

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila –
Institut des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de l'Ecologie et de L'environnement



POLYCOPIES DE COURS

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

Elaboré par : Dr. Bouaroudj Sara

Année Universitaire 2022/ 2023

Préface

Ce document sert comme support du cours, il est proposé pour l'enseignement de la matière méthodes d'étude et d'inventaire des peuplements végétaux et animaux. Le polycopié est conforme au programme d'enseignement agréé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Ce support du cours est consacré aux étudiants inscrits en 3^{ème} année licence spécialité écologie et environnement. Dans ce polycopié, après une introduction sur l'inventaire de la faune et de la flore, ce cours présente les principes généraux d'échantillonnage et les différents types d'échantillonnages (Subjectif et probabilistes). Suivi par l'explication des trois méthodes d'échantillonnage des végétaux (Physionomique, dynamique et phytosociologies) et les méthodes d'échantillonnage de la faune (les Mammifères, les Oiseaux, les Amphibiens, les Reptiles et les Arthropodes en particulier les Insectes terrestres et aquatiques). La dernière partie du cours est consacré à la présentation de données d'observation et de collecte (échantillonnage) sur le terrain ainsi que les indices écologiques et les tests statistiques nécessaire à l'exploitation des résultats.

Licence / Master : Licence 3^{ème} Année

Matière : Méthodes d'étude et d'inventaire des peuplements végétaux et animaux

Domaine : Ecologie et environnement

Filière : Ecologie et environnement

Semestre : 5 , Année Universitaire : 2024/2025

Coefficient : 2

Crédit : 5

Unité d'enseignement : UE Méthodologie

Objectif de l'enseignement

Les étudiants par le biais de cette matière auront la capacité de maîtriser les différentes méthodes d'échantillonnage des peuplements végétaux et animaux dans différents biotopes naturels de la région de Jijel. Nécessité pour les étudiants d'effectuer des sorties sur terrain pour approfondir toutes les données théoriques à évaluer sur terrain.

Connaissances préalables recommandées :

Différentes techniques et méthodes utilisées pour l'échantillonnage de flore et de la faune dans les différents types d'écosystèmes

Contenu de la matière :

- I. Principes généraux
 - I.1. Le matériel végétal et animal
 - I.2. Le milieu
 - I.3. Structure et homogénéité des peuplements
- II. Qualité et types d'échantillonnage
- III. Hiérarchisation et classification des peuplements

III.1. Méthodes qualitatives

III.1.1. Méthode sigmatiste et nomenclature phytosociologique

III.1.2. Méthodes floristique statistiques

III.1.3. Notion de groupes écologiques

III.1.4. Approches phytoécologique (formulaire d'inventaire des différents types de groupes écologiques)

III.1.5. Différentes zoocénoses en fonction des formations végétales

III.2. Méthodes quantitatives

- Analyse linéaire

- Point quadrant

Mode d'évaluation :

Examen Final 60%

Travaux Pratiques 40%

Table de matière

CHAPITRE 1 : PRINCIPES GENERAUX	
I. Principes généraux	1
I.1. Le matériel végétal et animal	3
I.1.1. Le matériel végétal	3
I.1.1.1. Notion d'espèce	3
I.1.1.2. Notion de flore	4
I.1.1.2.1. Définition	4
I.1.1.2.2. Cortège floristique	5
I.1.1.2.3. Principaux types de flores	5
A. Plante indigène ou autochtone	5
B. Plante naturalisée	6
C. Plante Adventice	6
D. Plante Sub-spontanée	6
E. Plante Cultivée	6
F. Plante cosmopolites	7
G. Plante Ubiquistes	7
H. Plante Endémiques	7
I.1.1.3. Notion de végétation	7
I.1.1.3.1. Définition	7
I.1.1.3.2. Types et spectres biologiques	9
I.1.1.3.2.1. Définition des types biologiques	9
I.1.1.3.2.2. Typologie standard	10
A) Phanérophytes	10
B) Chamaephytes	10
C) Hémicryptophytes	11
D) Cryptophytes	12
D-1) Géophytes	12
D-2) Hélophytes	12
D-3) Hydrophytes	12
E) Thérophytes	13
I.1.1.3.2.3. Le spectre biologique	15
I.1.1.3.2.3.1. Spectre biologique brut	16
I.1.1.3.2.3.2. Spectre biologique net	17
I.1.1.3.3. Formation végétale	17
I.1.1.3.3.1. Définition	17

I.1.1.3.3.3. Type de formations	18
1- Toundra	18
2- Taïga	19
3- Forêts tempérées	20
4- Prairies tempérées	22
5- Forêt méditerranéenne	23
6- Les déserts	23
7- La savane	25
8- Les forêts tropicales	26
I.1.1.2. Le matériel animal	27
I.1.2. Le milieu	27
I.1.3. Structure et homogénéité des peuplements	29
I.1.3.1. Physionomie et structure des communautés végétales	29
I.1.3.2. Structure spatiale des communautés animales	36
I.1.3.2.1. Répartition sur un plan horizontal	36
I.1.3.2.2. Répartition sur un plan vertical	37
CHAPITRE 2 : L'ÉCHANTILLONNAGE	
II. Qualité et types d'échantillonnage	39
II.1. Qualité d'échantillonnage	39
II.1.1. Choix d'une méthode	40
II.1.2. Choix d'un plan d'échantillonnage	41
II.2. Types d'échantillonnage	42
II.2.1. L'échantillonnage subjectif	42
II.2.2. L'échantillonnage aléatoire simple	42
II.2.3. L'échantillonnage systématique	44
a. Surfaces	45
b. Lignes	46
c. Points	47
II.2.4. L'échantillonnage stratifié	50
II.2.5. Échantillonnage exhaustif	51
II.2.6. L'échantillonnage mixte	53
CHAPITRE 3 : HIERARCHISATION ET CLASSIFICATION DES PEUPEMENTS	
III. Hiérarchisation et classification des peuplements	55
III.1. Méthodes qualitatives	55
III.1.1. Méthode sigmatiste et nomenclature phytosociologique	55
III.1.1.1. Présentation de la méthode de Braun-Blanquet	55

a. La technique du relevé	55
b. Relevé phytosociologique	57
c. La synthèse	59
d. Identification des associations végétales	63
e. Hiérarchisation	63
III.1.1.2. Nomenclature phytosociologique	64
III.1.2. Méthodes floristique statistiques	64
A. Mise en forme des données	65
B. La mesure de la similarité entre stations et entre espèces	65
C. Méthodes d'analyse	66
III.1.3. Notion de groupe écologique	69
III.1.4. Approches phytoécologique	69
III.1.5. Différentes zoocénoses en fonction des formations végétales	70
III.2. Méthodes quantitatives	72
III.2.1. Analyse linéaire	72
III.2.2. Point quadrant	72
III.2.3. Méthode des points quadrats alignés	73

CHAPITRE 1 : PRINCIPES GENERAUX

L'étude de la flore de chaque région est utile dans la maîtrise des problèmes écologiques à l'instar de la protection biologique et la gestion des ressources naturelles. Les formes biologiques des plantes dépendent du caractère génétique aussi bien que des facteurs environnementaux, parce que l'environnement peut avoir des effets indéniables sur la formation de différentes formes critiques des plantes. La topographie diversifiée, la géologie, la variabilité spatiale et temporelle du climat en Afrique aurait créé une mosaïque de types de végétation distincts. Comprendre la réponse des communautés végétales à des modifications des conditions environnementales peut donc permettre de prévoir les conséquences de ces modifications sur des processus comme la productivité primaire. Cela peut avoir un grand intérêt en termes de gestion de l'environnement dans la mesure où ces processus influencent les services rendus par les écosystèmes sur le plan environnemental.

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 (Durand , 2009).

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 (Adam et al., 2015).

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 (Bouzillé, 2007).

I.1.1.1. Notion d'espèce

En 1583, Césalpin, philosophe, médecin, botaniste et naturaliste, utilise la notion d'espèce pour classer ses plantes. Pour lui, les plantes qui se ressemblent dans leur totalité font partie en général de la même espèce.

Charles Bonnet, naturaliste suisse, en 1740, définit une espèce par une combinaison de caractéristiques morphologiques (= liées à l'aspect), physiologiques (= liées au fonctionnement de l'organisme) et éthologiques (= liées au comportement).

En 1798, Georges Cuvier propose sa définition de l'espèce : est la collection de tous les individus issus de parents communs et de tous ceux qui leur ressemblent autant qu'ils se ressemblent entre eux".

D'après Mayr (1942), L'espèce est constituée par des groupes de populations naturelles potentiellement ou réellement interfécondes et isolées quant à la reproduction de tout autre groupe semblable. D'après Mayr, les espèces sont des groupes de populations actuelles capables d'inter-croisement et qui sont reproductivement isolés d'autres groupes semblables.

Cuénot précise que l'espèce est une réunion d'individus apparentés, ayant une même morphologie héréditaire, même caractère physiologique, un genre de vie commun, une aire géographique définissable, séparée des groupes voisins par une barrière généralement d'ordre sexuelle".

L'espèce est la collection de tous les êtres organisés descendus l'un de l'autre ou de parents communs et s'y éteignent en relation avec le déroulement de la succession ou avec l'arrivée de nouvelles perturbations. La définition de l'espèce est basée essentiellement sur la comparaison des caractères morphologique, sur les caractères liés à l'interfécondité, sur les caractères héréditaires des formes et sur les rapports des espèces avec les conditions de milieu.

La principale difficulté réside dans la limite des variations de caractères qui différencient les caractères individuels des caractères héréditaires. Donc on peut définir la notion d'espèce à deux niveaux :

- **Sens biologique** : ensemble de populations effectivement ou potentiellement interfécondes dans les conditions naturelles et sexuellement isolées des autres populations ;
- **Sens taxonomique** : unité fondamentale dans la classification taxonomique qui distingue les grandes unités suivantes : règne, embranchement, classe, ordre, famille, genre et espèce.

Ces deux notions se recoupent la plupart du temps.

I.1.1.2. Notion de flore

I.1.1.2.1. Définition

La flore correspond à l'ensemble des espèces végétales vivant dans un même espace géographique à une période donnée. Le terme ne doit pas être confondu avec la végétation. La végétation est l'une des caractéristiques majeures de la biogéographie et se définit comme étant l'ensemble des communautés végétales renfermant la flore qui consiste en une liste de toutes les espèces végétales d'une région donnée. « C'est la masse végétale, l'ensemble des plantes considérées dans leurs rapports avec le milieu, le climat, le sol et les êtres vivants y compris l'homme ».

La flore d'une région est la liste des unités taxonomique, des taxons, des espèces qui composent cette région. La flore exprime ainsi principalement le résultat

actuel de l'histoire des taxons, de leur variation et leur déplacement à la surface du globe.

La flore d'une région comporte des espèces considérées comme indigènes (ou natives ou autochtones) et des espèces introduites (ou étrangères ou exotiques). Les plantes introduites sont de quatre catégories : naturalisées, adventices, sub-spontanées et cultivées (Daget et al., 2010).

I.1.1.2.2. Cortège floristique

C'est l'ensemble d'espèces caractérisant un territoire donné : cortège méditerranéen...; il peut être décomposé en éléments : élément méditerranéen oriental, élément occidental.

La corrélation entre aires des espèces constituant un cortège floristique est dû à des raisons écologiques et paléo écologiques : ainsi, les espèces méditerranéennes sont réunies car elles ont une adaptation commune au même climat d'une part et d'autre part car elles sont issues d'un fond floristique existant depuis longtemps dans cette région.

Gausson a proposé d'appeler cortège ou élément méditerranéen : l'ensemble des espèces adaptées au climat méditerranéen et qui ne peuvent dépasser ses limites et en revanche cortège ou élément mésogéen : l'ensemble d'espèces de souche géographique méditerranéenne mais ayant acquis une aire plus vaste et sont susceptibles d'exister en conditions subméditerranéennes ou même tempérée'' centre-européennes'' entre autres.

Ex : Cortège méditerranéen : chêne vert, pistachier, caroubier, arbousier, genévrier, pin d'Alep, romarin... (Dajoz, 2006).

I.1.1.2.3. Principaux types de flores

A. Plante indigène ou autochtone

Les plantes indigènes sont des espèces végétales qui se développent naturellement à l'état sauvage, sans intervention intentionnelle de l'homme sur le territoire considéré (= qui pousse toute seule). La spontanéité d'une espèce dans certaines stations est difficile à déterminer : cela reste parfois incertain et est source de confusion. Les plantes indigènes constituent le « fond de la flore » du territoire considéré. Elles peuvent coloniser des milieux naturels, semi-naturels ou secondaires (fabriqués par l'homme) (Delassus, 2015).

B. Plante naturalisée

Est une plante étrangère, introduite fortuitement ou volontairement, mais bien installée, c'est-à-dire se propageant comme une plante indigène et persistante dans plusieurs de ses stations. Parmi les espèces naturalisées d'un territoire, on considère comme envahissantes (ou invasives) celles qui, "par leur prolifération dans les milieux naturels ou semi-naturels, y produisent des changements significatifs de composition, de structure et/ou de fonctionnement des écosystèmes". Les invasions biologiques seraient la troisième cause d'appauvrissement de la biodiversité, les deux premières causes étant la modification du climat et la destruction des milieux.

- * Les espèces naturalisées anciennement introduites **Archéophyte**.
- * Les espèces naturalisées nouvellement introduites **Néophyte**.

C. Plante Adventice

Espèce végétale étrangère à la flore indigène d'un territoire dans lequel elle est accidentellement introduite et peut s'installer. Autrement, un Adventice est une plante qui pousse spontanément dans les milieux modifiés par l'homme, qu'elles soient autochtones ou originaires d'autres continents.

D. Plante Sub-spontanée

Est une plante étrangère, d'abord cultivée dans les jardins, les parcs ou les champs, puis s'échappant de ces espaces mais ne se mêlant guère à la flore indigène et ne persistant généralement que peu de temps. Son installation dans les milieux naturels est encore précaire.

E. Plante Cultivée

Est une plante faisant l'objet d'une culture intentionnelle, pour des buts variés: agriculture, horticulture, production de bois, ornement, intérêts médicinal ou apicole, protection des sols... Ces plantes sont volontairement introduites dans les champs, les jardins, les prairies et forêts artificielles, les villes, les bords de routes...

F. Plante cosmopolites

Végétaux à grande répartition géographique ; roseau, ortie, morelle noire, bourse à pasteur aussi, la végétation des eaux continentales « douce et saumâtre » est cosmopolite car ces milieux sont homogènes et les espèces aquatiques ont un grand pouvoir de multiplication.

G. Plante Ubiquistes

Espèces capables d'occuper des milieux très différents du point de vue écologique.

H. Plante Endémiques

Espèces dont l'aire de répartition est entièrement comprise à l'intérieur des limites territoriales ; elles ne se répartissent pas au hasard mais existent dans des régions dont la flore a été relativement isolée (îles, désert, hauts sommets de montagne) ; ainsi, l'isolement géographique « brusque variation des conditions du milieu » entraînant une fragmentation de l'aire globale, et chaque partie de cette aire a alors ses propres conditions déclenchant des adaptations différentes ; en plus, suite à l'isolement géographique, s'installe des barrières à l'interfécondité et au brassage génétique instaurant un isolement génétique.

I.1.1.3. Notion de végétation

I.1.1.3.1. Définition

La végétation est perçue comme une mosaïque d'unités à différents stades d'évolution et/ou occupant des habitats différents ... Les espèces colonisent successivement ces unités, s'y installent plus ou moins durablement et s'y éteignent en relation avec le déroulement de la succession ou avec l'arrivée de nouvelles perturbations.

La végétation est l'une des caractéristiques majeures de la biogéographie et se définit comme étant l'ensemble des communautés végétales renfermant la flore qui consiste en une liste de toutes les espèces végétales d'une région donnée.

La caractérisation de la végétation permet de "peindre l'aspect que donne à une contrée la distribution, le port, l'abondance ou la rareté des plantes qui en couvrent

le sol". "C'est la masse végétale, l'ensemble des plantes considérées dans leurs rapports avec le milieu, le climat, le sol et les êtres vivants y compris l'homme".

La végétation est largement indépendante de la nature systématique des végétaux qui la composent. Par contre, elle est le reflet fidèle du milieu dans lequel elle vit. Deux végétations équivalentes, croissant dans un climat analogue, peuvent n'avoir aucune espèce en commun. Elles n'en seront pas moins apparentées et susceptibles de se remplacer mutuellement.

La végétation peut donc se caractériser de façon multiple, puisqu'il s'agit de considérer des ensembles structurés de végétaux. Les proportions respectives des différentes espèces n'en sont qu'un aspect. Le mode d'association, la répartition spatiale, mais aussi la taille, la morphologie des organes et des individus sont d'autres critères qui peuvent être tout aussi importants à considérer (Duvigneaud, 1984).

L'organisation et le fonctionnement des végétations peuvent être appréhendés à différents niveaux hiérarchiques (Figure 1) :

- **L'individu** : dans les prairies la définition de l'individu physiologique n'est pas toujours facile. Celui-ci est généralement constitué d'un assemblage de modules de base ou talles pour les graminées. Le terme courant de "plante" rend assez bien compte de la notion d'individu, sauf pour les végétaux stolonifères ou rhizomateux pour lesquels les "individus" réels sont peu distinguables.
- **La population** : c'est "l'ensemble des individus de même espèce vivant sur un territoire donné".
- **La communauté** : c'est "l'ensemble des végétaux réunis sur une même surface". Elle est donc constituée d'individus de différentes espèces vivant en interaction dans un même environnement écologique. Les termes de phytocénose, de groupement, que nous n'employons pas, ont des significations voisines (El Bouhissi et al., 2021).

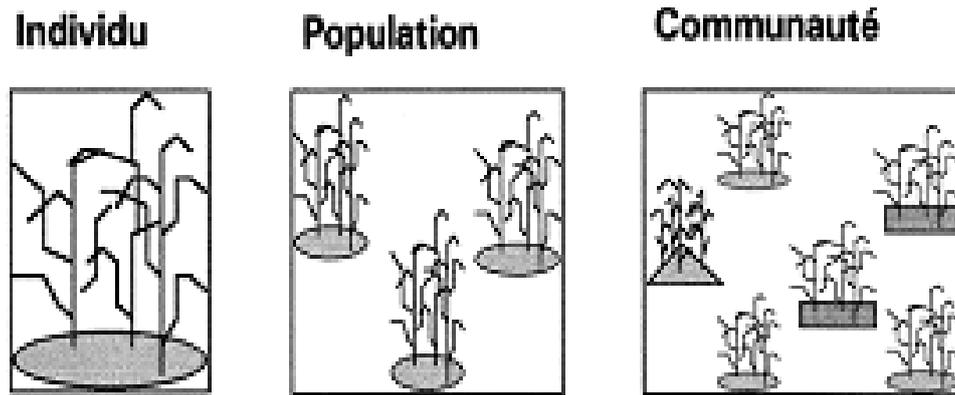


Figure 1. Différents niveaux hiérarchiques de la végétation

I.1.1.3.2. Types et spectres biologiques

Plusieurs critères peuvent être employés pour classer les végétaux en fonction de leur type d'organisation morphologique et biologique :

- ❖ Selon le **milieu de vie** : on distingue des végétaux aérien (épiphytes), terrestres, vivant dans la vase (hélrophytes) ou aquatique (hydrophytes).
- ❖ Selon l'**alimentation carbonée** : on distingue des végétaux autotrophes, hémiparasites, parasites, saprophytes ou symbiotiques.
- ❖ Selon la **durée de vie de la plante** : on distingue des végétaux annuels (thérophytes), bisannuel ou pérennes (vivaces).
- ❖ Selon la hauteur des bourgeons de renouvellement dans la saison défavorable (Gaudin, 1997).

I.1.1.3.2.1. Définition des types biologiques

Les types biologiques de Raunkiaer constituent l'une des caractéristiques très intéressantes de la végétation.

Les types biologiques ou formes biologiques qui désignent le comportement adaptatif de l'espèce. Elles renseignent sur le type de la formation végétale, son origine et ses transformations. Selon Raunkiaer (1934), le type biologique d'une espèce végétale est défini par la situation des bourgeons qui survivent à la saison défavorable, par rapport au niveau du sol.

I.1.1.3.2.2. Typologie standard

Les végétaux sont classés selon leurs types biologiques déterminés par la morphologie générale de l'espèce, qui exprime son adaptation à l'environnement. Les cinq types biologiques de végétaux terrestres:

A) Phanérophytes

pour lesquels les bourgeons végétatifs persistants sont situés à l'extrémité de tiges ligneuses assez loin du sol ; selon la hauteur, on distingue:

- **Mégaphanérophytes** dont les tiges ligneuses dépassent 32 mètres.
- **Macrophanérophytes** tiges ligneuses de 16 à 32 mètres.
- **Mésophanérophytes** tiges ligneuses de 8 à 16 mètres.
- **Microphanérophytes** tiges ligneuses de 2 à 8 mètres.
- **Nanophanérophytes** tiges ligneuses de 0.5 à 2 mètres.

Les subdivisions des Phanérophytes reposent sur le degré de protection des organes tendres vis-à-vis de la mauvaise saison. Parmi les caractères envisagés comme tels, Raunkiaer fait successivement état des suivants :

- o Protection des bourgeons;
- o Chute des feuilles avant la saison défavorable;
- o Diminution de la taille des plantes;
- o Adaptations xérophytiques en général.

B) Chamaephytes

comprennent les végétaux dont les bourgeons ou les extrémités des pousses pérennantes sont situées à proximité du sol inférieur à 0,5 m, sur des rameaux rampants ou dressés.

La situation basse des organes persistants considère comme favorable pour assurer la protection des organes pérennants, par une couche de neige dans les pays froids, par les débris végétaux couvrant le sol dans les pays tempérés ou chauds. Dans les savanes des régions tropicales, cette disposition est également avantageuse, car elle assure une protection efficace entre les touffes plus ou moins denses des graminées. Cette situation constitue, de toute façon, un avantage, car il règne, à proximité du sol, même en saison sèche, un microclimat plus favorable que dans la biosphère exposée aux vents et à l'évaporation accentuée par la sécheresse (Crosaz, 1994).

Raunkiaer partage les chaméphytes en cinq sous-types principaux :

- Chaméphytes suffrutescentes ou Herbes annuelles, à ramification diffuse et dressée.
- Chaméphytes rampantes, branches décombrantes ne s'élevant guère au-dessus du sol.
- Chaméphytes cespiteuses, formant des touffes ou rosettes denses.
- Chaméphytes en coussin, croissance très compacte.
- Chaméphytes bryoïdes, mousses et lichens.

C) Hémicryptophytes

sont des plantes vivaces enracinées dont les pousses ou bourgeons de remplacement sont situés à la surface du sol. Normalement, chez les hémicryptophytes les plus parfaits, la pousse aérienne se dessèche complètement ou presque complètement durant la période défavorable. Les organes pérennants de ces plantes sont ainsi protégés dans le sol et leurs organes de rénovation sont abrités dans l'horizon Ao des pédologues, c'est-à-dire dans la couche de matières organiques en voie d'humification.

Le type hémicryptophyte présente également une grande diversité.

Braun-Blanquet (1928), à son tour, répartit les hémicryptophytes entre les sous-types suivants :

- Hémicryptophytes cespiteux, les bourgeons et les pousses sont protégés par des tuniques ou de véritables carapaces formées par les feuilles persistant en tout ou en partie et formant gaine autour des bourgeons et des jeunes axes de remplacement.
- Hémicryptophytes rosettés, plantes à feuilles étalées à la surface du sol, formant des rosettes, au moins temporaires, à assimilation souvent continue.
- Hémicryptophytes scapeux, dans ce type il se produit des pousses aériennes feuillées qui se détruisent plus ou moins complètement au cours de la mauvaise saison.
- Hémicryptophytes grimpants, ce sont des hémicryptophytes scapeux, mais à pousses aériennes dépourvues de rigidité et s'accrochant à un support.

D) Cryptophytes

Pour lesquels ces bourgeons sont situés à l'intérieur du sol, et selon le type de sol les subdivisions suivantes sont reconnues :

D-1) Géophytes

Sont des végétaux à pousses ou bourgeons persistants entièrement abrités, durant la mauvaise saison, sous une couche de terre d'épaisseur variable.

Raunkiaer établissait une distinction entre géophytes proprement dits et héliophytes. Les géophytes sont des plantes de terre ferme, tandis que les héliophytes sont des cryptophytes palustres, à bourgeons persistants développés dans un sol imbibé d'eau et souvent recouvert par une nappe d'eau plus ou moins profonde.

Braun-Blanquet (1928) divise, à son tour, les géophytes de la manière suivante :

- ✓ **Eugéophytes:**
 - Géophytes bulbeux ou tubéreux;
 - Géophytes rhizomateux;
 - Géophytes radicigemmes.
- ✓ **Géophytes parasites.** Végétaux parasites des racines dont les organes de persistance sont souterrains.

D-2) Hélophytes

quand ils sont dans un sol terrestre très humide comme de la vase. Les héliophytes sont des végétaux finissant par développer un appareil végétatif et reproducteur totalement aérien, mais en gardant leurs appareils souterrains dans un substrat vaseux gorgé d'eau. Certaines commencent leur cycle à l'état submergé alors que d'autres commencent d'emblé comme un végétal terrestre (Albert C. H., 2009).

D-3) Hydrophytes

Comprennent les plantes aquatiques dont les bourgeons persistants sont situés au fond de l'eau.

Braun-Blanquet (1928) partage ce type biologique en deux groupes :

- **Hydrophytes nageant** : plantes aquatiques flottantes ou faiblement enracinées.
- **Hydrophytes fixés** : plantes aquatiques fixées au substrat.

Ce sous-type est divisé à son tour par Koch (1928), de la manière suivante :

- **Hydrogéophytes** : Plantes aquatiques à rhizome.
- **Hydrohémicryptophytes** : Plantes aquatiques à bourgeons situés au ras de la vase, au fond de l'eau.
- **Hydrothérophytes** : Plantes aquatiques annuelles.

E) Thérophytes

Végétaux herbacés annuels qui passent la mauvaise saison sous forme de graines et qui réalisent leur cycle entier en une année au maximum. Une grande diversité de comportement de ces « plantes annuelles ». Certaines germent dès l'automne des régions tempérées, passent l'hiver à l'état de plantule, prennent un développement actif au cours du printemps et meurent durant la sécheresse estivale. D'autres ne germent qu'au printemps et leur cycle végétatif se termine en été. D'autres encore germent et se développent en tout temps et ne disparaissent qu'au cours des saisons défavorables. Nombreuses sont, parmi les plantes annuelles, celles qui développent plusieurs générations au cours de l'année (Alzieu, 2003).

Braun-Blanquet classe les thérophytes selon le comportement de la pousse aérienne. Il distingue les catégories suivantes :

- ✓ **Thérophytes érigés.**
- ✓ **Thérophytes prostrés.**
- ✓ **Thérophytes grimpants.**
- ✓ Müller (1933 in Parc national Albert) ajoute une quatrième catégorie, celle des **thérophytes à rosette.**

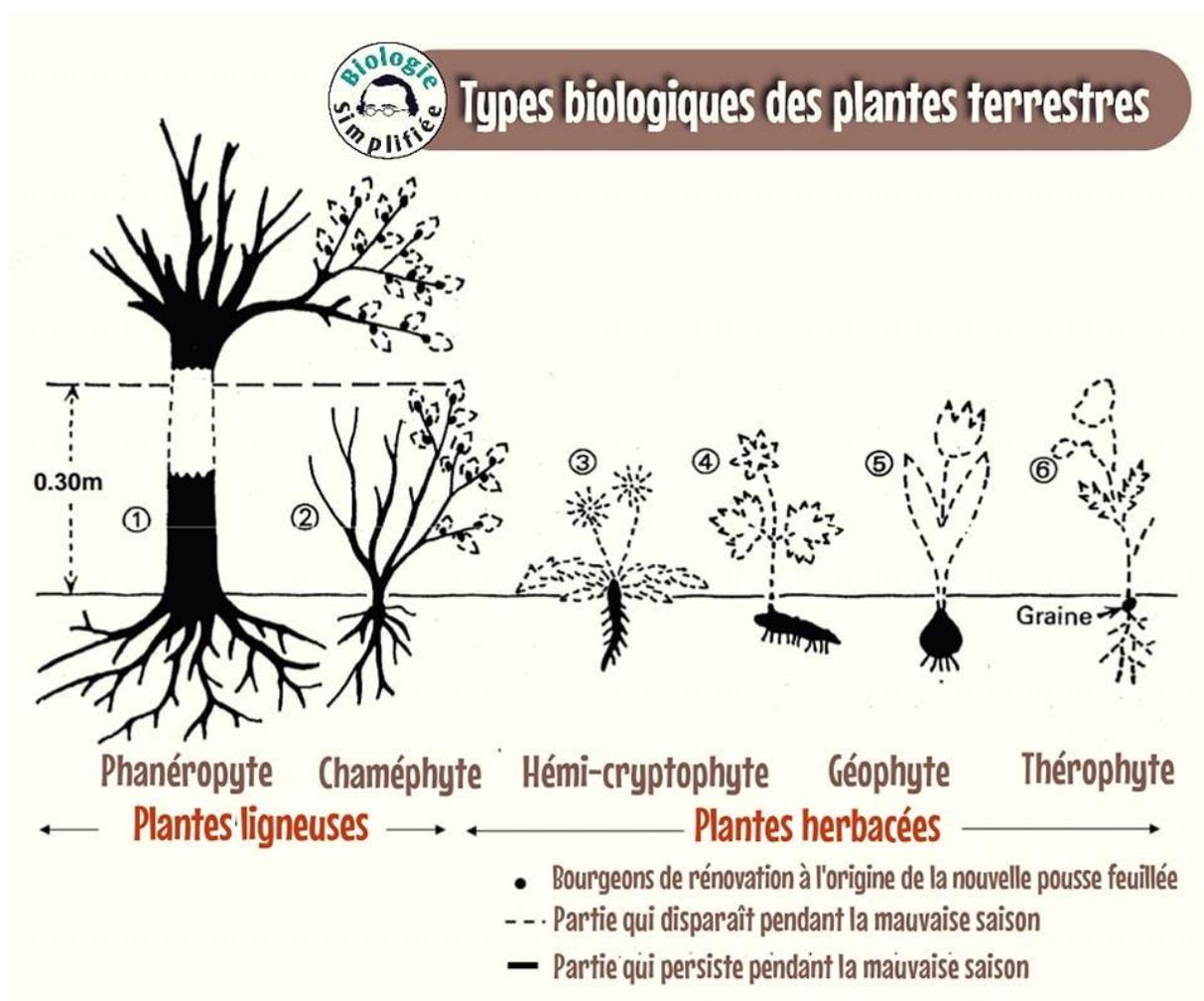


Figure 2. Les différents types biologiques

Tableau 1. Tableau récapitulatif de différents types biologiques

Types biologiques	Caractères
Phanérophytes	Plante ligneuse, bourgeons jusqu'à plus de 50 cm du sol. Arbres, arbustes, arbrisseau, épiphytes.
Chaméphytes	Plante ligneuse, bourgeons entre 0 et 50 cm du sol Arbres, arbustes nains rampants, sous arbrisseaux.
Hémicryptophytes	Pas de plante ligneuse, bourgeons au niveau du sol. Herbacées bisannuelles et vivaces.
Cryptophytes (géophytes)	Pas de plante ligneuse, bourgeons sous la surface du sol. Herbacées vivaces à bulbes, rhizomes, tubercules,
Thérophytes	Pas de plante ligneuse, pas de bourgeons hivernaux. Herbacées annuelles.

I.1.1.3.2.3. Le spectre biologique

1 -La notion de spectre biologique

- Le spectre biologique représente la portion de chaque type biologique constituant le couvert végétal.
- Cette portion est calculée en pourcentage
- Le spectre biologique d'une formation précise sa physionomie et sa structure.
- Il permet également de connaître les caractéristiques du climat.
- L'étude du spectre biologique est l'une des méthodes d'étude de la végétation.
- Elle permet de connaître l'importance relative de chaque type biologique dans la flore.

Pour calculer le spectre biologique d'un type de végétation, nous utilisons un tableau de végétation où figure la liste des espèces, le type biologique de chaque espèce et son coefficient d'abondance-dominance.

Ces tableaux de végétation proviennent des relevés de végétation réalisés dans des secteurs précis à l'intérieure d'une formation végétale (Laporte et al., 2009).

2 – Le coefficient d'abondance-dominance :

- Les espèces végétales ne sont pas distribuées d'une façon identique dans le relevé.
- Certaines espèces sont plus abondantes et couvrent une partie importante du sol, d'autres sont relativement rares.

On appelle abondance la proportion relative des individus d'une espèce végétale (évaluation du nombre d'individus), et dominance la surface couverte par cette espèce (le degré de recouvrement). Les deux notions sont très voisines et se complètent.

Le taux de recouvrement d'une espèce végétale : C'est la place occupée par la projection verticale de l'appareil aérien de l'ensemble des individus d'une même espèce par rapport à la surface totale considérée (Ramade, 2009).

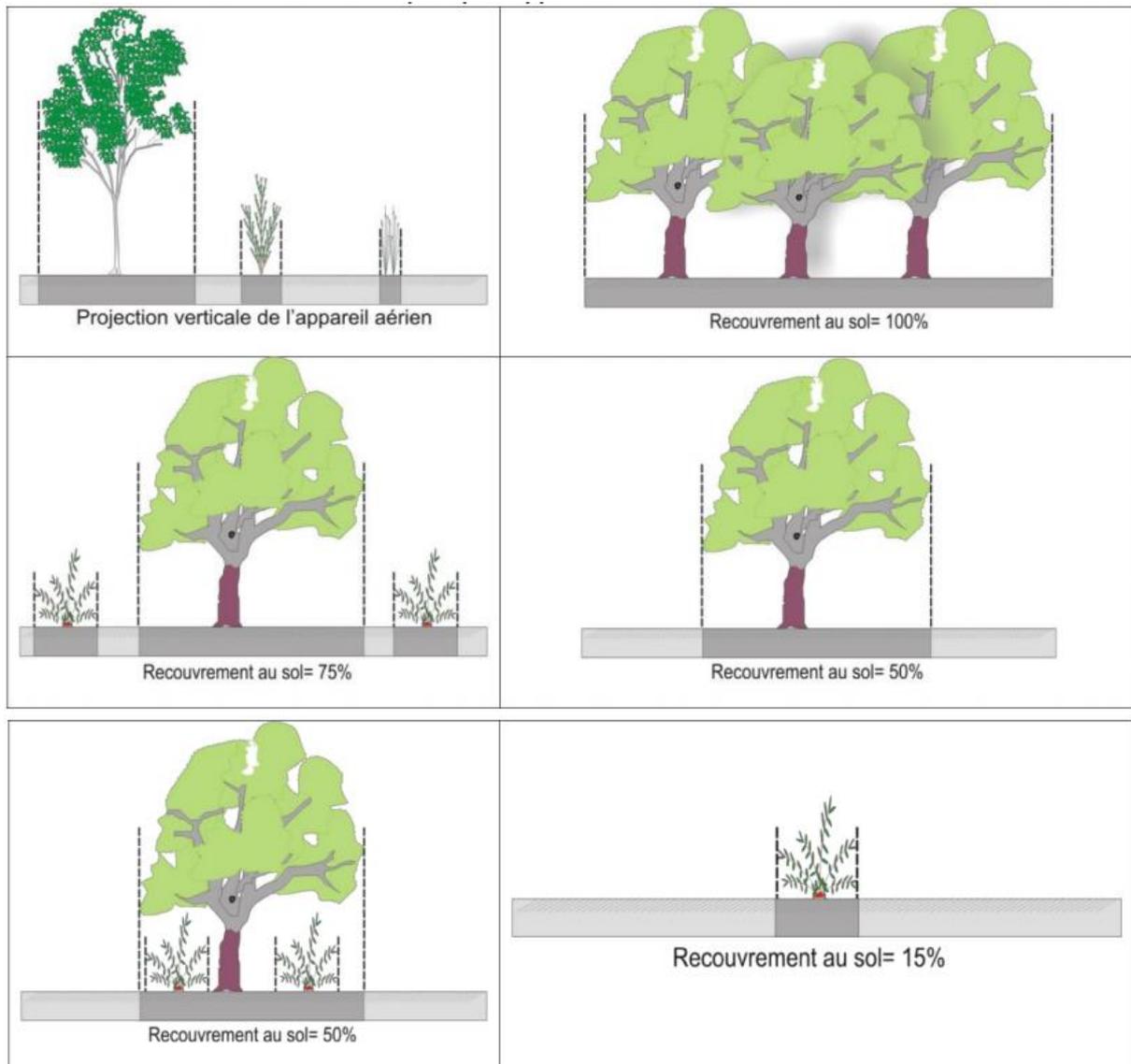


Figure 3. Recouvrement d'une espèce végétale

I.1.1.3.2.3.1. Spectre biologique brut

Le spectre biologique brut est la richesse floristique d'une population. Il exprime le pourcentage du nombre des espèces appartenant aux divers types biologiques par rapport au nombre total des espèces de l'écosystème étudié.

Il s'exprime par la formule suivante :

$$SB = \frac{Fi}{N} \times 100$$

Où

- SB= Spectre brut d'une forme biologique données;
- Fi: Nombre de fois que les espèces d'une forme biologique données sont dans l'ensemble des
- relevés;
- N: Nombre total des espèces.

I.1.1.3.2.3.2. Spectre biologique net

Le spectre biologique net corrige le spectre biologique brut puisqu'il utilise les coefficients d'abondance-dominance (C.A.D.). On calcule la somme des C.A.D. pour chaque type biologique et par la suite on calcule les pourcentages des types biologiques à partir de la somme totale des C.A.D.

I.1.1.3.3. Formation végétale

I.1.1.3.3.1. Définition

Une formation végétale désigne une classification d'espèces végétales caractérisées par un aspect particulier qui, à son tour, détermine un paysage caractéristique. Cette physionomie, appelée la végétation, permet une vue d'ensemble à une très large échelle, qui dépend de l'espèce dans un environnement de croissance de la plante où elle se développe.

Les formations végétales sont des groupes de plantes partageant un environnement commun qui interagissent entre elles, avec les populations animales et avec l'environnement physique. Certaines communautés végétales se trouvent souvent ensemble dans le paysage en raison d'exigences environnementales communes.

Les formations végétales peuvent exiger une association végétale dans toutes ces grandes catégories; pour la plupart des formations végétales, il faut concrètement tenir compte des systèmes écologiques qui les caractérisent (Chermat S., 2013).

En biogéographie, une formation végétale précise la nature de l'ensemble des végétaux qui possèdent un habitus semblable et qui forment une unité végétale homogène. Une formation végétale spécialisée dans une espèce de plante a généralement un nom précis comme une roselière, une jonchère, une cariçaie, une

lochère, une haie, un bois, une forêt, une mangrove, une steppe, une garrigue, une zone de bruyères, etc. À l'opposé, certaines formations sont habitées par une multitude d'espèces végétales, favorisant une bonne biodiversité.

Une zone anémogénète qualifie une formation végétale dont les caractères de composition floristique, de localisation et d'évolution sont conditionnés par le vent.

Certaines formations floristiques, herbacées, composées de vivaces, nécessitent un entretien régulier par fauchage, cardage, faucardage pour les plantes aquatiques, etc.

Avec les progrès réalisés en ce qui concerne la chorologie et la phytosociologie, la classification des formations végétales (feuillus, pinèdes, xérotomes, forêts compactes, forêts claires, broussaille épaisse, landes, végétation herbacée...) tend à être remplacée par un ensemble végétal plus précis, afin de tenir compte de l'espèce dominante qui compose une communauté et l'environnement auquel elles sont associées dans leur biome (Bournerias et al., 2002).

Un chaparral qualifie une formation végétale xérophytique du Texas, de la Californie et du Nord du Mexique, composée de broussailles épineuses denses hautes d'environ 2 m.

Une zone biologique halopsammée détermine une formation végétale ouverte sur sol sableux et salé selon la classification d'Allorge et Jovert. Les végétaux y sont généralement halophiles (Bouzidi, et al., 2009).

la formation végétale peut être reconnue facilement à la vue d'un paysage, sans analyse poussée, selon l'importance et la taille des types de végétaux qui la composent : herbes, buissons, arbustes, arbres... On distingue ainsi, parmi les types de formation les plus courants, la prairie, la forêt, la savane, la mangrove, la taïga, la steppe... Une formation végétale fermée recouvre entièrement le sol (forêt), contrairement à une formation ouverte (steppe) (Nentwing et al., 2009).

I.1.1.3.3. Type de formations

1- Tundra

Situé au niveau du cercle polaire arctique c'est un milieu sans arbres ; la végétation se réduit à des arbustes bas. Des communautés semblables, appelées tundra alpine, se trouvent en montagne au-delà de la limite des arbres.

Dans la toundra arctique, le climat est très froid et les jours d'hiver sont courts. Les couches profondes du sol sont gelées en permanence ; seule une couche superficielle d'une épaisseur d'environ 1 m dégèle pendant l'été. Par conséquent, les racines des Plantes ne peuvent s'enfoncer profondément. Les précipitations sont aussi faibles dans la toundra que dans certains déserts. La toundra est parsemée d'arbustes nains, de plantes herbacées, de mousses et de lichens. La croissance et la reproduction végétales se produisent soudainement pendant les courts étés, durant lesquels l'ensoleillement est presque continu.

Les animaux de la toundra arctique sont protégés contre le froid par leur graisse et leur fourrure, et beaucoup d'entre eux se réfugient dans des terriers. Comme de nombreuses espèces d'oiseaux migrent, et particulièrement les oiseaux aquatiques, la faune s'avère beaucoup plus riche en été qu'en hiver. La toundra arctique abrite de nombreux mammifères herbivores, tels le bœuf musqué et le caribou en Amérique du Nord ainsi que le renne en Europe et en Asie. Les prédateurs les plus répandus sont le renard arctique, le loup, et, près des côtes, l'ours polaire.



Figure 4. Toundra

2- Taïga

Appelée aussi forêt de Conifères ou forêt boréale, couvre une large bande qui s'étend en Amérique du Nord, en Europe et en Asie, jusqu'à la limite méridionale de la toundra arctique. On trouve aussi la taïga sous des latitudes plus tempérées, dans les zones froides de grande altitude, notamment dans la région montagneuse de l'ouest de l'Amérique du Nord. La taïga se caractérise par des hivers longs et froids et par des étés courts et pluvieux, parfois chauds. Les précipitations peuvent être considérables et prennent surtout la forme de neige. Le sol de la taïga est généralement mince, pauvre et acide. Il se forme lentement, car il est exposé au froid et recouvert d'aiguilles de Conifères qui se décomposent lentement.

Néanmoins, la végétation croît rapidement pendant les longs jours de l'été (jusqu'à 18 heures d'ensoleillement sous ces latitudes).

Les peuplements de Conifères se composent typiquement d'une seule espèce ou de quelques-unes tout au plus, soit des Pins, des Sapins...., et ils sont si denses que peu de végétation pousse dans le sous-bois. De rares feuillus comme, le Saule, l'Aune et le Peuplier croissent dans les habitats particulièrement humides ou perturbés.

Les accumulations de neige, qui peuvent atteindre plusieurs mètres chaque hiver, ont d'importantes conséquences écologiques. La neige isole le sol avant les grands froids et l'empêche ainsi de geler en permanence. Les Souris et les autres petits Mammifères se creusent des tunnels dans la neige au niveau du sol; ils restent actifs tout l'hiver et continuent à se nourrir de débris végétaux.

Les populations animales de la taïga comprennent principalement des granivores comme les écureuils, les geais et les casse-noix, des herbivores comme les insectes qui mangent les feuilles et le bois, et de grands herbivores comme le cerf, le caribou, le lièvre,.... Parmi les prédateurs de la taïga, citons l'ours grizzli, le loup, le lynx et le carcajou. Beaucoup de Mammifères de la taïga possèdent un épais pelage hivernal qui les protège contre le froid; certains hibernent jusqu'au printemps.



Figure 5. Taïga

3- Forêts tempérées

Les forêts tempérées se situent dans les régions de latitude moyenne où l'humidité se révèle suffisante à la croissance de grands arbres, soit dans la majeure partie de l'est des États-Unis, en Europe centrale et dans l'est de l'Asie. Les forêts tempérées se caractérisent par la présence d'arbres feuillus.

Dans les forêts tempérées, les températures sont très froides en hiver et chaudes en été (de -30 à 30 °C), et la saison de végétation dure de cinq à six mois. Les

précipitations sont relativement fortes et distribuées uniformément dans l'année, mais l'eau du sol gèle temporairement au pire de l'hiver. Les forêts tempérées connaissent un cycle annuel: les arbres perdent leurs feuilles en automne, entrent en dormance pendant l'hiver et bourgeonnent au printemps. Les sols relativement riches des régions tempérées fournissent les nutriments nécessaires à la feuillaison printanière. Les vitesses de décomposition sont plus lentes dans les forêts tempérées que dans les forêts tropicales; le sol des forêts tempérées est donc recouvert d'une épaisse couche de feuilles mortes qui renferment une bonne partie des nutriments du biome.

Plus ouverte et moins haute que la forêt tropicale, la forêt tempérée comprend plusieurs strates de végétation, dont un ou deux étages d'arbres, un sous-étage d'arbustes et une strate herbacée. La composition en espèces des forêts tempérées varie d'une partie du monde à l'autre ; parmi les arbres dominants, on compte le Chêne, le Hêtre et l'Érable....

Etant donné la diversité et l'abondance des ressources alimentaires et des habitats qu'elle contient, la forêt tempérée abrite une multitude d'espèces animales. Les micro-organismes, les Insectes et les Araignées vivent en grand nombre dans le sol ou dans la couche de feuilles, ou se nourrissent des feuilles et des arbustes du sous-étage. La forêt accueille aussi de nombreuses espèces d'oiseaux et de petits mammifères et, là où l'empiétement humain ne les a pas éliminés, des loups, des lynx, des renards, des ours.

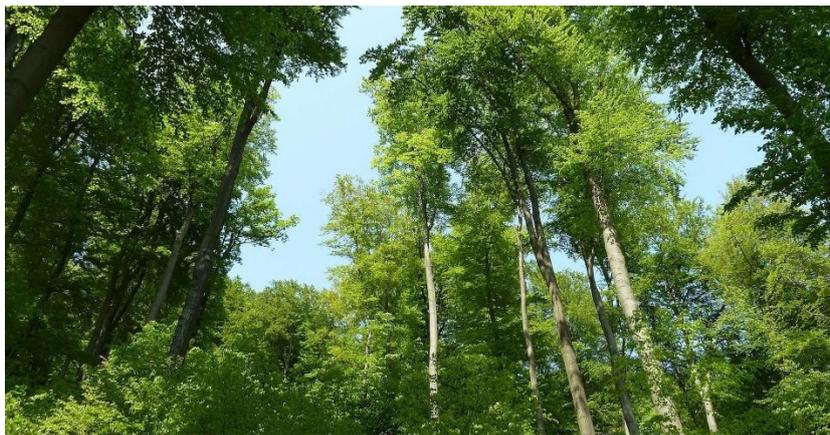


Figure 6. Forêts tempérées

4- Prairies tempérées

Ont quelques caractéristiques en commun avec la savane tropicale, mais elles se situent dans des régions où les hivers sont relativement froids. Les prairies tempérées comprennent les veldts d'Afrique du Sud, les puszta de Hongrie, les pampas d'Argentine et d'Uruguay, les steppes de Russie ainsi que les plaines du centre de l'Amérique du Nord.

La persistance de toutes les prairies repose sur des sécheresses saisonnières, des incendies occasionnels. Ces facteurs empêchent l'implantation d'arbustes et d'arbres ligneux. Le sol des prairies est gras et riche en nutriments, et les racines des Plantes herbacées vivaces s'enfoncent souvent très profondément. La quantité de précipitations annuelles influe sur la hauteur de la végétation; en Amérique du Nord, on trouve une « prairie d'herbes hautes » dans les régions humides et une « prairie d'herbes basses » dans les régions sèches.

L'aire des prairies s'est étendue après la retraite des glaciers, à la fin de la dernière glaciation, lorsque les climats se sont réchauffés et asséchés dans le monde entier. Cette expansion fut accompagnée de la prolifération des grands Mammifères herbivores comme le Bison d'Amérique du Nord, les Gazelles, les Zèbres et les Rhinocéros du veldt africain ainsi que les Chevaux sauvages et les Antilopes des steppes d'Asie. Les herbivores sont pourchassés par de grands carnivores tels les Lions et les Loups (Daget et al., 2010).



Figure 7. Prairies tempérées

5- Forêt méditerranéenne

Les régions côtières qui se situent à proximité de courants marins frais, se caractérisent souvent par des hivers doux et pluvieux et par des étés longs, chauds et secs.

La formation végétale de ces régions est la forêt méditerranéenne, et elle se compose de peuplements denses d'arbustes épineux à feuilles persistantes. Elle se trouve dans la région méditerranéenne (où elle fut décrite pour la première fois) ainsi que le long des côtes de la Californie, du Chili, du sud-ouest de l'Afrique et du sud-ouest de l'Australie. Les Plantes de ces diverses régions ne sont pas apparentées mais, tels l'Eucalyptus de l'Australie et le Chêne vert de la Californie, elles présentent des similitudes morphologiques et physiologiques.

Dans la forêt méditerranéenne, les plantes annuelles abondent pendant l'hiver et au début du printemps, périodes où les précipitations sont les plus fortes.

La forêt méditerranéenne est adaptée à des incendies périodiques. Parmi les Animaux typiques de la forêt méditerranéenne, citons les Cerfs, les Oiseaux frugivores, les Lézards, les Serpents et les Rongeurs qui mangent les graines des Plantes annuelles (Carles J., 1948).



Figure 8. Forêt méditerranéenne

6- Les déserts

Sont les plus secs des biomes terrestres, ils se caractérisent par des précipitations faibles et imprévisibles (moins de 30 cm par année). Il existe des déserts froids et des déserts chauds (avec des températures de plus de 60° C à la surface du sol pendant le jour).

On trouve des déserts chauds dans le sud-ouest des États-Unis, sur la côte ouest de l'Amérique du Sud, en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Les déserts froids se situent à l'ouest des Rocheuses, dans l'est de l'Argentine et en Asie centrale. Les déserts les plus secs, ceux où les précipitations annuelles moyennes sont inférieures à 2 cm (les précipitations sont nulles certaines années) sont l'Atacama au Chili, le Sahara en Afrique et les déserts du centre de l'Australie.

La densité de la végétation désertique est largement déterminée par la fréquence et la quantité des précipitations. Dans les déserts moins arides, la végétation dominante est clairsemée, et elle se compose d'arbustes et de Cactus résistants à la sécheresse et de Plantes qui emmagasinent l'eau dans leurs tissus. Les périodes de précipitations (comme la fin de l'hiver dans le désert de Sonora au sud-ouest des États-Unis) sont marquées par des floraisons soudaines et spectaculaires de Plantes annuelles.

Les Animaux granivores, tels que les Fourmis, les Oiseaux et les Rongeurs, se trouvent en abondance dans les déserts, et ils se nourrissent des petites graines produites en grande quantité par les Végétaux. Les Reptiles tels les Lézards et les Serpents sont d'importants prédateurs des granivores. Comme les Plantes désertiques, la plupart des Animaux du désert sont bien adaptés à la sécheresse et aux températures extrêmes.



Figure 9. Déserts

7- La savane

Une vaste étendue herbeuse où l'on trouve des arbres clairsemés. La savane couvre d'immenses régions tropicales et subtropicales du centre de l'Amérique du Sud, du centre et du sud de l'Afrique et de l'Australie. Il y a généralement trois saisons distinctes dans ces régions : une saison fraîche et sèche, une saison chaude et sèche et une saison chaude et pluvieuse, dans l'ordre.

Malgré son apparente simplicité, la savane s'avère riche en espèces. Les arbres et les arbustes sont dispersés dans le paysage ouvert, car les incendies fréquents et les grands Mammifères herbivores détruisent une bonne partie des jeunes plants. La végétation prédominante se compose de Plantes herbacées incluant plusieurs Graminées.

Les savanes tropicales des différents continents abritent quelques-uns des plus Grands herbivores du monde, dont la girafe, le zèbre, l'antilope, le buffle et le kangourou.

Les Animaux fouisseurs, qui nichent et s'abritent dans des terriers, se trouvent en abondance aussi et comprennent les souris, les taupes, les serpents.... Les Animaux de la savane s'activent surtout pendant la saison des pluies et beaucoup d'entre eux sont nocturnes.

Le terme savane désigne également les régions de chevauchement entre la forêt et la prairie. On trouve par exemple une savane en Amérique du Nord, dans la zone d'interpénétration entre la forêt et la prairie tempérée, dans une bande qui s'étend grosso modo du Minnesota à l'est du Texas. Là, les conditions climatiques et les caractéristiques des communautés sont à mi-chemin entre celles de la forêt et celles de la prairie (Cámara Artigas, 2009).



Figure 10. Savane

8- Les forêts tropicales

La température moyenne (environ 23°C) et la photopériode (environ 12 heures) y varient peu au cours de l'année. Les précipitations, par contre, y sont variables et déterminent, plus que la température et la photopériode, la végétation.

La luxuriante forêt tropicale humide croit dans les régions proches de l'équateur, où les précipitations sont abondantes (supérieures à 250 cm par année) et où la saison sèche ne dure que quelques mois.

La forêt tropicale humide est la communauté où l'on trouve la plus grande diversité biologique; on y compte autant d'espèces végétales et animales que dans tous les autres biomes terrestres réunis. On peut en effet dénombrer dans un hectare jusqu'à 300 espèces d'arbres, dont certaines atteignent de 50 à 60 m de hauteur. Etant donné la taille et la densité des arbres, la concurrence pour la lumière constitue une forte pression de sélection dans les communautés végétales de la forêt tropicale humide.

Les Animaux sont en majorité arboricoles; les singes, les oiseaux, les insectes, les serpents, les chauves-souris et même les grenouilles trouvent gîte et nourriture dans les arbres. La chaleur est propice à la présence de nombreux Animaux ectothermes (poïkilothermes); on compte plus d'espèces d'Amphibiens et de Reptiles dans la forêt tropicale humide que dans tout autre biome.

Les effets de l'activité humaine sur la forêt tropicale humide soulèvent à l'heure actuelle bien des inquiétudes. La destruction de la forêt tropicale progresse à un rythme alarmant. La forêt a déjà disparu plus qu'à moitié et, d'après les estimations, il n'en restera plus rien à la fin du siècle.



Figure 11. Forêts tropicales

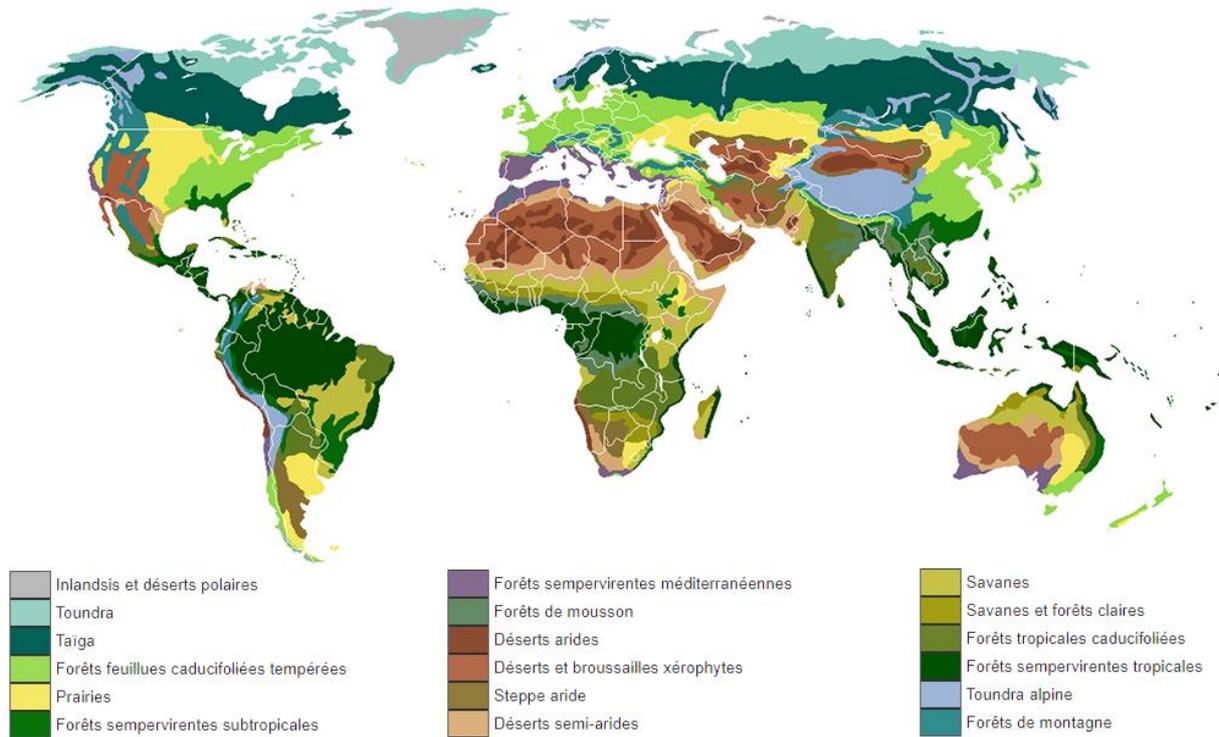


Figure 12. Principaux Biomes

I.1.1.2. 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.1.2. 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 indépendants 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 13).

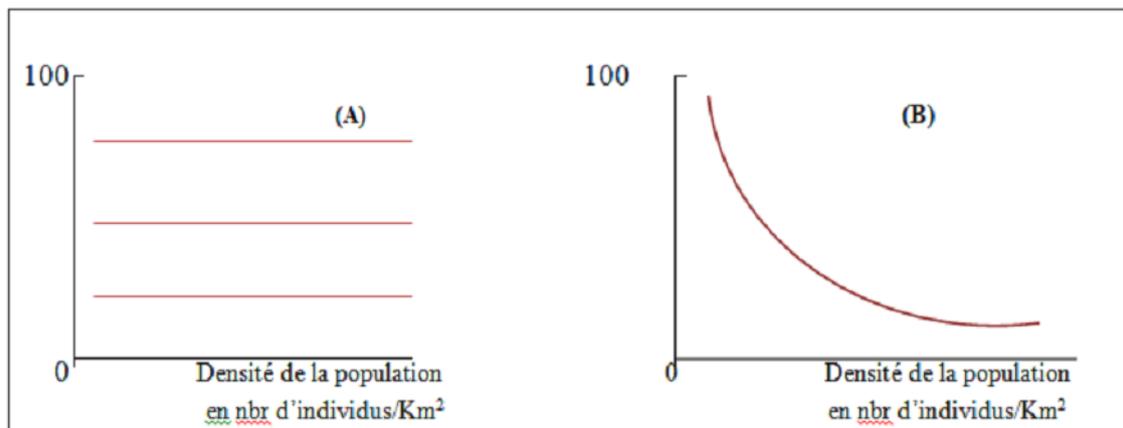


Figure 1 : Diagramme schématisant le mode d'action des facteurs indépendants de la densité (A) et dépendant de la densité (B).

Figure 13. Diagramme de dépendance de facteur.

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.1.3. Structure et homogénéité des peuplements

I.1.3.1. 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**.

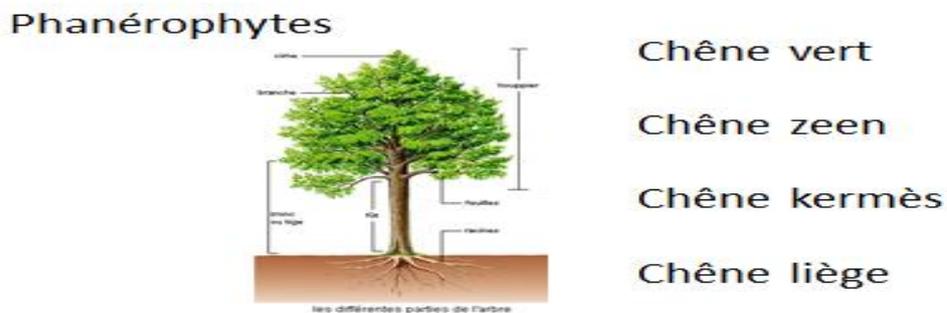


Figure 14. les phanérophytes

☼ Chamaéphytes (Strate arbustive)

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

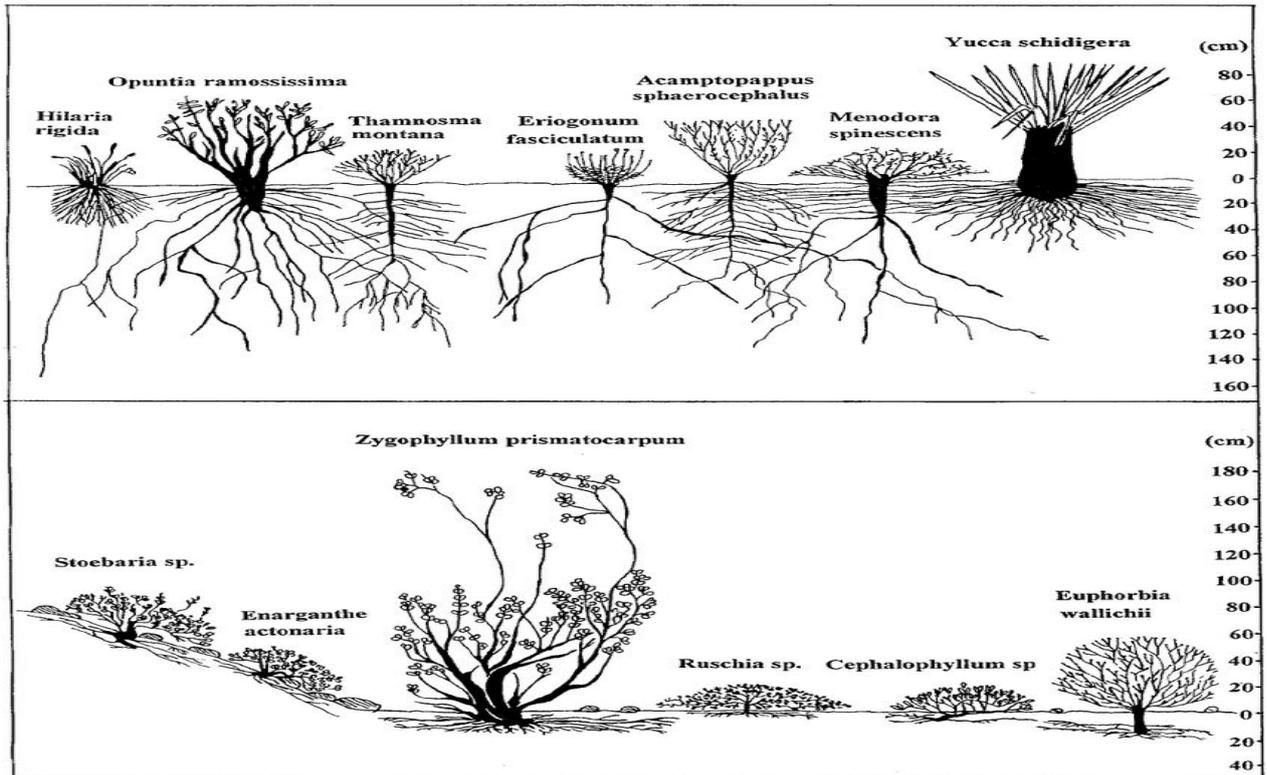


Figure 15. Chamaéphytes

☞ Héli-cryptophytes (Strate herbacées)

Les héli-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

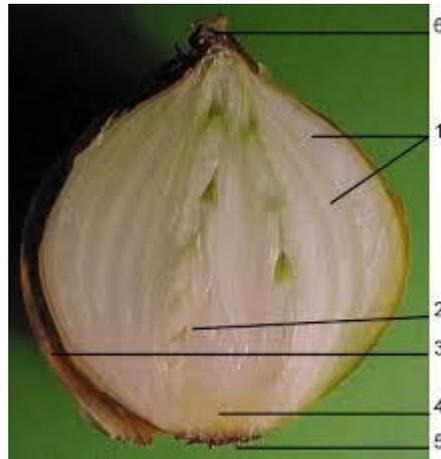
Figure 16. Héli-cryptophytes

☞ Géophytes (Strate herbacée)

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



Tubercules



Bulbes



Rhizomes

Figure 17. Géophytes

☞ Thérophytes (Strate herbacées annuelles)

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



Figure 18. Pelouses calcicoles dominées par des annuelles 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.

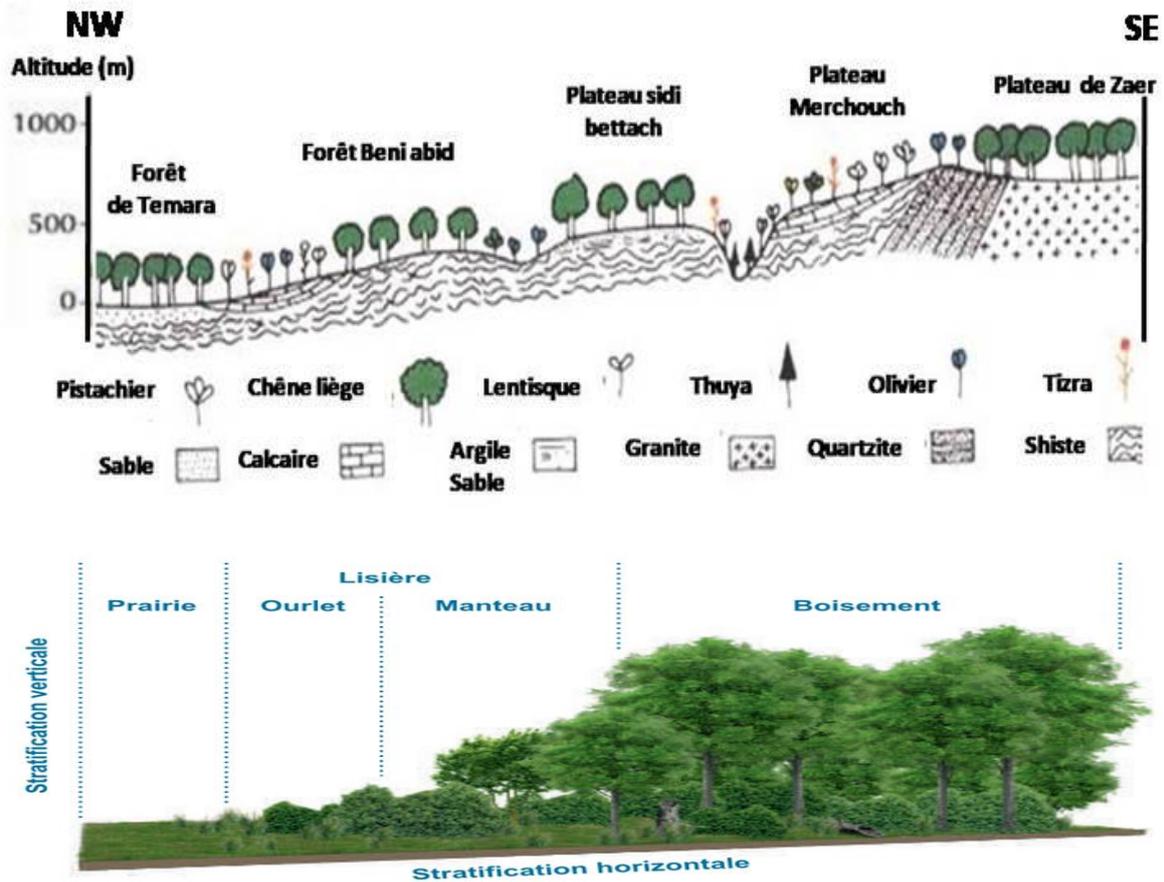


Figure 19. La structure horizontale

-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 :

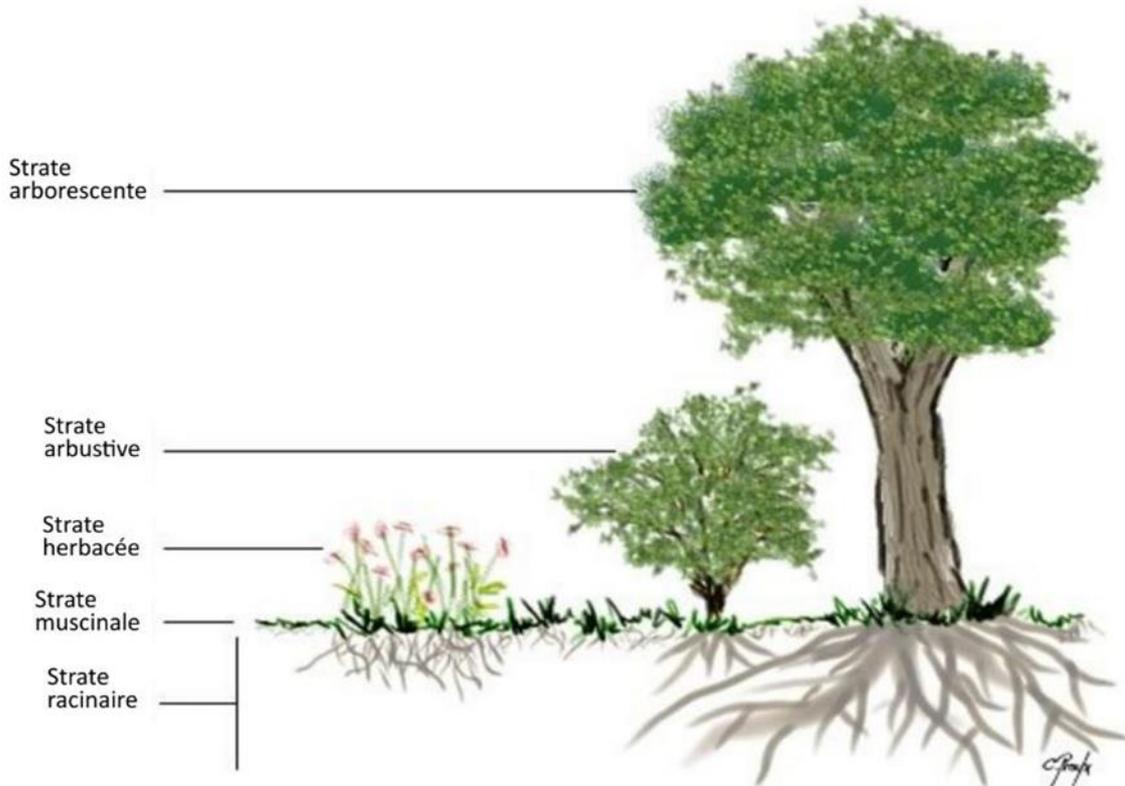


Figure 20. Structure verticale

-Strate cryptogamique (bryophytes, lichens)



Figure 21. lichens

-Strate herbacée



Figure 22. Strate herbacée

-Strate arbustive



Figure 23. Strate arbustive.

-Strate arborescente où arboré

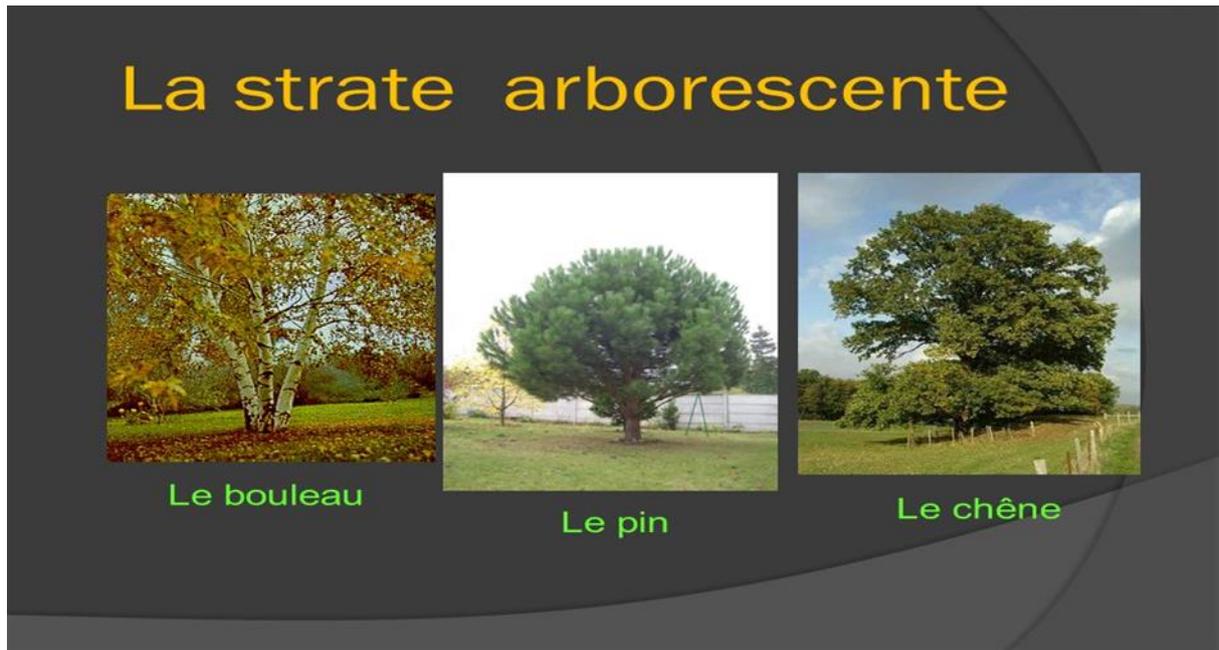


Figure 24. States arborescente

I.1.3.2. 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.1.3.2.1. 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 réservé 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.

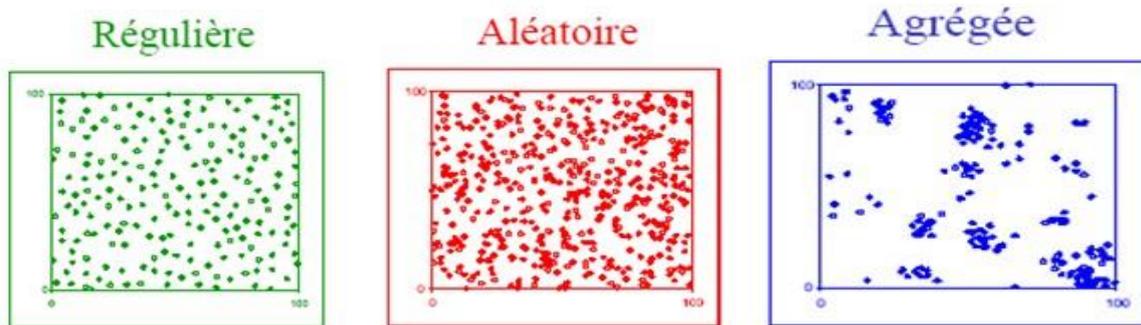


Figure 25. Types de Répartition sur un plan horizontal

I.1.3.2.2. 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.

CHAPITRE 2 : L'ECHANTILLONNAGE

Il est généralement impossible de mettre la main sur l'ensemble des individus d'une population (nombre des arbres d'une forêt, nombre des insectes dans d'un champ des agrumes.....). On ne mesure donc pas « tout » qui peut être un système biologique, mais un fragment de l'ensemble (Échantillon), prélevé pour juger de quelques propriétés de ce « tout » d'où la nécessité de l'échantillonnage. Autrement dit l'échantillonnage et les résultats de l'échantillon peuvent être utilisés pour estimer certaines caractéristiques de la population.

L'échantillonnage donc est la procédure par laquelle les échantillons (est un fragment d'un ensemble prélevé pour juger de cet ensemble) sont prélevés. 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.

Le choix du plan d'échantillonnage consiste à choisir de quelle manière les données seront recueillies sur le terrain (en certains endroits choisis au hasard, dans tous les habitats fréquentés par l'espèce visée,) donc choisir une méthode pour localiser les échantillons.

Le plan d'échantillonnage donc est conditionné par le choix du problème et la façon de le poser. Il 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 modèle biologique étudiée. Le choix du mode d'échantillonnage dépend de ce que l'on recherche. Il est impératif de prendre le temps de planifier son échantillonnage. Chaque méthode possède ses propres caractéristiques techniques de mise en place et d'analyse des résultats, ces avantages et ces inconvénients. Il est intéressant de signaler aussi que lorsque l'on étudie un caractère sur plusieurs échantillons de même taille d'une même population, on peut observer que les résultats ne sont pas identiques selon les échantillons; ce phénomène s'appelle fluctuation d'échantillonnage.

Il importe donc, au préalable à toute étude, de définir clairement la problématique qui conditionnera :

- la définition d'un plan d'échantillonnage qui sera réalisé selon différentes variantes en fonction des contraintes techniques, scientifiques ou temporelles rencontrées ;
- les mesures à réaliser (densité, poids, taille, etc.), selon les choix méthodologiques adoptés, afin de garantir la fiabilité de l'interprétation statistique des données obtenues ;
- l'interprétation statistique des résultats. Il est à rappeler que la statistique est non paramétrique ou paramétrique.

On résume que l'échantillonnage est : action d'échantillonner, résultat de cette action, ensemble d'exemplaires.

Pourquoi échantillonner?

- Impossibilité (dans la plupart des cas) d'accéder à la totalité des individus qui constituent la population étudiée.
- Recenser toute la population coûte trop cher et/ou prend trop de temps.
- Assurer un meilleur contrôle des opérations et une surveillance plus rigoureuse.
- Accélérer la cueillette et le traitement des données.
- A long terme, réduire le fardeau des informateurs.

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) (Lhonore et Meunier, 2001).

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 ». Lhonore (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 (Gaudin, 1997).

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.

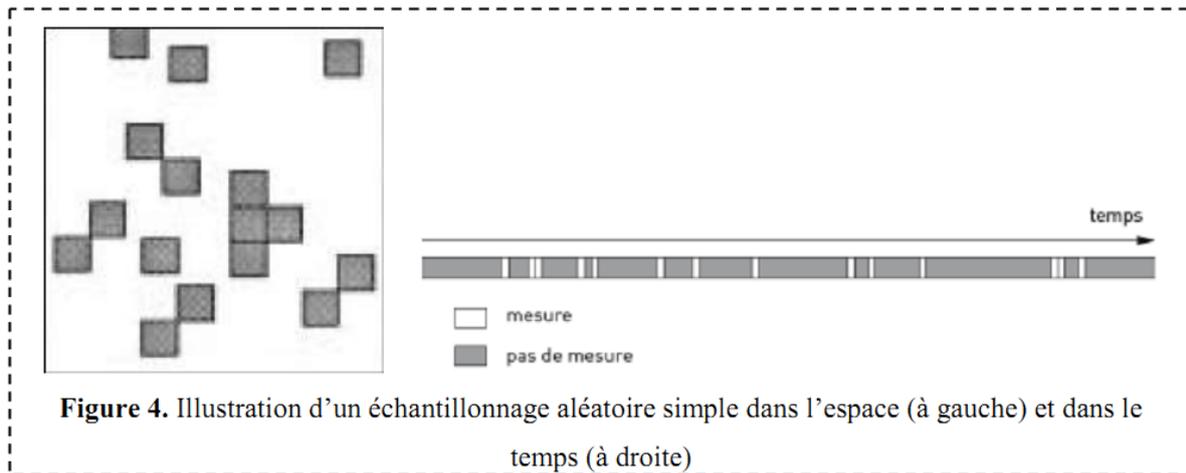


Figure 4. Illustration d'un échantillonnage aléatoire simple dans l'espace (à gauche) et dans le temps (à droite)

Figure 26. Echantillonnage aléatoire simple

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 (Glèlè Kakai et al., 2016).

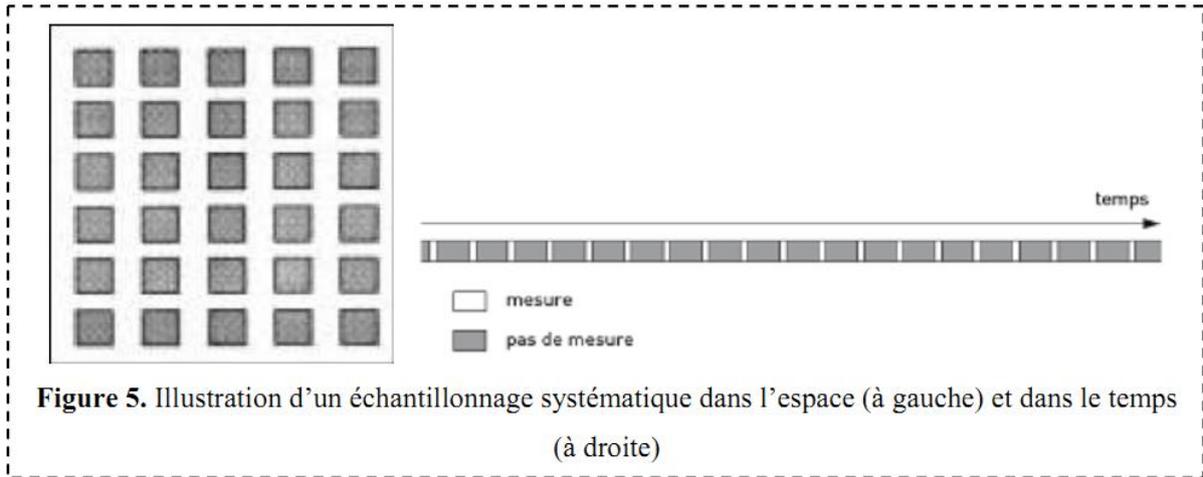


Figure 27. échantillonnage systématique

a. Surfaces

Les surfaces se présentent le plus souvent sous forme de carrés et rectangles, plus rarement de cercles. Les rectangles ou les longues bandes minces seraient plus représentatifs du milieu qu'un carré (Figure II.5.). Le cercle au contraire serait a priori la forme la plus intéressante car présentant l'effet de bordure le plus faible. Pourtant, très souvent en écologie.

C'est le carré qui est le plus souvent utilisé dans la méthode de points quadrats, probablement pour des raisons pratiques car le thématicien peut diviser la placette en un carroyage et donc en format matriciel plus facile à gérer sur le terrain pour positionner le détail des mesures. Les dimensions de ces surfaces sont variables (Greig-Smith, 1952).



Figure 28. Placettes sous forme de surfaces

Il y a plusieurs méthodes où le point de mesure est une surface :

- ❖ **Méthode des poignées ou Méthode De Vries:** Se caractérise par une intensité d'échantillonnage élevée avec la prise de poignées le long d'un

transect (Figure II.6.). Pour chaque poignée, une note d'abondance est donnée subjectivement aux espèces qui semblent le plus contribuer au couvert végétal. Utilisée pour l'étude des pâturages.

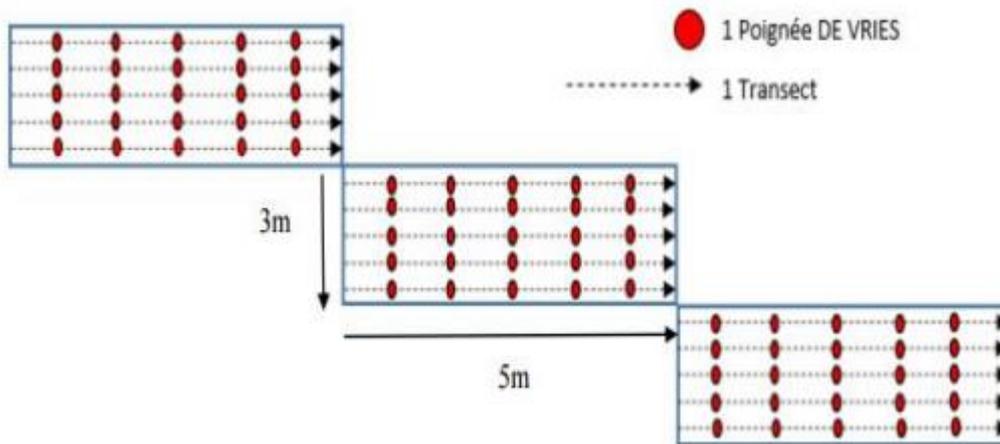


Figure 29. Méthode de poignée

- ❖ **Méthode Botanal:** Il s'agit d'une méthode d'estimation visuelle de la productivité et de la composition des prairies en termes d'abondances relatives en biomasse sèche. Tothill et al, utilisent plutôt des cadres de 0,2 m² avec une intensité d'échantillonnage plus modérée (12 à 15). Pour chaque cadre, la notation de l'abondance se fait par une estimation subjective de l'abondance des espèces.

b. Lignes

Elles sont assez peu utilisées. Elles sont matérialisées par des rubans mètres ou décimètres étroits tendus. Le principe est de calculer la longueur de la végétation projetée sur les lignes ou rubans mètres.

- ❖ **Méthodes linéaires:** le principe est très voisin de celui de la méthode De Vries, mais ici on cherche à suivre les variations de la végétation en revenant exactement aux mêmes points à intervalles plus ou moins longs. Pour cela on utilise comme unité d'échantillonnage une bague de 2,5 cm de diamètre fixée à l'extrémité d'une tige métallique (Figure II.7.a). les points d'échantillonnage sont situés le long d'une ligne matérialisée par un ruban métallique tendu entre des supports au moyen de pinces (Figure II.7 .b). Le repérage est obtenu à l'aide de trois piquets corniers, sur lesquels on trace un trait de repère au niveau de passage du ruban. on note enfin les

cotes sur le ruban au point de contact avec les cornières. En opérant avec soin, il est possible de replacer le ruban pratiquement dans la même position à chaque lecture. Le principe donc est, à savoir mesurer la longueur de végétation interceptée, les différences portent sur le mode de discrimination des strates et la façon de calculer le sol nu. Pour Anderson, seule compte la végétation en contact avec la ligne et le sol nu correspond à l'absence de végétation sur plus d'1 (un) cm.

Canfield, utilise des lignes «intercepts» et différencie entre les herbacées qu'il mesure au ras du sol et les chaméphytes (petits ligneux) dont il considère la couronne. Parker et Savage utilisent des bandes plus ou moins étroites selon la nature herbacée (0.5 cm) ou ligneuse (10 cm) de la végétation. Ces longueurs se prêtent difficilement aux calculs statistiques et aux relations d'ordre à la différence des points (Figure).

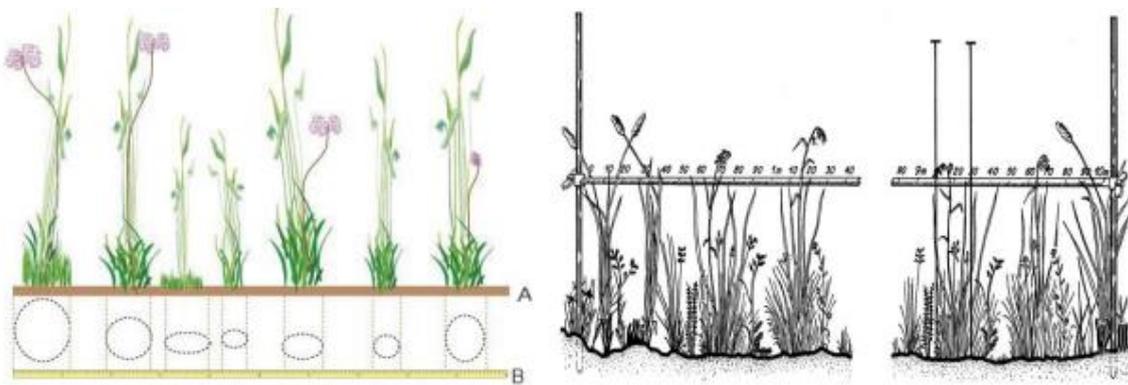


Figure 30. Mesure du recouvrement linéaire (A. Portion de ligne montrant la position du ruban par rapport à la végétation ; B. Vue en projection horizontale de la ligne).

c. Points

Des études théoriques ont montré que l'échantillonnage sur des placettes surfaciques présente des biais sur le plan statistique. Il serait ainsi plus judicieux de multiplier le nombre de placettes, de sorte à réduire la surface d'échantillonnage, jusqu'à annuler celle-ci et arriver à une surface ponctuelle. A l'aide d'une aiguille, l'observateur indique toutes les espèces qui entrent en contact avec elle, jusqu'à ce que celles-ci touchent le sol. Les aiguilles sont descendues verticalement dans la masse végétale. Wilson a développé une méthode légèrement différente, où l'aiguille est enfoncée à l'oblique dans la végétation mais l'intérêt de cette approche est controversé.

- ❖ **Points quadrats:** L'objectif est de quantifier les divers éléments de la structure d'une flore, d'une végétation ou encore d'un milieu. La méthode consistait en l'assemblage de dix aiguilles alignées. Les placettes à points ont d'abord été échantillonnées sous forme d'un cadre rigide comportant 10 aiguilles qu'on déplace de proche en proche. Pour ce faire, il faudrait agir sur la maille de la ligne ou la distance entre les aiguilles. Il s'agit de comptabiliser les points de végétation le long d'une ligne graduée selon une maille régulière. Elle permet de transposer sur une dimension toutes les mesures réalisées sur une surface et de déterminer les paramètres quantitatifs tels que le recouvrement, la fréquence, la densité et la contribution des espèces au tapis végétal. Cette méthode s'est avérée efficace pour la réalisation du suivi de la couverture végétale.

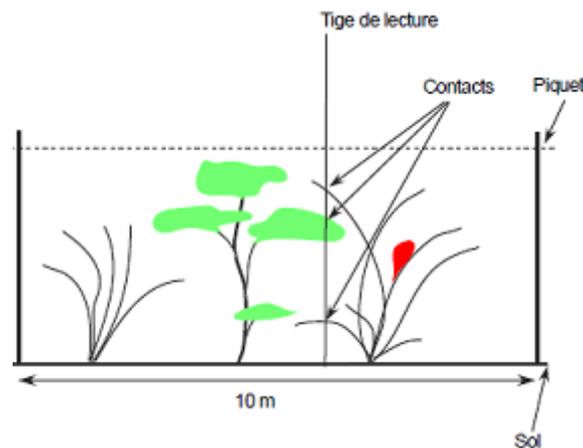


Figure 31. Le système de points-quadrats

- ❖ **Points alignés:** Dans ce dispositif, la ligne est pourvue d'une maille régulière. On fait coulisser une aiguille verticalement le long de la ligne, sans bâti (à la différence des points quadrats) et y on compte les contacts. Pour les strates ligneuses discontinues, la méthode utilisée est celle de la 'jauge de Cooper'. La jauge a la forme générale d'un T dont les deux pièces ont précisément 10 et 70,7 cm de longueur pour le 'bras' et la 'jambe'. L'extrémité de la 'jambe' opposée au 'bras' porte soit un œilleton de visée (plaque métallique percée), soit une mire (Figure II.10). En un point de la station d'étude, l'observateur porte la jauge à son œil et note le nombre et la nature des espèces dont la hauteur dépasse longueur du 'bras'. Il tourne sur lui-même pour balayer tout le pourtour et recommence l'opération à

différents endroits de la station. Cette opération est répétée 10 fois au minimum par station.



Figure 32. Jauge de Cooper

- ❖ **Roue :** une variante de la méthode des points alignés, est l'utilisation d'une roue sans jante, munie de rayons qu'ils laissent rouler dans la végétation. Ces auteurs montrent que si l'espacement est suffisamment grand, ceci permet d'approcher une répartition au hasard. Pour faire des mesures avec ce matériel, il faut trois opérateurs, le premier, aux poignées de la machine, en assure la progression et l'arrêt lorsqu'une de ses pointes touche le sol. Les deux autres opérateurs se consacrent chacun à une roue et notent si la pointe au contact touche du sol nu, ou une espèce, qu'il faut alors déterminer ; il note aussi la ou les espèces qui se trouvent à la verticale du contact. Pour certains observateurs, un contact est noté aussi si la roue touche un organe végétal aérien avant contact avec le sol, pour d'autres non (Figure 33).

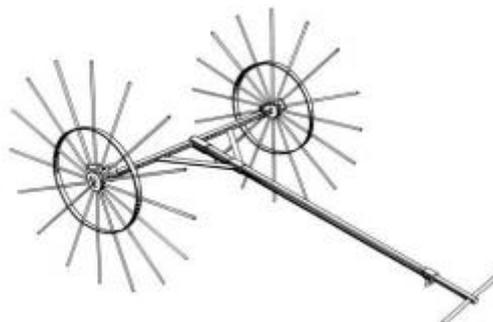


Figure 33. La roue à pointes

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,...).

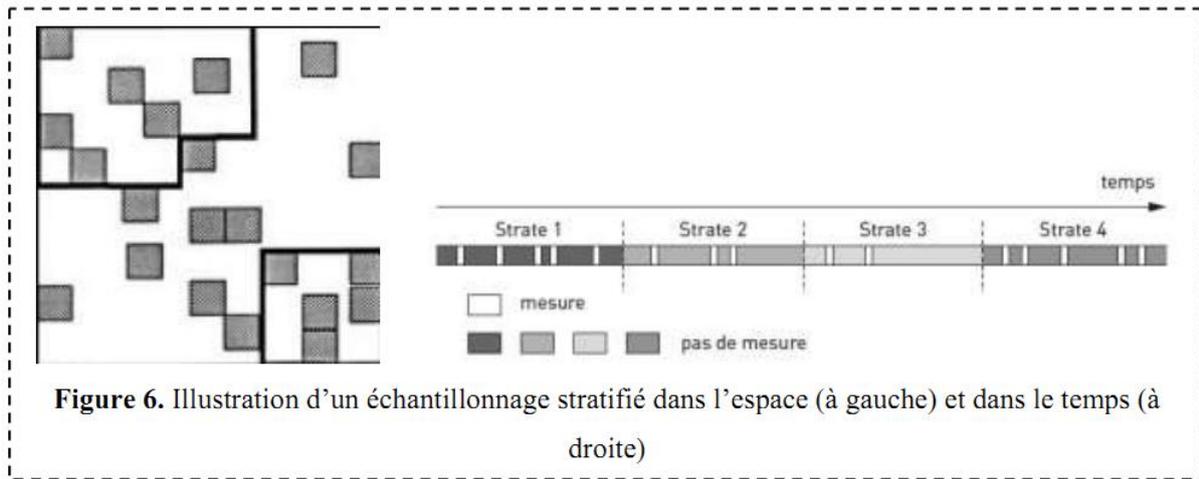


Figure 34. Échantillonnage stratifié

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 contigües**

On note la présence des espèces le long de segments contigües, 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.

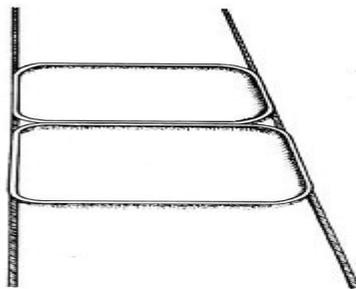


Figure 35. Dispositif d'étude ce carrés contigus alignés

* **Echantillonnage selon un transect**

Le transect est une bande de placettes rectangulaires contiguës 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.

CHAPITRE 3 : HIERARCHISATION ET CLASSIFICATION DES PEUPELEMENTS

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^e 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 (Guinochet, 1973).

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 (Colasse et al., 2014).

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^{ème} 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 (Godron, 1970).

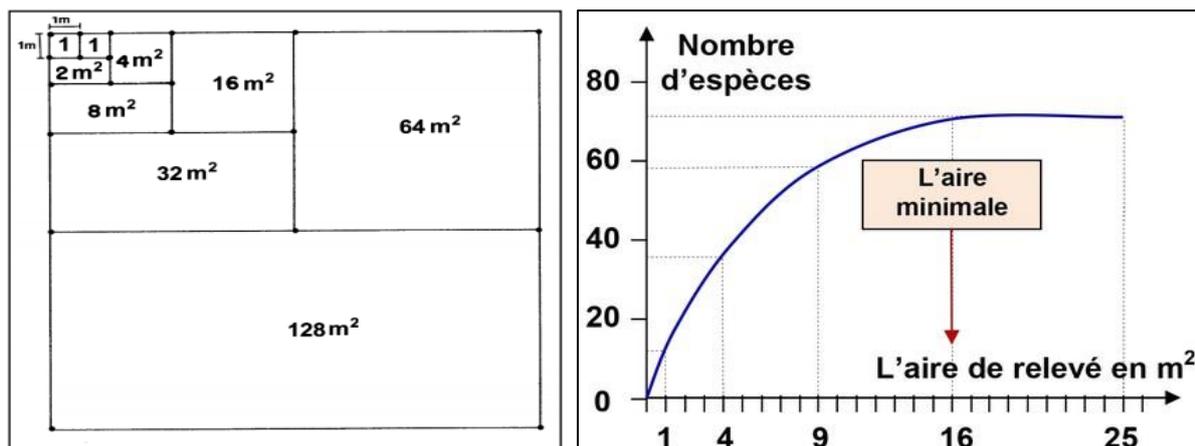


Figure 37. aire minimale

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 **dm²** pour les groupements fontinaux, à quelques **ares** pour les groupements forestiers et même à quelques **km²** pour les formations désertiques, voir Tableau 2.

Tableau 2 : Aires minimales de végétations tempérées

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

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) (Buckland, 1993).

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 (Gerard M., 2012).

*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%.

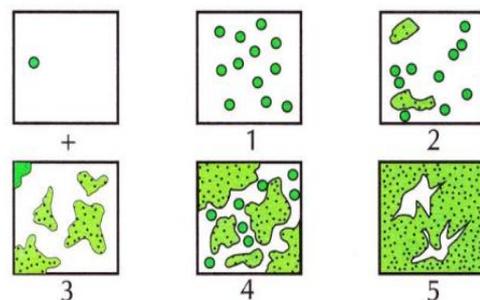


Figure 38. Coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1950) d'après Bouzillé, 2007.

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

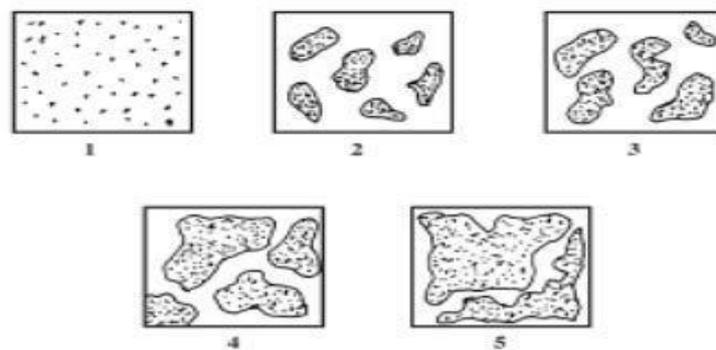


Figure 39. Échelle de sociabilité de Braun-Blanquet

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 correspondent 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.

Tableau 3 : exemple de tableau brute (Bouzidi et al, 2009)

Espèces	Indices d'abondance-dominance *												F (%)
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
Strate arborescente													
<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

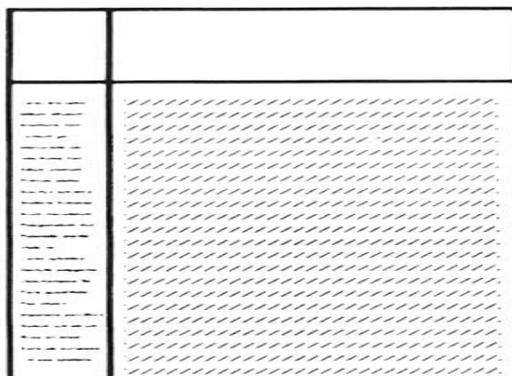


Figure 40. Tableau brute

- : 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 41. Tableau de présence

☞) Le tableau partiel :

Une fois les différentielles mises en évidence, on écrit le tableau partiel en ne gardant que les espèces différentielles et en regroupant les espèces qui

	A	B	C

Figure 43. Tableau différentiel

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) (Flahault et Schrôter., 1910).

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 (Fiers et al., 2003).

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 (Gauch et al., 1982).

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 (Dervin, 1990).

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 » (Hirche, 2015).

- **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) (Fellegi, 2003).

- **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 (Ducarf, 2008).

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 (Dufrêne et Legendre, 1997). 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_{ij} 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 (Falissard, 1998).

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 bioclimatiqueetc.
- **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'autre part beaucoup d'espèces ont une large amplitude écologique leur permettant 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.

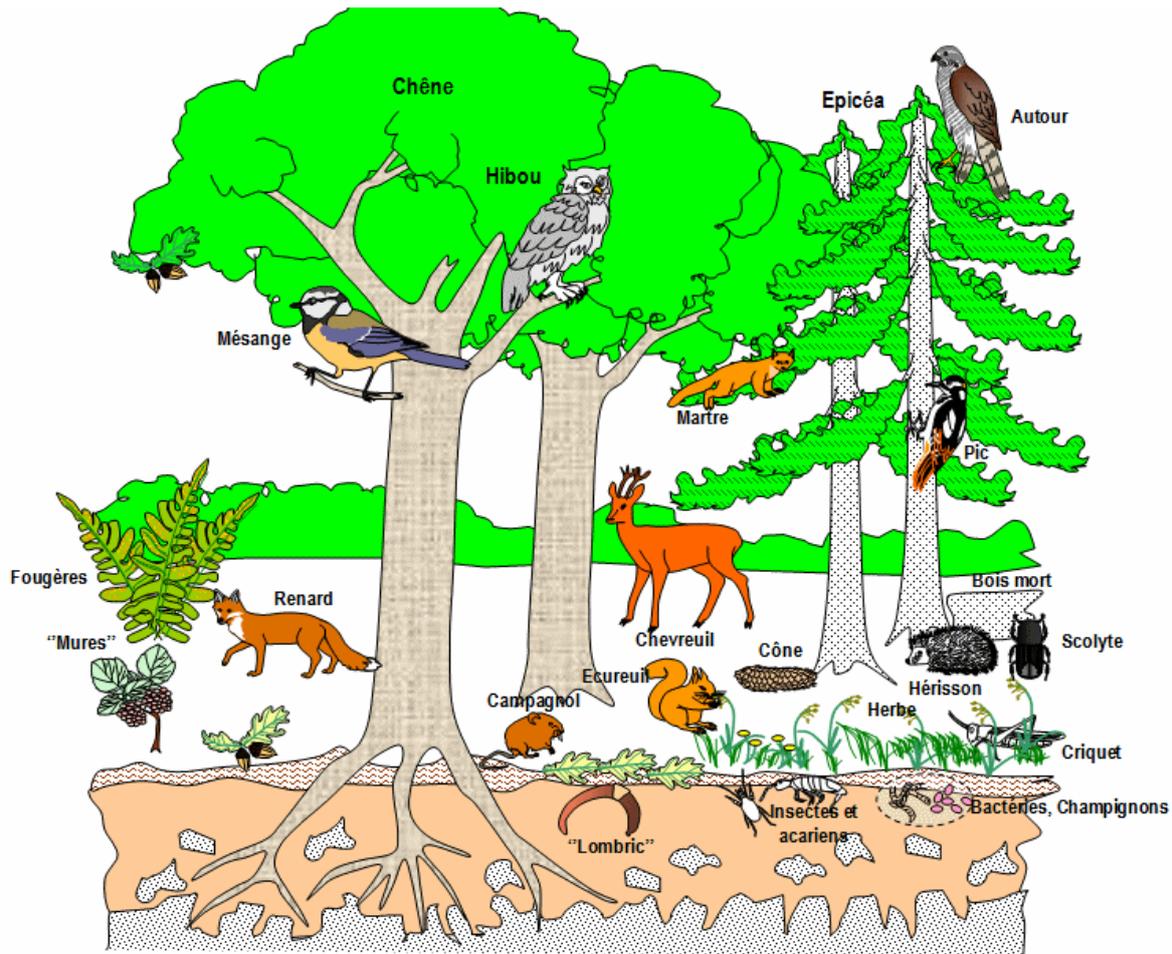


Figure 44. Répartition des différentes espèces animales dans une forêt (<https://svtlyceedevenne.com/>)

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 (Levy et al., 1933).

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.

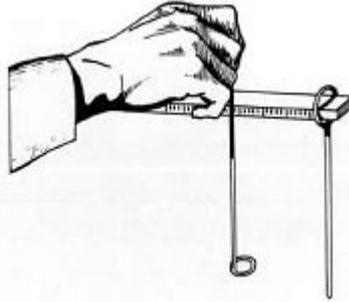


Figure 45. La loup méthode (Daget et al, 2010)

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.

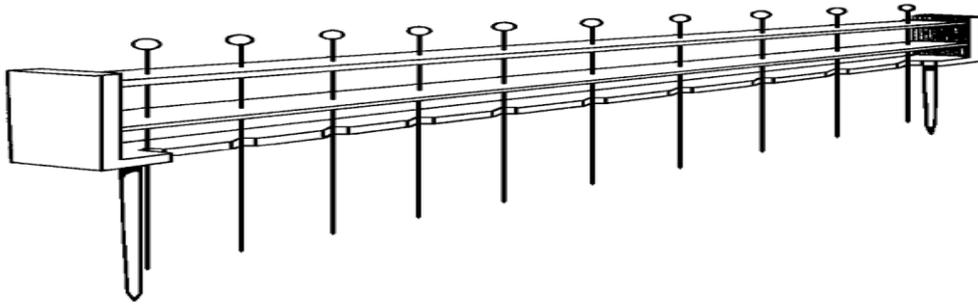


Figure 46. Le système de points quadrats de Levy (d'après une photo de Levy et Madden, 1933).

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

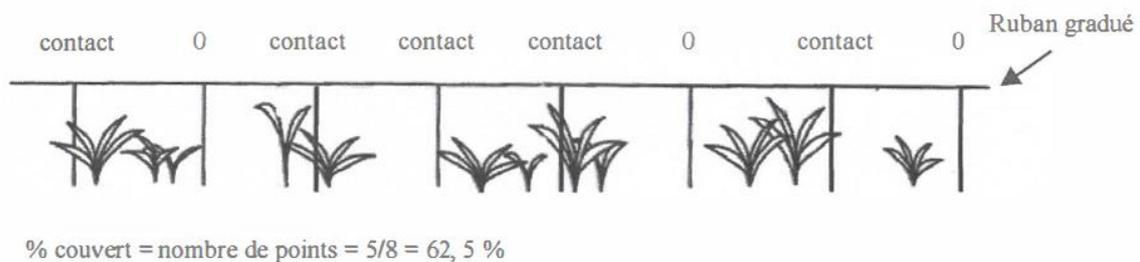


Figure 47. Estimation du couvert herbacé selon la méthode des points quadrats alignés (Poilecot, 2002).

Références bibliographiques

- Adam Y., Béranger C., Delzons O., Frochot B., Gourvil J., Lecomte P & Parisot-Laprun M., 2015.** Guide des méthodes de diagnostic écologique des milieux naturels-Application aux sites de carrière. Ed. UNPG, Paris Cedex 17 : 387p.
- Albert C. H., 2009.** Variabilité fonctionnelle intraspécifique: quantification in situ et implications dans une vallée alpine. Ecologie, Environnement. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2009. Français. tel-00450219, 210p.
- Alzieu C., 2003.** Bio-évaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion. Ed. Ifremer, France, ISBN 2-84433-124-6, 245p.
- Bélanger L. et Pineau M., 1983.** La planification écologique et l'aménagement du territoire urbain québécois : une problématique. Cahiers de géographie du Québec, 27(70): 5-21. <https://doi.org/10.7202/021585ar>.
- Bognounou F., 2009.** Restauration écologique et gradient latitudinal. GRIN Verlag, 152 p.
- Bournerias, M., Arnal, G., Bock C. (2002).** Les groupements végétaux du Bassin parisien. 639 p, Belin
- Bouxin G., 2016.** Les techniques d'analyse factorielle des données de végétation. Analyse statistique des données de végétation, p40.
- 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.
- 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.
- Bouzellé JB., 2007.** Gestion des habitats naturels et biodiversité. Ed, Tec & Doc. Lavoisier : 331p.

Bouzellé, J. B. (2007). Gestion des habitats naturels et biodiversité, Lavoisier. 330p.

Braun-Blanquet J., 1928. Vocabulaire de sociologie végétale, 3e édition, 24 p.

Braun-Blanquet, J., Roussine, N., Nègre, R. (1952). Groupements végétaux de la France méditerranéenne.

Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham, K.P. et Laake J.L., 1993. Distance Sampling, Estimating Abundance of Biological Populations. London: Chapman and Hall.

Cámara Artigas R., 2009. Concepts, approche bioclimatique et typologie des savanes. Application aux savanes américaines. Aspects environnementaux en Amérique latine, Les Cahiers d'Outre-Mer, 246:175-218.

Carles J., 1948. Le spectre biologique réel. Bulletin de la Société Botanique de France, 95:7-9, 340-343, DOI: 10.1080/00378941.1948.10834734.

Chermat S., 2013. Etude phytosociologique et pastorale des djebels Youssef et Zdim (Hautes plaines Sétifiennes). Thèse Doc., Univ. D'Algérie, 263p.

Colasse V., Delassus L., Glémarec E., Guitton H., Laurent E., Magnanon S. et Thomassin G., 2014. Classification physionomique et phytosociologique des végétations. Conservatoire botanique national de Brest, 260p.

Crosaz Y., 1994. Le matériel végétal: un outil pour la protection des sols. Onzièmes journées du Réseau Erosion Centre ORSTOM de Bondy, 449-460.

Daget Ph., Poissonet J & Huguenin J., 2010. Prairies & pâturages. Méthodes d'étude de terrain et interprétations. Ed, Cnrs / Cirad : 955p.

Daget ph., Poissonet j. et Huguenin J., 2010. Prairies et pâturages : méthode d'études et Interprétations. Ed. Emvt, Cnrs et Cirad, France, 955 p.

Dajoz R., 2006. Précis d'écologie. Ed, Dunod. Paris : 631p.

Delassus L., 2015. Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques Conservatoire botanique national de Brest : 25 p., annexes (document technique).

Delassus, L. (2015). Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques. Conservatoire botanique national de Brest.

Dervin C., 1990. Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances ? Service des études statistiques, I.T.C.F., Paris, 75 p.

Ducerf G. (2008). L'encyclopédie des plantes bio-indicatrices alimentaires et médicinales : Guide de diagnostic des sols Volume 1. 352p.

Dufrêne, M., Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, 67(3), 345-366.

Durand C., 2009. Pourquoi un échantillon ? Les types d'échantillon. Université de Montréal, Méthodes de sondage – SOL3017 et SOL 6448.

Duvigneaud P., 1984. La synthèse écologique. Ed, Lavoisier. Paris : 380p.

El Bouhissi M., Fertout-Mouri N & Bachir Bouiadjara S., 2021. Caractérisation floristique et phytoécologique de la flore de la forêt de Zegla, circonscription de Merine (Ouest algérien) *Geo-Eco-Trop*, 45, 1 : 131-143

Falissard B., 1998. Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie. Collection Evaluation et Statistique. Masson (ed.), Paris, 332 p.

Fellegi I.P., 2003. Méthodes et pratiques d'enquête. STATISTIQUE CANADA, Ottawa, No 12-587-X au catalogue, ISBN 978-1-100-95206-2, 422p.

Fiers V. et coll., 2003. Etudes scientifiques en espaces naturels. Cadre méthodologique pour le recueil et le traitement de données naturalistes. Cahiers techniques de l'ATEN n°72. Réserves Naturelles de France. Montpellier : 96 p.

Fiers V., Bal B., Bezannier F., Dupont P., Faton Jm., Lemoine G., Schwoehrer C., Siorat F., Terraz L., Knibiely P & Morand A., 2003. Etudes scientifiques en espaces naturels. Cadre méthodologique pour le recueil et le traitement de données naturalistes. Cahiers techniques de l'ATEN n°72. Réserves Naturelles de France. Montpellier : 96 p.

Flahault C. et Schrôter C., 1910. Nomenclature phytogéographique. Rapport et proposition et propositions. Bruxelles.

Gauch, H. G., Gauch Jr, H. G. (1982). Multivariate analysis in community ecology (No. 1). Cambridge University Press.

Gaudin S., 1997. Quelques éléments d'écologie utiles au forestier. CFPPA/CFAA de Châteaufarine. 88p.

Gaudin S., 1997. Quelques éléments d'écologie utiles au forestier. BTSA Gestion Forestière, CFPPA/CFAA, 88p.

Gerard M., 2012. Analyse écologique de la répartition de la végétation à partir d'une base de données phytosociologiques : exemple de la végétation méditerranéenne. Sciences agricoles, dumas- 00773444, 43p.

Glèlè Kakai R., Salako V. K. et Lykke A. M., 2016. Techniques d'échantillonnage en étude de végétation. Annales des Sciences Agronomiques 20 - spécial Projet Undesert-UE: 1-13 (2016) ISSN 1659-5009.

Godron M., 1970. Application de la théorie de l'information a l'étude de l'homogénéité et de la structure de la vegetation. Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques du C.N.R.S. Montpellier, Ed., R. Tüxen, Gesellschaftsmorphologie.

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.

Guinochet M. (1973). Phytosociologie. Collect. Ecologie, Masson. 227 p.

Hirche A., 2015. Guide technique écologie pour la collecte, l'analyse des données et le calcul des indicateurs écologiques suivant l'approche harmonisée ROSELT/DNSE/OSS/; OSS, Tunis, 159p. ISBN : 978-9973-856-9-3.

Laporte M., Jenner X., Pesme X, Sevrin E., 2009. Guide pour la prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière. Le Centre de la Propriété Forestière Ile-de-France : 60p.

Levy, E. B., E. A. Madden. (1933). The point method of pasture analysis. N. Z. Jour. Agr. 46:267-279.

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.

Nentwing W., Bacher S & Brandl R., 2009. Ecologie manuel de synthèse. Ed, Vuibert. Paris : 368p.

Ramade F., 2009. Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Ed, Dunod. Paris, 4eme édition : 689p.