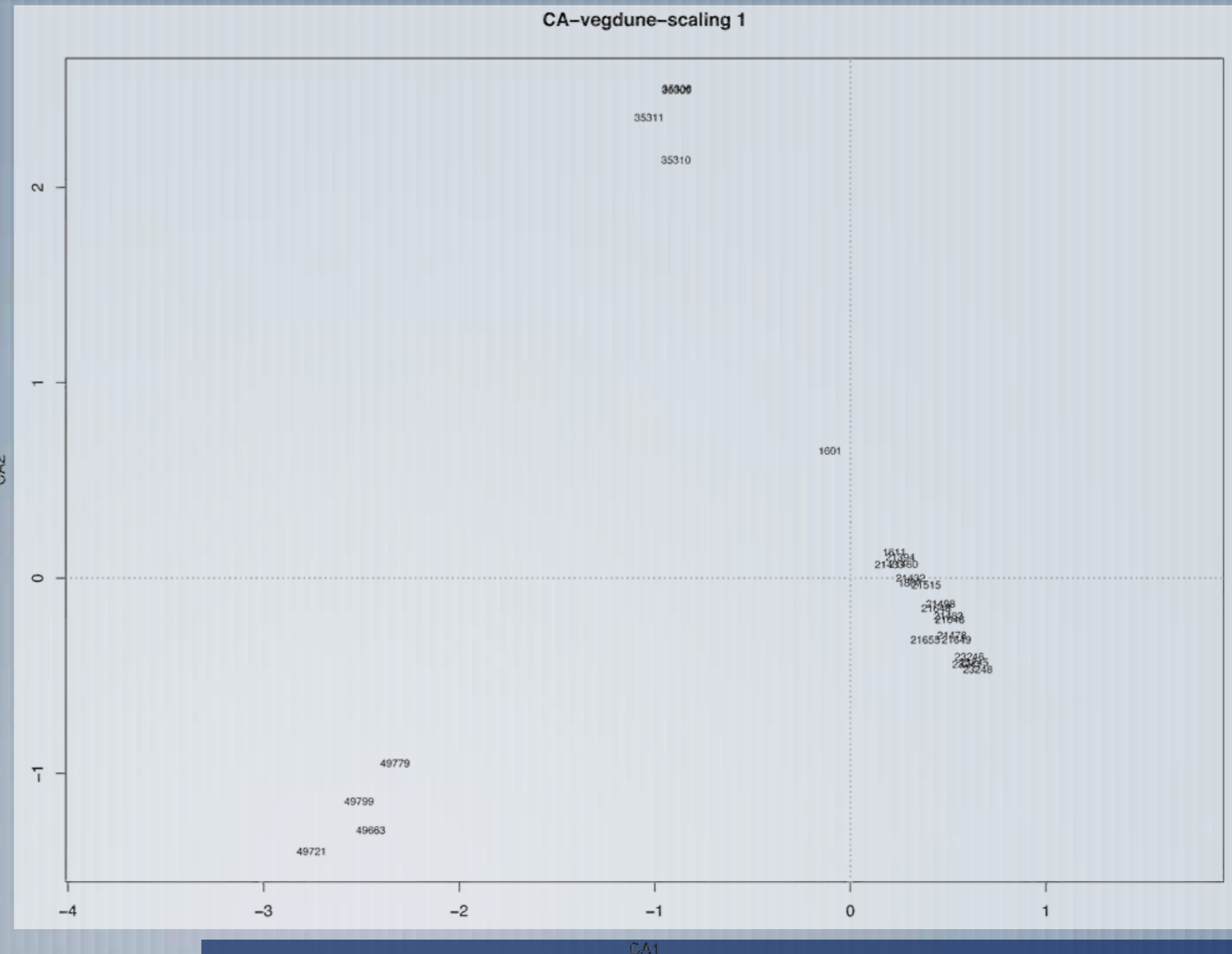
— [ l'AFC suit un **modèle unimodal** qui correspond aux courbes de réponse des organismes le long d'un gradient ;

— [ on cherche à construire les variables latentes (axes ou facteurs) **qui expliquent le mieux** les descripteurs (espèces).

# Interprétation d'une AFC

Les proximités entre objets, entre descripteurs, de même qu'entre objets et descripteurs s'interprètent en termes de ressemblance ou d'association mutuelle ;

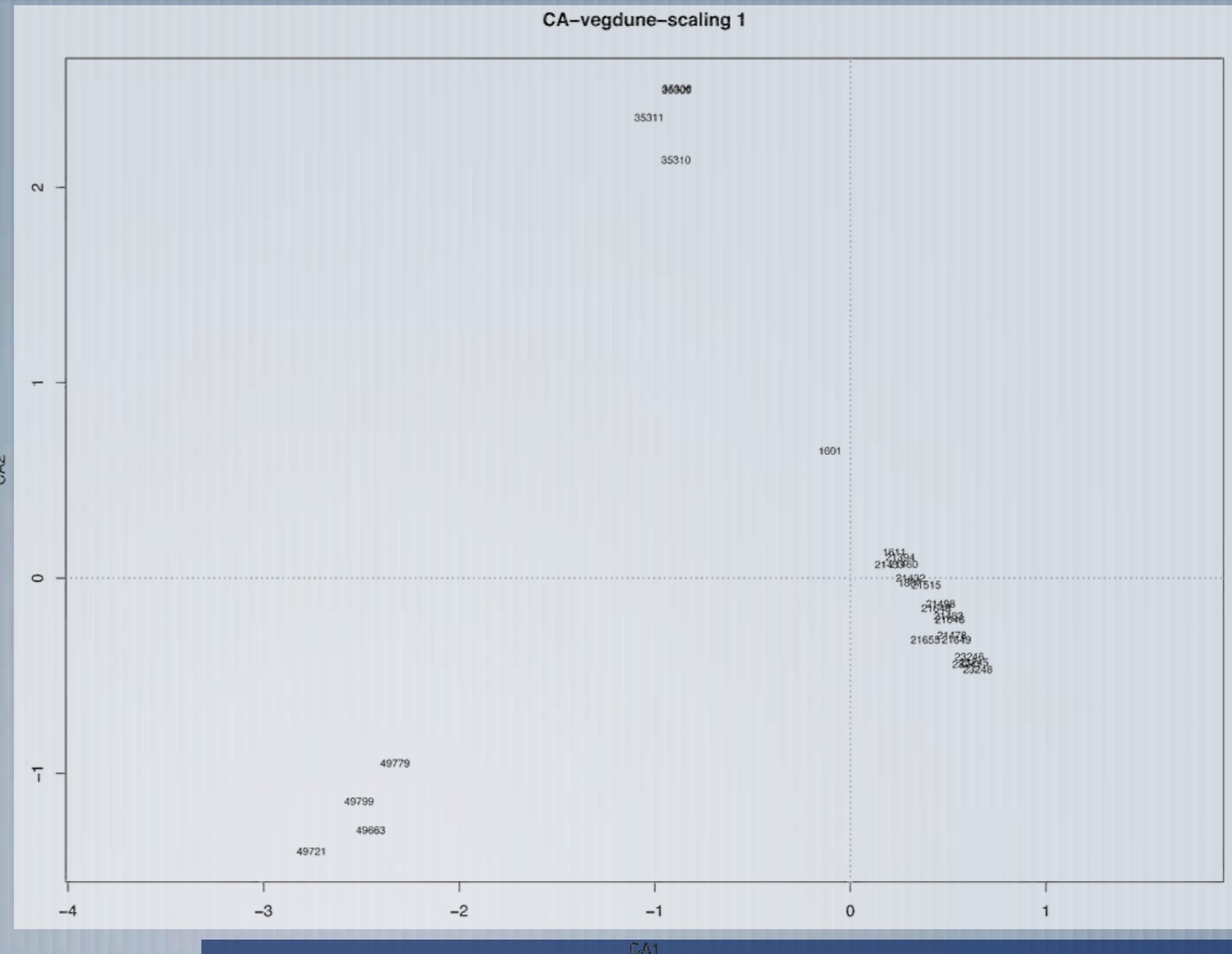
la projection des descripteurs sur les axes s'interprète comme leur optimum le long des axes écologiques latents représentés par ces axes ;



# Interprétation d'une AFC

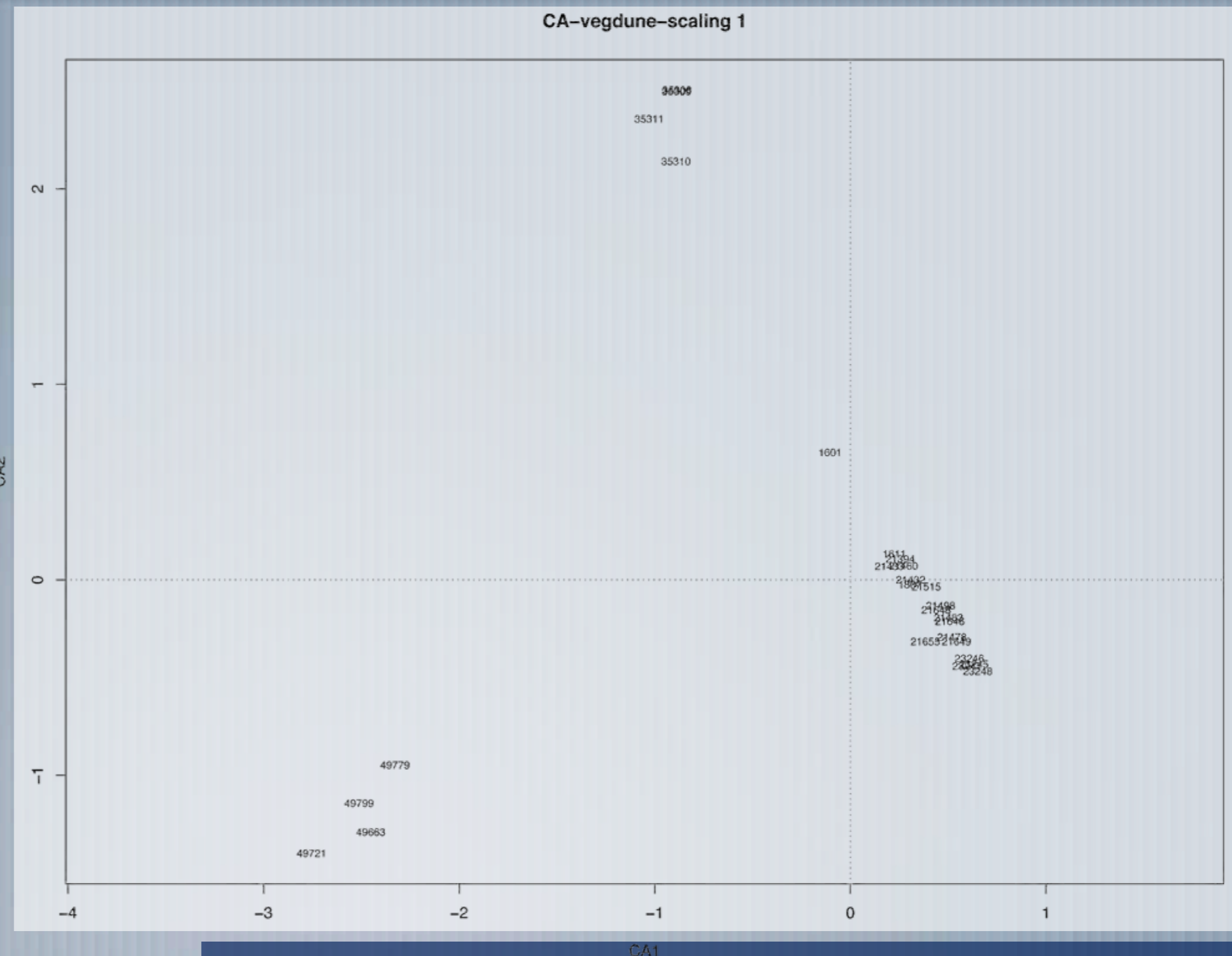
les points situés **loin de l'origine** sont le plus clairement **reliés** aux axes ;

les descripteurs situés près de l'origine correspondent soit à des espèces à distribution unimodale avec un optimum au centre, soit à des espèces à distribution bimodale, soit à des **points non reliés** avec les axes examinés ;



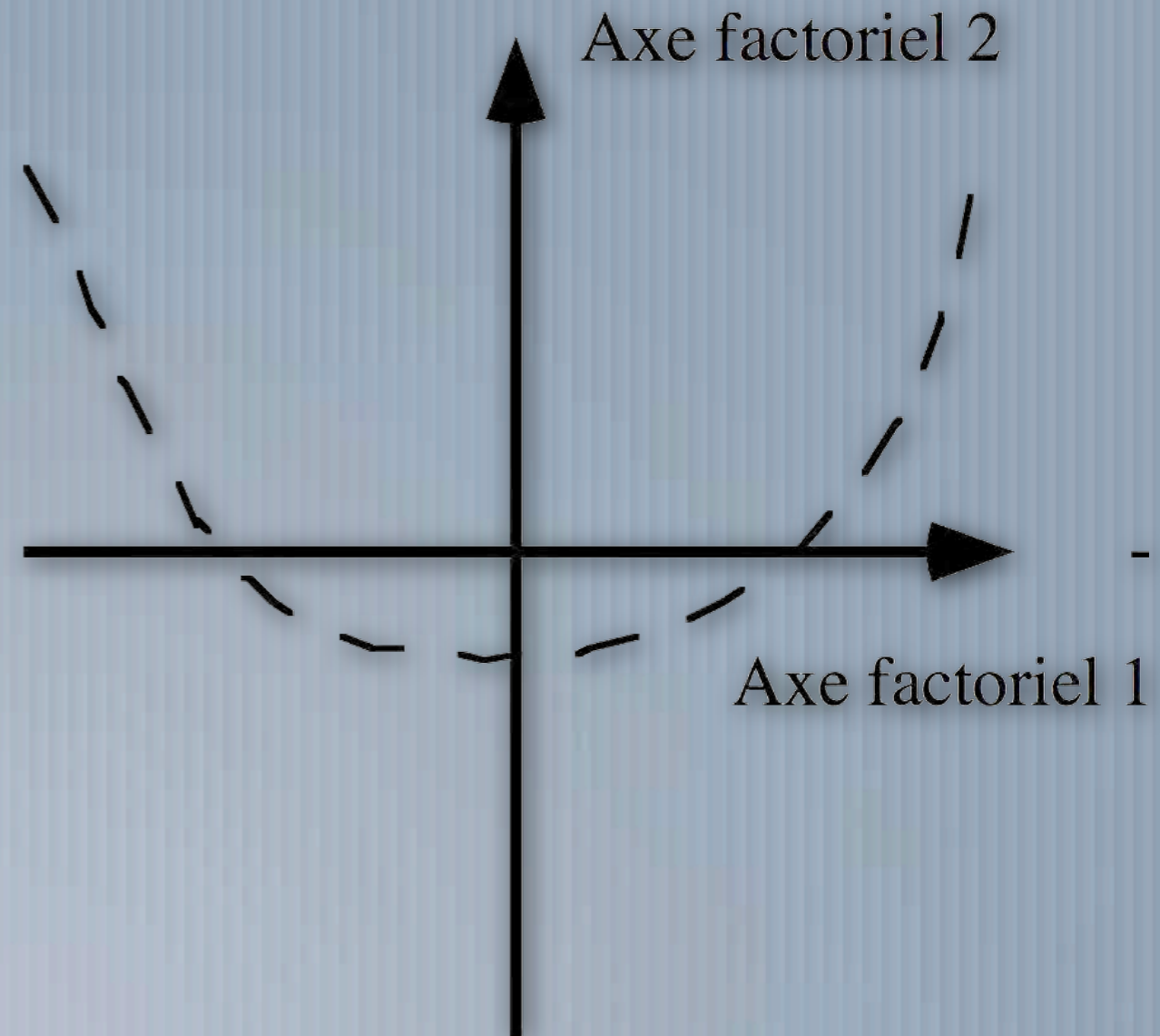
# Interprétation d'une AFC

les axes s'interprètent *a posteriori* en termes de **facteur écologique** (ou d'une combinaison de facteurs).



# L'effet Guttman

- Lorsque les données présentent une structure nettement **en gradient** les objets et descripteurs ont tendance à former une **parabole** sur le plan réduit ;
- les axes ont tendance à être **compressés** vers les extrémités ;
- ceci peut fausser l'interprétation en rapprochant des points (interprétation en terme de ressemblance) pourtant situés aux extrémités du gradient.

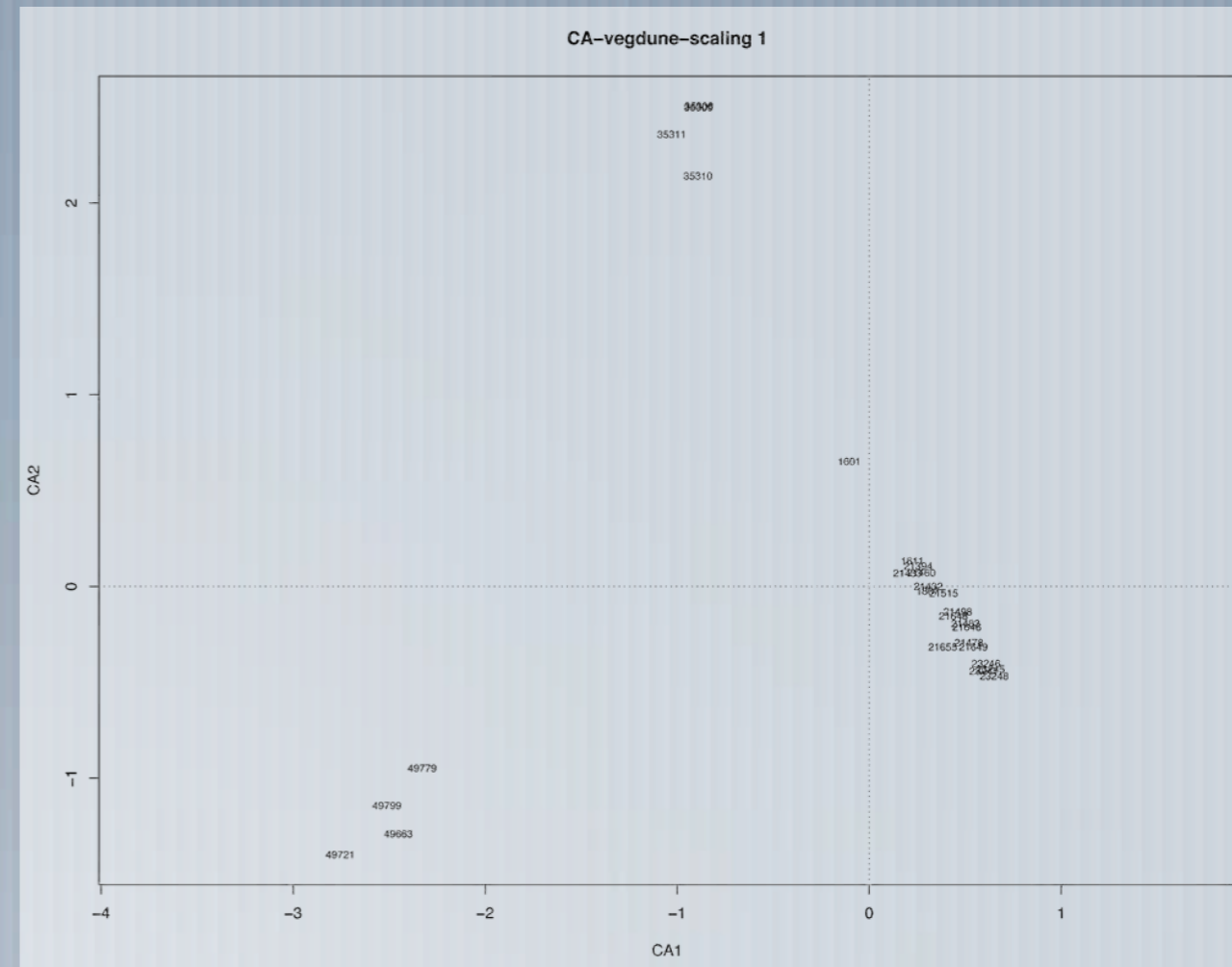


# Application aux données phytosociologiques

— l'AFC est **très sensible** aux espèces **peu fréquentes** :

— problème d'**agglutination** :  
compression du nuage de points sur les axes principaux ;

— **supprimer les espèces «rares»** (présentes 1, 2, 3... fois) de la matrice de données pour mieux représenter les gradients principaux.





# Application aux données phytosociologiques

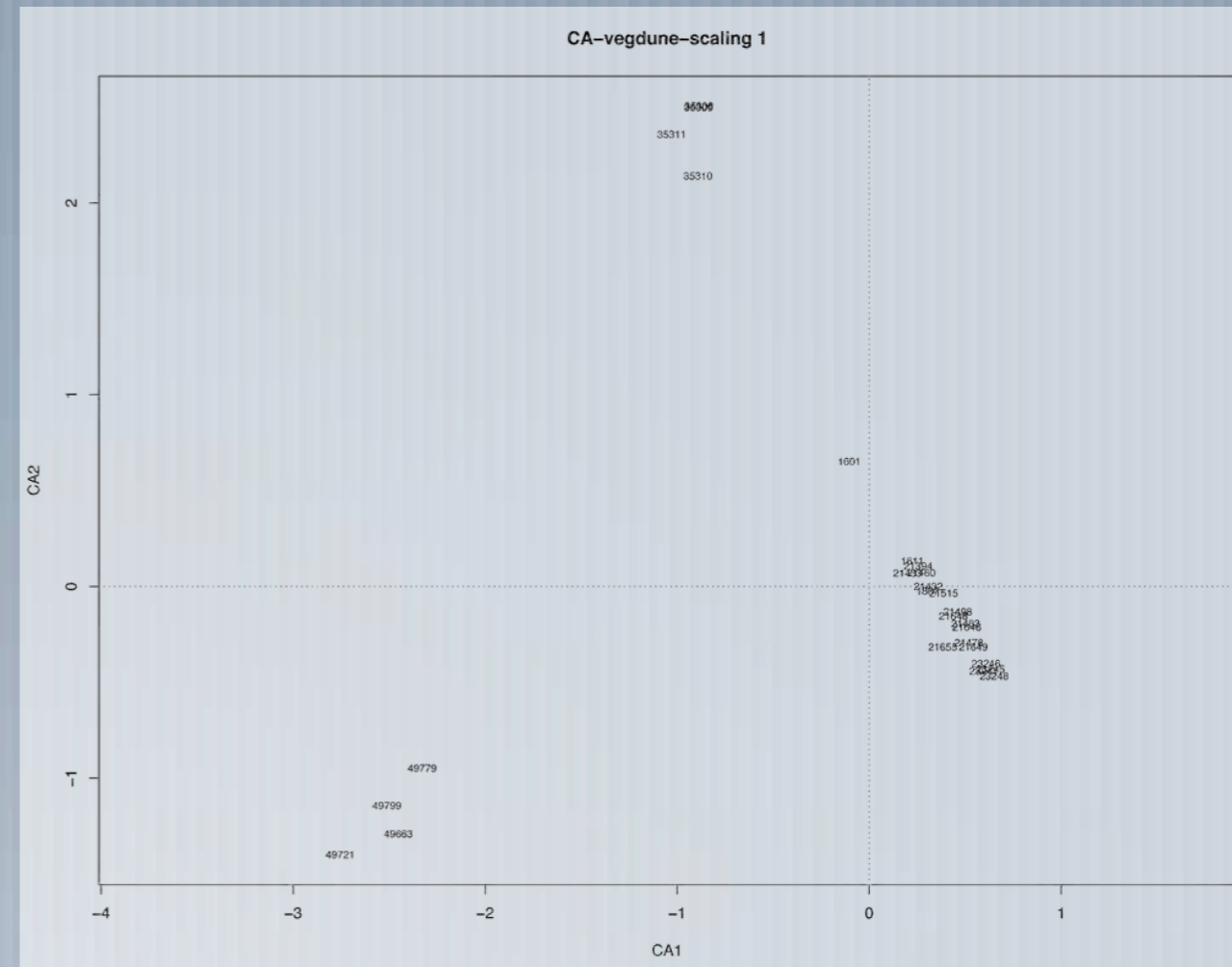
La somme des valeurs propres représente l'inertie totale de la matrice de données :

ne doit être ni trop faible, ni trop élevée ;

transformer les recouvrements par la racine carrée ou...

coder en présence-absence (1-0) ;

éliminer les espèces « rares » ou les relevés excentriques (outliers).

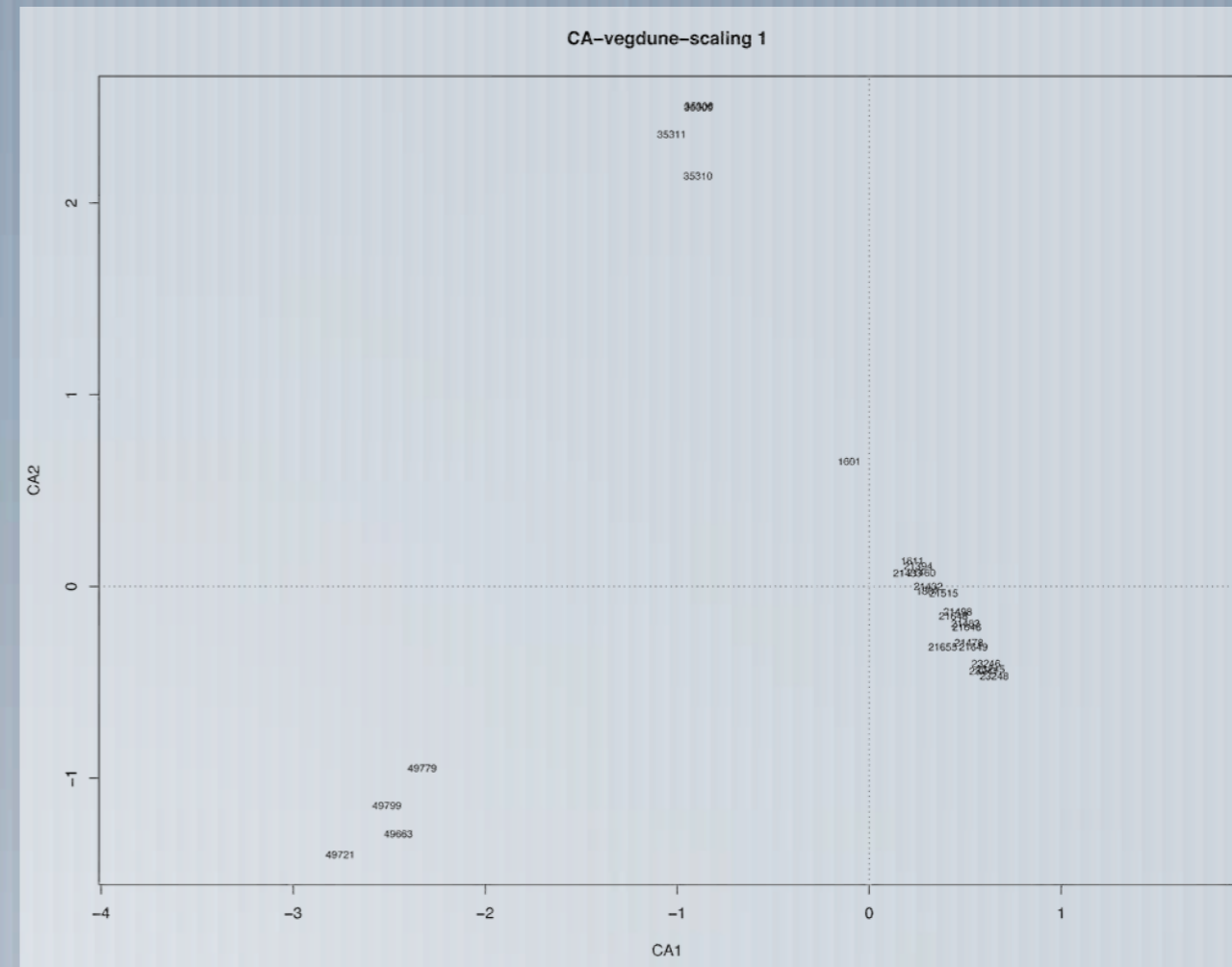


# Application aux données phytosociologiques

examiner au moins les plans **1x2** et **1x3** en tenant compte du **% de variance** représenté ;

imposer la **même échelle** sur les deux axes d'un graphe d'ordination et préciser si cette échelle est différente pour la double projection des objets et des descripteurs ;

affiner l'interprétation du plan réduit en **superposant le résultat d'un groupement**.



# Fin du diaporama

