

2 - principes généraux de l'étude des communautés végétales

2.1. Le choix d'une méthode

Le choix d'une méthode ou d'une technique d'étude dépend du type de végétation (ex : les mesures de densité et de recouvrement ne sont pas possibles partout) et du but poursuivi :

-Estimation quantitative d'une ou de quelques espèces : intéresse souvent le forestier ou le pastoraliste;

-Description de la structure complète de la communauté : intéresse le phytosociologue ou le pastoraliste;

-Comparaison des communautés entre elles : c'est souvent dans le but de réaliser des cartes de végétation : le temps dont on dispose pour la description de chacune d'elle est limité.

2.2. Eléments constitutifs d'une méthode d'échantillonnage

2.2.1. Modèle théorique

Tout processus d'échantillonnage suppose un ensemble théorique de tous les échantillons possibles, d'où l'on extrait par un processus défini les échantillons réellement étudiés, à partir desquels on fait des inférences (= déductions) sur l'ensemble théorique. Ceci suppose nécessairement que l'on se fait une idée implicite ou explicite de la structure de l'ensemble théorique. On peut soit admettre cette structure comme un postulat, soit chercher à vérifier la compatibilité de l'échantillon prélevé avec la structure, considérée alors comme une hypothèse à tester. De toute façon, il est essentiel du point de vue statistique de formuler exactement les hypothèses faites, qui constituent le "modèle" théorique de la population.

2.2.2. Plan d'échantillonnage

Plan ou technique suivant laquelle les échantillons seront prélevés.

Etant donné un ensemble constitué d'éléments, on désire ne pas étudier l'ensemble entier trop volumineux, mais seulement un certain nombre de ses éléments. Le problème de l'échantillonnage consiste à choisir ces éléments de façon à obtenir des informations objectives d'une précision mesurable sur l'ensemble.

2.2.3. Mesures

Concerne surtout les études quantitatives : dans chaque échantillon il est nécessaire de choisir la (ou les) quantités que l'on mesurera (poids, densité, fréquence, etc..) et l'appareillage adéquat (point quadrat, relascope).

2.4. Interprétation statistique

Les résultats des mesures sont synthétisés par un ou plusieurs paramètres (moyenne, variance, etc..) auxquels on cherchera à donner une signification statistique, en particulier, en calculant leurs intervalles de confiance. Lorsqu'il s'agit de listes floristiques on cherchera à déterminer les groupements de végétation par des méthodes statistiques simples ou par analyse multivariée (AFC, ACP, CHA, AD).

3. La technique des quadrats, des transects.

3.1. Echantillonnage selon des quadrats

Est une technique représentée par un carré de 1 m² matérialisé par 4 baguettes égales (1m) assemblées ou par 4 piquets et 1 ficelle assemblée. Le milieu concerné est le milieu herbacé bas : pelouse, prairie basse constitué de plantes herbacées.



Ayant pour objectif de recenser la biodiversité végétale et estimer l'abondance de chaque espèce, en procédant comme suit :

Installer le carré dans le milieu étudié (on peut aussi utiliser un cercle de l'ordre du m² pourvu que tous les relevés soient faits de la même manière)

- Identifier toutes les espèces présentes dans le carré : prélever un échantillon par espèce non identifiée et lui attribuer un numéro transitoire
- Compter le nombre d'individus de chaque espèce ; pour les pieds à cheval sur les limites, on ne compte que celles qui sont enracinées dans le carré
- Estimer visuellement la couverture de chaque espèce en % de la surface totale
- Effectuer plusieurs relevés ou **quadrats** en différents points répartis dans le milieu étudié : le nombre de relevés en fonction de la surface totale du milieu déterminera la précision des mesures effectuées. Un des facteurs décisifs est l'homogénéité ou non de la végétation : si certaines espèces sont réparties en « taches » dans le milieu, un nombre plus élevé de quadrats sera nécessaire. La répartition des relevés se fait sur une base aléatoire prédéterminée sur un plan

3.2. Echantillonnage selon un transect

Le transect est une bande de placettes rectangulaires contiguës, disposée selon un gradient de variation d'un facteur écologique. Ex: Nord-Sud

Le transect est un dispositif très précieux lorsqu'on veut échantillonner les relations végétation-milieu selon tel ou tel gradient de variabilité écologique maximale. 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 transects 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 transects perpendiculaires aux isolignes qui caractérisent cette continentalité.

Toutes les unités présentes sur les transects pourront 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.

4-Mesures et appareils de mesure

Le choix des mesures et des appareils de mesure dépend du plan choisi, de l'étude et de son objectif.

4-1-Choix des espèces à mesurer

Suivant le cas, on mesurera l'ensemble des espèces ou seulement certaines.

Pour certaines études on ne choisit de mesurer que certaines espèces (arbres présentant une valeur économique par exemple).

En phytosociologie, l'objectif étant de définir des unités de végétation, il est préférable de mesurer (prendre en considération) toutes les espèces. Mais, on est amené à négliger des espèces rares ou à regrouper des taxons difficilement distincts (genre, famille). On peut même choisir de ne mesurer qu'une catégorie déterminée de taxons (plantes vivaces ou herbacées).

4.2. Les différents types de mesures

Les mesures envisageables peuvent se regrouper en quatre types principaux, suivant qu'elles sont faites sur des échantillons délimités ou non et suivant la forme des échantillons : échantillons de surface finie, les lignes, les points, mesures ne nécessitant pas un échantillon délimité.

4.2.1. Mesures relatives à des échantillons de surface finie

4.2.1.1 Influence de la forme de la surface

La surface utilisée est en pratique un cercle, un carré ou un rectangle.

La définition des limites de la surface est toujours délicate et plus ou moins subjective. Il y a un effet de bordure (certains individus ne seront compris qu'à moitié dans la surface). Aussi, les cercles sont plus avantageux que les carrés, eux-mêmes plus avantageux que les rectangles. Les limites sont définies grâce à une corde et des piquets. La forme la plus désirable doit être décidée en fonction des buts poursuivis et des méthodes statistiques. Dans tous les cas où l'étude de l'homogénéité et de la structure est importante, les échantillons allongés sont préférables.

4.2.1.2. *Densité*

C'est le nombre d'individus par unité de surface. Pour les espèces à reproduction végétative, il est préférable de considérer chaque touffe comme un individu si elle est suffisamment distincte.

4.2.1.3. *Poids*

Seul le poids de l'appareil aérien est facilement mesurable et avec précision. Il est préférable d'utiliser le poids sec, après séchage à l'étuve à 105°C. Les échantillons devront être séchés aussi rapidement que possible pour éviter la poursuite des fonctions vitales qui peuvent aboutir à des modifications pondérales.

Le poids (combiné éventuellement avec des analyses de la teneur en cellulose, en protéines, vitamines, etc..) est le meilleur critère de productivité des pâturages, mis à part l'expérimentation directe avec animaux. C'est en principe, la référence la plus intéressante pour les pastoralistes.

La pesée espèce par espèce, ou même par groupe d'espèces, est souvent difficile à réaliser, parfois impossible, si les caractères végétatifs des espèces sont trop peu distincts.

4.2.1.4. *Recouvrement*

C'est le pourcentage de la surface du sol qui serait recouvert si on projetait sur le sol, les organes aériens des individus de l'espèce.

La détermination précise du recouvrement n'est possible que si les individus ont des formes géométriques simples que l'on peut facilement délimiter. Il est alors possible de mesurer la surface recouverte par chacun d'eux.

Le recouvrement fait souvent l'objet d'une simple estimation. Il est d'ailleurs variable au cours de l'année.

4.2.1.5. *Recouvrement basal*

Le recouvrement basal (appelé **surface terrière** en dendrométrie) est la surface occupée par les parties aériennes des individus de l'espèce au niveau du sol ou, dans le cas des arbres, à hauteur de poitrine (1m30).

On l'exprime par unité de surface (m²/ha). Pour les arbres (à 1m30) ou les arbustes, on peut mesurer le diamètre de la couronne avec « le compas forestier » (pied à coulisse spécial de grande dimension).

Si la couronne est circulaire une seule mesure suffit. Sinon on mesure deux diamètres perpendiculaires et on fait la moyenne. Le relascope de Bitterlich est un autre appareil qui donne directement le diamètre et la surface terrière moyenne à l'hectare.

En prairie, l'utilisation de cercles de surface variable permettent des mesures assez exactes.

4.2.1.6. *Fréquence*

C'est le pourcentage de placettes contenant une espèce donnée, par rapport au nombre total de placettes étudiées. On peut tenir compte soit seulement des espèces enracinées, soit de toutes les espèces ayant des organes se projetant dans la surface. La fréquence n'a aucun rapport avec la densité.

4.2. 2. Mesures correspondant à des échantillons linéaires

La plupart des mesures réalisables sur une surface le sont sur une ligne, sauf la pesée.

4.2.2.1. *Densité linéaire*

Nombre d'individus par unité de longueur. On a les mêmes restrictions d'emploi que la densité sur une surface. L'effet bordure devient très important et limite les possibilités de comparaison des résultats.

4.2.2. 2. *Recouvrement linéaire*

Il consiste à mesurer la longueur recouverte par les diverses espèces le long d'une ligne tendue soit à ras du sol, soit juste au-dessus de la strate dominante, en utilisant un fil à plomb si nécessaire. Généralement, tout segment de plus de 1 cm sans végétation est compté sol nu. Le diamètre des individus est compté au minimum pour 1 cm. La longueur des lignes peut être constante (10m) ou variable avec le degré de recouvrement (16 à 30m).

Les résultats sont donnés par espèce, sans que l'on cherche à déterminer le nombre exact d'individus ni leur position sur la ligne. On utilise généralement un groupe de lignes. La méthode est assez rapide et se prête bien à des observations permanentes (évolution).

4.2.2.3. Fréquence linéaire

C'est le pourcentage de segments d'une ligne où l'espèce est présente. C'est utilisé pour l'étude de la structure d'une communauté.

4.2.2.4. Relations de succession le long d'une ligne ou d'une bande

Les relations de succession le long d'une ligne ou d'une bande constituent en même temps une technique d'échantillonnage et des mesures linéaires. Ceci, d'autant plus qu'elles sont associées à des mesures de densités et de recouvrement. L'ordre de succession des espèces peut être d'un grand intérêt dans les études d'évolution des écosystèmes.

4.2.3. Mesures relatives à un échantillon non délimité

Ces méthodes permettent des mesures sans délimitation préalable d'un échantillon.

4.2.3.1. Espacement

La mesure de la distance entre individus permet de calculer la densité sans délimitation d'une surface.

Pour cela, on choisit des points de hasard à partir desquels on mesure des distances suivant les procédures suivantes :

- **Méthode de l'individu le plus proche** : on mesure la distance du point au hasard à l'individu le plus proche.

- **Méthode du plus proche voisin** : on mesure la distance de l'individu le plus proche du point au hasard à son plus proche voisin.

- **Méthode des paires au hasard** : le point au hasard définit une droite.

On abaisse de l'individu le plus proche du point au hasard la perpendiculaire à la droite, puis on mesure la distance entre l'individu le plus proche du point et l'individu le plus proche de ce même point mais situé de l'autre côté de la droite.

- **Méthode des quadrants centrés sur le point** : On fixe à l'avance un système de coordonnées rectangulaires et on mesure dans chaque quadrant la distance au plus proche voisin.

Si la distribution de l'espèce est aléatoire, on démontre qu'il y a dans chaque méthode une relation précise entre espacement et densité :

*pour la méthode du plus proche voisin et celle du plus proche individu, on a :

$$d = 1/4m^2 \quad m = \text{espacement moyen} ; d = \text{densité}$$

*pour la méthode du quadrant centré sur le point on a :

$$d = 1/m^2$$

La précision des résultats croît de la première à la dernière méthode.

L'inconvénient de ces méthodes est qu'elles ne mesurent la densité que si la distribution des espèces est aléatoire, ce qui est rarement exact.

Ces méthodes ont été utilisées surtout pour les arbres. La dernière a été également employée dans les prairies.

4.2.3.2. Mesures de la biomasse et de la productivité primaire

La biomasse est la quantité de matière végétale par unité de surface, exprimée en poids de matière sèche ou en kilocalories.

La productivité primaire est l'accroissement de matière végétale par unité de surface et de temps. Elle est exprimée en poids de matière sèche ou en kilocalories par unité de surface et de temps.

L'estimation de la productivité peut se faire directement grâce à des mesures de CO₂ dégagé. Pour cela, on choisit deux quadrats identiques et on renverse sur le premier un récipient opaque, sur le second un récipient transparent. Dans le premier cas, la quantité de gaz carbonique produite correspond à la respiration, dans le second cas la quantité de gaz carbonique disparue correspond à l'ensemble photosynthèse + respiration.

Cette méthode ne s'applique qu'aux végétaux herbacées de petite taille pouvant être enfermés dans une enceinte étanche. Mais cette méthode n'est utilisable que pour de courtes périodes.

Dans toutes les autres méthodes, l'estimation du poids de matière sèche est l'opération essentielle. On peut ensuite faire la conversion en kilocalories grâce à une bombe calorimétrique. L'estimation de la productivité résulte de la comparaison des biomasses à deux moments successifs.

L'estimation du poids de matière sèche peut se faire directement ou indirectement :

1) Méthode directe :

Il s'agit d'une méthode destructive : on coupe toute la végétation (avec ou sans racines). On fait sécher et on détermine le poids sec et éventuellement l'équivalent calorifique des différentes catégories de matériel végétal distinguées (feuilles, branches et écorces).

2) Méthodes indirectes non destructives :

Il s'agit de relations aussi précises que possible, établies entre une mesure non destructive (diamètre des troncs, point quadrat, etc..) et la biomasse au cours d'essais préliminaires effectués par la méthode directe sur des échantillons convenables.

Les essais les plus intéressants ont été faits sur les arbres, pour lesquels on a pu mettre en évidence des relations assez précises.

Kittredge (1944) utilise la relation :

$$W_L = A.D^h$$

W_L = quantité de feuilles sur l'arbre

D^h = diamètre du tronc à hauteur de poitrine

A, h = constantes

4.3. Expression des résultats

Les résultats des différentes mesures peuvent s'exprimer de différentes manières.

4.3.1. Résultats bruts

Ce sont les résultats tels qu'ils ont été obtenus, par exemple un nombre d'individus par m² pour une espèce. Cette forme d'expression est souvent la meilleure parce que la plus directe.

Elle ne facilite cependant pas les comparaisons entre plusieurs échantillons quand les valeurs brutes y sont très différentes et que l'on s'intéresse plus aux valeurs relatives qu'aux valeurs absolues. On utilise alors les proportions.

4.3.2. Proportions

En ce qui concerne l'expression des résultats de points alignés, les pourcentages suivants peuvent être calculés :

a) pourcentage de recouvrement = pourcentage de points où il y a eu contact avec l'espèce étudiée ;

b) pourcentage de recouvrement que fournit l'espèce par rapport à l'aire totale =

$$\frac{\% \text{ rec. de l'espèce}}{\% \text{ rec. de toutes les espèces}} \times (\% \text{ de sol nu}) ;$$

c) fréquence relative de l'espèce dans le couvert végétal = nombre de contacts avec l'espèce pour 100 points ;

d) pourcentage que chaque espèce fournit au pâturage =

$$\frac{\text{Nombre de contacts pour 100 points pour l'espèce étudiée}}{\text{Nombre total de contacts pour 100 points avec une des autres espèces}}$$

f) nombre moyen de contacts d'une espèce par aiguille par rapport aux aiguilles où il y a eu contact.

4.3.3. Les indices

De nombreux auteurs utilisent des indices en combinant de façons variées ces mesures pour les ramener à une valeur unique. L'abondance-dominance de Braun-Blanquet (utilisée en phytosociologie) est un de ces indices.

Elle s'apprécie au moyen de l'échelle suivante :

R = très peu abondant, recouvrement très faible ;

+ = peu abondant, recouvrement très faible ;

1 = abondant mais avec un faible recouvrement ou assez peu abondant mais avec un recouvrement plus grand ;

2 = très abondant ou recouvrement supérieur à 5% ;

3 = recouvrement de 25 à 50%, abondance quelconque ;

4 = recouvrement de 50 à 75 %, abondance quelconque ;

5 = recouvrement supérieur à 75%, abondance quelconque.

5 - Hiérarchisation des communautés végétales

5.1. Méthodes purement qualitatives

5.1.1. Méthodes physionomiques

Il s'agit de méthodes de classification se basant sur la physionomie de la végétation sans référence nécessaire à sa composition floristique.

Les unités sont appelées formations. De nombreuses unités ont été systématisées à partir de termes du langage courant qui n'ont pas toujours un sens précis et restent très vagues, tels que : forêt, garrigue, maquis, pelouse, steppe.

Exemple : sous le nom de steppes on entend des choses souvent très différentes : steppes continentales (ex : steppes russes à hiver très rigoureux) et steppes méditerranéennes (à hiver frais). Ceci entraîne également des difficultés dans la délimitation des formations sur le terrain : où commence la forêt claire et où finit la forêt steppe ?

Fréquemment on donne le nom de l'espèce dominante à la formation étudiée. Ex : forêt de Chêne liège, steppe à armoise, etc.

5.1.2. Méthodes dynamiques

Il s'agit de méthodes qui cherchent à retrouver le tapis végétal primitif, ou **climax**, qui existait dans le milieu étudié, en se basant sur les différentes étapes de l'évolution des communautés végétales et donc sur la dynamique de la végétation.

Dans le cas de l'évolution progressive allant du sol nu à la forêt de chêne vert, il y a une série d'étapes successives amenant au climax du chêne vert : ces étapes constituent la série du chêne vert. On peut les désigner d'après leur hauteur : h_1, h_2 seront herbacées, h_3, h_4, h_5 , seront des sous arbrisseaux, h_6, h_7, h_8, h_9 seront des broussailles de plus en plus hautes et on peut désigner le climax par H.

Si on appelle l_1, l_2, l_3, \dots les listes de plantes qu'on trouve aux étapes successives de la série, on verra qu'elles changent progressivement, les plantes qu'on trouve au stade pelouse ne sont pas les mêmes que celles qui constituent la forêt. On peut distinguer dans l_3 , par exemple, des plantes qui vont devenir plus importantes dans l_4 , ce sont les **édificatrices**. D'autres ont leur maximum d'importance dans l_3 ce sont les **conservatrices**. Les espèces présentes de l_1 à l_8 sont des caractéristiques de la série.

5.1.3. Méthodes chorologiques

Il s'agit d'une classification basée sur la répartition géographique des espèces (chorologie = étude de la répartition des êtres vivants à la surface du globe).

Les aires des espèces sont classées en "géooléments", caractéristiques chacun d'un domaine phytogéographique (en rapport avec l'histoire de la flore et les conditions climatiques) : Néarctique (Amérique du nord), Paléarctique (Europe + Nord d'Afrique + Asie), Indomalaise (Inde + Malaisie), Africotropicale (Afrique tropicale), Néotropicale (Amérique du sud), Océanien, Australien, Antarctique.

Cependant, l'aire des espèces est la résultante de phénomènes si complexes et d'amplitude spatiale et historique si grande qu'il est difficile de la prendre comme base d'un système de classification.

5.2. Méthodes quantitatives

Les différentes méthodes passées en revue auparavant sont relativement simples, car elles sont basées sur un critère unique ou largement prédominant et font peu appel aux comparaisons d'échantillons. Les méthodes qui suivent sont basées sur la comparaison des échantillons aussi bien d'un point de vue quantitatif que qualitatif.

Dans ces méthodes, la détermination des groupements végétaux, ou hiérarchisation des communautés, nécessite la réalisation de deux phases : la phase analytique, ou phase de prélèvement des échantillons ou phase de "terrain", et la phase synthétique, ou phase de comparaison des échantillons et donc de "laboratoire".

Dans toutes ces méthodes les échantillons sont dénommés "**relevés**".

5.2.1. Phase analytique

On distingue trois étapes dans cette phase.

5.2.1.1. Reconnaissance préliminaire

Dans cette étape, on parcourt une région suffisamment vaste et variée, afin de constater la répétition de certaines combinaisons d'espèces quand les mêmes conditions de milieu sont réalisées, c'est-à-dire de reconnaître les zones homogènes et, éventuellement, s'il existe ou non différents types de végétation.

5.2.1.2. Plan d'échantillonnage

Dans la méthode sigmatiste, l'emplacement du relevé est choisi subjectivement de manière à ce qu'il soit homogène, donc qu'il réfère à une unité provisoire de végétation et une seule. L'homogénéité est déterminée par l'apparition régulière de combinaisons définies d'espèces dans des conditions écologiques semblables.

Dans la méthode phytoécologique il est préférable d'utiliser, quand cela est possible, le plan d'échantillonnage **stratifié-aléatoire**.

5.2.1.3. Prélèvement des échantillons ou réalisation des relevés

Un relevé consiste en une liste de toutes les espèces présentes avec pour chacune d'elles la notation de **l'abondance-dominance** et **de la sociabilité***, ainsi que des **indications géographiques** et **écologiques sommaires**.

Les combinaisons d'espèces liées à des conditions de milieu définies révèlent des unités provisoires de végétation que l'on délimite sommairement et que l'on échantillonne à l'aide de relevés.

La surface à échantillonner pour chaque relevé est variable suivant le type de végétation, mais elle doit être au moins égale à **l'aire minimale**, définie au moyen de la courbe aire-espèce.

Pour déterminer l'aire minimale on dresse la liste des espèces présentes sur une placette de surface (1) très faible (1 m^2), puis on double cette surface (1+2) et on ajoute les espèces nouvelles qui apparaissent. Par doublement successifs, on est supposé arriver à une surface (1+2+....+n) à partir de laquelle il n'y a plus (ou pratiquement plus) d'espèces nouvelles qui apparaissent.

On construit alors la courbe aire-espèce en portant sur l'axe des ordonnées le nombre d'espèces cumulatif et sur l'axe des abscisses les surfaces croissantes. Le point de courbe maximale de la courbe abaissée sur l'axe des abscisses correspond à l'aire minima.

5.2.2. Phase synthétique

5.2.2.1. Comparaison des relevés ou des espèces

**-Méthode syngmatiste ou méthode des tableaux (ELLENBERG, 1956)*

La méthode des tableaux a pour but de modifier l'ordre des relevés et des espèces de façon à les regrouper de la manière la plus logique possible.

On peut distinguer cinq phases :

a) **Le tableau brut** : c'est un tableau à double entrée. Les colonnes correspondant aux relevés pris dans un ordre quelconque et les lignes aux espèces inscrites dans l'ordre où elles se présentent dans le premier relevé.

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

*Sociabilité : c'est la tendance au groupement des individus d'une espèce. Elle est déterminée par un indice :

5 : peuplement très dense ;

4 : peuplement assez dense ;

3 : groupements isolés ;

2 : touffes ;

1 : individus isolés

b) **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 (Pour 25 relevés Ellenberg ne conserve que les espèces de présence comprise entre 15 et 3).

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**.

c) **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 appartiennent à un même groupe de différentielles. On fait en bas de ce tableau le total, pour chaque relevé, des espèces différentielles des différents groupes qu'il contient.

d) **Le tableau partiel ordonné** :

On écrit les relevés de manière à mettre ceux qui contiennent le plus de différentielles de l'un ou l'autre groupe aux deux bouts, les relevés ayant peu d'espèces différentielles ou un mélange de différentielles de plusieurs groupes étant situés dans la partie médiane.

e) **Le tableau différentiel** :

On inscrit en tête les groupes différentiels des groupements distingués, puis les autres espèces ou espèces compagnes par ordre de présence décroissante. Sur ce tableau on peut être amené à supprimer des relevés aberrants. En particulier, on élimine les relevés comprenant peu d'espèces différentielles et beaucoup d'espèces rares, qu'on interprète comme des relevés appartenant à des

groupements autres que ceux figurant dans le tableau. On élimine aussi les relevés comportant des différentielles de deux (ou plusieurs) groupes qui s'excluent en général l'un l'autre.

Ce sont des cas aberrants correspondants à des mélanges ou des transitions entre groupements. Cette façon d'opérer n'est admissible que si ces cas aberrants sont peu nombreux, sinon, c'est l'échantillonnage qu'il faut mettre en cause ou même l'existence de groupements discontinus.

* *Analyse différentielle de Czekanowski*

Elle a été appliquée à la phytosociologie par Kulzinski (1928). Cette méthode consiste à calculer d'abord le coefficient de Jaccard ou coefficient de similitude, de formule mathématique :

$$J_{xy} = \frac{N_{xy}}{(N_x + N_y) - N_{xy}} \times 100$$

N_{xy} = nombre d'espèces communes à deux relevés

N_x = nombre total d'espèces du relevé x

N_y = nombre total d'espèces du relevé y

*. *Méthode de Sorensen* On calcule le coefficient de Sorensen :

$$S_{xy} = \frac{200 N_{xy}}{N_x + N_y}$$

Les relevés présentant entre eux des coefficients de similitude supérieurs à une valeur arbitraire (ex > 50) forment un groupe. En diminuant progressivement la valeur limite pour le coefficient, on obtient des groupes successifs de plus en plus vastes et de moins en moins homogènes.

On obtient ainsi une classification hiérarchique des relevés et une appréciation quantitative de l'homogénéité des groupements ainsi définis.

*. *Méthode des dendrites*

La méthode consiste à joindre chaque relevé à celui avec lequel il a le coefficient de similitude le plus élevé. On obtient ainsi des segments plus ou moins ramifiés.

On appelle groupe provisoire les portions des dendrites dans lesquelles tous les coefficients sont supérieurs à 50%. Cela ne garantit pas que les groupes provisoires soient homogènes. On est amené à fragmenter les groupes provisoires en s'efforçant d'obtenir le minimum de groupes.

*. *Analyse des associations interspécifiques*

Par cette méthode on cherche à mettre en évidence des groupes d'espèces en liaison positive ou négative dans les relevés, et non des groupes de relevés par la comparaison des listes globales floristiques. Pour cela on calcule le coefficient de corrélation ou le **test X²** pour tous les couples d'espèces dans les listes. On met ainsi en évidence des groupes d'espèces liées entre elles dont il est souvent facile de vérifier ensuite, les affinités écologiques.

Une autre méthode consiste à calculer le coefficient d'association de Cole :

$$Ca = \frac{ad - bc}{(a + b)(c + d)}$$

Ca = 1 : les espèces sont entièrement associées.

Ca = 0 : les espèces sont indépendantes

Ca = -1 : les espèces sont antagonistes

Pour calculer ce coefficient on dresse d'abord le tableau des fréquences relatives de présences/absences des espèces A et B dans 100 relevés de même surface :

| | | Espèce B | |
|----------|----------|----------|---------|
| | | Présente | Absente |
| Espèce A | Présente | a | B |
| | Absente | c | D |

L'application de ce coefficient permet d'évaluer le degré d'association d'espèces prises 2 à 2 à l'intérieur d'une communauté végétale donnée.

5-2.2.2. Classification

*Critères de classification

Pour hiérarchiser les groupements végétaux on utilise le concept d'espèces caractéristiques exclusives, c'est-à-dire d'espèces plus ou moins Exclusivement localisées dans une association, qu'elles y soient ou non fréquentes. Cependant, les caractéristiques exclusives sont rares, aussi, on utilise de plus en plus de simples différentielles pour définir les associations.

Dans la pratique, on a souvent affaire à des caractéristiques transgressives : c'est-à-dire des espèces caractéristiques qui ont leur optimum dans une association, mais se retrouvent plus ou moins isolément dans des associations voisines.

* Hiérarchisation

On distingue :

a) **l'association**, qui est la combinaison originale d'espèces dont certaines, dites caractéristiques, 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 caractéristiques 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.

*Nomenclature

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

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

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

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

6. Méthode fréquentielle ou phytoécologique.

6.1. Phase analytique.

Elle est identique à celle des méthodes quantitatives. Mais dans ce cas le plan d'échantillonnage doit être, de préférence, stratifié.

6.2. Phase synthétique.

La méthode phytoécologique est basée sur la détermination de groupes écologiques et donc sur la mise en évidence d'espèces indicatrices d'un ou plusieurs facteurs écologiques. Pour cela il faut d'abord découper les facteurs étudiés en classes, ensuite déterminer le nombre total de relevés réalisés dans chaque classe du facteur écologique étudié (profil d'ensemble), puis déterminer le nombre de relevés, par classe du facteur étudié, où l'espèce est présente (profil des fréquences absolues), et enfin calculer les fréquences relatives de l'espèce dans chaque classe, tracer son profil (histogramme correspondant) et l'analyser pour dire si elle est ou non indicatrice du facteur.

6.2.1. Découpage des facteurs en classes

On appelle classe d'un facteur un intervalle quelconque de valeurs consécutives de ce facteur. Pour un grand nombre de facteurs les classes sont connues avant l'étude (ex : pH, texture, etc.). Mais, pour d'autres facteurs leur variation n'est connue qu'à la fin de l'étude. Il faut donc faire soi-même le découpage du facteur en classes. Pour cela le nombre de classes doit être suffisamment élevé et, si possible, les intervalles de valeurs doivent être égales.

6.2.2. Profil d'ensemble

Le profil écologique d'ensemble donne le nombre de relevés où chacune des classes du facteur écologique en question, a été enregistrée.

Exemple: pour mesurer le degré d'ouverture des ligneux bas (= recouvrement global des strates ligneuses basses) on a reconnu sept degré (ou classes de degrés) :

- 1- Fermé (recouvrement global > à 90%)
- 2- Peu ouvert (compris entre 90 et 75%)
- 3- Semi-ouvert (compris entre 75 et 50%)
- 4- Ouvert (compris entre 50 et 25%)
- 5- Très ouvert (compris entre 25 et 10%)
- 6- Extrêmement ouvert (< à 10%)
- 7- Totalemment ouvert (recouvrement nul)

Dans une étude effectuée dans la haute vallée de Liptov dans le Nord-est de la Tchécoslovaquie, 65 relevés ont été effectués conformément au profil d'ensemble suivant :

Profil d'ensemble relatif au degré d'ouverture des ligneux bas dans l'étude de la haute vallée de Liptov :

| Classes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------|---|---|---|----|----|----|----|
| Nombre de relevés | 0 | 3 | 4 | 11 | 11 | 12 | 24 |

Un tel profil met en évidence les particularités de l'échantillonnage analysé. Dans ce cas particulier, il souligne le fait que les formations échantillonnées comprennent généralement peu de ligneux bas.

Les profils d'ensemble bruts peuvent être représentés sous la forme d'un histogramme.

6.2.3. Profil des fréquences absolues

Ces profils représentent le nombre de présences d'une espèce particulière dans les classes du facteur écologique.

Exemple :

Profils écologiques bruts des fréquences absolues de *Myosotis scorpioides* relativement à l'humidité stationnelle dans l'étude de la vallée de Liptov :

| Espèce | Humidité de la station | | | | | | | | |
|---------------|------------------------|-------|-----------|---------|--------------|--------|-------------|----------------|---------------|
| | très sèche | Sèche | asse sèch | Moyenne | Assez Humide | humide | Très Humide | extrême humide | Ens. des rel. |
| Présences | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 6 | 2 | 14 |
| Profil d'ens. | 2 | 9 | 13 | 15 | 12 | 2 | 7 | 4 | 65 |

Ce profil peut être représenté graphiquement par un histogramme.

Lorsque le profil d'ensemble est régulier, c'est-à-dire lorsque les relevés sont uniformément répartis dans les différentes classes du facteur écologique en question, les fréquences absolues sont parfois utilisées pour caractériser le comportement écologique des espèces.

Mais, lorsqu'ils présentent des irrégularités (ex: profil de *Myosotis*) ces profils risquent de conduire à tirer des conclusions erronées sur l'écologie des espèces parce que leur signification dépend de l'échantillonnage.

En fait, il faut tenir compte du nombre total de relevés effectués dans chaque classe, c'est-à-dire du profil d'ensemble. Ainsi, en examinant le profil de *Myosotis scorpioides* on pourrait penser que celle-ci est 2 fois plus fréquente dans la classe 5 que dans la classe 8.

Or, il y a 12 relevés dans la première et 4 seulement dans la seconde, par conséquent, *Myosotis* est plus fréquente dans la classe 8 (50% des relevés) que dans la classe 5 (33% des relevés). Pour cela les profils des fréquences relatives sont mieux indiqués pour tirer des conclusions quant à l'écologie des espèces.

6.2.4. Profil des fréquences relatives

Le profil des fréquences relatives d'une espèce est, en considérant l'ensemble de tous les relevés de la classe du facteur en question, l'expression en pourcentage du nombre de relevés qui contiennent l'espèce.

$$\text{Freq. rel.} = \frac{\text{Nb. de rel. de la cl. du fact. où l'esp. est présente}}{\text{Nb. total de rel. de la classe du facteur considéré}} \times 100$$

$$\text{Freq. Relative} = U(K) / R(K)$$

Comme pour le profil des fréquences absolues, ce profil peut être aussi représenté graphiquement par un histogramme.

6.2.5. Profil des fréquences corrigées.

Le profil écologique des fréquences relatives donne des fréquences faibles pour les espèces rares et des fréquences élevées pour les espèces présentes un grand nombre de fois.

Il est donc nécessaire de tenir compte de la fréquence de chaque espèce dans l'ensemble des relevés pour corriger les écarts entre les espèces rares et les espèces fréquentes. Pour cela, on établit un indice appelé "fréquence corrigée", en divisant les fréquences relatives des présences (ou des absences) de chaque espèce dans chacune des classes du paramètre étudié, par la fréquence relative moyenne des présences de l'espèce dans l'ensemble des relevés.

-35-

On a la fréquence corrigée $C(K)$:

$$C(K) = \frac{\{U(K)/R(K)\}}{\{U(E)/NR\}}$$

$U(K)$ = Nombre de relevés de la classe K du facteur considérée où l'espèce E est présente.

$R(K)$ = Nombre total de relevés de la classe K du facteur considéré

$U(E)$ = Nombre total de relevés où l'espèce E est présente

NR = Ensemble des relevés

Exemple :

| Humidité stationnelle | Total |
|-----------------------|-------|
| | |

| Espèces | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|-------------------------|---|---|----|----|----|---|---|---|----|
| Myosotis scorpioides | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 6 | 2 | 14 |
| Ranunculus flanula | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 5 |
| Profil d'ensemble | 2 | 9 | 13 | 15 | 12 | 2 | 7 | 5 | 65 |

Le profil écologique des fréquences moyennes corrigées qui tient compte de la fréquence moyenne des espèces dans l'ensemble des relevés permet de déceler la similitude écologique du comportement de ces espèces qui n'apparaît pas au seul examen des profils des fréquences absolues ou des fréquences relatives.

7. Techniques et méthodes de dénombrement, techniques de captures et de prélèvement, étude des déplacements,

*Le dénombrement s'effectue selon plusieurs procédés: à vue grâce au comptage directe ou sur photos aériennes.

*L'étude de déplacement des individus se fait grâce à la mise en place de bagues pour les oiseaux ou de GPS pour un grand nombre d'animaux mammifères; les itinéraires sont ensuite analysés pour déterminer le mode de déplacement de populations étudiées

*L'abondance des individus est un critère important dans l'étude d'une population ; Le principe de **capture-marquage-recapture** est simple, il est utilisé pour des populations dont l'effectif total est difficile à évaluer: des individus sont marqués puis relâchés puis recapturés ; sachant que M:individus marqués; N:population d'origine ;C: individus recapturés dont certains sont marqués: R.

La proportion d'individus marqués dans l'échantillon (R/C) est identique à celle dans la population totale (M/N).

$$R/C = M/N \text{ donc } N = M * C/R$$

Cette méthode repose sur:

- la mortalité, l'immigration et l'émigration sont négligeables entre deux captures
- les méthodes de recapture sont reproductibles
- le marquage est permanent sur la durée de l'étude
- le marquage n'a pas affecté la survie ni la probabilité de capture des animaux.

8. Mesures biométriques et autres investigations (régime alimentaire, écophysiologie, etc.).

8.1. Mesures biométriques :

Consistent à mesurer ou à estimer certains caractères morphologiques des organismes vivants tels que: le poids, la taille, la hauteur, l'envergure, la surface foliaire, les poids des graines ou celui des œufs; Selon l'espèce ou le sexe pour mieux évaluer le comportement des individus au sein de leur environnement.

8.2. Régime Alimentaire :

*** L'observation directe des animaux**

Dans la nature, on peut observer des animaux en train de manger. On peut ainsi constater qu'un écureuil mange des noisettes ou qu'un hibou mange de petits oiseaux ou de petits mammifères. Quant aux animaux domestiques ou d'élevage, il est très facile de connaître leurs aliments préférés ainsi que les quantités de nourriture qu'ils ingèrent. On remarque ainsi qu'un

*** L'observation des traces d'un repas**

Il est possible de trouver des restes de repas : noisettes perforées, cônes de pin rongés, proies en partie consommées, jeunes rameaux coupés, etc. Chaque espèce possède une technique particulière pour consommer sa nourriture : l'écureuil ronge les pommes de pin et laisse quelques fragments d'écales alors que le mulot n'en laisse aucune.

*** L'examen du contenu du tube digestif**

Certaines parties du tube digestif (notamment l'estomac) contiennent des aliments entiers après la mort de l'animal. L'estomac d'un capelan (poisson proche de la morue) peut ainsi contenir des crevettes presque intactes. Le gésier d'un oiseau contient souvent des graines entières ou en partie fragmentées et mêlées à de petits cailloux.

*** L'analyse des excréments**

Les excréments (ou crottes) des animaux renferment parfois des fragments d'aliments non digérés et reconnaissables. Les excréments de renard contiennent souvent des enveloppes de fruits, des graines et parfois des élytres d'insectes.

*** L'analyse d'une pelote de régurgitation de rapace**

Une pelote de régurgitation est rejetée naturellement par la bouche du rapace quelques heures après son repas. Elle contient les parties non digérées des proies (des poils, des os, etc.). La reconnaissance des os extraits d'une pelote permet d'identifier et de compter les proies qui ont été avalées.

8.2. Traitement des données

- Structure des données écologiques

La diversité des espèces vue sous l'angle de leurs fonctions écologiques au sein de l'écosystème. Il existe une grande variété de forme, de tailles, et de caractéristiques biologiques parmi les espèces (**Lévêque, 2001**).

a/ Fréquence en nombre (abondance relative)

Selon **Ramade (2003)**, l'abondance relative constitue un paramètre important pour la description de la structure d'un peuplement. L'utilisation des biomasses et (ou) des poids sec par unité de surface représente une estimation plus précise de l'abondance.

Dajoz (2003), dit que La fréquence centésimale (**FC**), représente l'abondance relative et correspond au pourcentage d'individus d'une espèce (***n_i***) par rapport au total des individus recensés (***N***) d'un peuplement. Elle peut être calculée pour un prélèvement ou pour l'ensemble des prélèvements d'une biocénose.

$$Fc = \frac{n_i}{N} \times 100$$

b/ Constance ou indice d'occurrence

La constance (**C**) est le rapport du nombre de relevés contenant l'espèce étudiée (***P_i***) au nombre total de relevés (***P***) exprimé en pourcentage (**Dajoz, 1982**).

$$C (\%) = \frac{P_i}{P} \times 100$$

Où **C** : la constance ;

P_i : le nombre de relevés contenant l'espèce étudiée ;

P : le nombre total des relevés.

Les espèces sont groupées en fonction de leur fréquence d'occurrence :

- Les espèces constantes sont présentes dans 50% ou plus des relevés effectués.
- Les espèces accessoires sont présentes dans 25 à 49% des prélèvements.
- Les espèces accidentelles sont celles dont la fréquence est inférieure à 25%.
- Les espèces très accidentelles qualifiées de sporadiques, ont une fréquence inférieure à 10% (**Bigot et Bodot, 1973 in Chaibi, 2014**).

c/ Indice de similitude (indice de Sorensen)

Afin de pouvoir statuer la similitude ou la différence existante dans la composition du peuplement des phytoplanctons dans l'espace d'une part et dans le temps d'autre part, nous avons comparé la structure des relevés par une analyse discriminatoire en calculant l'indice de SORENSEN ou le coefficient de similitude de SORENSEN (***Q_s***) (**Magurran, 1988**).

$$Q_s = \left[\frac{2c}{a+b} \right] \times 100$$

a : nombre d'espèces mentionnées dans le relevé 1.

b : nombre d'espèces décrites dans le relevé 2.

c : nombre d'espèces recensées simultanément dans les 2 relevés.

d/ Application d'indices de diversité des peuplements

La diversité des peuplements vivants s'exprime généralement par la richesse spécifique totale qui est le nombre total (***S***) d'espèces dans un biotope et la richesse moyenne (***S_m***) qui est

la moyenne du nombre d'espèces observées dans une série de prélèvements. Elle peut être également représentée par des indices différents.

*** Richesse totale**

La richesse totale (S) est le nombre total des espèces contactées au moins une seule fois, au terme de N relevés (**Blondel, 1975**).

*** Richesse spécifique moyenne :**

La richesse moyenne (Sm) correspond au nombre moyen des espèces contactées à chaque relevé (**Blondel, 1979 et Ramade, 1984**).

$$S_m = \frac{\text{nombre total d'espèces recensées lors de chaque relevé}}{\text{nombre de relevés réalisés}}$$

*** Indice de diversité de SHANNON :**

L'indice de diversité de SHANNON dérive d'une fonction établie par SHANNON et WIENER qui est devenue l'indice de diversité de Shannon. Il est parfois, incorrectement appelé indice de SHANNON-WEAVER (**KREBS, 1989 ; Magurran, 1988**). Cet indice symbolisé par la lettre **H'** fait appel à la théorie de l'information. La diversité est fonction de la probabilité de présence de chaque espèce dans un ensemble d'individus. La valeur de **H'** est variée entre 0,5 et 4,5 bits et donnée par la formule suivante (**Blondel, 1979 ; Dajoz, 1985 ; Magurran, 1988**) :

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i$$

Où : **P_i** représente le nombre d'individus de l'espèce *i* par rapport au nombre total d'individus recensés (**N**) :

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Cet indice renseigne sur la diversité des espèces d'un milieu étudié. Lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce, l'indice de diversité est égal à 0 bits. Selon **Magurran (1988)**, la valeur de cet indice varie généralement entre 1,5 et 3,5. Il dépasse rarement 4,5. Cet indice est indépendant de la taille de l'échantillon et tient compte de la distribution du nombre d'individus par espèce (**Dajoz, 1975**).

Afin de calculer cet indice, nous avons pris en considération la richesse générique et non spécifique.

e/ Indice d'équirépartition des populations (équitabilité)

C'est une autre expression de la diversité spécifique, l'indice d'équitabilité ou d'équipartitions (**E**) est le rapport entre la diversité calculée (**H'**) et la diversité théorique maximale (**H'_{max}**) qui est représentée par le log₂ de la richesse totale (**S**) (**BLONDEL, 1979**).

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Où : **H'** est l'indice de Shannon : $H'_{\max} = \log_2 S$

Cet indice varie de zéro à un. Lorsqu'il tend vers zéro ($E < 0,5$), cela signifie que la quasi-totalité des effectifs tend à être concentrée sur une seule espèce. Il est égal à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (**Barbault,**