



**Institut des Sciences et de Technologie**  
**Département Sciences de la Nature et de la Vie**

# **Cours Méthodes d'étude et d'inventaire des peuplements végétaux et animaux**



**Destiné aux Etudiants de 3ème année licence**

**Spécialité Écologie et environnement**

**Réalisé par : Dr. Bouaroudj Sara**

**E-Mail : sara.bouaroudj@centre-univ-mila.dz**

**Année Universitaire 2022/ 2023**

## Sommaire

<b>I. Principes généraux</b>	<b>3</b>
<b>I.1. Le matériel végétal et animal</b>	<b>4</b>
<b>I.1.1. Le matériel végétal</b>	<b>4</b>
<b>I.1.2. Le matériel animal</b>	<b>5</b>
<b>I.2. Le milieu</b>	<b>5</b>
<b>I.3. Structure et homogénéité des peuplements</b>	<b>7</b>
<b>I.3.1. Physionomie et structure des communautés végétales</b>	<b>7</b>
<b>I.3.2. Structure spatiale des communautés animales</b>	<b>13</b>
<b>I.3.2.1. Répartition sur un plan horizontal</b>	<b>13</b>
<b>I.3.2.2. Répartition sur un plan vertical</b>	<b>14</b>
<b>II.1. Qualité d'échantillonnage</b>	<b>14</b>
<b>II.1.1. Choix d'une méthode</b>	<b>15</b>
<b>II.1.2. Choix d'un plan d'échantillonnage</b>	<b>16</b>
<b>II.2. Types d'échantillonnage</b>	<b>17</b>
<b>II.2.1. L'échantillonnage subjectif</b>	<b>17</b>
<b>II.2.2. L'échantillonnage aléatoire simple</b>	<b>18</b>
<b>II.2.3. L'échantillonnage systématique</b>	<b>19</b>
<b>II.2.4. L'échantillonnage stratifié</b>	<b>20</b>
<b>II.2.5. Echantillonnage exhaustif</b>	<b>21</b>
<b>II.2.6. L'échantillonnage mixte</b>	<b>23</b>
<b>III. Hiérarchisation et classification des peuplements</b>	<b>24</b>
<b>III.1. Méthodes qualitatives</b>	<b>24</b>
<b>III.1.1. Méthode sigmatiste et nomenclature phytosociologique</b>	<b>24</b>
<b>III.1.1.1. Présentation de la méthode de Braun-Blanquet</b>	<b>24</b>
<b>III.1.1.2. Nomenclature phytosociologique</b>	<b>32</b>
<b>III.1.2. Méthodes floristique statistiques</b>	<b>33</b>
<b>III.1.3. Notion de groupe écologique</b>	<b>37</b>
<b>III.1.4. Approches phytoécologique</b>	<b>37</b>
<b>III.1.5. Différentes zoocénoses en fonction des formations végétales</b>	<b>38</b>
<b>III.2. Méthodes quantitatives</b>	<b>40</b>
<b>III.2.1. Analyse linéaire</b>	<b>40</b>
<b>III.2.2. Point quadrant</b>	<b>41</b>
<b>III.2.3. Méthode des points quadrats alignés</b>	<b>42</b>

## I. Principes généraux

La **flore** est l'ensemble des espèces végétales présentes dans un espace géographique ou un écosystème déterminé.

Le terme « flore » désigne aussi l'ensemble des micro-organismes (hormis les virus qui ne sont pas du « vivant ») présents en un lieu donné. Par extension, il désigne aussi les ouvrages répertoriant et décrivant ces espèces, et servant à déterminer les plantes (à les identifier). Le nombre d'espèces à décrire étant très important, les flores à destination du grand public se limitent souvent aux végétaux vasculaires ou aux plantes à graines et à leurs principales espèces.

Les collections de spécimens servant à définir les différentes espèces sont conservées dans des herbiers. Ce réseau d'herbiers à travers le monde est très important. C'est la référence qui permet aux botanistes de s'y retrouver et de faire le point entre les dénominations et découvertes anciennes et les identifications actuelles.

La **faune** correspond à l'ensemble des espèces animales vivant dans un même espace géographique à une période donnée. Elle s'oppose à la flore.

La faune est un terme collectif pour désigner la vie animale. En zoologie, la faune est l'ensemble des espèces animales répertoriées pour une région ou pour un milieu, au sens faunistique. Ils sont caractéristiques d'une période géologique ou d'un écosystème.

Donc, la faune est constituée de la vie animale présente à un endroit ou dans un substrat donné à un certain moment. Son équivalent en botanique est la flore.

Un échantillon est un fragment d'un ensemble prélevé pour juger de cet ensemble. De nombreuses méthodes d'observations et de mesures appliquées à de tels fragments peuvent être proposées, adaptés à chaque cas particulier en vue d'obtenir une représentation satisfaisante de l'objet étudié.

L'échantillonnage doit être adapté à tester l'hypothèse que l'on a fait, à une échelle spatiale et temporelle donnée, sur la structure ou la dynamique du système biologique étudiée. Il est impératif de prendre le temps de planifier son échantillonnage.

Dans cette optique, il est indispensable de reconnaître quelques notions de base :

□ **Protocole** Un plan d'étude détaillé expliquant comment les données doivent être collectées, organisées et analysées.

- **Méthode** (de collecte) Une méthode de collecte est un ensemble de techniques, de savoir-faire et/ou d'outils spécifiques mobilisés de manière logique (règles, étapes et principes) pour collecter des données associées à un paramètre à observer ou à un facteur écologique à prendre en compte.
- **Inventaire** C'est un ensemble d'observations quantitatives et qualitatives et de mesures utilisant des protocoles normalisés, réalisées en une période de temps limitée.
- **Surveillance** C'est une série de collectes de données (série d'inventaires) répétées dans le temps»
- **Suivi** Face à un problème bien identifié, le suivi repose sur une série de collectes de données répétées dans le temps.
- **Une étude** on regroupera sous le terme « étude » les notions d'inventaires, de surveillance et de suivi.
- **La recherche** Un programme de recherche, c'est la réalisation des recueils de données dans des conditions bien particulières afin de vérifier les hypothèses de départ, après traitement statistique des données et analyse des résultats.

## **I.1. Le matériel végétal et animal**

### **I.1.1. Le matériel végétal**

La flore est un élément fondamental pour apprécier la qualité d'un milieu naturel. En effet, la prise en compte des espèces végétales permet de décrire les habitats naturels, de caractériser les conditions écologiques régnantes ou encore de déceler des espèces d'intérêt patrimonial. Du fait de son caractère intégrateur, synthétisant les conditions du milieu et de fonctionnement de l'écosystème, la végétation est considérée comme un bon indicateur et permet donc de caractériser l'habitat. Un relevé floristique aussi bien quantitatif que qualitatif apporte rapidement de précieux renseignements sur les différentes composantes de l'écosystème, avant même de connaître les résultats des différentes analyses effectuées au laboratoire.

Pour toute étude de la végétation il serait nécessaire d'établir d'abord un plan d'échantillonnage qui peut être différent suivant l'étude envisagée ou suivant les objectifs. Il faut ensuite procéder au prélèvement des échantillons suivant une méthode ou technique qui différera également en fonction de l'étude demandée. Une fois les échantillons prélevés on procède alors au traitement statistique des résultats et leur interprétation.

### **I.1.2. Le matériel animal**

La faune vagile, c'est-à-dire non fixée à l'avantage sur les végétaux de pouvoir se déplacer. En conséquence, s'il est facile d'aborder la flore du point de vue quantitatif, il n'en sera pas de même pour les animaux. Il est relativement plus facile de considérer l'aspect qualitatif.

Les seuls moyens d'étudier le peuplement animal sont basés sur l'observation directe, à l'œil nu, à la jumelle, en vidéo, sur l'audition, ou encore grâce à des techniques de capture et recapture après marquage. Les moyens modernes mis au service des techniciens de terrain permettent même à l'aide d'émetteurs sophistiqués placés sur les animaux avant de les relâcher de les repérer et les suivre dans leur comportement sauvage sans trop les gêner.

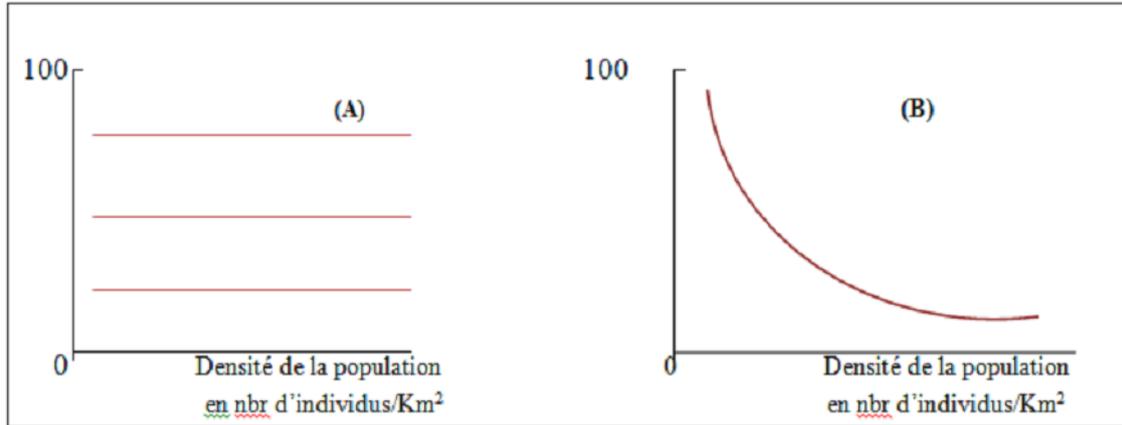
### **I.2. Le milieu**

Quel que soit le niveau d'organisation auquel on se place, on sera toujours conduit à étudier les effets des facteurs écologiques propres à chaque milieu, lesquels sont des paramètres physico-chimiques ou biologiques susceptible d'agir directement sur les êtres vivants. Il faut cependant garder à l'esprit que, quel que soit le niveau d'organisation auquel on se place, ces facteurs n'agissent jamais isolément car les êtres vivants sont toujours exposés de façon simultanée à l'action conjuguée d'un grand nombre de facteurs écologiques dont beaucoup ne sont pas constants, mais présentent d'importantes variations spatio-temporelles.

Il existe plusieurs modalités de classification des facteurs écologiques :

On peut distinguer des facteurs abiotiques, de nature physique ou chimique (facteurs climatiques ex : composition chimique d'un sol) et des facteurs biotiques (parasitisme, prédation, alimentation, etc.).

Certains facteurs écologiques sont dit indépendant de la densité parce qu'ils exercent leurs effets sur les individus pris isolément, indépendamment de la densité de la population à laquelle ils appartiennent. La quasi-totalité des facteurs physico-chimiques peut être rangés dans cette catégorie. A l'inverse existent des facteurs dépendants de la densité, qui ont une action dont l'intensité augmente avec l'abondance des individus. Ce sont presque toujours des facteurs biotiques comme la compétition ou la prédation (Figure 1).



**Figure 1** : Diagramme schématisant le mode d'action des facteurs indépendants de la densité (A) et dépendant de la densité (B).

Un facteur écologique est tout paramètre physico-chimique ou biologique susceptible d'agir **directement** sur les êtres vivants durant au moins une phase de leur cycle de vie. Cette définition ne considère pas les éléments comme l'altitude et la profondeur car ils n'agissent pas directement. En effet, l'altitude agit par l'intermédiaire de la température, de l'ensoleillement et de la pression atmosphérique. De même la profondeur agit sur les animaux et les végétaux aquatiques par l'intermédiaire de l'augmentation de la pression et de la diminution de l'éclairement.

Les **facteurs écologiques** agissent différemment sur les êtres vivants :

- Ils interviennent dans la **répartition géographique** des êtres vivants en éliminant certaines espèces des territoires dont les caractéristiques ne leur sont pas favorables.
- Ils influencent **la densité** des populations dans leur milieu en modifiant le taux de fécondité et de mortalité de diverses espèces (action sur le cycle de développement et sur les migrations animales).
- Ils favorisent l'apparition des **modifications adaptatives** chez certains êtres vivants.

D'une manière générale on distingue les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques.

#### **- les facteurs abiotiques**

Ce sont des facteurs physico-chimiques du milieu, tels que les éléments du climat, du sol, etc. qui exercent une influence sur les êtres vivants. Ils ne dépendent pas

des organismes vivants. Ils sont de nature chimique ou physique, climatique, hydrologique et édaphique.

#### **- Les facteurs biotiques**

Il s'agit des facteurs écologiques qui se manifestent au sein des populations et qui influencent leur démographie : effets de groupe et de masse, compétitions intra- ou interspécifiques, prédation, parasitisme. Ils dépendent donc des organismes vivants. Ce sont toutes les interactions qui existent entre les êtres vivants présents dans un écosystème donné.

Une autre classification distingue les *facteurs indépendants de la densité* (facteurs qui exercent leurs effets sur individus pris isolément, de façon indépendante de la densité) et les *facteurs dépendant de la densité*.

### **I.3. Structure et homogénéité des peuplements**

#### **I.3.1. Physionomie et structure des communautés végétales**

La communauté végétale est caractérisée par sa physionomie ou apparence (ex : l'apparence de la forêt est différente de celle des champs), sa structure, sa composition floristique et son écologie.

La physionomie, ou apparence des communautés végétales, dépend en premier lieu du type de formation (forêt, champs) mais aussi de leurs structures. Elle relève également de l'échelle d'observation à laquelle on se place, en particulier pour les photographies aériennes.

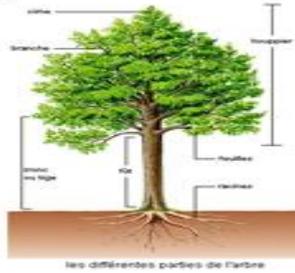
Elle peut apparaître homogène à petite échelle, mais hétérogène à grande échelle, pour la même communauté. La physionomie de la communauté peut être variable au cours des saisons en raison d'une périodicité phénologique plus ou moins marquée du spectre biologique, c'est-à-dire de la proportion relative de diverses formes biologiques.

Ces formes biologiques ou types biologiques s'appuient sur la morphologie générale du végétal et notamment sur la position des bourgeons de renouvellement par rapport au sol. Ces bourgeons sont les organismes qui permettent de passer la mauvaise saison.

#### **☼ Phanérophytes (Strate arborée)**

Les phanérophytes et nanophanérophytes sont représentées par des plantes (arbres, arbustes, arbrisseaux et lianes) dépassant **25cm de hauteur**.

Phanérophytes



- Chêne vert
- Chêne zeen
- Chêne kermès
- Chêne liège

Figure 2 : les phanérophytes

☼ Chamaéphytes (Strate arbustive)

Les Chamaéphytes sont formées de sous arbrisseaux, herbes et plantes sub-ligneuses ne dépassant pas 25 cm de hauteur.

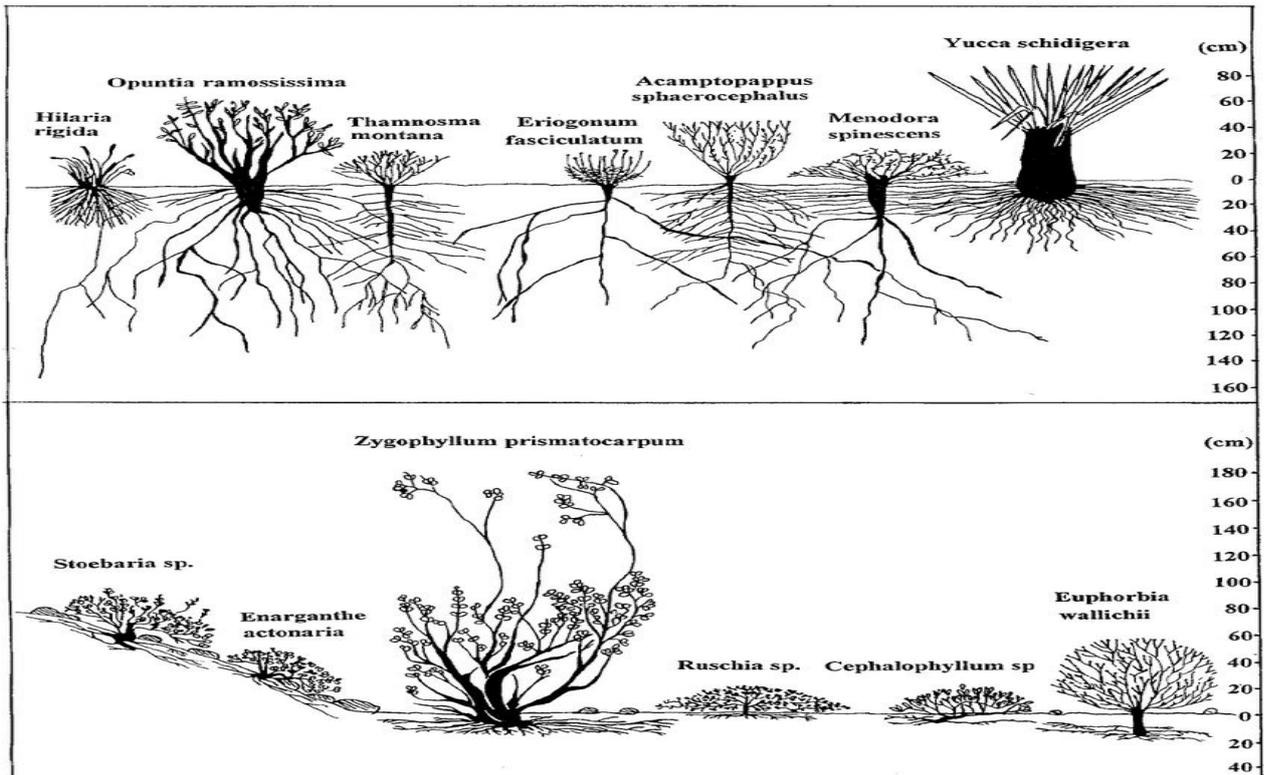


Figure 3 : Chamaéphytes

### ☼Hémi-cryptophytes (Strate herbacées)

Les hémi-cryptophytes regroupent les plantes basses à bourgeons pérennants situés au ras du sol. Ces espèces possèdent des feuilles basales en rosettes,



Berardia subacaulis



Convolvulus arvensis

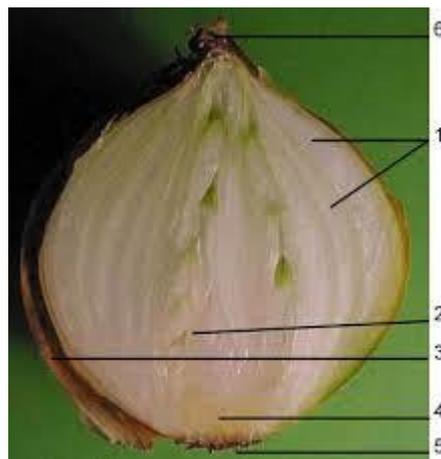
**Figure 4:** Hémi-cryptophytes

### ☼Géophytes (Strate herbacée)

Les géophytes constituent des plantes dont les organes de conservation sont souterrains (rhizomes, bulbes, tubercules).



Tubercules



Bulbes



Rhizomes

**Figure 5 :** Géophytes

## ☞Thérophytes (Strate herbacées annuelles)

Les thérophytes ou plantes annuelles passent la mauvaise saison à l'état de graine.



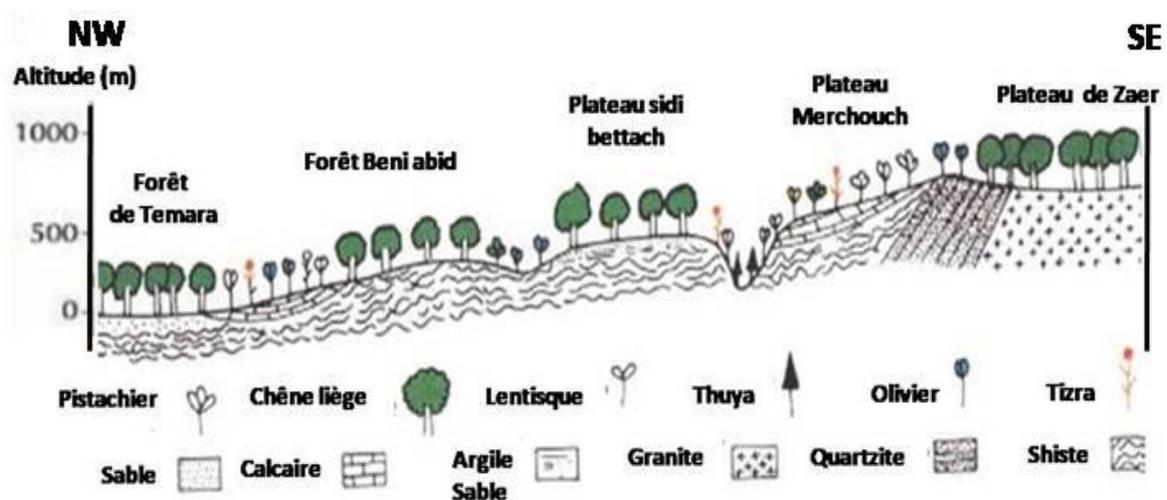
Pelouses calcicoles dominées par des annuelles  
**Figure 6 : Thérophytes**

## . Structure

Il existe une **structure horizontale** et **verticale** de la communauté :

### -La structure horizontale :

La structure horizontale est à l'origine de la physionomie d'une communauté végétale. Elle correspond à la distribution, ou mode de répartition des individus à la surface du sol.



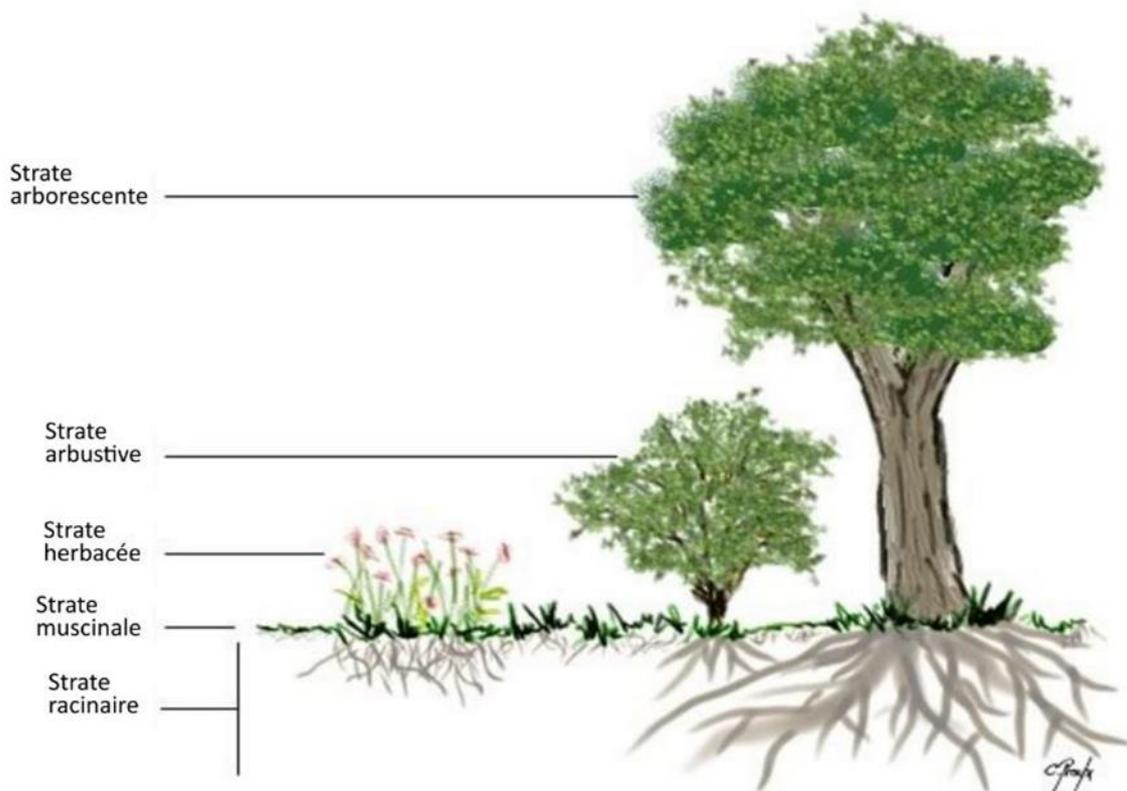


**Figure 7 : La structure horizontale**

-La structure verticale : Répartition des individus en niveaux ou strates de hauteurs différentes

#### Schéma

La végétation se présente sous différentes strates. En voici une belle représentation :



**Figure 8 : Structure verticale**

**-Strate cryptogamique ( bryophytes, lichens)**



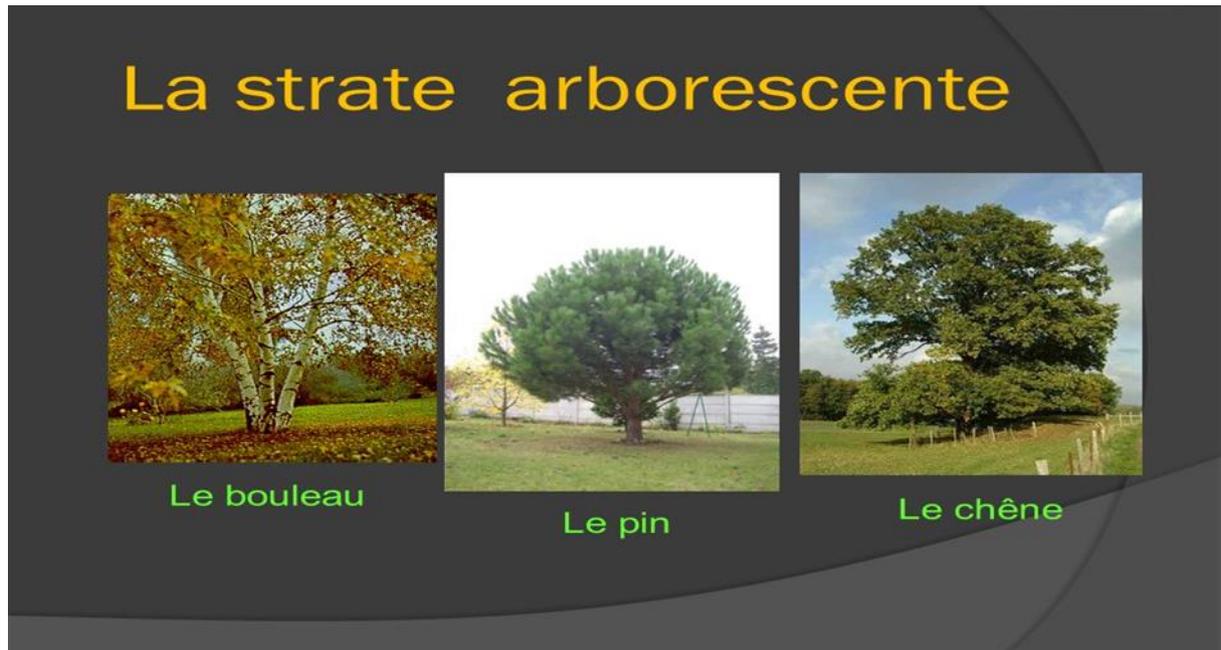
**-Strate herbacée**



**-Strate arbustive**



## -Strate arborescente où arboré



### I.3.2. Structure spatiale des communautés animales

Les différents organismes qui composent une communauté ne vivent pas « en vrac » dans l'espace : ils y occupent des emplacements qui sont souvent bien définis, tout en étant variables dans le temps s'il s'agit d'animaux mobiles.

L'existence de cette localisation joue un rôle essentiel dans la vie de la communauté, puisqu'elle permet ou empêche la rencontre des diverses espèces et, d'une façon plus générale, préside à leurs relations. Elle est notamment à l'origine des rapports trophiques qui existent entre les organismes, et donc du fonctionnement même de l'écosystème auquel ils appartiennent.

La répartition spatiale des êtres vivants peut être considérée d'une part sur un plan horizontal, d'autre part selon un axe vertical.

#### I.3.2.1. Répartition sur un plan horizontal

Sur un plan horizontal, divers types de répartition sont possibles pour les individus d'une même espèce.

- ❖ **La répartition uniforme** (régulière) est rare et réservée à des espèces animales territoriales, elle signifie que les individus ont tendance à se tenir à égale distance les uns des autres. Elle correspond à un évitement

maximum des contacts individuels et traduit donc l'importance de compétition intra spécifique.

- ❖ **La répartition au hasard (aléatoire)** elle implique au contraire une rareté d'interactions entre les individus en même temps qu'une homogénéité des facteurs du milieu.
- ❖ **La répartition agrégée (contagieuse)** est la plus fréquente. Elle est due à l'hétérogénéité du milieu ou au comportement des individus qui ont tendance à se regrouper.

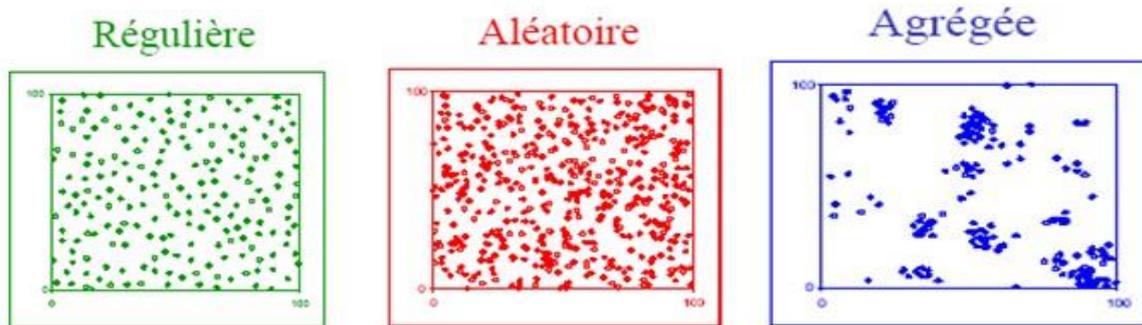


Figure 9 : types de Répartition sur un plan horizontal

### I.3.2.2. Répartition sur un plan vertical

Suivants leur répartition dans le plan vertical, on distingue : les animaux aériens qui vivent dans les airs ou sur les arbres (singes, oiseaux, insectes ailés...), les animaux terrestres qui sont constamment sur le sol (lion, biche, vache...) et les animaux souterrains qui vivent dans des trous (rats, vers de terre, ...).

Pour les animaux, on classe les espèces les plus caractéristiques d'un milieu en : espèces dominantes qui vivent sur le milieu en permanence et des espèces influentes dont l'action ne se manifeste qu'une partie de l'année et on exprime l'abondance de la façon suivante :

**0 : Animal absent**

**+ : Seul et dispersé**

**++ : Pas rare**

**+++ : Fréquent et    ++++ : Très fréquent.**

## II. Qualité et types d'échantillonnage

## II.1. Qualité d'échantillonnage

Il est généralement impossible de mesurer une ou des caractéristiques sur l'ensemble des unités d'un groupe d'intérêt. Ceci peut résulter de plusieurs causes, telles des contraintes de temps, d'argent ou un manque de personnel qualifié. Ou encore, il peut être impossible de mettre la main sur l'ensemble des individus d'une population. De fait, il est probablement impossible de mesurer la hauteur de tous les arbres d'une forêt de plusieurs milliers d'hectares.

L'échantillonnage, lorsque bien fait, permet de mesurer des caractéristiques sur un nombre restreint d'unités du groupe d'intérêt et d'arriver à une estimation des paramètres à l'étude qui sera non seulement précise et exempte de biais, mais aussi représentative de l'ensemble des unités du groupe. On entend par paramètre une caractéristique quantifiable de la population dont la valeur est fixe au sein d'une région et d'une période de temps donnée, mais qui demeure inconnue.

La plupart des programmes de recherche scientifique en écologie visent avant tout à réaliser des recueils de données dans des conditions bien particulières afin de vérifier les hypothèses de départ, après traitement statistique des données et analyse des résultats. En ce sens, toute action à réaliser par un chercheur pour mener à bien une étude se place dans quatre grandes catégories :

- **Définition de l'objectif** : La première étape de la conception d'un échantillonnage consiste à définir les objectifs de l'étude à mener, les buts de la collecte des données.
- **Variables (descripteurs)** : Les variables, appelées aussi descripteurs, désignent toute caractéristiques mesurable ou observable sur chacun des éléments de l'échantillon ou sur son environnement.
- **Échelles d'observation** : une échelle d'observation réfère à l'étendue (surface, durée) et à la résolution (taille de l'unité élémentaire) des observations dans l'espace et dans le temps.
- **Choisir le plan d'échantillonnage** : Choisir le plan d'échantillonnage consiste à choisir de quelle manière les données seront recueillies sur le terrain. Il conditionne aussi le mode de traitement des données et donc les résultats.
- **Interprétation des résultats** : à partir de comparaisons, de recherche des causes, et réponse à l'objectif défini au départ.

### II.1.1. Choix d'une méthode

Pour l'étude de la biodiversité, on distingue habituellement les inventaires (qualitatifs) des recensements (quantitatifs).

Sur le plan écologique, un **inventaire** est un « ensemble d'observations quantitatives et qualitatives et de mesures utilisant des protocoles normalisés, réalisées en une période de temps limitée » (Hellowell, 1991). On peut ajouter que les inventaires sont effectués selon des dispositifs d'échantillonnage représentatifs.

Finlayson (1996) précise que cet exercice est effectué « sans idées préconçues quant à la teneur des résultats ». L'honore (2001) propose une définition proche « recensement le plus exhaustif possible d'un ensemble de données taxonomiques sur une aire géographique précise et durant une période de temps limitée ». Un inventaire correspond donc à une campagne de collecte de données.

Les **recensements** apportent non seulement des listes et des nombres d'espèces, mais aussi des estimations de leurs effectifs (nombres d'individus ou abondance). Leur mise en œuvre s'appuie sur des méthodes relativement sophistiquées, qui expriment l'abondance des individus soit en densités (méthodes dites absolues), soit selon d'autres références que la superficie de l'habitat étudié (méthodes dites relatives ou indiciaires). Quant aux méthodes fréquentielles, elles expriment la fréquence des rencontres avec une espèce lors des inventaires.

### **II.1.2. Choix d'un plan d'échantillonnage**

Le plan d'échantillonnage définit la manière dont les échantillons élémentaires sont répartis sur le terrain étudié (et éventuellement au long de la saison ou des années).

Il est conçu de manière à ce que l'échantillon sélectionné représente aussi fidèlement que possible l'ensemble du milieu étudié. Ce plan est inutile quand aucune extrapolation des données recueillies n'est nécessaire et notamment quand le site concerné est suffisamment petit pour être étudié en entier.

Le plus souvent, et toujours lorsqu'on emploie des méthodes indiciaires, l'échantillon est fractionné en un certain nombre d'unités d'échantillonnage. Pour la meilleure exploitation statistique des données, ces unités d'échantillonnage doivent être standardisées, restant identiques aussi bien dans l'espace la même année qu'au cours du temps entre années.

#### **➤ Définir le nombre d'échantillons**

Le nombre d'échantillons peut être défini dans le temps et dans l'espace : des relevés peu fréquents (annuels par exemple) mais sur un nombre important de placettes, un certain nombre de relevés réguliers (un par semaine par exemple)

sur peu de stations. Dans tous les cas, le nombre et la répartition des stations à observer doivent être fixés dans le cadre d'un plan d'échantillonnage.

➤ **Tenir compte de la représentativité**

La représentativité constitue la première qualité que doit posséder un échantillon. Pour que les résultats soient généralisables à la population statistique, l'échantillon doit être représentatif de cette dernière, c'est-à-dire qu'il doit refléter fidèlement sa composition et sa complexité et fournir une estimation précise et non biaisée des paramètres mesurés sur les objets dans une aire donnée, à un moment donné.

➤ **Prendre en compte la taille des unités d'échantillonnage et du site**

Plus les unités d'échantillonnage sont petites, plus elles doivent être nombreuses, pour les habitats notamment. Le nombre d'échantillons dépendra de la taille du site, de leurs nature, hétérogénéité et diversité ou de la population statistique.

➤ **Tenir compte des besoins pour l'analyse et l'interprétation des données**

Le nombre d'échantillons doit être suffisamment élevé pour une analyse statistique pertinente des résultats. Classiquement, le nombre d'échantillons minimum proposé est de 30, par exemple pour des analyses factorielles. Cependant, les statistiques non paramétriques permettent de travailler avec un nombre d'échantillons plus faible. Il n'est pas évident de démontrer (statistiquement) des changements significatifs dans le temps pour des espèces qui ont une fréquence faible dans les relevés. Pourtant si on veut montrer des variations il est important que ces variations apparaissent entre les échantillons. Le gestionnaire définira un nombre d'échantillons suffisant pour mettre en évidence les changements dans le temps ou dans l'espace.

## **II.2. Types d'échantillonnage**

### **II.2.1. L'échantillonnage subjectif**

C'est la forme la plus simple et la plus intuitive d'échantillonnage. L'observateur juge les emplacements représentatifs des conditions du milieu et choisit comme échantillons les zones qui lui paraissent particulièrement homogènes et représentatives d'après son expérience.

Le principe de base est de prospecter la zone d'étude, et d'y recenser les principales unités végétales. A l'intérieur de chaque unité ainsi définie, il sera effectué un relevé choisi sur des critères d'homogénéité et de représentativité.

Un choix subjectif, n'est pas aléatoire car les relevés seront d'autant mieux établis que le chercheur dispose d'une expérience éprouvée.

### II.2.2. L'échantillonnage aléatoire simple

**L'échantillonnage aléatoire simple, ou au hasard, est une méthode qui consiste à prélever au hasard et de façon indépendante « n » unités d'échantillonnage d'une population de « N » éléments.**

Chaque point dans l'espace étudié a donc une chance égale d'être échantillonné.

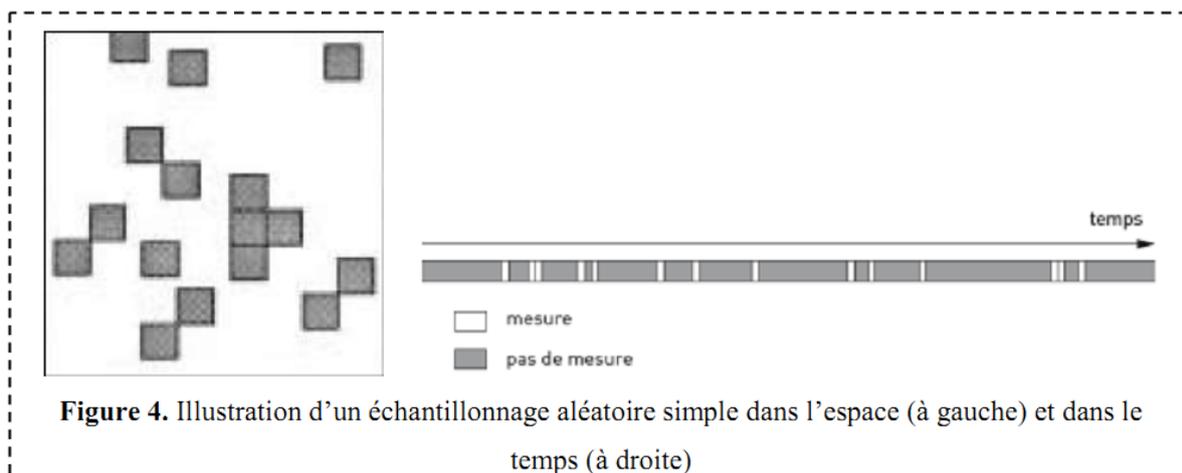
#### Remarque :

Chaque élément sélectionné peut être remis dans la population après son tirage pour éventuellement être choisi une deuxième fois : on parle alors d'échantillonnage avec remise, appelé aussi échantillonnage non exhaustif. Si l'élément sélectionné n'est pas remis dans la population après son tirage, on parle d'échantillonnage sans remise ou échantillonnage exhaustif.

#### Exemples :

\* Une méthode garantissant sécurité et représentativité consiste à dresser la liste complète et sans répétition des éléments de la population, à les numéroter, puis à tirer au sort « n » d'entre eux à l'aide d'un système générant des chiffres aléatoires.

\* Tirage au sort d'un certain nombre d'heures de mesure dans l'année.



Pour utiliser la méthode d'échantillonnage aléatoire et simple dans un inventaire il faut d'abord disposer de la carte de végétation du site à inventorier.

### **Avantages et inconvénients :**

L'échantillonnage aléatoire et simple présente des avantages importants:

- Estimation non biaisée de la moyenne de la population, calcul aisé de l'erreur d'échantillonnage.

-Avec l'échantillonnage aléatoire, les placettes sont sélectionnées indépendamment les uns des autres et respectent ainsi le caractère aléatoire des observations nécessaires pour les analyses statistiques.

-Il a pour inconvénient majeur les pertes de temps consécutives à la dispersion des échantillons.

-Aussi, il est assez rare que la végétation présente une homogénéité structurale justifiant l'utilisation de ce type d'échantillonnage. En cas de structure non homogène de la végétation, par exemple la présence de différents groupements végétaux au sein de la même végétation, l'échantillonnage aléatoire occasionne une perte de précision dans l'estimation des paramètres.

-Cette erreur étant surtout liée au fait que les formations végétales sont supposées dans ce type d'échantillonnage avoir le même poids en termes de superficie ou de densité d'arbres ou encore d'autres critères.

### **II.2.3. L'échantillonnage systématique**

**Un échantillonnage est systématique si les individus sont sélectionnés à intervalles réguliers** (exemple une mesure journalière tous les six jours). **Il consiste aussi à répartir les échantillons de manière régulière** (p.ex. Tous les « x » mètres). Il est moins demandeur en temps qu'un échantillonnage aléatoire. On utilise habituellement un quadrillage (souvent positionné sur la photographie aérienne du territoire étudié). Les points d'échantillonnage sont ainsi faciles à localiser à chaque relevé.

#### **Exemples :**

☞ Si les espèces nichent au même endroit tous les ans, le comptage devient plus facile avec le temps.

☞ On peut réaliser un échantillonnage systématique lorsqu'on privilégie les inventaires dans les secteurs les plus susceptibles d'abriter les espèces (habitats potentiels). On porte alors une plus grande attention aux milieux répondant à leurs exigences écologiques. Par exemple, pour les chauves-souris, on cherchera en priorité dans les grottes mais aussi les mines, bâtiments, ponts, tunnels, arbres creux.

☞ Le positionnement des pièges pour les espèces difficilement observables (invertébrés ou encore mammifères) est souvent fait de manière systématique sur un secteur donné ou le long de gradients. La figure suivante nous montre comment sont localisés et répartis les pièges de micromammifères le long d'un transect dans une réserve naturelle.

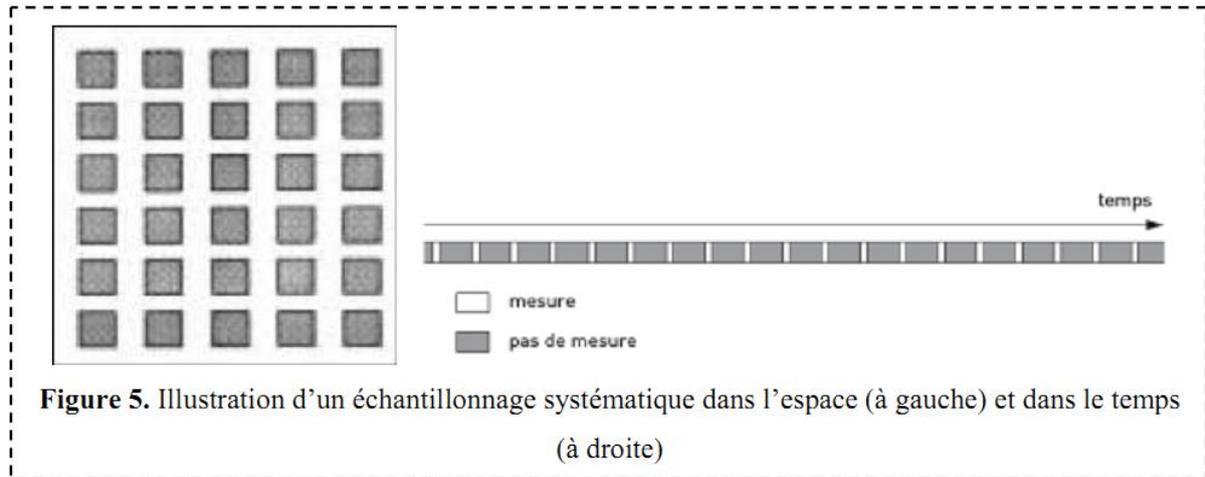


Figure 5. Illustration d'un échantillonnage systématique dans l'espace (à gauche) et dans le temps (à droite)

### *Avantage et inconvénients*

L'avantage principal de ce type d'échantillonnage est qu'il est :

-plus facile à réaliser sur le terrain, du fait que l'échantillon est réparti de façon égale sur toute la superficie.

Comme inconvénients :

- le calcul de l'erreur d'échantillonnage peut être biaisé si l'on n'y prête pas attention.

- De même, la moyenne peut être aussi biaisée, notamment dans les cas où il existe une autocorrélation entre points de sondage (ici des placettes) géographiquement/spatialement très proches.

C'est un échantillonnage souvent recommandé dans les inventaires forestiers à grande échelle comme les inventaires forestiers nationaux.

### **II.2.4. L'échantillonnage stratifié**

Il est particulièrement utilisé quand l'aire étudiée est divisée en zones différenciées (strates). Les strates peuvent correspondre à des divisions administratives, des zones à topographie différente,...etc.

**Il consiste à subdiviser une population hétérogène en sous-populations ou strates plus homogènes.** La stratification s'impose lorsque les résultats sont

recherchés au niveau de chacune des sous-populations. On répartit alors les échantillons au sein des strates (en procédant éventuellement par un échantillonnage au hasard par exemple) avec un nombre proportionnel à l'aire de chacune.

**Exemple :**

\* On pourra utiliser toutes les connaissances acquises sur la végétation et le milieu pour découper la zone à étudier en sous-zones plus homogènes qui seront échantillonnées séparément.

\*Un pré-échantillonnage est possible, notamment à l'aide de la cartographie (photographies aériennes, cartes géologique, pédologique, topographique,...).

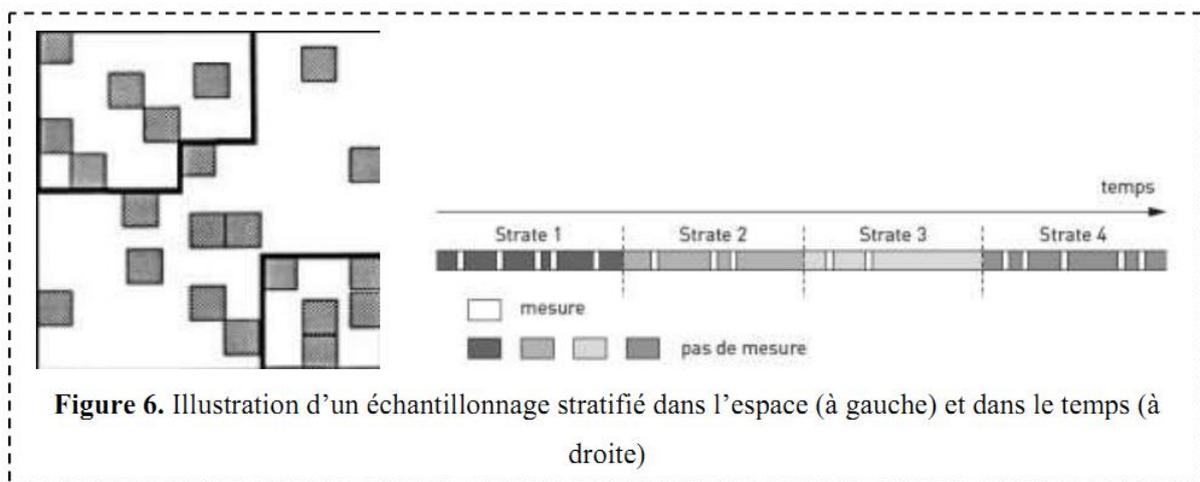


Figure 6. Illustration d'un échantillonnage stratifié dans l'espace (à gauche) et dans le temps (à droite)

**Avantages et inconvénients**

Les principaux avantages de l'échantillonnage aléatoire stratifié sont liés à la possibilité d'estimer pour chaque strate, les moyennes et les variances, et ceci de façon séparée ; les dispositifs d'échantillonnage différents peuvent être utilisés dans les différentes strates. Avec l'échantillonnage aléatoire stratifié, les placettes sont sélectionnées indépendamment les uns des autres et donne ainsi le caractère aléatoire de l'échantillonnage nécessaire pour les analyses statistiques.

En outre, la méthode suppose la connaissance préalable de la répartition de certaines strates dans la population et un échantillon doit être prélevé dans chaque strate si l'on souhaite effectuer une estimation relative à celle-ci. C'est la méthode d'échantillonnage la plus utilisée et recommandée pour l'étude de vastes formations végétales.

### **III.2.5. Echantillonnage exhaustif**

L'analyse exhaustive pourrait s'apparenter à une adaptation de l'échantillonnage systématique. Au lieu d'échantillonner une petite partie des éléments dont le premier point aura été tiré au hasard et d'en inférer à l'ensemble, on échantillonne la totalité de l'ensemble.

**Le mode opératoire consiste à placer des placettes le long d'une ligne et d'y étudier les propriétés structurales de la végétation.** Mais il faut préciser que le but poursuivi n'est pas le même. Comme l'étude porte sur la structure, les lignes ne sont pas nécessairement très longues et les placettes suffisamment importantes pour qu'on puisse considérer qu'on approche quelque peu la population.

#### **\* Grilles ou bandes de placettes contigües**

C'est la technique originale de Greig-Smith (1952). Des surfaces disposées en  $n$  lignes de  $p$  carrés contigus et multiples de 2 regroupées ensuite par 2, 4, 8 ... et sur lesquelles il sera procédé à des tests statistiques appropriés.

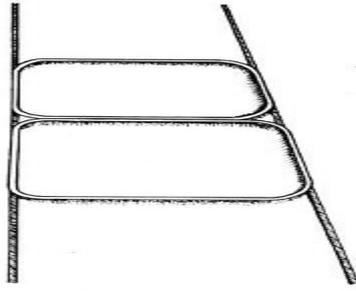
#### **\* Relations de successions le long d'une ligne ou d'une bande**

Il s'agit de noter l'ordre de succession des individus des espèces le long de la ligne de la bande. Cette méthode permet de calculer des densités linéaires ou par unité de surface (quand c'est une bande) et d'utiliser des tests statistiques.

On enregistre les individus de chaque espèce rencontrée sur un formulaire où chaque ligne représente une espèce. La présence d'un individu est indiquée par une croix sur la ligne correspondant à une espèce et on se décale d'une colonne vers la droite à chaque nouvel individu rencontré. Quand la végétation est assez dense, on peut opérer sur une bande de 2,5 cm, matérialisée par un fil à plomb. Quand la végétation est trop clairsemée, une bande aussi étroite ne contient que très peu d'individus. Aussi il est préférable d'adapter la largeur de la bande à la densité de la végétation.

#### **\* Ligne de segments contigüs**

On note la présence des espèces le long de segments contigüs, avec regroupements éventuels des segments pour obtenir des fréquences. Cette méthode peut être appliquée à tous les types de végétation. Le dispositif des segments contigus est employé lorsqu'on désire étudier l'hétérogénéité d'un territoire de petite dimension : sur chaque segment peuvent être relevées les espèces présentes et les éléments de la surface du sol (litière, cailloux, graviers, sol nu). Les espèces peuvent en outre être relevées en tenant compte de la stratification de la végétation.



**Figure 10:** Dispositif d'étude ce carrés contigus alignés

#### \* Echantillonnage selon un transect

Le transect est une bande de placettes rectangulaires contiguë disposée selon un gradient de variation d'un facteur écologique. Le transect est un dispositif très précieux lorsqu'on veut échantillonner les relations végétation-milieu selon tel ou tel gradient de variabilité écologique maximal. Par exemple, si ce gradient est commandé par l'altitude on a intérêt à disposer le transect selon la pente la plus rapide, dans les terrains salés ; on disposera les transect en partant du centre des zones salées et en aboutissant à leur périphérie. Si l'on veut tester l'effet de la continentalité pluviothermique dans une région, on établira des transect perpendiculaires aux iso lignes qui caractérisent cette continentalité.

Toutes les unités présentes sur les transects doivent être étudiées ou seulement certaines d'entre elles (échantillonnage, stratifié aléatoire). Le transect a le mérite de permettre une étude assez exhaustive et immédiatement démonstrative sur les relations d'ordre entre les espèces, les communautés végétales et les types de milieux.

#### \* Avantages et inconvénients

Ayant une pratique similaire à l'échantillonnage systématique, l'analyse exhaustive pourrait souffrir des mêmes contraintes que celui-ci, à savoir la non indépendance (ou liaison) des mesures et l'absence de répartition aléatoire des échantillons. Mais un grand nombre de placettes permettrait un relatif affranchissement de ces contraintes.

### II.2.6. L'échantillonnage mixte

C'est L'échantillonnage le plus utilisé sur le terrain.

**Le travail sur le terrain consiste donc souvent à réaliser une combinaison de plusieurs échantillonnages simples en un échantillonnage plus complexe appelé à juste titre échantillonnage mixte.**

Souvent les études commencent par un échantillonnage stratifié consistant en une délimitation de zones homogènes (stratification) de la zone d'étude.

Aboutissant par exemple à une carte de l'occupation des terres. Ensuite à l'intérieur des strates retenues, ils choisissent des relevés subjectivement (éch. Subjectif) ou au hasard (éch. Aléatoire).

Une fois les points choisis, ils peuvent y implanter une ligne (éch. Systématique) pour en extraire les fréquences spécifiques.

### **III. Hiérarchisation et classification des peuplements**

#### **III.1. Méthodes qualitatives**

L'étude de la végétation et de ses relations avec le milieu s'est développée à partir du début du 20<sup>e</sup> siècle à travers la phytosociologie. Elle étudie de façon descriptive les communautés végétales et leurs relations avec le milieu dans une perspective à la fois phytoécologique et phytogéographique.

Son objectif n'est pas uniquement la diagnose floristique et la classification des communautés végétales mais aussi l'étude de leur dynamique, de leurs relations avec les variables de l'environnement, leur évolution et leur genèse. Le fondement méthodologique de la phytosociologie est le relevé de végétation.

##### **III.1.1. Méthode sigmatiste et nomenclature phytosociologique**

###### **III.1.1.1. Présentation de la méthode de Braun-Blanquet**

###### **a. La technique du relevé**

Pour décrire le couvert végétal d'une région, il est indispensable d'en connaître la flore et d'avoir reconnu, sur le terrain, des groupes socio-écologiques constitués de plantes ayant approximativement les mêmes exigences en ce qui concerne les caractères du milieu où elles croissent. Les notes prises doivent constituer une documentation aussi précise et aussi objective que possible. Une méthode efficace est celle basée sur la technique du relevé de la végétation, introduite en écologie durant la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle et mise au point par J. Braun-Blanquet (1951) et ses collaborateurs et l'école « zuricho-montpelliéraine ».

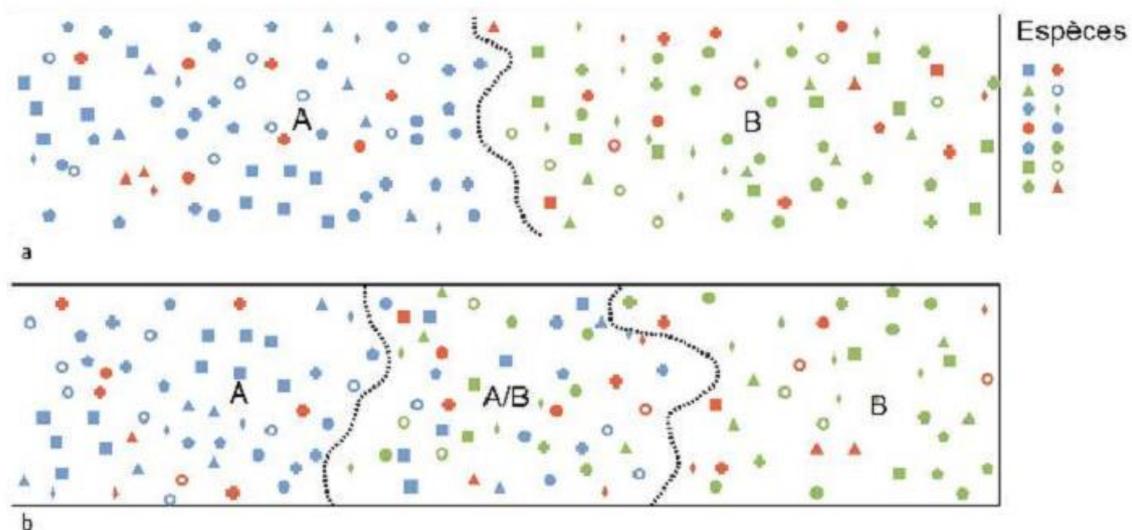
- **Choix du plateau étudié : homogénéité et dimension**

La première chose à faire avant de réaliser les relevés est de bien visualiser les différentes unités de végétation homogènes (qui par extension, sont appelées individus d'associations) du site. Cette délimitation se fait sur la base de

l'homogénéité floristique (composition spécifique) et physionomique (structure), ces deux aspects traduisant l'homogénéité écologique.

D'abord il faut commencer par repérer l'uniformité des couleurs et des textures dans la végétation, la répétition d'un motif sur le sol et la cohérence de la stratification verticale. Cette première étape ne demande pour l'instant qu'une « compétence visuelle », donc une capacité à distinguer et séparer les unités physiologiquement homogènes du point de vue de leur structure générale (formations végétales).

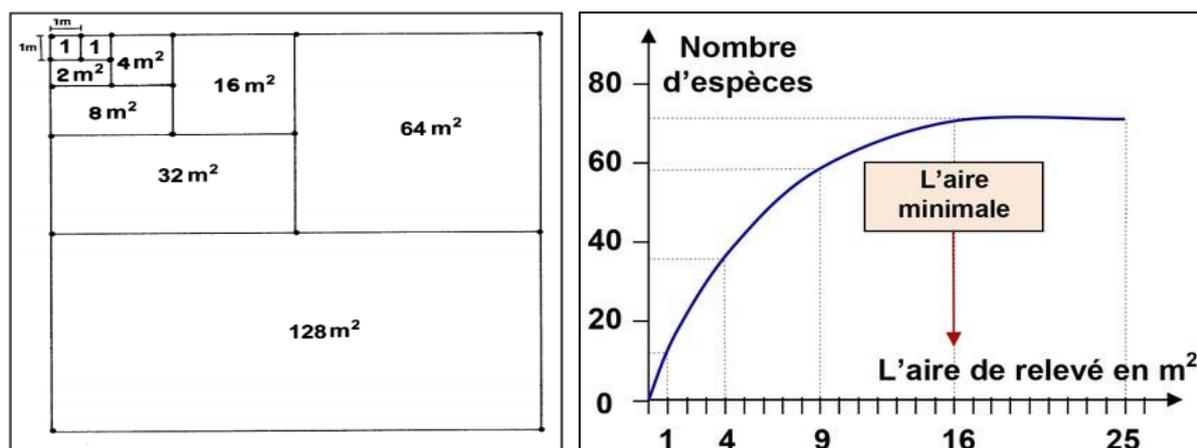
Ensuite, à l'intérieur de chacune de ces formations, il faudra s'assurer que la composition floristique est homogène et répétitive et qu'il n'existe pas de rupture écologique. Chaque unité floristiquement et écologiquement homogène au sein des formations constitue potentiellement un individu d'association.



**Figure 11** : a. les individus d'association A et B ont une limite nette ; b. les individus d'association A et B ont une limite floue (Delassus, 2016).

- **Aire minimale**

L'homogénéité floristique peut être éprouvée par le test de l'**aire minimale**. Il suffit pour ce faire de relever les espèces présentes sur une surface échantillon délimitée en endroit apparemment homogène; on tient compte successivement et on ajoute, à la première liste, toutes les espèces qui apparaissent chaque fois que l'on double la surface. La courbe d'accroissement du nombre d'espèces en fonction de la surface présente d'abord une pente raide qui finit par s'infléchir et atteindre un palier; cette allure indique qu'à partir d'une certaine dimension de l'échantillon, -appelée **aire minimale**-, l'augmentation de la surface n'est pratiquement plus accompagnée d'un gain d'espèces.



**Figure 12** : aire minimale

Pour une végétation donnée, la dimension des individus d'association est évidemment très **variable** en fonction des conditions écologiques ; celle de l'**aire minimale** est approximativement **constante**. Par contre, l'aire minimale est extrêmement variable en fonction du type de végétation (de quelques **dm<sup>2</sup>** pour les groupements fontinaux, à quelques **ares** pour les groupements forestiers et même à quelques **km<sup>2</sup>** pour les formations désertiques, voir Tableau 1.

Type de végétation	Aire minimale
Forêts	200-500 m <sup>2</sup>
Pelouses sèches	50-100 m <sup>2</sup>
Landes à chaméphytes	10-25 m <sup>2</sup>
Prés de fauche	10-25 m <sup>2</sup>
Prairies amendées	5-10 m <sup>2</sup>
Communautés de Bryophytes	1-4 m <sup>2</sup>
Communautés de Lichens	0.1-1 m <sup>2</sup>

**Tableau 1** : Aires minimales de végétations tempérées

### b. Relevé phytosociologique

Souvent avant même de commencer la partie floristique du travail, le plus grand nombre possible de renseignements se rapportant à la **station** occupée par la végétation sont collectés : situation topographique, altitude, pente, exposition de celle-ci. De même, la date du relevé (importante pour la visibilité ou la détermination des espèces) et la localisation la plus précise possible de l'endroit (commune, lieu-dit et repérage GPS ou sur une carte topographique) sont

indiquées. Le profil du sol, principalement en indiquant le pH des différents horizons, peut être décrit (au moins le pH en surface).

Les traitements anthropiques et l'histoire du site sont souvent primordiaux à connaître, que ce soit en forêt ou pour des zones déjà restaurées ou gérées en milieux ouverts.

Après ces préliminaires, on passe à l'inventaire floristique de la parcelle en recensant toutes les espèces présentes.

L'analyse se fait de façon ordonnée, strate par strate, en commençant par celle qui est la plus éloignée du sol. Certaines des plantes observées ne peuvent éventuellement pas être déterminées immédiatement, elles reçoivent un nom provisoire et sont mises en herbier. Les Cryptogames (Bryophytes, Lichens, Fougères) autant que possible, ne sont pas négligés, car ils ont souvent des niches écologiques très restreintes et donc fournissent des renseignements précis sur les conditions abiotiques.

### \*Les coefficients

Chaque espèce dans le relevé est généralement accompagnée de deux coefficients : **d'abondance-dominance et la sociabilité.**

Le nom de chacune des espèces est affecté d'un coefficient qui indique, avec suffisamment de précision, son abondance relative et son degré de recouvrement. L'échelle habituellement utilisée pour chiffrer ce **coefficient d'abondance-dominance** est la suivante.

#### Echelle de Braun-Blanquet:

+: Abondance et dominance faibles (Une seule plante ou deux seulement)

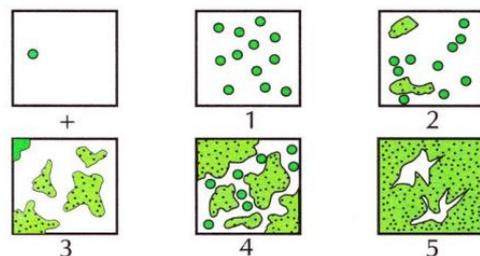
1: Abondance faible ou moyenne et dominance faible (moins de 5%)

2: Abondance élevée et dominance comprise entre 5% et 25%

3: Quelle que soit l'abondance, la dominance est comprise entre 25% et 50%.

4: Quelle que soit l'abondance, la dominance est comprise entre 50% et 75%.

5: Dominance supérieure à 75%.



**Figure 13:** Coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1950) d'après Bouzillé, 2007

Les individus d'une même espèce peuvent se présenter par pieds isolés ou, au contraire, en colonies plus ou moins denses. Ce caractère, de **sociabilité**, est évalué à l'aide de l'échelle suivante:

- 5 : espèce en peuplement presque pur
- 4 : espèce en colonies ou troupes importantes
- 3 : espèce en taches ou en coussinets
- 2 : espèce en touffes
- 1 : individus isolés

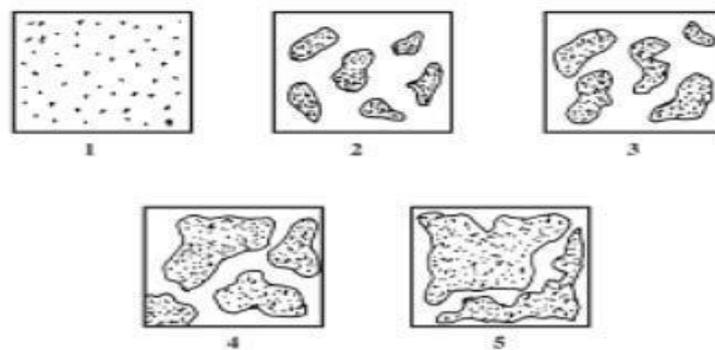


Figure 14 : Échelle de sociabilité de Braun-Blanquet

### c. La synthèse

La méthode des tableaux (Ellenberg, 1956) a pour but de modifier l'ordre des relevés et des espèces pour les regrouper de la manière la plus logique possible.

On peut distinguer cinq phases :

#### ☼) Le tableau brut :

C'est un tableau à double entrée. Les colonnes correspondant aux relevés pris dans un ordre quelconque et les lignes aux espèces inscrites dans l'ordre où elles se présentent dans le premier relevé.

On y ajoute à la suite les espèces du deuxième relevé qui ne figurent pas dans le premier et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les relevés et toutes les espèces aient été inscrits. Dans la case à l'intersection d'une ligne et d'une colonne on indique l'abondance-dominance et la sociabilité de l'espèce dans le relevé. Si l'espèce n'est pas représentée dans le relevé, la case reste vide. Dans le tableau brut, relevés et espèces sont placés sans ordre.

Espèces	Indices d'abondance-dominance *												F (%)
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
<b>Strate arborescente</b>													
<i>Ficus carica</i> L.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	8,3
<i>Olea europea</i> Var. <i>oleaster</i> Dc.	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	41,3
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0
<i>Pistacia terebinthus</i> L.	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3
<i>Quercus ilex</i> L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	8,3
<i>Quercus ozendae</i> L.	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3
<i>Quercus rotundifolia</i> Lamk.	1.1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,6
<i>Tamarix gallica</i> L.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	8,3

**Tableau 2** : exemple de tableau brute (Bouzidi et al, 2009)

The diagram shows a rectangular grid representing a data table. The top row and the first column are empty. The rest of the grid is filled with diagonal hatching, representing the presence of species in various plots.

**Figure 15** : Tableau brute

- : espèce absente. + : quelques individus isolés (espèce présente).

Lorsque l'espèce est suffisamment représentée, le chiffre de **gauche** indique **l'abondance**, sur une échelle allant jusqu'à 5 : 1 pour un taux de recouvrement inférieur à 5 % (espèce présente), 2 pour un taux de 5 à 25 % (espèce peu abondante), 3 pour un taux de 25 à 50 % (espèce abondante)...

Le chiffre de **droite** indique la **sociabilité** de l'espèce, sur une échelle allant jusqu'à 5 : 1 pour des individus isolés, 2 pour des individus en groupes, 3 pour des individus en troupes, 4 pour des individus en petites colonies, 5 pour des individus en peuplements.

La fréquence est le rapport entre le nombre de relevées (n) où l'espèce (X) existe sur le nombre total des relevées (N). On l'exprime le plus souvent par un %

$$F(x) = (n/N) \times 100$$

Exemple : si dans 25 relevés on trouve 5 fois l'espèce x ;  $F = 5/25 \times 100$  c'est 20%

On range les fréquences en 5 classes :

- **Classe I** : la fréquence est comprise entre 0 et 20% (espèce est très rare).
- **Classe II** : la fréquence est comprise entre 21 et 40% (espèce est rare ou accidentelle).
- **Classe III** : la fréquence est comprise entre 41 et 60 % (espèce est relativement fréquente).
- **Classe IV** : la fréquence est comprise entre 61 et 80 % (espèce est abondante).
- **Classe V** : la fréquence est comprise entre 81 et 100 % (espèce est très abondante ou constante).

☞) **Le tableau de présence :**

Il s'agit d'une transformation du tableau brut : on ordonne les espèces en fonction de leur degré de présence décroissant. Les espèces très rares ou à degré de présence très élevé (présentes dans tous les relevés ou presque) sont peu intéressantes.

L'opération essentielle de la méthode consiste à rechercher s'il n'y a pas des groupes d'espèces qui se rencontrent généralement ensemble dans une partie des relevés et sont généralement simultanément absentes des autres. Ces espèces sont qualifiées du nom d'espèces différentielles.

**Figure 16 :** Tableau de présence

☞) **Le tableau partiel :**

Une fois les différentielles mises en évidence, on écrit le tableau partiel en gardant que les espèces différentielles et en regroupant les espèces qui appartiennent à un même groupe de différentielles. On fait en bas de ce tableau le total, pour chaque relevé, des espèces différentielles des différents groupes qu'il contient.



#### **d. Identification des associations végétales**

Une association végétale est décrite en fonction :

- **Les espèces caractéristiques**

Les espèces strictement liées à un seul groupement ou qui y croissent avec une vitalité optimale, sont appelées espèces **caractéristiques** de ce groupement (exclusives ou préférentielles). Elles sont représentées, avec des coefficients d'abondance variables, dans plus de 80 % des relevés.

- **Les espèces différentielles**

Ce sont des plantes présentes dans plusieurs groupements mais qui manquent dans d'autres.

- **Les espèces indifférentes**

Certaines plantes apparaissent dans les groupements végétaux les plus variés. Elles ne présentent aucune fidélité à un groupement végétal déterminé et peuvent être qualifiées d'espèces **indifférentes**.

- **Les espèces accidentelles**

Une espèce étrangère ou accidentelle est une plante dont la présence au sein du groupement est fortuite. Sa vitalité est souvent réduite et elle sera probablement rapidement éliminée sans laisser de descendance.

#### **e. Hiérarchisation**

On distingue :

**a) l'association** qui est la combinaison originale d'espèces dont certaines lui sont particulièrement liées, les autres étant qualifiées de compagnes. Les compagnes sont soit des caractéristiques d'autres associations, soit des espèces participant avec sensiblement la même fréquence à plusieurs associations.

**b) l'alliance** ensemble d'associations qui comprend des espèces caractéristique communes et des compagnes.

**c) L'ordre** qui groupe des alliances et qui comprend des espèces caractéristiques d'ordre.

**d) La classe** qui regroupe des ordres floristiquement voisins et comprend des espèces caractéristiques de classe.

### III.1.1.2. Nomenclature phytosociologique

La dénomination d'une association végétale est formée à partir du nom d'une ou de deux espèces (caractéristique ou dominante).

Quand on a une seule espèce, on ajoute à la racine du nom du genre le suffixe **etum**. Ex : *Quercetum illicis*

Quand on a deux espèces, le suffixe ajouté à la racine du nom de genre de la première est **eto** et ce mot est réuni par un trait d'union au suivant. Ex: *Ericeto-lavanduletum stoechidis*.

Les noms des alliances, des ordres et des classes sont formés de la même manière que ceux des associations, mais en remplaçant le suffixe **etum** par respectivement, **ion**, **étalia**, **etea**. Ex : *Quercion illicis*, *Quercetalia illicis*, *Quercetea illicis*.

### III.1.2. Méthodes floristique statistiques

Actuellement, l'utilisation de tableurs permettant de modifier à volonté les lignes et les colonnes débouche sur un gain de temps appréciable. Des techniques plus poussées permettent l'analyse complète des résultats. Plusieurs logiciels permettent à présent de nombreuses analyses.

Deux méthodes complémentaires se sont développées. **La classification** ou **groupement** a pour but d'organiser les relevés en classes ou groupes. Les membres de chaque classe ont en commun un certain nombre de caractéristiques les écartant des membres des autres classes.

**L'ordination** arrange les relevés ou des espèces dans un espace défini par un petit nombre de dimensions, dans lequel les entités semblables sont proches et les dissemblables éloignées (Gauch, 1982). L'ordination, prise au sens large, se fixe trois objectifs :

- (1) synthétiser les données d'un tableau de relevés,
- (2) mettre les communautés en relation avec des gradients de l'environnement et
- (3) comprendre la structure des communautés.

Au sens strict, l'ordination cherche à mettre la végétation en relation avec un ou plusieurs gradients environnementaux ou axes.

#### A. Mise en forme des données

Pour être analysées, les données doivent être présentées sous la forme de **tableau** croisant les **espèces observées** dans l'ensemble des **stations** ; les cellules du tableau contiennent les valeurs de dominance ou de recouvrement.

Seules les données de recouvrement sont utilisées. Ce tableau de **contingence** (tableau de fréquence) est un tableau multivarié et est facile à construire avec les logiciels tableurs courants (Excell,...) mais devient assez fastidieux dès que le nombre de relevés augmente.

La représentation **multidimensionnelle** de ces données peut prendre deux formes graphiques : soit on considère que l'espace est défini par des axes « stations » où les espèces sont placées en fonction de leur coefficient d'abondance ; soit on considère que l'espace est défini par des axes « espèces » où les stations sont placées en fonction des abondances des espèces qui y sont présentes. On peut ainsi rapidement mettre en évidence les relations de proximité écologique entre espèces ou les espèces ayant les plus fortes dominances pour chaque station.

## **B. La mesure de la similarité entre stations et entre espèces**

La visualisation graphique des positions des stations ou des espèces dans leur espace réciproque a tout de suite évoqué la possibilité de **mesurer la distance** qui les sépare les unes des autres. Cette distance est en effet la meilleure mesure multivariée des différences qui existent soit entre les espèces, soit entre les stations.

Une mesure de distance est donc une estimation inverse de la similarité. De nombreuses mesures de distance ou d'indices de similarité existent dans la littérature (Legendre & Legendre, 1984). Les indices généralement utilisés relèvent de deux groupes principaux : les mesures de distance (D) et les indices de similarité ( $S = 1 - D$ ). Les indices de similarité symétriques considèrent les doubles-rézos comme des ressemblances.

Le choix d'un indice approprié est fondamental car toute analyse ultérieure se fera sur la matrice qui en résulte. L'indice de similarité de Steinhaus (S17) est un indice quantitatif asymétrique qui est destiné aux données d'abondances des espèces. Son équivalent en terme de distances est l'indice de Bray & Curtis ( $D14 = 1 - S17$ ).

## **C. Méthodes d'analyse**

- **Méthodes d'ordination**

L'objectif des méthodes d'ordination est d'ordonner des objets les uns par rapport aux autres de manière à éloigner les objets les plus différents en essayant de limiter le nombre de variables nécessaires. Plusieurs méthodes d'ordination sont largement utilisées en botanique, mais l'**analyse factorielle des correspondances (AFC)** et l'**analyse canonique des correspondances**

(CCA) sont actuellement les plus répandues (Bouxin, 2004). Les axes reflètent les grandes variations des facteurs écologiques (humidité par exemple). Cette méthode permet donc de saisir directement les facteurs de variations, par ordre d'importance ainsi que la réaction des espèces à ces divers facteurs et la façon dont le milieu se structure à partir d'eux. Les groupes socio-écologiques sont ainsi facilement détectés.

De nombreuses techniques d'ordination ont été développées : analyse factorielle (FA), technique de Bray et Curtis (Polar ordination), analyse en composantes principales (PCA), analyse des principales coordonnées (PCoA), analyse des correspondances (CA) et sa variante.

L'analyse en composantes principales disperse peu les relevés mais beaucoup mieux les espèces et reste utile avec des données d'abondance ou des variables continues (mésologiques par exemple). Les analyses des correspondances (CA et DCA) sont très sensibles aux espèces rares (certains auteurs n'hésitent pas à supprimer ces espèces rares).

Le traitement d'autres données que les espèces et les relevés, telles que des données écologiques, est possible : analyse canonique des correspondances (données environnementales traitées en sus du tableau de végétation) ou analyse factorielle multiple (plusieurs tableaux ensemble). L'analyse permet alors de regrouper les relevés (individus) selon leur composition floristique et les espèces (variables principales) selon leur sociologie au sein des relevés. Les données écologiques interviennent dans un second temps comme « variables supplémentaires ».

- **Méthodes de groupement**

Le principe d'une méthode de groupement est de rassembler les objets qui ont un degré de similarité suffisant pour être réunis dans le même ensemble. Dans le cadre de l'analyse de la végétation, on groupe les relevés pour mettre en évidence des conditions écologiques particulières qui président à la reconnaissance des associations végétales.

Il existe un large éventail de méthodes de groupement. Elles sont généralement d'abord classées en fonction de leur caractère **hiérarchique** ou non.

On désigne par l'appellation **hiérarchique** les méthodes qui imposent de manière définitive la position d'un objet au sein d'une filière de classification. Tous les objets doivent obligatoirement se retrouver dans la structure finale. Elles permettent la construction d'un dendrogramme qui montre la séquence dans

laquelle les divisions ou fusions de groupes sont faites. Il s'agit des méthodes les plus utilisées et les plus faciles à comprendre.

Les méthodes **non hiérarchiques** établissent une classification qui est indépendante d'un niveau à l'autre. Certaines permettent en outre une superposition des objets dans deux ou plusieurs groupes de manière à bien révéler leur caractère intermédiaire. Le critère permettant de décider de la fusion de deux classes est basé sur l'augmentation de la dispersion intra-classe.

A chaque classe, on fusionne les deux classes qui provoquent la plus faible augmentation du moment intra-classe. Il s'agit d'une méthode hiérarchique agrégative. Plusieurs critères d'agrégation existent à partir des mesures de distance (lien complet, lien moyen, lien simple).

- **Espèces indicatrices**

- a. Méthode Twinspan*

Le principe de base est de réaliser une classification hiérarchique des relevés sur la base du premier axe d'une analyse factorielle des correspondances. Cet axe sert de base pour séparer les relevés en deux groupes. Le programme évalue ensuite le caractère indicateur des espèces en se basant sur le concept de « *pseudo-espèce* ». Comme l'affinité d'une espèce avec un groupe se mesure en termes de présence/absence,

TWINSPAN utilise des pseudoespèces pour évaluer ces présence/absences pour différents niveaux **d'abondance relative**. Une procédure relativement complexe est mise en œuvre pour identifier au mieux les niveaux **d'abondance** qui sont préférentiel d'un des deux groupes de relevés. La procédure recommence ensuite pour chacun des deux groupes initiaux. Chacun des deux groupes de relevés est lui aussi soumis à une AFC et scindé en deux sous-groupes. A chaque division, le programme identifie les espèces indicatrices. Cette méthode semble de moins en moins utilisée en raison de sa complexité.

- b. La méthode IndVal*

Elle a été proposée par Dufrêne & Legendre (1997). Elle propose la même approche : on utilise une classification des relevés pour identifier les espèces qui en sont indicatrices. Le principe repose sur la définition du caractère indicateur d'une espèce : une espèce est considérée comme indicatrice si elle est typique d'un groupe de relevés (elle est absente des autres groupes) et si elle est présente dans tous les relevés de ce groupe. Elle combine une mesure de la spécificité d'une espèce avec celle de sa fidélité :

- La mesure de la **spécificité** :  
 $A_{ij} = N \text{ individus } ij / N \text{ individus } i$

avec **N individus ij** : le nombre moyen d'individus de l'espèce i (abondance moyenne) présents dans le groupe j et **N individus i** : la somme des moyennes des nombres d'individus de l'espèce i (abondance moyenne) dans tous les groupes.

- La mesure de la **fidélité** :  
 $B_{ij} = N \text{ relevés } ij / N \text{ relevés } i$

avec **N relevés ij** : le nombre de relevés dans le groupe j dans lesquels l'espèce i est présente et **N relevés j** : le nombre total de relevés dans le groupe j.

La valeur indicatrice (IndVal<sub>ij</sub> en %) : **IndVal ij = A ij x B ij x 100**

La valeur indicatrice de l'espèce pour un niveau de classification des relevés en différents groupes est la plus grande valeur d'IndVal observée pour un des groupes. La spécificité est maximale (100%) quand l'espèce n'occupe qu'un groupe et la fidélité est maximale (100%) lorsque l'espèce est présente dans tous les relevés d'un groupe. La valeur indicatrice de l'espèce est maximale (100 %) lorsque la spécificité et la fidélité sont maximales.

Ces espèces indicatrices donneront une signification écologique aux groupes préalablement constitués et permettront d'identifier les niveaux auxquels il est inutile de poursuivre la classification.

### **III.1.3. Notion de groupe écologique**

Ce sont des groupes d'espèces ayant les mêmes exigences de milieu.

Un groupe écologique est donc formé par un certain nombre d'espèces indicatrices. Gounot (1969) considère qu'une espèce est indicatrice d'un facteur si sa présence varie dans les relevés de façon significative avec les classes du facteur.

La définition de Flahault et Schröter en 1910 est la plus retenue « une association est un groupement végétal de composition floristique déterminée, présentant une physionomie uniforme et croissant dans des conditions stationnelles uniformes également ».

On détermine ainsi des groupes écologiques d'espèces à sol acide (acidophiles) ou neutre (neutrophile), d'ombre (sciaphiles) ou de lumière (héliophiles), de conditions hydriques moyennes (mésophiles) ou déficitaires (xérophiles).

### III.1.4. Approches phytoécologique

Les méthodes phytoécologiques reposent sur la notion de groupe écologique

la caractérisation d'une espèce indicatrice nécessite une connaissance approfondie des facteurs du milieu, et en particulier

- **facteurs édaphiques**: texture du sol, ph, composition chimique
- **facteurs climatiques** : précipitations, températures et étage bioclimatique .....etc.
- **facteurs écologiques** : sont difficiles à définir de manière très précise ainsi la pluviosité dépend-elle aussi de facteurs microclimatique.

La phytosociologie s'occupe de la reconnaissance, du classement, de l'étude écologique, de l'évolution et de la distribution des groupements végétaux forestiers. Cette définition fait apparaître l'aspect statique (reconnaissance et classement des groupements végétaux) et dynamique (évolution d'un groupement vers un autre) de la phytosociologie.

Cette méthode d'étude de la végétation a été développée selon la conception de Josias Braun-Blanquet. Cette méthode a les faveurs des phytosociologues des régions tempérées d'Europe et est la plus largement utilisée. Les communautés végétales sont caractérisées par leur composition floristique.

L'information est ici apportée par la réalisation de listes complètes sur une surface déterminée (= relevé). La composition des relevés permet de mettre en évidence que certaines espèces ont tendance à vivre en commun, se trouvant régulièrement réunies sur les diverses listes.

La notion de l'association se déduit de la comparaison d'un grand nombre de relevés, elle est donc définie par la présence fréquente, mais non obligatoire, de certaines espèces dites caractéristiques. D'autres part beaucoup d'espèces ont une large amplitude écologique leur permettent de s'adapter à des conditions stationnelles, ce sont des espèces accidentelles. Selon l'intensité avec laquelle une espèce est liée à une association on distingue :

\*Des espèces caractéristiques **exclusives** d'une association : elles appartiennent uniquement à cette association.

\*Des espèces caractéristiques **préférantes** d'une association : elles existent dans plusieurs associations mais préfèrent l'une d'entre elles.

\*Des espèces **indifférentes** ou **compagnes** : elles peuvent exister indifféremment dans plusieurs associations.

\*Des espèces **accidentelles** ou **étrangères** : elles se retrouvent accidentellement dans une association.

### **III.1.5. Différentes zoocénoses en fonction des formations végétales**

Le terme **zoocénose** désigne la composante animale d'une biocénose c'est-à-dire l'ensemble des populations d'animaux qu'elle renferme. La stratification des peuplements animaux, ainsi que celle des zoocénoses tout entières, est très marquée en règle générale, plus particulièrement dans les écosystèmes forestiers.

Fort évidente dans le cas de la structure verticale des peuplements d'oiseaux, cette stratification existe pour de nombreux groupes constituant la zoocénose, en particulier chez les mammifères. Elle est associée à l'exploitation des niches trophiques respectives de diverses espèces que comportent ces peuplements.

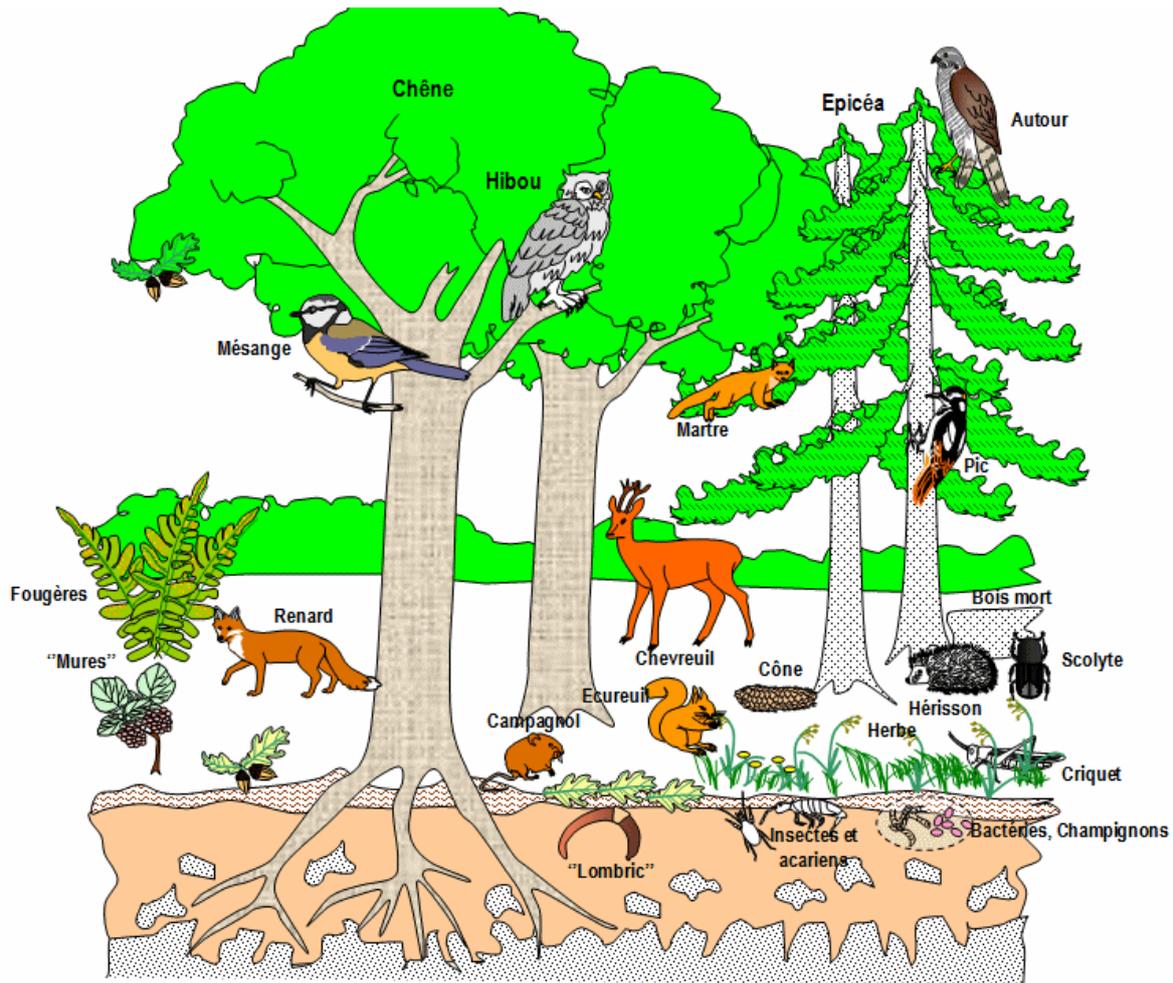
Dans une forêt, les gros arbres, surtout les bois sénescents ou dépérissants, présentent fréquemment des cavités sur le tronc et les branches. Ces altérations forment des milieux de vie différents qui abritent une très grande diversité d'espèces qui participent pour la plupart d'entre elles au bon fonctionnement et à l'équilibre de l'écosystème forestier :

- Trous de pics, fissures : les nombreux oiseaux cavicoles, soit 41 % des 68 espèces d'oiseaux strictement forestiers et les chauves-souris qui les fréquentent sont, entre autres, des prédateurs importants des insectes défoliateurs,
- Arbres foudroyés, branches mortes en cime, bois écorcés, pourritures, cavités de pied remplies d'eau :

Ils hébergent une multitude d'insectes, de champignons qui sont au début du cycle de décomposition du bois.

Le pourcentage d'arbres porteurs de ces micro-habitats et leur nombre augmentent avec la grosseur des bois. Certains insectes à cycle de vie étalé sur plusieurs années (stade larvaire) ne se développent que sur des gros arbres morts d'au moins 150 cm de circonférence qui mettent beaucoup de temps à se décomposer (plus de 10 ans).

La présence de plantes épiphytes (mousses, lichens, fougères) et de lierre sur les troncs des arbres vivants ou dépérissant crée également des milieux particuliers favorables à certains oiseaux et à de nombreux très petits animaux.



**Figure 19 :** Répartition des différentes espèces animales dans une forêt  
(<https://svtlyceedevenne.com/>)

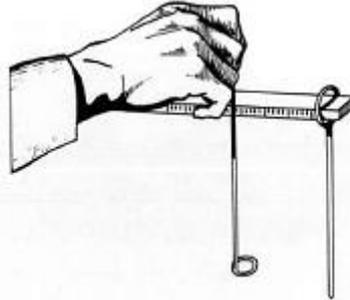
### III.2. Méthodes quantitatives

Ces méthodes se basent sur la mesure de la biomasse (matière végétale sèche par unité de surface), par exemple pour estimer la valeur pastorale d'une prairie. Lourdes à mettre en place, elles sont donc rarement utilisées, mais peuvent par exemple servir de méthode de suivi de l'évolution d'une prairie reconstituée, ou de l'effet des mesures de gestion.

#### III.2.1. Analyse linéaire (La "Loop method")

La "Loop method" est un moyen simple d'analyse de la végétation pastorale ne nécessitant que peu de moyens matériels : deux "fiches d'arpenteur", une règle graduée. Du commerce ou fabriquée exprès à partir d'un tasseau gradué, un anneau de 2 cm de diamètre brasé à une tige perpendiculaire à son plan et un marteau.

Au moyen des deux fiches, la règle est fixée parallèlement au sol. L'anneau, tenu à la main, est descendu verticalement et les espèces dont un organe au moins est visible à travers la bague sont notées ; les organes végétaux doivent être retirés délicatement sur le côté pour examiner les espèces qui peuvent être situées en dessous, puis l'anneau est descendu, et ceci progressivement jusqu'à la surface du sol. Les observations sont renouvelées à intervalles réguliers le long de la règle.



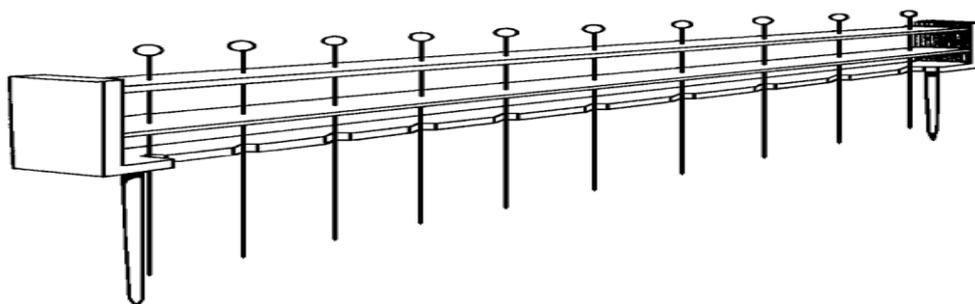
**Figure 20 :** La loup méthode (Daget et al, 2010)

### III.2.2. Point quadrant

Il est constitué d'un bâti muni de 10 aiguilles espacées de 5 cm (2 pouces) et de 2 pieds pointus pour la mise en place. Les aiguilles sont successivement descendues dans la végétation et les espèces qu'elles touchent au moins une fois notées à mesure.

Plusieurs séries de points sont nécessaires pour caractériser une station ; les auteurs recommandent 75 séries pour caractériser les espèces dominantes et entre 40 à 50 pour l'ensemble des espèces du tapis végétal. Actuellement, il est apparu, comme cela sera souligné plus loin, que 100 points de végétation suffisent.

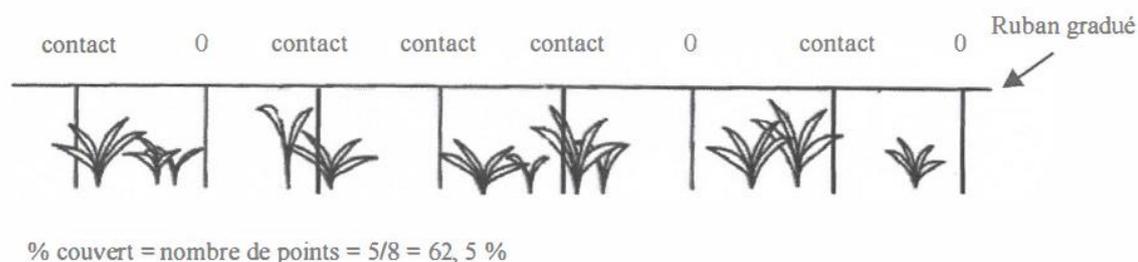
Il semble, à la lecture de leurs textes, que les auteurs aient fait leurs observations en notant les espèces successivement en contact avec la pointe de l'aiguille dans son mouvement vertical ; toutefois, beaucoup ont lu qu'il convenait de descendre d'abord l'aiguille dans la végétation jusqu'au sol puis de regarder les espèces en contact avec la surface de l'aiguille.



**Figure 21:** Le système de points quadrats de Levy (d'après une photo de Levy et Madden, 1933)

### III.2.3. Méthode des points quadrats alignés (Transects)

La méthode des points quadrats alignés ou points-contacts permet une étude facile et rapide du tapis herbacé : elle est de plus peu coûteuse et nécessite un équipement peu encombrant. Elle consiste à caractériser l'importance de chacune des espèces en mesurant son recouvrement par l'observation de fréquences à la verticale de points (généralement 100) disposés régulièrement le long d'une ligne, qui peut-être par exemple un décamètre tendu au-dessus de la végétation. Pour obtenir 100 points sur une longueur de 10 m, une aiguille (ou baïonnette) est introduite verticalement dans le tapis tous les 10 cm en ne prenant en compte qu'un seul contact par espèce, au niveau des feuilles ou des tiges



**Figure 22 :** Estimation du couvert herbacé selon la méthode des points quadrats alignés (Poilecot, 2002).

## Références bibliographiques

- Bouzidi, M. A., Latrèche, A., Attaoui, I., Mehdadi, Z., & Benyahia, M. (2009).** Caractérisation des matorrals et des garrigues à Urginea pancration Phil. dans le Djebel Tessala (Algérie occidentale). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 3), 131-149.
- Bournerias, M., Arnal, G., Bock C. (2002).** Les groupements végétaux du Bassin parisien. 639 p, Belin
- Dierschke H. (1994).** Pflanzensociologie. Ulmer, Stuttgart, 683 pp.
- Ducerf G. (2008).** L'encyclopédie des plantes bio-indicatrices alimentaires et médicinales : Guide de diagnostic des sols Volume 1. 352p.
- Guinochet M. (1973).** Phytosociologie. Collect. Ecologie, Masson. 227 p.
- Tremp H. (2005).** Aufnahmen und Analyse vegetationsökologischer Daten. 141 p.
- Delassus, L. (2015).** Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques. Conservatoire botanique national de Brest.
- Braun-Blanquet, J., Roussine, N., Nègre, R. (1952).** Groupements végétaux de la France méditerranéenne.
- Guinochet, M., De Vilmorin, R., & Mangenot, G. (1973).** Flore de France (Vol. 1, No. 3). Editions du CNRS, diffusion Doin.
- Greig-Smith, P. (1952).** The use of random and contiguous quadrats in the study of the structure of plant communities. *Annals of Botany*, 293-316.
- Hellawell, J. M. (1991).** Development of a rationale for monitoring. In *Monitoring for conservation and ecology* (pp. 1-14). Springer, Dordrecht.
- Grayson, R. B., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., & Hart, B. T. (1996).** The potential of field turbidity measurements for the computation of total phosphorus and suspended solids loads. *Journal of environmental management*, 47(3), 257-267.

- Lhonore, J. Meunier, P. (2001).** Contribution à l'inventaire des lépidoptères de la réserve naturelle des vallées de Grand-Pierre et de Vitain. *Symbioses*, (4), 51-54.
- Delassus, L., Goret, M., Zambettakis, C. (2016).** Catalogue des végétations naturelles et semi-naturelles de Basse-Normandie comprenant une proposition.
- Bouzillé, J. B. (2007).** Gestion des habitats naturels et biodiversité, Lavoisier. 330p.
- Ellenberg, H., (1956).** Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. *Phytologie IV*, I, ed. H. Walter Stuttgart: Ulmer.
- Bouzidi, M. A., Latrèche, A., Attaoui, I., Mehdadi, Z., Benyahia, M. (2009).** Caractérisation des matorrals et des garrigues à Urginea pancration Phil. Dans le Djebel Tessala (Algérie occidentale). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 3), 131-149.
- Gauch, H. G., Gauch Jr, H. G. (1982).** Multivariate analysis in community ecology (No. 1). Cambridge University Press.
- Legendre, P., Legendre, V. (1984).** Postglacial dispersal of freshwater fishes in the Québec peninsula. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(12), 1781-1802.
- Bouxin, G., Hérault, B., Thoen, D. (2004).** Comparison of the regeneration patterns of woody species between Norway spruce plantations and deciduous forests on alluvial soils. *Belgian Journal of Botany*, 36-46.
- Dufrêne, M., Legendre, P. (1997).** Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, 67(3), 345-366.
- Gounot, M. (1969).** Methods for the quantitative study of vegetation. *Methods for the quantitative study of vegetation*.
- Flahault, C., Schröter, C. (1910).** Phytogeographical nomenclature, reports and propositions. Zurcher & Furrer.
- Daget, P., Poissonet, J., Huguenin, J. (2010).** Prairies et Pâturages-Méthodes d'étude de terrain et interprétations.
- Levy, E. B., E. A. Madden. (1933).** The point method of pasture analysis. *N. Z. Jour. Agr.* 46:267-279.