

Institut des Sciences et de Technologie

Département Sciences de la Nature et de la Vie

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



Destiné aux Etudiants de 3ème année licence

Spécialité Écologie et environnement

Réalisé par : Dr. Djeddi Hamssa

E-Mail : h.djeddi@centre-univ-mila.dz

Année Universitaire 2020/ 2021

SOMMAIRE

I. Principes généraux	1
I.1. Le matériel végétal et animal	2
I.2. Le milieu	3
I.3. Structure et homogénéité des peuplements	5
I.3.1. Physionomie et structure des communautés végétales	5
I.3.2. Structure spatiale des communautés animales	8
II.1. Qualité d'échantillonnage	10
II.1.1. Choix d'une méthode	10
II.1.2. Choix d'un plan d'échantillonnage	11
II.2. Types d'échantillonnage	12
II.2.1. L'échantillonnage subjectif	12
II.2.2. L'échantillonnage aléatoire simple	12
II.2.3. L'échantillonnage systématique	14
II.2.4. L'échantillonnage stratifié	15
II.2.5. Echantillonnage exhaustif	17
II.2.6. L'échantillonnage mixte	19
III. Hiérarchisation et classification des peuplements	20
III.1. Méthodes qualitatives	20
III.1.1. Méthode sigmatiste et nomenclature phytosociologique	20
III.1.1.1. Présentation de la méthode de Braun-Blanquet	20
III.1.1.2. Nomenclature phytosociologique	26
III.1.2. Méthodes floristique statistiques	26
III.1.3. Notion de groupe écologique	28
III.1.4. Approches phytoécologique	29
III.1.5. Différentes zoocénoses en fonction des formations végétales	30
III.2. Méthodes quantitatives	32
III.2.1. Analyse linéaire	32
III.2.2. Point quadrant	33
III.2.3. Méthode des points quadrats alignés	33

I. Principes généraux

La caractérisation initiale des milieux et l'évaluation des ressources naturelles (potentialités pastorales, etc.) nécessitent une méthodologie rigoureuse permettant, d'une part, de donner une image réelle de l'état des biotopes et, d'autre part, de suivre la dynamique du milieu et de la végétation par la mise en évidence des changements éventuels et l'évaluation des processus de dégradation des milieux fragilisés par une action anthropique importante. Suivant le milieu qu'il se propose d'étudier, pour réaliser des inventaires des peuplements végétaux ou animaux ou enregistrer des paramètres de facteurs abiotiques, le naturaliste de terrain est amené à mettre en œuvre des méthodes de travail précises conditionnées par les contingences du milieu.

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

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

I.1. Le matériel végétal et animal

I.1.1. Le matériel végétal

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

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

I.1.2. Le matériel animal

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

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

I.2. Le milieu

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

Il existe plusieurs modalités de classification des facteurs écologiques :

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

Certains facteurs écologiques sont dit 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 1).

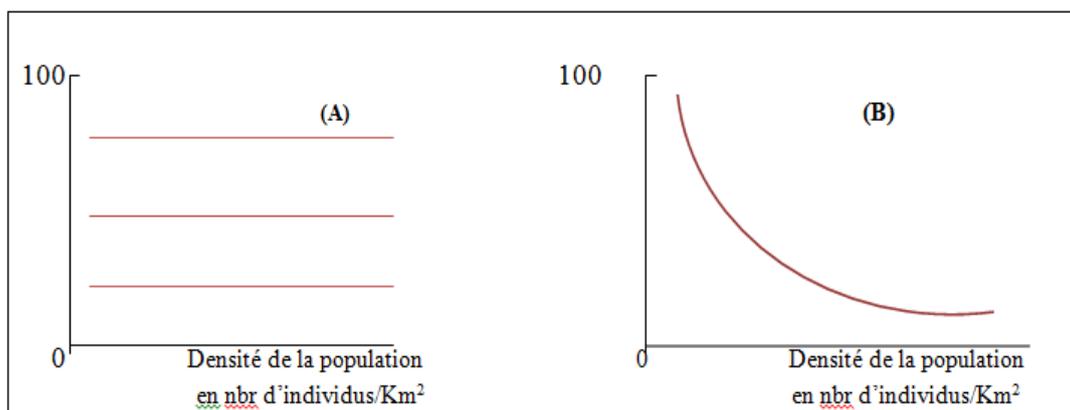


Figure 1 : Diagramme schématisant le mode d'action des facteurs indépendants de la densité (A) et dépendant de la densité (B).

On peut aussi utiliser une classification « spatiale » des facteurs écologiques qui tient compte de la nature du milieu dans lequel ils existent leur action. Celle-ci comporte :

- Les facteurs édaphiques : qui concernent les caractères physico-chimiques des sols ;
- Les facteurs topographiques : liés aux précédents, dont la nature dépend du relief du terrain,
- Les facteurs hydrologiques peuvent être inclus dans cette catégorie (Tableau 1).

Tableau 1 : Classification des facteurs écologiques

		Périodicité des facteurs	
Facteurs abiotiques	<u>Facteurs climatiques :</u> Température Eclairage Hygrométrie Pluviométrie Autres facteurs (vents, etc.)	Facteurs indépendants de la densité	Périodiques primaires Périodiques secondaires
	<u>Facteurs physico-chimiques :</u> Topographiques Edaphiques (biotopes terrestres) <ul style="list-style-type: none"> - Granulométrie - Composition chimique Hydrologiques (biotopes aquatiques) <ul style="list-style-type: none"> - pression - teneurs en sels minéraux - teneur en O₂ dissous 		Périodiques secondaires ou apériodiques
Facteurs biotiques	<u>Facteurs trophiques :</u> Teneur en sels minéraux nutritifs Nourriture disponible	Facteurs dépendants de la densité	Périodiques secondaires
	<u>Facteurs biotiques :</u> Interaction intra spécifique Interaction interspécifique <ul style="list-style-type: none"> - Compétition - Prédation - Parasitisme Autres facteurs		Périodiques secondaires ou apériodiques

I.3. Structure et homogénéité des peuplements

I.3.1. Physionomie et structure des communautés végétales

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

I.3.1.1. Physionomie

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. Elles sont selon la classification de Raunkiaer (Figure 2) :

- **Les phanérophytes**

(du grec *phaneros*, « visible » Dans ce cas, les bourgeons sont portés par des tiges aériennes dressées ligneuses et sont situés conventionnellement à plus de 25 cm du sol. Ces bourgeons sont en toute saison exposés aux rigueurs du climat. On distingue des phanérophytes ligneux (arbres, arbustes, arbrisseaux), herbacés (régions tropicales humides), succulents (Cactées et Euphorbes des déserts) et grimpants (lierre, lianes des forêts tropicales).

- **Les chaméphytes**

Les bourgeons pérennants sont dans ce cas à moins de 50 cm du sol, sur des pousses aériennes courtes, rampantes ou érigées, mais vivaces. Ces bourgeons peuvent jouir d'un certain abri (neige, effet de groupe...). On peut citer le thym, la callune (chaméphytes ligneux et dressés), les saules nains (chaméphytes ligneux à rameaux couchés), la pervenche, la véronique (chaméphytes herbacés rampants).

• Les hémicryptophytes

Les bourgeons pérennants sont ici au ras du sol (l'appareil aérien de ces végétaux est donc très fragile et fugace, pas de présence de lignine). Ces plantes sont particulièrement nombreuses sous nos climats tempérés et elles présentent une grande variété morphologique. On distingue notamment les formes en rosette (pissenlit, plantain) ou à long rhizome rampant (saponaire, scrofulaire). Les bourgeons sont dans ce cas à la surface du sol.

• Les thérophytes

Ces végétaux représentent le cas limite de l'adaptation aux rigueurs climatiques. Ils passent en effet la mauvaise saison sous forme de graine (coquelicot, par exemple).

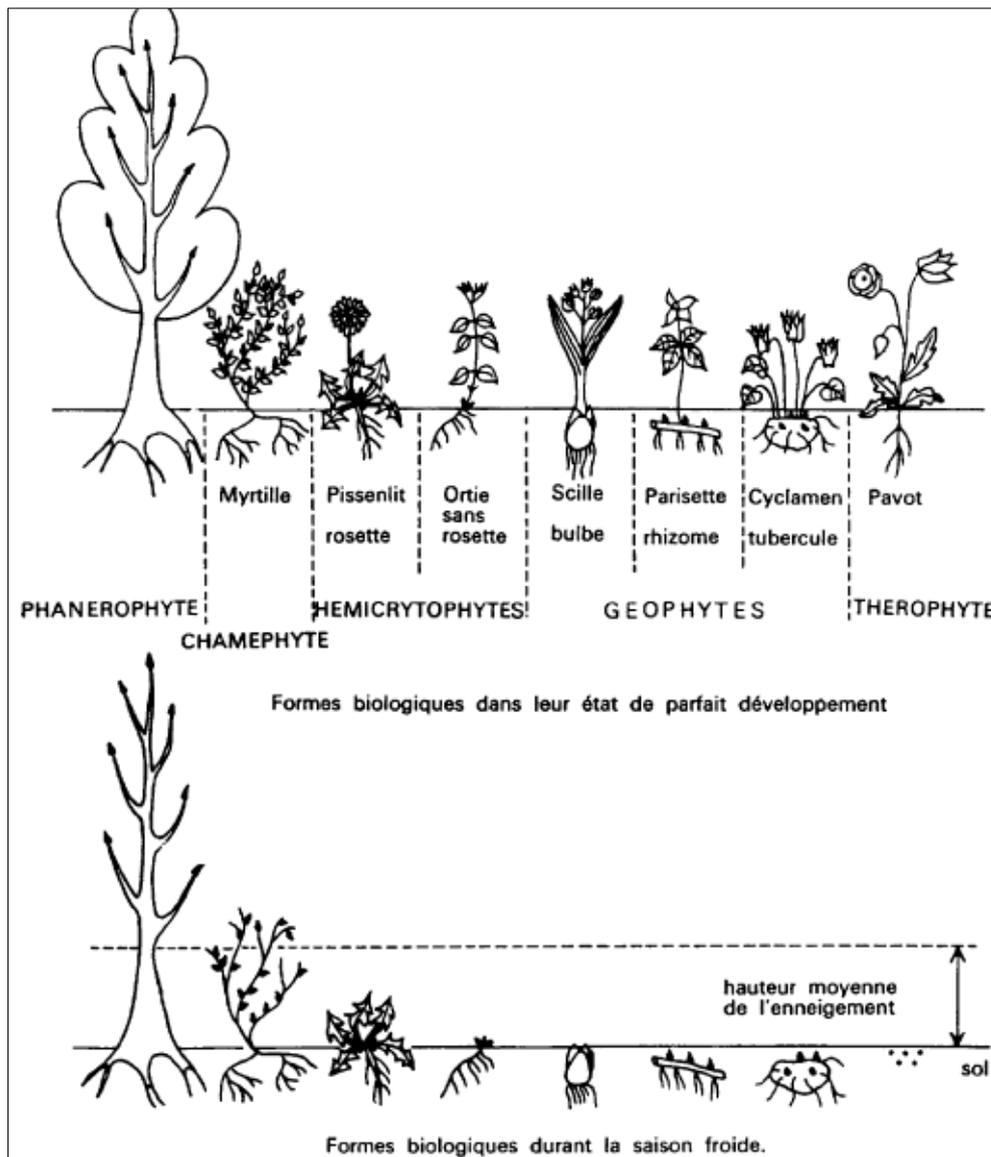


Figure 2 : Les types biologiques de la végétation (Gaudin, 1997).

I.3.1.2. Structure

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

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. Le tapis végétal a toujours un aspect en mosaïque, c'est-à-dire qu'il est constitué par la répétition de motifs structuraux généralement en petit nombre, due à des variations de la composition floristique quantitative et qualitative.

Les mosaïques peuvent être constituées de motifs complètement désordonnés ou au contraire de motifs se répétant plus ou moins régulièrement un grand nombre de fois. Ces dernières sont appelées mosaïques répétitives. Le tapis végétal ne présente une structure homogène que si la mosaïque est répétitive, c'est-à-dire lorsque ses différentes parties forment un agencement plus ou moins régulier (distribution plus ou moins régulière).

La structure verticale se subdivise en stratification aérienne et souterraine. A l'exception des formations de lichens (toundra), tous les écosystèmes possèdent une nette stratification verticale.

La stratification aérienne comporte en forêt quatre strates principales : arborée, arbustive, herbacée et muscinale. Cette stratification est très faible dans la forêt de conifère et plus particulièrement dans les plantations artificielles de résineux.

La stratification souterraine correspond à l'étagement en profondeur du sol de l'appareil racinaire des différents individus constituant un peuplement végétal (Figure 3).

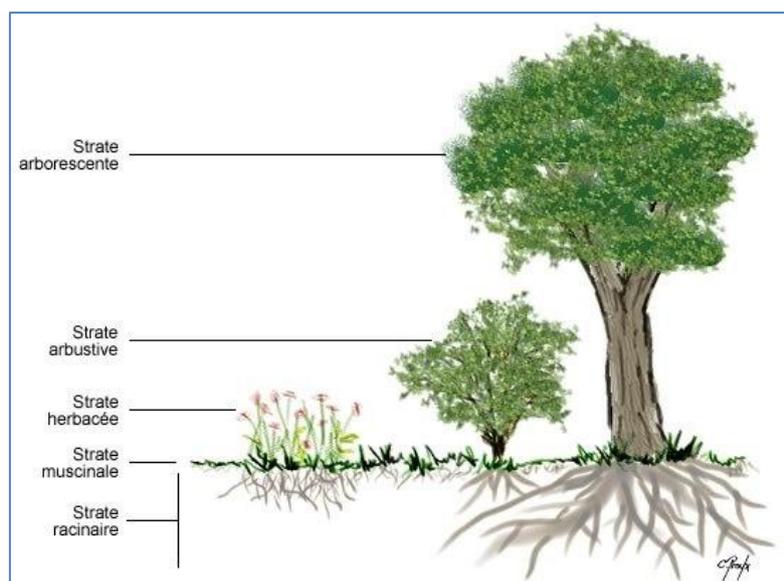


Figure 3 : La structure verticale de la végétation (Ramade, 2003).

I.3.2. Structure spatiale des communautés animales

Les différents organismes qui composent une communauté ne vivent pas « en vrac » dans l'espace : ils y occupent des emplacements qui sont souvent bien définis, tout en étant variables dans le temps s'il s'agit d'animaux mobiles. L'existence de cette localisation joue un rôle essentiel dans la vie de la communauté, puisqu'elle permet ou empêche la rencontre des diverses espèces et, d'une façon plus générale, préside à leurs relations. Elle est notamment à l'origine des rapports trophiques qui existent entre les organismes, et donc du fonctionnement même de l'écosystème auquel ils appartiennent.

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

I.3.2.1. Répartition sur un plan horizontal

Sur un plan horizontal, divers types de répartition sont possibles pour les individus d'une même espèce (Figure 4).

- **La répartition uniforme (régulière)** est rare et réservée à des espèces animales territoriales, elle signifie que les individus ont tendance à se tenir à égale distance les uns des autres. Elle correspond à un évitement maximum des contacts individuels et traduit donc l'importance de compétition intraspécifique.
- **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.

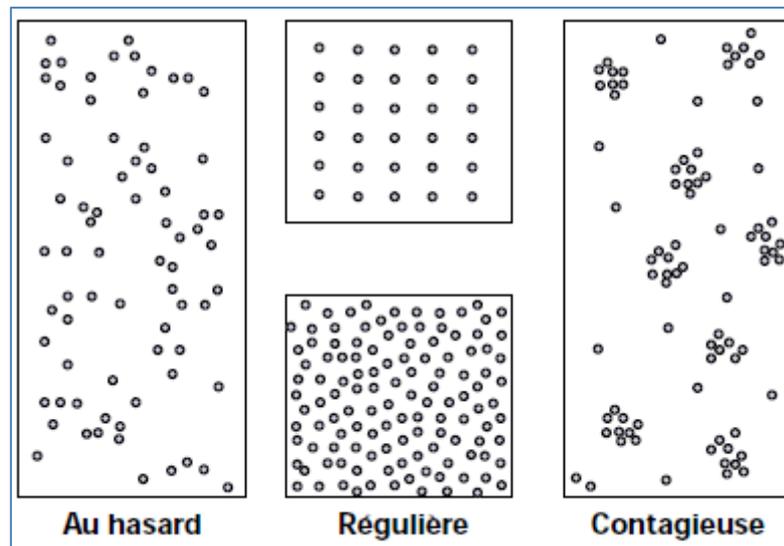


Figure 4 : Les différents modes de répartition spatiale (Fiers, 2003).

I.3.2.2. Répartition sur un plan vertical

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

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

- 0** : Animal absent
- +** : Seul et dispersé
- ++** : Pas rare
- +++** : Fréquent
- ++++** : Très fréquent.

II. Qualité et types d'échantillonnage

II.1. Qualité d'échantillonnage

Le diagnostic écologique s'appuie en premier lieu sur des inventaires de terrain, réalisés selon des méthodes précises et reconnues et si possible standardisées. Le déroulement d'un tel diagnostic gagne à être structuré selon les étapes suivantes :

- **définition de l'objectif** : ce qui implique également la définition de la question posée et des éléments de connaissance à apporter ;
- **choix d'une méthode de récolte des données**. Il faut faire le choix d'une technique de terrain adaptée à la fois à l'objectif de l'étude et aux moyens disponibles ;
- **choix d'un plan d'échantillonnage**, qui définit le type et le nombre des unités d'échantillonnage ainsi que leur répartition dans l'espace et dans le temps ;
- **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).

Les **inventaires** se limitent à dresser des listes d'espèces, sans chercher à quantifier les nombres d'individus animaux ou végétaux présents sur le site. Très relatifs et variables selon la longueur de l'étude, les périodes de passage, les compétences des observateurs et les groupes étudiés, ils apportent à la fois la liste des espèces présentes et leur nombre (ou richesse spécifique). Ils ne permettent pas de comparaisons très solides d'un passage à l'autre ou d'un site à l'autre mais bénéficient cependant d'une mise en œuvre simplifiée et facilement adaptable.

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.

- **Tenir compte de la fiabilité et de la précision**

Les résultats d'une étude sont d'autant plus fiables que le nombre de données à traiter est important. Ce dernier dépend de l'intensité des prélèvements, donc du nombre d'échantillons. Plus le nombre d'échantillons est important, plus les résultats seront fidèles à la réalité, plus la valeur estimée s'approche de la valeur réelle. Le résultat devient plus précis.

- **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. Cette façon de procéder, très dépendante de la représentation conceptuelle d'un habitat, de la perception du milieu donné et de l'itinéraire de l'observateur d'un point de vue statistique, est appelé type non probabiliste : les tests statistique ultérieurs ne peuvent rien prouver quant à l'ensemble de la population échantillonnée. Il s'agit en fait d'une méthode descriptive et qualitative qui ne peut d'aucune façon être rendu quantitative.

II.2.2. L'échantillonnage aléatoire simple

- **Principe**

Cette méthode qui consiste à prélever au hasard et de façon indépendante «n» unités d'échantillonnage d'une population de «N» éléments (Figure 5). Les échantillons sont répartis au hasard. Chaque point dans l'espace étudié a donc une chance égale d'être échantillonné. Les données ainsi récoltées ne sont pas biaisées. A partir d'une carte ou d'une photographie aérienne, l'œil humain ne sait pas choisir les échantillons.

Pour cela on trace des axes de coordonnées sur une carte ou une photo aérienne, puis on choisit des couples de coordonnées dans une table de nombres au hasard. Il s'agit du point de vue statistique d'un échantillonnage probabiliste. 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'une table de nombres aléatoires ou de tout autre système générant des chiffres aléatoires.

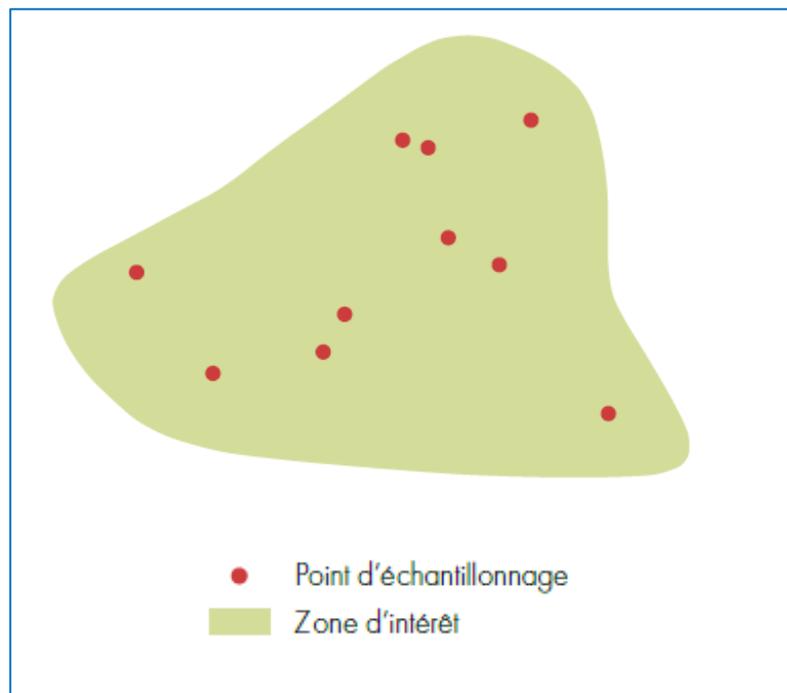


Figure 5: Échantillonnage aléatoire (Adam et al., 2015).

- **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. Ainsi que la surestimation des zones de végétation étendues au détriment de celles présentant des surfaces plus restreintes.

II.2.3. L'échantillonnage systématique

- **Principe**

Ce type d'échantillonnage consiste à répartir les échantillons de manière régulière (tous les «x» mètres par exemple). Les points étudiés sont répartis de manière homogène sur la totalité de la zone, ce qui permet une bonne couverture spatiale, et évite de sur- ou sous-échantillonner certaines parties. 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, c'est un avantage considérable dans le cadre d'un suivi permanent. Il porte alors une plus grande attention aux milieux répondant à leurs exigences écologiques (Figure 6).

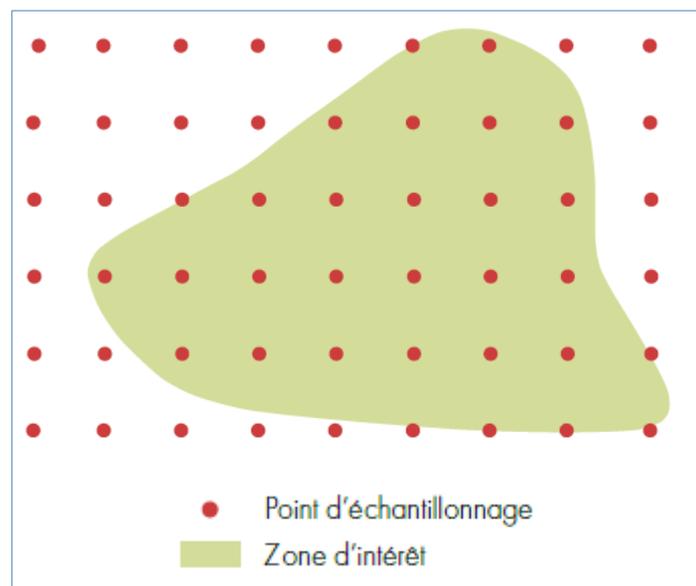


Figure 6 : Échantillonnage systématique (Adam et al., 2015).

- **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

- **Principe**

Lorsque la zone d'intérêt n'est pas homogène, ce qui est souvent le cas dans la nature, les plans précédents risquent de négliger des zones petites mais originales. Inversement, un habitat qui couvre une grande partie de la zone sera sur-échantillonné.

L'échantillonnage stratifié est particulièrement utilisé quand l'aire étudiée est divisée en zones différenciées. Les strates peuvent correspondre à des divisions administratives, des unités de gestion, à des zones à topographie ou accessibilité différente... 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. Le gestionnaire répartit alors les échantillons au sein des strates (en procédant éventuellement par un échantillonnage au hasard) avec un nombre proportionnel à l'aire de chacune (Figure 7).

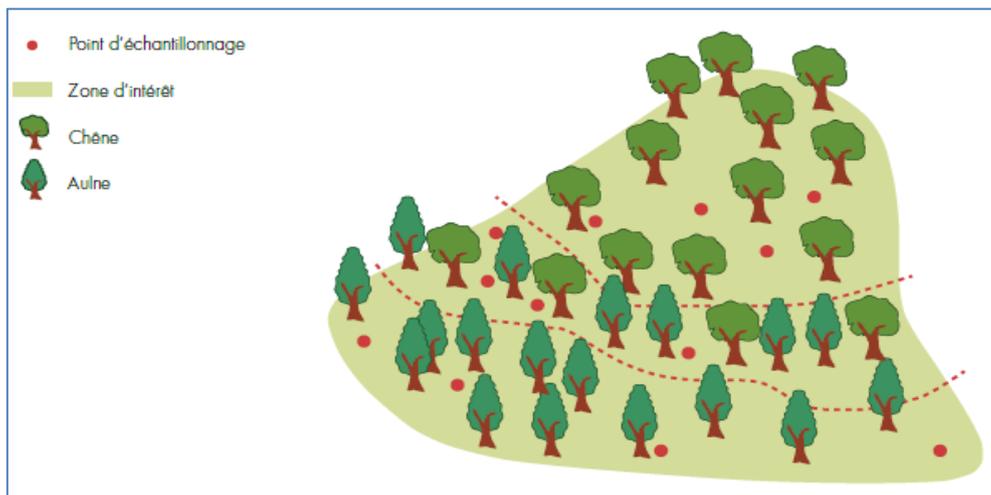


Figure 7: Échantillonnage stratifié (Adam et al., 2015).

- **Détermination des strates**

On se base sur la répartition des éléments du milieu, qui doit être connue au moment où commence l'étude. Cela revient à réunir le maximum de documentation déjà existante, et de l'étudier, c'est à dire :

- **Cartes topographiques** : au diverses échelles, qui permettent de répéter les types de pentes et d'expositions dont l'influence sera précisée sur le terrain de manière à faire les coupures les plus efficace.

- Cartes géologiques :

Qui sont intéressantes quand les étages géologiques (pliocène, crétacé, oligocène, etc...) correspondent à des types lithologiques ou pédologiques définis.

- **Cartes géomorphologiques :** détaillées, sont très intéressantes et permettent une utilisation plus poussées des cartes topographiques.

- **Cartes pédologiques :** elles sont en général les plus directement importantes pour la végétation cependant, on ne doit pas s'étonner de ne pas trouver toujours une convergence absolue entre sol et végétation.

Une première solution consiste à reporter toutes les cartes relatives aux facteurs du milieu, à une même échelle sur un support transparent, puis à superposer les caques, pour chercher les endroits où coïncident plusieurs limites.

Si non, une deuxième solution consiste à utiliser des photographies aériennes qui sont une source importante de renseignements. Les photos aériennes les plus courantes sont les photos en noir et blanc du 1/20000 au 1/50000. Elles ont un minimum de sensibilité dans le vert : plus la végétation sera dense et en vie active, plus elle paraîtra noire (la date de la mission est importante pour l'interprétation de l'intensité du noir).

L'étude d'une mosaïque de photos en noir et blanc permet d'abord de définir dans la région étudiée des zones d'aspect semblable. Ce premier découpage peut parfois être interprété à l'aide des documents cartographiques utilisables (géologique et pédologiques). Une analyse plus détaillée s'effectuera tour à tour au bureau et sur le terrain. Au bureau, on s'efforcera de distinguer le maximum de nuance à l'aide du stéréoscope et du loup à fort grossissement. Sur le terrain, on cherchera à interpréter les différences observées sur la photo et inversement on s'efforcera de repérer avec précision sur la photo des espèces ou des types de végétation que l'on s'efforcera de caractériser ensuite au bureau.

Cette étude fine permettra de délimiter sur la photo des plages homogènes, il faut alors regrouper ces plages élémentaires en zones homologues.

• Tableau d'échantillonnage :

Une fois les différentes strates déterminées, on est amené à dresser le tableau d'échantillonnage. Ce tableau permet de préciser les questions que l'écologie peut poser au territoire étudié et les réponses qu'il peut en attendre. L'examen du tableau d'échantillonnage conduit souvent à réviser les limites du périmètre à étudier ou à modifier l'objectif du travail. Le tableau d'échantillonnage a surtout pour but d'aider l'écologie à préciser le nombre de stations d'échantillonnage de chaque type qui doit entrer dans son inventaire.

Une fois qu'il est dressé, il permet de voir là où on a effectué le moins d'échantillons, ou le plus, et de retirer ou d'ajouter des échantillons afin d'équilibrer entre les différentes strates. Il permet également de constater si certaines études sont possible ou pas.

- **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

- **Principe**

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 (Figure 8).



Figure 8 : Placettes sous forme de surfaces (Hirche, 2015).

- **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 contigus**

On note la présence des espèces le long de segments contigus (Figure 9), 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.

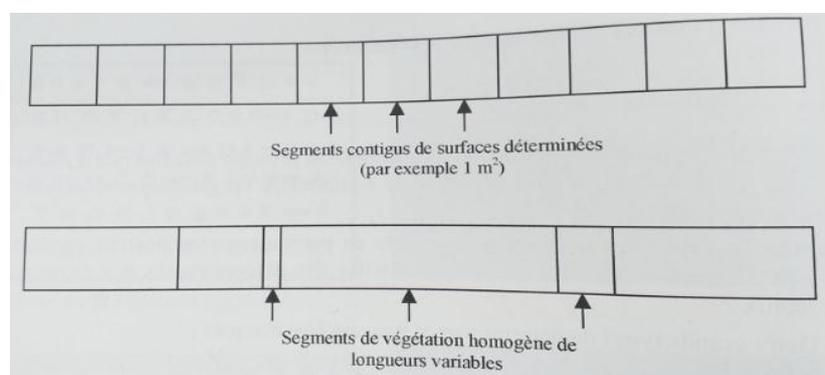


Figure 9 : Types de segments contigus (Bouzellé, 2007).

- **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

Les études bibliographiques montrent que l'on peut combiner plusieurs types d'échantillonnages pour les adapter à leur situation sur le terrain. On parle alors d'échantillonnage mixte. On peut procéder à une stratification préalable de la région (ou de la communauté) à étudier. Dans les strates des points sont choisis à hasard chacun de ces points servira de base pour un échantillonnage systématique ou exhaustif, ou pour la détermination des groupements floristiques.

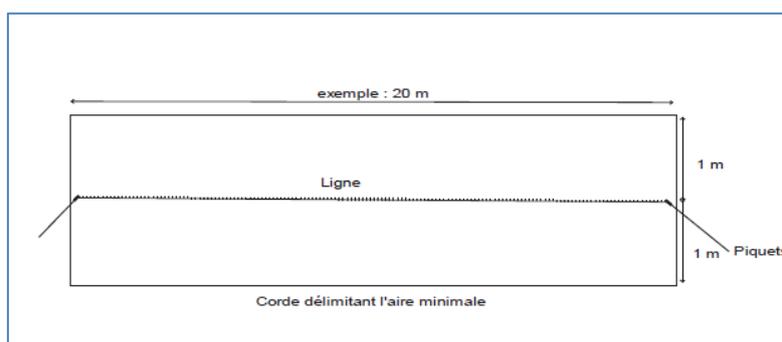


Figure 10 : Dispositif d'échantillonnage mixte combinant la ligne et la surface (Hirche, 2015).

III. Hiérarchisation et classification des peuplements

III.1. Méthodes qualitatives

La phytosociologie est l'étude des communautés végétales du point de vue floristique, écologique, dynamique, chronologique et historique. C'est la science qui s'attache à décrire les relations spatio-temporelles entre les végétaux, ainsi que les relations entre ces plantes et leur milieu de vie (climat, sol). Elle a fait apparaître que, pour certaines conditions du milieu, on peut reconnaître des unités de végétation appelées « associations végétales », avec des groupes d'espèces dites caractéristiques, différentielles ou compagnes.

En 1915, Braun-Blanquet a ainsi défini une **association végétale** : « groupement végétal plus ou moins stable en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée, dans laquelle certains éléments exclusifs ou à peu près, les espèces caractéristiques, révèlent par leur présence une écologie particulière et autonome ». La description des communautés végétales passe souvent par l'étude de ces associations végétales, qui sont riches d'enseignement sur les conditions écologiques locales.

La reconnaissance des différents groupements végétaux en présence, à l'aide de relevés floristiques dans le cadre d'un échantillonnage, peut aussi être complétée par une recherche systématique sur l'ensemble du site d'espèces patrimoniales

III.1.1. Méthode sigmatiste et nomenclature phytosociologique

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

Cette méthode de description de la végétation comprend deux étapes :

- une étape analytique sur le terrain qui consiste à réaliser des relevés de végétation ;
- une étape synthétique au bureau qui consiste à classer les relevés afin d'en identifier les associations végétales.

- **Étape analytique**

Cette étape a pour but d'établir une liste complète des taxons présents dans un échantillonnage de surface suffisante. L'étape suivante d'interprétation et d'analyse repose sur la précision et la rigueur des relevés sur le terrain.

La première phase d'une étude phytosociologique consiste tout d'abord à définir des surfaces (aires) de relevés sur l'ensemble du territoire d'étude.

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.

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. Mais on peut choisir de placer les relevés au hasard, dans des strates préalablement définies.

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 très faible (1m^2), puis on double cette surface (1+2) et on ajoute les 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 (Figure 11). Le point de courbe maximale de la courbe abaissée sur l'axe des abscisses correspond à l'aire minima.

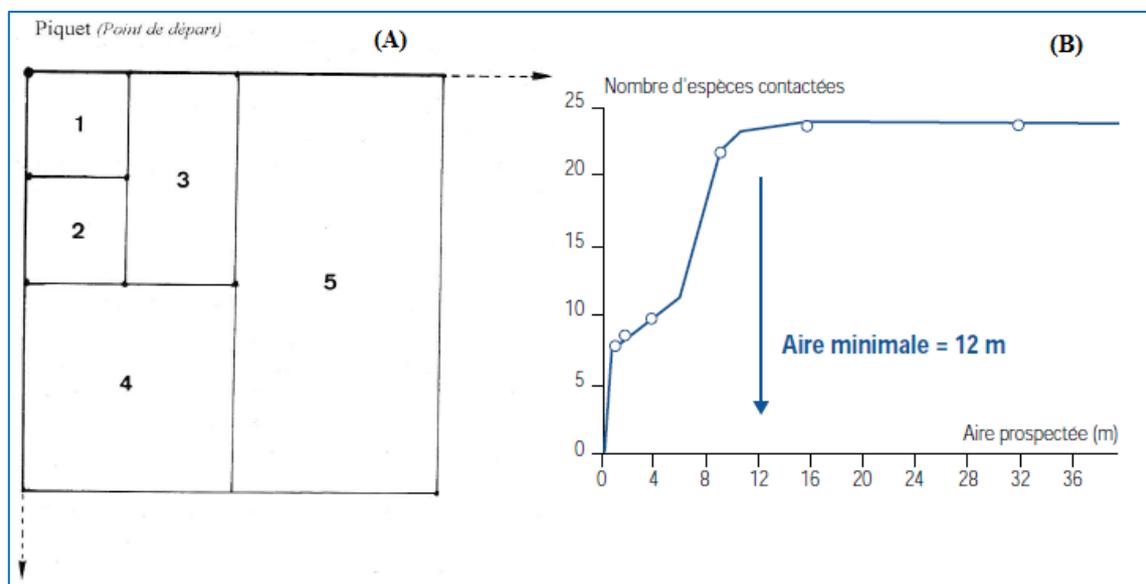


Figure 11: (A) Utilisation de la technique des accroissements en hélice (Faurie et al., 2012) (B) calcul de l'aire minimale (Fiers, 2003).

Les relevés phytosociologiques peuvent être effectués dans des quadrats et selon des transects. Pour chaque aire de relevé, la liste des espèces présentes est établie. En plus de la liste des espèces présentes, un coefficient d'abondance-dominance est affecté à chacune d'elles (Figure 12).

Il s'agit d'une échelle mixte, l'abondance correspondant au nombre d'individus par unité de surface, et la dominance au recouvrement total des individus de l'espèce considérée. À titre indicatif, des ordres de grandeur d'aire minimale empirique sont donnés pour la réalisation des relevés en fonction du type de végétation :

- pelouse : 1-2 à 10 m² ;
- bas-marais/tourbière : 5 à 20 m² ;
- prairie : 16 à 25 m² ; 50 m² si nécessaire ;
- mégaphorbiaie : 16 à 25 m² ; 50 m² si nécessaire ;
- roselière/cariçaie : 30 à 50 m² voire plus ;
- ourlet linéaire : 10 à 20 m² ;
- lande : 50 à 200 m² ;
- fourré : 50 à 100 m² voire 200 m² ;
- forêt : 300 à 800 m².

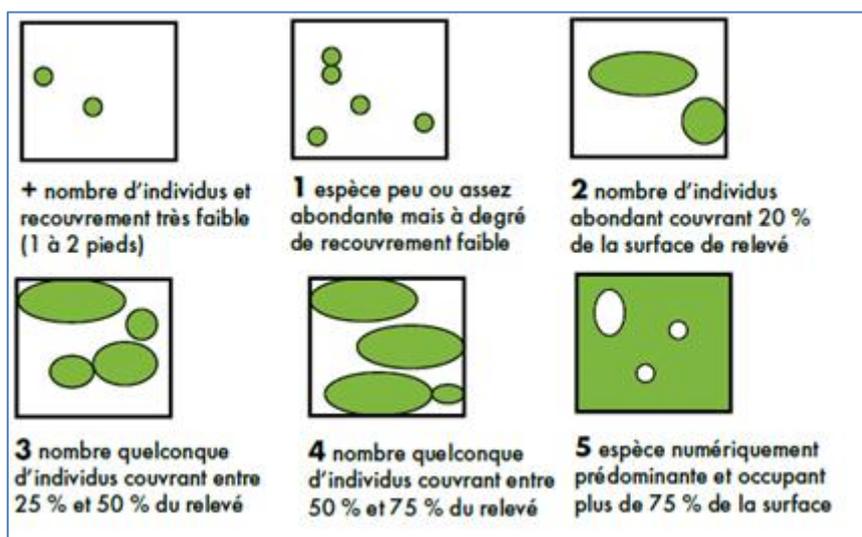


Figure 12 : Échelle d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (Adam et al., 2015)

Un coefficient de sociabilité est ajouté au coefficient d'abondance-dominance. Il exprime l'aptitude d'une espèce à former des groupements plus ou moins denses (Figure13). Elle est déterminée par un indice :

- 5** : peuplements très dence ;
- 4** : peuplements assez dence ;
- 3** : groupements isolés ;
- 2** : touffes ;
- 1** : individus isolés.

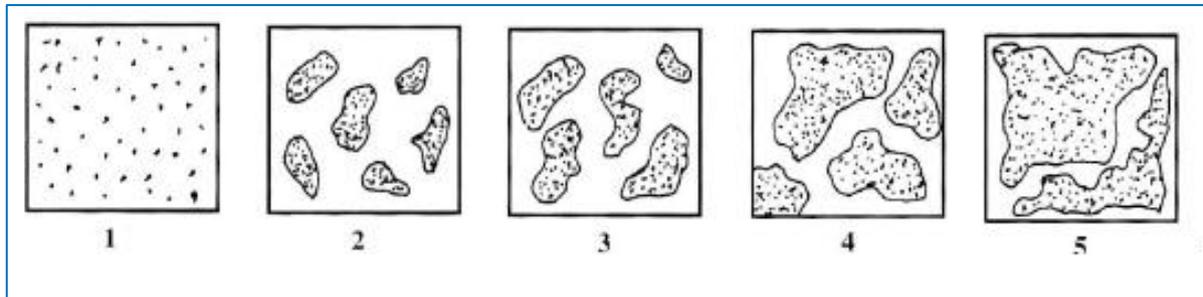


Figure 13 : Échelle de sociabilité de Braun-Blanquet (Faurie et al., 2012).

- **Étape synthétique**

Les relevés phytosociologiques obtenus sont comparés entre eux : les relevés qui se ressemblent le plus sont rapprochés les uns des autres pour constituer des catégories abstraites, les syntaxons. Les relevés sont tout d'abord mis en forme en tableaux bruts (de type tableur par exemple). L'analyse des relevés peut se faire :

- par analyse numérique (en particulier si le nombre de relevés est important), à l'aide d'une méthode d'ordination (analyse factorielle des correspondances, AFC) ou de classification (classification hiérarchique ascendante, CHA) ;
- par la méthode des tableaux, dite méthode manuelle, qui repose grandement sur la compétence et l'expérience de l'opérateur. Elle 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 :

Le tableau brut c'est un tableau à double entrée. Les colonnes correspondant aux relevés pris dans n 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 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.

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 (présente dans tous les relevés ou presque) sont peut 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**.

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 n 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.

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 situé dans la partie médiane.

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 générale 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 nombreux, sinon, c'est l'échantillonnage qu'il faut mettre en cause ou même l'existence de groupements discontinus.

Ces deux approches, complémentaires, peuvent éventuellement être conduites de manière conjointe. Elles aboutissent à la séparation de groupes de relevés, assimilables à des syntaxons. Un syntaxon est défini floristiquement par la présence d'espèces floristiques, espèces constantes (présentes dans tous les relevés) ou différentielles (dans certains relevés). Un syntaxon ainsi défini peut correspondre à une association végétale ou, le plus souvent, à une subdivision d'une association végétale (sous-association par exemple, Tableau 2).

Tableau 2 : Exemple de tableau final d'une étude phytosociologique (Adam et al., 2015)

Numéro des relevés	4	17	21	2	3	8	12	16
Syntaxons élémentaires	A	A	A	B	B	C	C	C
Taxon 1	1.1	1.1	1.1					
Taxon 2		+	+	1.2	+			
Taxon 3				2.2	1.2			
Taxon 4	+					1.1	1.2	+
Taxon 5						1.1	1.1	1.1
Taxon 6						1.2	+	1.2
Taxon 7					1.1	1.1	2.2	1.1
Taxon 8						1.1	+	2.1
Taxon 9	+					1.1	+	1.2
Taxon 10	+	+	+	1.2	+	+	1.1	+

- **Identification des associations végétales**

Une association végétale est décrite en fonction :

- d'espèces caractéristiques, dont la fréquence est plus élevée que dans les associations voisines ; dans beaucoup de cas, on distingue souvent une combinaison d'espèces caractéristiques, c'est-à-dire un groupe d'espèces présentes de manière répétitive, mais dont aucune n'est, à elle seule, caractéristique de l'association, plutôt qu'une seule espèce caractéristique ;
- d'espèces différentielles, permettant de distinguer des sous-associations ;
- d'espèces caractéristiques d'unités supérieures à l'association (classe par exemple) ;
- d'espèces compagnes ;
- d'espèces accidentelles.

- **Hiérarchisation :**

On distingue :

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 ;

L'alliance C'est l'ensemble d'associations qui comprend des espèces caractéristiques d'alliance et des compagnes ;

L'ordre Qui groupe des alliances et qui comprend des espèces caractéristiques d'ordre ;

La classe Qui regroupe des ordres floristiquement voisins et comprend des espèces caractéristiques de classe.

III.1.1.2. Nomenclature phytosociologique

Chaque association est nommée, selon le principe de la nomenclature phytosociologique. Toute classification de la végétation répond à une hiérarchisation emboîtée des unités qui la composent. La dénomination d'une association végétale est formé à partir du nom d'une ou de deux espèces (caractéristiques ou dominantes).

Quand on a une seule espèce, on ajoute à la racine du nom de 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** », « **etalia** », « **etea** ». Ex : *Quercion illicis*, *Quercetalia illicis*, *Quercetea illicis*.

III.1.2. Méthodes floristique statistiques

- **Analyse différentielle**

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 d relevé X ;

N_y = nombre total d'espèces du relevé y.

Les coefficients obtenus sont groupés en classes auxquelles sont attribués des couleurs ou des symboles différents. On réalise alors une matrice dont les lignes et les colonnes représentent les relevés et leurs intersections les classes d'indices correspondants. Ensuite, par les découpages des colonnes et par leurs déplacements on essaye de rapprocher au maximum les relevés ayant des coefficients de similitude élevés entre eux et faibles avec les autres.

On améliore ce premier résultat en découpant cette fois les lignes et en les déplaçant. On arrive de cette façon à former des groupes de relevés qui se ressemblent.

- **Méthode de Sorensen**

On calcule le coefficient de Sorensen :

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

Les relevés présentant entre eux des coefficients de similitude supérieure à une valeur arbitraire ($S_x > 50$) 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 au 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 supérieur 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 de X^2 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 présence/absences des espèces A et B dans 100 relevés.

		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'espèce prises 2 à 2 à l'intérieur d'une communauté végétale donnée.

III.1.3. Notion de groupe écologique

La classification hiérarchique des associations végétales est assez contraignantes ; des auteurs comme Emberger, Gounot (1961), Dagnelie (1960), Duvigneaud (1946) et Elleberg (1956), cités par Godron (1984), utilisent la notion de **groupes écologiques**. Selon Daget et Godron, 1982 : on appelle groupe écologique un ensemble d'espèces indicatrices présentant la même réaction relativement à un facteur écologique.

Les travaux ultérieurs ont confirmé l'intérêt des groupes écologiques, et surtout de leur recombinaison, pour caractériser les stations écologiques et pour les cartographier. En effet, certains auteurs considèrent l'association végétale comme formée par une combinaison de plusieurs groupes écologiques, dont le développement des espèces est lié à des valeurs sensiblement déterminées d'un certain facteur du milieu. Ces méthodes combinent normalement une approche globale par analyse multivariable (Romane, 1972, cité par Godron, 1984) et une approche analytique où sont examinées toutes les liaisons entre chaque espèce et chaque variable écologique; ces liaisons sont précisées grâce à des profils écologiques. 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

La méthode phytoécologique présente l'intérêt de l'utilisation simultanée des critères floristiques et écologiques pour mettre en évidence les groupements végétaux. Cette analyse phytoécologique débouche sur la mise en évidence d'unités synthétiques à fort pouvoir d'intégration : les écosystèmes. Mais contrairement à tous les usages ces unités doivent être considérées à tous les niveaux spatiaux (zone, région, secteur, station, élément de station) et non à un seul (station). De telles unités, définies à partir des groupes écologiques, ou de critères plus simples, constituent un cadre suffisant d'une part, pour d'autres études concernant les autres éléments de la biosphère ou du milieu et, d'autre part, pour asseoir correctement la plupart des projets d'aménagement de l'espace géographique.

Le **relevé phytoécologique** comporte une grille constituée selon un principe analogue. Il subdivise un rectangle 4 fois plus long que large et dont l'aire est choisie dans l'une des valeurs précédentes. Ce rectangle est divisé en 4 carrés égaux. Prenons l'exemple de l'analyse d'une prairie permanente. Le rectangle a pour dimensions 4 x 4 m.

Dans un coin extérieur, on matérialise un carré de 12,5 cm de côté dont l'analyse floristique est faite en détail ; il est doublé en un rectangle de 12,5 x 25 où les espèces nouvelles sont recherchées, et ainsi de suite. Lorsque les 4 m² ont été entièrement dépouillés, on examine l'extérieur ; lorsqu'une espèce nouvelle y est notée, on enregistre la distance en centimètre qui sépare son collet de la limite du rectangle, et ce jusqu'à une distance de 4 à 5 m environ (Figure 14).

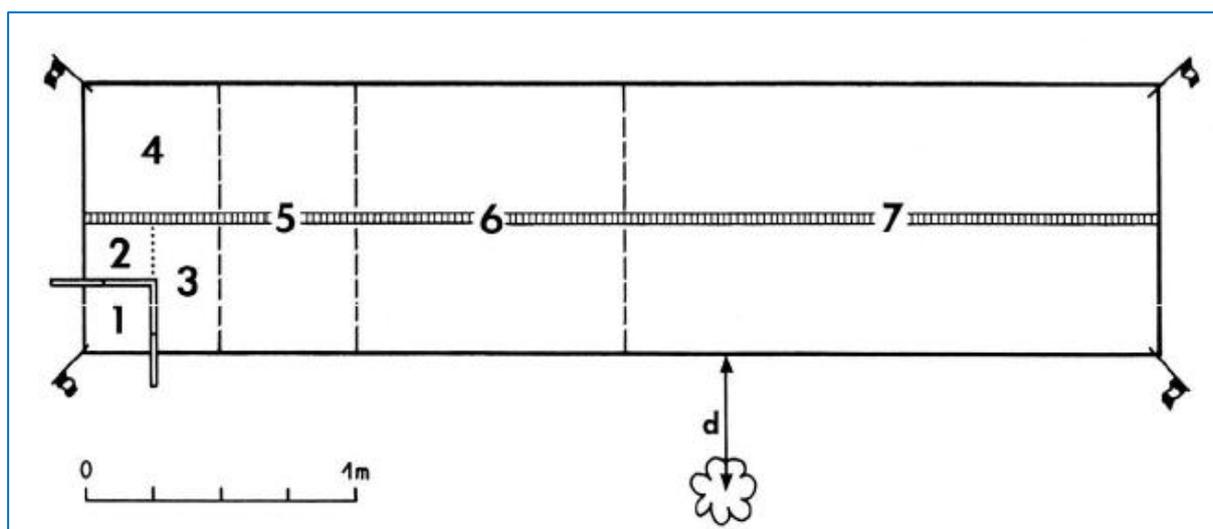


Figure 14 : Organisation du relevé phytoécologique ici le premier carré est de 25 x 25 cm (Daget et al., 2010)

Le matériel nécessaire se réduit à 4 piquets, une corde de 10 m présentant cinq boucles séparées de 1, 4, 1, 4 mètres et un double-mètre métallique pliant. Il se met en place simplement en passant un piquet dans chaque boucle, la première et la dernière ayant le même piquet ; les piquets sont alors fixés dans le sol de telle façon que la corde soit bien tendue (si on les mesures de distances n'ont plus aucun sens). Le double-mètre est plié en deux à angle droit et sert, en le faisant coulisser le long de la corde à délimiter les bords des carrés intérieurs.

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 (Figure 15).

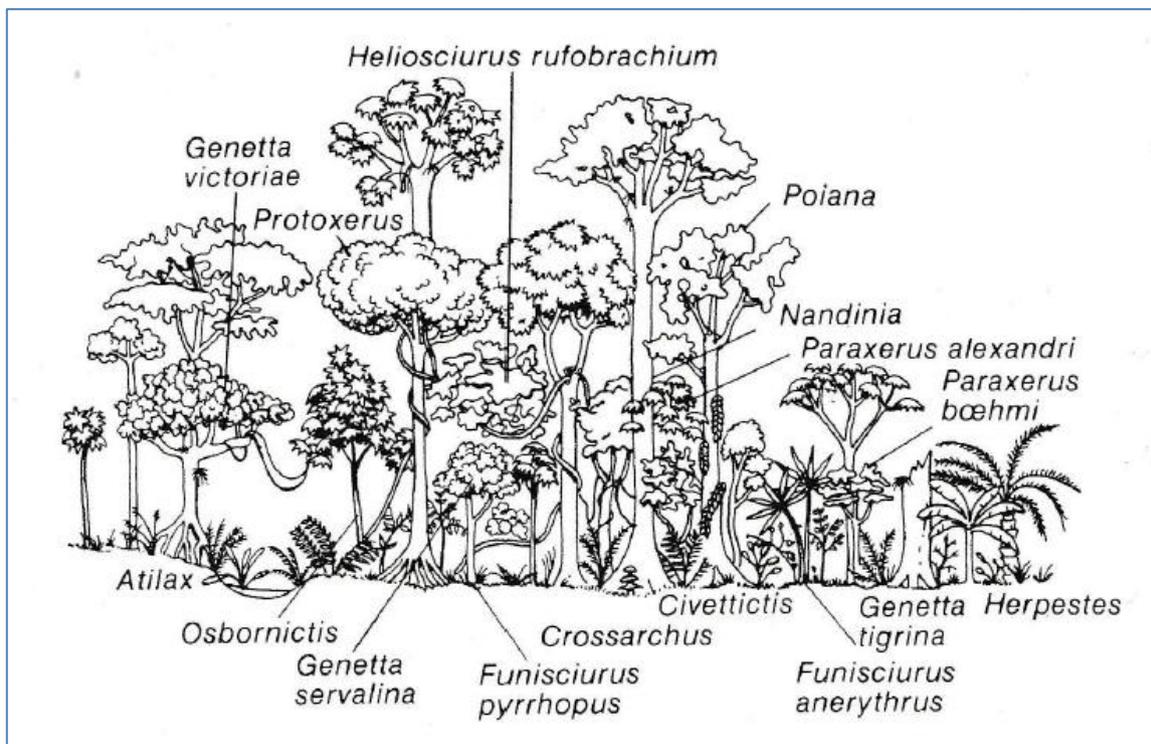


Figure 15 : Zonation verticale du peuplement de mammifères Viverridés et Sciuridés dans une forêt pluvieuse de l'est du Congo (Ramade, 2009).

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 % en France 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 dépérissants crée également des milieux particuliers favorables à certains oiseaux et à de nombreux très petits animaux (Figure 16).



Figure 16 : Répartition des différentes espèces animales dans une forêt

(<http://futura-science.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

Cette méthode est adaptée aux formations végétales basses et permet d'apprécier l'état et la constitution du tapis végétal grâce à différents paramètres qui sont : le recouvrement global de la végétation (RGV), la fréquence spécifique (Fsi) et la contribution spécifique (Csi).

Le principe de la méthode cherche à suivre les variations de la végétation en revenant exactement aux mêmes points à intervalles plus ou moins longs (étude de dynamique des populations). On utilise un dispositif (ou plusieurs) constitué d'un ruban métallique tendu entre des supports auxquels est fixée une tige métallique comportant à son extrémité une bague de 2,5 cm de diamètre : on abaisse progressivement la bague verticalement et on note toutes les espèces, incluses dans la bague, enracinées ou non (Figure 17).

Les points d'échantillonnage sont équidistants (tous les 20 cm, par exemple) et situés le long d'une ligne matérialisée par le ruban métallique. Cette méthode convient surtout pour des végétations ouvertes (pâturage semi-arides ou groupement halophiles).

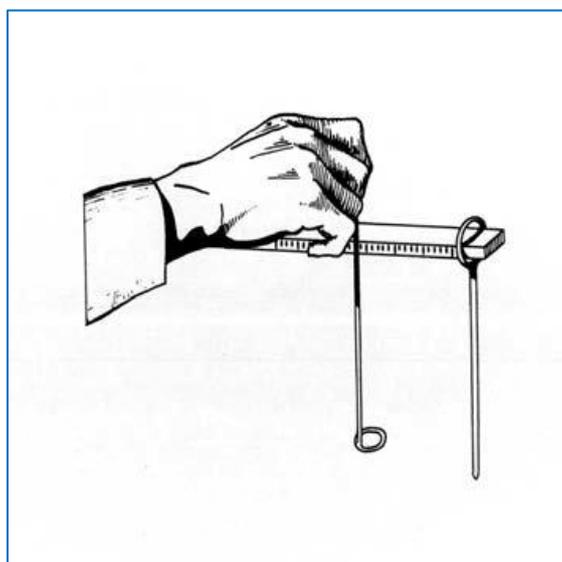


Figure 17 : Le système de la méthode linéaire (Daget et al., 2010).

III.2.2. Point quadrant

Le dispositif couramment utilisé est une ligne matérialisée par un ruban gradué tendu au-dessus de la végétation. Pour les formations basses herbacées ouvertes des régions arides, on utilise généralement un décamètre ou un double décamètre (10m ou 20m), ce qui est une distance insuffisante vu la dégradation généralisée des parcours.

Rappelons qu'il est préconisé d'avoir au moins 100 points de végétation. On effectue ensuite des lectures de la végétation et des éléments à la surface du sol le long de cette ligne. La lecture se fait tous les 10 cm en pointant avec précaution une aiguille sur les éléments à la surface du sol et la végétation avec un espacement de 10 cm (Figure 18). Deux observateurs sont nécessaires pour la lecture. Le premier observateur se place au-dessus du double décamètre et annonce les éléments à la surface du sol ou les espèces qui interceptent sa ligne de visée. Le deuxième observateur note les annonces sur le formulaire.

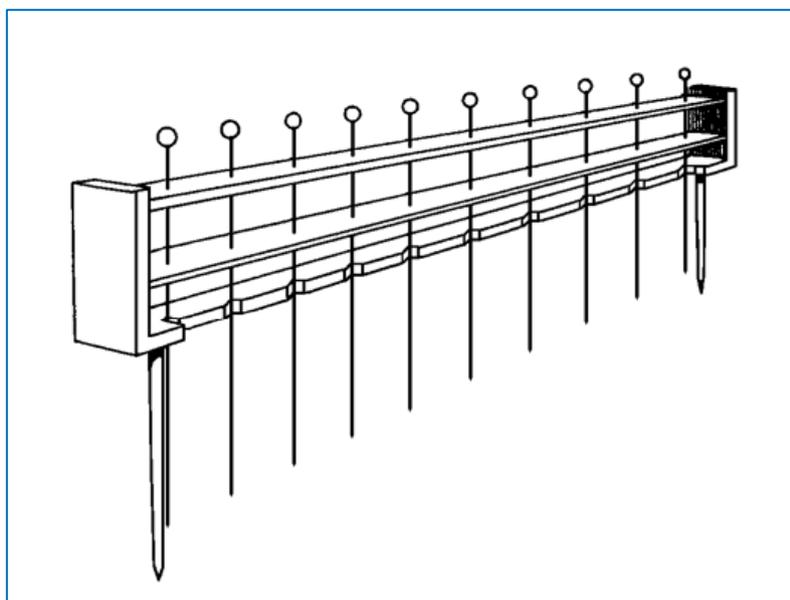


Figure 18 : Le système de points-quadrats de Levy
(d'après une photo de Levy & Madden, 1933 in Daget et al., 2010)

III.2.3. Méthode des points quadrats alignés

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 19).

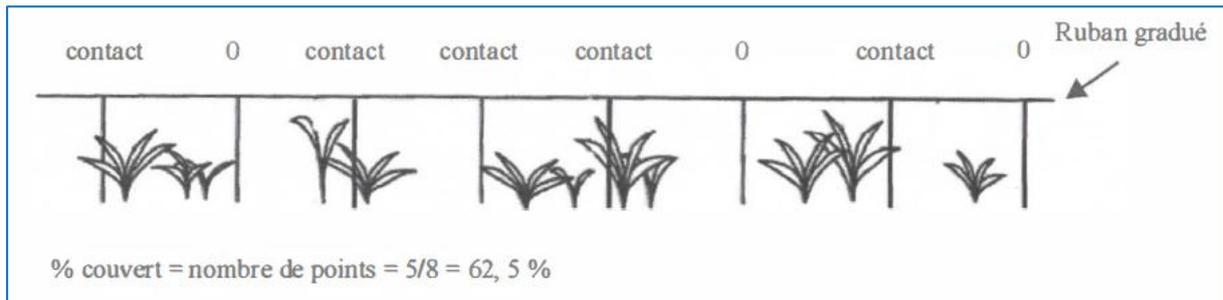


Figure 19 : Estimation du couvert herbacé selon la méthode des points quadrats alignés (Poilecot, 2002).

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.
environnement@unicem.fr
- Besnard A., & Salles J.M., 2010.** Suivi scientifique d'espèces animales. Aspects méthodologiques essentiels pour l'élaboration de protocoles de suivis. Note méthodologique à l'usage des gestionnaires de sites Natura 2000. Rapport DREAL PACA, pôle Natura 2000. 62 p.
- Bouzillé JB., 2007.** Gestion des habitats naturels et biodiversité. Ed, Tec & Doc. Lavoisier : 331p.
- Daget Ph., Poissonet J & Huguenin J., 2010.** Prairies & pâturages. Méthodes d'étude de terrain et interprétations. Ed, Cnrs / Cirad : 955p.
- Daget Ph., Poissonet J., 1971.** Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Ann. Agronomie*, 22, 1 : 5-41.
- 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).
- 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
- 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.
- Gaudin S., 1997.** Quelques éléments d'écologie utiles au forestier. CFPPA/CFAA de Châteaufarine. 88p.

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.

Laurent E., Delassus L& Hardegen M., 2017. Méthodes d'inventaire et de cartographie des groupements végétaux. Guide méthodologique. Brest : Conservatoire botanique national de Brest : 42 p.

Le Floc'h E., Nedjraoui., Hirche A., Boughani A., Salamani M., Abdelrazik M., Ouled Belgacem A., Tbib A., Ramdane A., Aafi A., Taleb M Dembele F., Karembe M., Mahamane A., Wélé A Ba M., Aboubacar I., Ouedraogo S., Jauffret S., Long G., d'Herbès JM., Loireau M., Desconnet JC Delanoë O & de Montmollin B., 2008. Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation. Collection Roselt/OSS - Contribution Technique n° 1. Tunis, 175p.

Poilecot P., 2002. Contribution à la définition de méthodologies d'inventaires biologiques dans le cadre du projet interactions Elevage - faune sauvage - environnement autour des aires Protégées dans le sud-est du Tchad. Ed, LRVZ - N'djaména : 74p.

Ramade F., 2003. Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Ed, Dunod. Paris, 3^{ème} édition : 690p.

Ramade F., 2009. Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Ed, Dunod. Paris, 4^{ème} édition : 689p.

Ricklefs r & Miller G., 2005. Ecologie. Ed, De Boeck & Larcier. Bruxelles : 821p.

Tirard C., Barbault R., Abbadie L & Loeuille N., 2002. Mini manuel d'écologie. Ed, Dunod. Paris : 157p.

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

<http://futura-science.com/> 16 /04/ 2021.