

1. METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE EN ECOLOGIE

1.1 Introduction

Pourquoi échantillonner ?

En écologie, il est généralement impossible de mesurer une ou des caractéristiques sur l'ensemble des unités d'un groupe d'intérêt. Ceci peut résulter de plusieurs causes, telles des contraintes de temps, d'argent ou un manque de personnel qualifié. Ou encore, il peut être impossible de mettre la main sur l'ensemble des individus d'une population. De fait, il est probablement impossible de mesurer la hauteur de tous les arbres d'une forêt de plusieurs milliers d'hectares. On ne mesure donc pas "tout" un système biologique (ce ne serait plus un échantillonnage, et ce serait, de plus, techniquement et conceptuellement impossible), mais bien un fragment de l'ensemble, prélevé pour juger de certaines propriétés de ce tout.

Exemple 1 : S'interroger sur la durée de vie des pneus implique l'usure de chaque pneu testé. Il n'est donc pas possible de tester tous les pneus de la population d'où la sélection d'un échantillon représentatif de la population.

Exemple 2 : Contacter chaque électeur de la population est théoriquement possible, mais trop coûteux. Aussi l'étude de la question à partir d'un échantillon des électeurs est plus appropriée.

Selon Colin (1970), un échantillon est un fragment d'un ensemble prélevé pour juger de cet ensemble. De nombreuses méthodes d'observations et de mesures appliquées à de tels fragments peuvent être proposées, adaptés à chaque cas particulier en vue d'obtenir une représentation satisfaisante de l'objet étudié. Il faut exprimer explicitement de quelle propriété on veut juger avant de pouvoir concevoir un plan d'échantillonnage. L'échantillonnage doit être adapté à tester l'hypothèse que l'on a fait, à une échelle spatiale et temporelle donnée, sur la structure ou la dynamique du système biologique étudiée. Il est impératif de prendre le temps de planifier son échantillonnage.

1.2 Stratégie d'échantillonnage en écologie

1.2.1 Introduction

Choisir le plan d'échantillonnage consiste à choisir de quelle manière les données seront recueillies sur le terrain (en certains endroits choisis au hasard, dans tous les habitats fréquentés par l'espèce visée, etc.) donc choisir une méthode pour localiser les échantillons. Selon le but visé et les contraintes rencontrées, plusieurs plans d'échantillonnage sont disponibles et répondent à des besoins particuliers. Les trois principaux types sont l'échantillonnage aléatoire simple, l'échantillonnage systématique et l'échantillonnage stratifié. Mais il en existe d'autres.

Exemple :

Un biologiste veut estimer la densité de Grenouille léopard (*Rana pipiens*) au sein des étangs du Parc du Mont Saint-Bruno en ne choisissant que quelques étangs et/ou encore, en n'évaluant la densité que sur une portion de chaque étang. Mais combien et quels étangs choisir ? Quelle portion des étangs devrait être échantillonnée ? La densité des grenouilles varie-t-elle selon la taille des étangs ? Diffère-t-elle selon que nous sommes en marge ou au centre de l'étang ? Voilà bien des questions à prendre en compte avant même de pouvoir estimer une simple densité de grenouilles.

Il faut donc clairement exprimer de quelle propriété on veut juger avant de pouvoir concevoir un plan d'échantillonnage.

L'échantillonnage est, au mieux, adapté à tester l'hypothèse que l'on a fait, à une échelle spatiale et temporelle donnée, sur la structure ou la dynamique du système biologique étudiée.

Il est donc important de prendre le temps de planifier son échantillonnage.

1.2.2 Comment planifier son échantillonnage

La mise en place d'un plan d'échantillonnage est conditionnée par le choix du problème et la façon de le poser. Le choix du problème doit être exprimée dans un « pré-modèle » de description (structure – fonction) ou d'explication d'où dérivent les choix suivants :

- Le choix des variables à étudier.
- Le choix des échelles d'observation et du découpage de l'objet (zone d'étude).
- Le choix des méthodes de traitements des données recueillies. (par exemple réfléchir à l'exploitation statistique des résultats avant de commencer l'étude).

La notion d'échantillonnage est donc liée à celle de stratégie, qui doit assurer le meilleur compromis entre :

- l'objectif de l'étude (question/hypothèse préalablement correctement posée).
- les contraintes naturelles (hétérogénéité spatiale, variété d'échelles significatives, etc.).
- les contraintes techniques (temps disponible, fiabilité des mesures, etc.) et financières.
- les contraintes mathématiques (qualité des données et des instruments mathématiques, etc.) Le compromis trouvé, écrit sous forme de mode opératoire, porte le nom de **plan d'échantillonnage**.

1.2.3 Pré-modèle :

Tout modèle comprend la définition d'un certain nombre d'unités fonctionnelles caractérisées par des variables d'état, fluctuant dans l'espace et le temps et reliées entre elles par des flux (de matière, énergie, etc.). Le modèle répond à un certain type de description structurelle et ou fonctionnelle d'un sous système du système écologique qu'il est encore impossible d'appréhender dans sa totalité.

Le pré-modèle doit décrire la structure et le fonctionnement d'un sous système et de rechercher les points d'intervention possible sur le système.

Exemple : Se proposer de modéliser la dynamique de l'oxygène dans un milieu eutrophe, si cet élément a été retenu comme critère d'une gestion saine d'une masse d'eau, dès lors, on tentera d'inventorier les postes ayant une action sur cette dynamique (photosynthèse, respiration, fermentation, échange avec l'atmosphère, etc.) et de déterminer les réponses des différents flux aux diverses variations de l'environnement. Ce n'est pas l'ensemble de l'écosystème qui est envisagé mais un sous système défini par l'objectif du travail.

1.2.4 Echantillonnage :

L'échantillonnage est la procédure par laquelle les échantillons (fragment d'un ensemble concret ou abstrait) sont prélevés. On ne mesure pas le **tout** d'un système biologique, mais un fragment de l'ensemble(de ce tout) prélevé pour juger de certaines propriétés de ce tout. Il faut donc clairement exprimer de quelles propriétés on veut juger avant de pouvoir concevoir un plan d'échantillonnage.

1.2.5 Echantillon :

L'échantillon est une collection d'éléments prélevés dans la population statistique (partie de la population que l'on va examiner) selon un processus aléatoire ou une méthode dite à choix raisonné. C'est le fragment d'un ensemble pour juger de cet ensemble.

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. C'est l'une des difficultés majeures de l'échantillonnage en écologie.

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.

Par principe, 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. Si le nombre d'échantillons est insuffisant, dans le domaine des analyses de pollution par exemple, on peut être amené à déclarer qu'il n'y a pas d'impact alors que l'on n'a pas la quantité d'échantillons nécessaire

1.2.6 Élément ou unité d'échantillonnage :

C'est une entité concrète comme un individu, un système, un objet, etc. ou abstraite comme une relation comportementale sur laquelle on mesure ou on observe la variable étudiée.

Exemple : Pour étudier l'évolution d'une population de larves, on prélève avec une louche des échantillons d'eau ; on compte le nombre de larves par louche puis on détermine le stade larvaire en mesurant la largeur de la capsule céphalique.

Élément = louche si la variable étudiée est le nombre de larve/ louche.

Elément = larve, si la variable étudiée se rapporte à la largeur de la capsule céphalique.

1.2.7 Population statistique :

Une population statistique est une collection d'éléments, possédant au moins une caractéristique commune, permettant de la définir, de laquelle on extrait un échantillon représentatif et sur laquelle portent les conclusions statistiques.

Exemple : Dans l'exemple cité ci-dessus, la population statistique relative au dénombrement de larves est la mare d'eau étudiée et non la population biologique de larve car l'élément prélevé aléatoirement est un volume d'eau.

1.2.8 Population cible :

C'est la population biologique sur laquelle doivent porter les conclusions d'une étude.

Exemple : Les éléments d'une population cible (larves) peuvent être l'objet de dénombrements au sein d'unités d'échantillonnage définies (louche).

1.2.9 Estimateur :

Un estimateur est une expression mathématique qui mesure, à partir de données de l'échantillon un paramètre de la population statistique. Ainsi pour l'échantillonnage aléatoire simple, $y = \sum y_i / n$ est un estimateur de la moyenne y de la population.

Exemple : $y = 48$ larves/ louche (calculé sur un échantillon de 50 prélèvements).

1.3 Descripteurs :

Les variables pouvant intervenir dans une description de structure ou de fonctionnement d'un objet étudié sont très nombreuses. Ils peuvent être classés en différentes catégories.

1.3.1 Descripteurs qualitatifs :

Descripteurs qualitatifs sont des catégories définies sans assignation d'une mesure ni même d'un caractère permettant de les ordonner les unes par rapport aux autres.

Exemples : Les différents taxons constituant un peuplement. Pour chaque taxon considéré, le descripteur est la présence ou absence

1.3.2 Descripteurs ordinaux ou semi-quantitatifs :

Descripteurs ordinaux sont définis par l'existence d'une relation d'ordre (plus petite ou plus grande ; ou bien antérieure ou postérieure, etc.) sans toute fois qu'il soit possible de mesurer une distance entre deux états distincts.

Exemples : Les stades de développement d'une espèce. Pour un organisme à croissance continue, un ensemble de classe d'âge ou de taille délimitées arbitrairement. Stades de succession d'un peuplement naturel le long d'un gradient spatio-temporel.

Remarque : Les descripteurs qualitatifs peuvent devenir semi quantitatifs, si on les classe selon leurs fréquences (classement de ces espèces par fréquences décroissantes).

1.3.3 Descripteurs quantitatifs :

Descripteurs quantitatifs sont définis comme des quantités véritables, pour lesquelles on peut déterminer des rapports et des différences. Cette définition concerne un très grand nombre de descripteurs utilisés en écologie et qui mesure des abondances, des taux, pourcentage, volume, biomasse, etc.

1.3.4 Descripteurs complexes ou synthétiques :

Les descripteurs cités ci-dessus sont des descripteurs simples, c'est à dire, caractérisés, pour chaque observation, par un seul nombre ou par la spécification d'une modalité.

Descripteurs complexes permet de rendre compte de plusieurs observations simples dans le même plan d'échantillonnage.

Exemple : Soit un ensemble d'espèces (chacune caractérisée par son abondance relative en une station). On calcule un indice de diversité (descripteur quantitatif), et on établit la loi de décroissance des abondances des espèces rangées de la plus abondante à la plus rare (descripteur semi-quantitatif).

1.4 Choix des descripteurs :

Les descripteurs utilisés en écologie sont extrêmement divers. Le choix des descripteurs dépend du type du modèle descriptif ou explicatif attendu en fin d'analyse, c'est à dire, du pré-modèle. Quelques exemples de descripteurs sont cités ci-dessous.

1.4.1 Descripteur d'occupation de l'espace-temps :

Ils peuvent être qualitatifs, présence ou absence d'un taxon et indication du type d'occupation du milieu (espèce endogée vie dans le sol ou épiphyte, planctonique, etc.) ; Semi-quantitatifs (échelle d'abondance/dominance) ou quantitatifs (biomasses, effectifs d'organismes par unité de volume ou de surface du biotope).

1.4.2 Descripteurs biométriques et démographiques :

Ils sont nécessaires à l'application des modèles dynamiques de populations.

Exemple : démographie des populations.

1.4.3 Descripteur structuraux :

Outre la structure spatio-temporelle et les structures démographiques, on a des structures liées à la répartition de la biomasse en espèces distinctes (distribution des individus par espèces, diversité spécifique), des structures trophiques, etc.

Ces descripteurs peuvent être quantitatif, semi quantitatif ou qualitatif.

La structure trophique est décrite par les biomasses relatives des producteurs, des consommateurs et des décomposeurs. La structure spatio-temporelle : Stratification de la végétation, succession de végétation où chaque stade prépare l'installation du suivant.

1.4.4 Descripteurs systématiques :

Les plus fréquents de ces descripteurs sont ceux qui rendent compte de la dynamique d'une biomasse, d'une espèce ou d'un élément chimique (allongement des rameaux). On retrouve les descripteurs biométriques et démographiques, s'il s'agit d'un modèle de dynamique d'une population.

1.5 Echelle d'observation :

Après le choix des descripteurs, on choisit l'échelle d'observation.

Les écosystèmes sont structurés dans l'espace et dans le temps. La définition de l'échelle, c'est d'envisager soit une souche d'arbre, soit une forêt, soit une région et étudier leurs variations sur une journée, une année ou plusieurs années.

D'un point de vue pratique, la définition d'une échelle d'observation comporte deux éléments distincts : l'amplitude du domaine échantillonné et la densité des observations sur ce domaine. Cela revient, en fait, à définir pour chaque plan d'échantillonnage deux échelles : l'une définissant la taille de l'objet analysé, l'autre l'échelle de variations observées à l'intérieur de l'objet.

Exemple : On étudie un cycle annuel au moyen d'échantillonnages mensuels, hebdomadaire ou journalier, ou bien le sol d'une savane par des prélèvements tous les un kilomètre, tous les 10 mètres, etc.

2. Les méthodes d'échantillonnage en écologie

2.1 Introduction :

Il existe deux grandes catégories de techniques (méthodes) d'échantillonnage, les méthodes d'échantillonnage non probabilistes (empiriques) et les méthodes d'échantillonnage probabilistes.

Chez les méthodes d'échantillonnage non probabilistes, les éléments sont inclus dans l'échantillon sans probabilité connue. Une évaluation de l'exactitude des résultats ne peut être faite. Chez les méthodes d'échantillonnage probabiliste, les éléments sélectionnés ont une probabilité connue de faire partie de l'échantillon. Des formules permettent d'évaluer la qualité des estimations des caractéristiques de la population fournie par les résultats de l'échantillon.

Un échantillon est dit aléatoire (représentatif) ou, ce qui revient au même représentatif de la population statistique lorsque chaque élément de la population a une probabilité connue et différente de zéro d'appartenir à l'échantillon.

L'échantillonnage aléatoire simple (EAS) est le plan le plus utilisé en écologie.

Un échantillon est à choix raisonné lorsque les unités sont sélectionnées en fonction de critères choisis. Quelques exemples de ces méthodes sont listées ci-dessous.

Les méthodes non probabilistes	Les méthodes probabilistes
Echantillonnage de commodité	Echantillonnage aléatoire simple
Echantillonnage à l'aveuglette	Echantillonnage systématique
Echantillonnage volontaire	Echantillonnage stratifié
Echantillonnage au jugé	Echantillonnage en grappes
Echantillonnage par quotas	Echantillonnage à plusieurs degrés
	Echantillonnage à plusieurs phases
	Echantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille

2.2 Quelle méthode d'échantillonnage choisir ?

Le choix du mode d'échantillonnage dépend de ce que l'on recherche. Chaque méthode possède ses propres caractéristiques techniques de mise en place et d'analyse des résultats, ces avantages et ces inconvénients. A cette fin, choisir une méthode d'échantillonnage appropriée en tenant compte de la précision et le but recherché, ainsi que les contraintes (temps, ressources financières, etc.).

En général, l'utilisation des méthodes probabilistes, certes, ne permettent pas de raisonner de manière rigoureuse, car elles ne permettent pas de généraliser de manière juste les résultats de la recherche à l'ensemble de la population étudiée, ni d'estimer la marge d'erreur, mais ce manque est compensé par la spécificité du but recherché (réduire les coûts, la population étudiée est relativement homogène, l'expérimentation comporte des risques pour la santé, etc.).

La plus grande rigueur appelle à un échantillonnage probabiliste, un échantillonnage aléatoire, particulièrement un échantillonnage au hasard qui fournit un échantillon représentatif de la population statistique, dont les données seront plus faciles à analyser.

Dans plusieurs cas cependant, les exigences de coût et de temps disponibles et de moyens humains peuvent rendre un échantillonnage systématique de meilleur rapport qualité-prix. Généralement, un plan d'échantillonnage systématique donne le maximum de résultats. Plus rapide à utiliser, il est intéressant, mais il faut bien choisir l'intervalle entre les échantillons. L'échantillonnage stratifié permet parfois de réduire l'erreur d'échantillonnage.

2.3 Erreur de l'échantillonnage :

Pour n'importe quel échantillonnage, des erreurs surviennent inévitablement. Par contre, elles peuvent être réduites en augmentant par exemple la taille de l'échantillon. Plus la taille de l'échantillon se rapproche de celle de la population, plus l'erreur diminue. Il existe des erreurs dues à l'échantillonnage (systématiques), au hasard et à d'autres facteurs.

Dans le cas d'échantillonnage probabilistes, lorsque les valeurs de l'échantillon estimées s'écartent de celles de la population, il est possible de calculer l'erreur. On peut ainsi affirmer que les valeurs de l'échantillon se situent à l'intérieur d'une zone de valeurs probables, c'est ainsi qu'on parle de marge d'erreur.

Exemple: La moyenne de mon échantillon comportant 20 unités est de 73. La science vous indiquera que, en fait, la vraie moyenne se situe entre 70 et 76 dans les 95% des cas. On peut dire autrement pour 19 échantillons sur 20, la moyenne sera située parmi les valeurs comprises entre 70 et 76.

L'inconvénient pour l'échantillonnage non probabiliste, c'est impossible calculer ce degré de précision.

2.4 Les Méthodes non probabilistes

Les méthodes d'échantillonnage non probabiliste, bien que moins coûteuse et plus pratiques, elles sont moins exactes. Bien des experts dans le domaine recommandent de s'en éloigner. Ces méthodes supposent que les caractéristiques de la population sont distribuées de manière aléatoire. C'est peut être vrai dans certains cas, mais pas dans tous les cas.

2.4.1 Échantillonnage de commodité :

L'échantillonnage de commodité est une technique d'échantillonnage où les sujets sont choisis en raison de leur accessibilité et de leur proximité du chercheur.

Cette technique est la plus commune et de nombreux chercheurs la préfèrent parce qu'elle est rapide, peu coûteuse et simple et parce que les sujets sont facilement disponibles.

Exemple : Choisir cinq personnes dans une classe ou de choisir les cinq premiers noms d'une liste de patients.

L'inconvénient de cette méthode est que le chercheur exclut une grande proportion de la population, c'est à dire l'échantillon n'est pas représentatif de l'ensemble de la population, d'où dérive un biais d'échantillonnage. Il s'agit d'un écart constant entre les résultats de l'échantillon et les résultats théoriques provenant de l'ensemble de la population. Il n'est pas rare que les résultats d'une étude qui utilise un échantillon de commodité diffèrent de façon significative avec les résultats provenant de l'ensemble de la population.

2.4.2 Échantillonnage à l'aveuglette

La technique d'échantillonnage à l'aveuglette consiste à former un échantillon en laissant le chercheur sélectionner des unités statistiques parmi celles qui se trouvent en un lieu et temps spécifiques.

Ce choix est totalement arbitraire. Les résultats obtenus seront acceptables seulement s'il existe une bonne homogénéité dans la population, ce qui est rarement le cas. Autrement, certaines caractéristiques risquent d'être sous-représentées.

Exemples :

1. Les interviews dans la rue où les personnes interrogées sont sélectionnées arbitrairement en fonction des rencontres de l'intervieweur donnent rarement une bonne représentation de l'opinion de la population.

2. Un technicien prélève un échantillon d'eau dans un lac pour déterminer la concentration d'un produit chimique. Si l'on suppose que la composition de l'eau dans le lac est homogène, tout échantillon devrait donner des résultats assez semblables.

L'inconvénient de cette méthode est la possibilité d'un biais, c'est-à-dire de construire un échantillon NON représentatif de la population. L'avantage est d'obtenir rapidement et à très faible coût de l'information.

2.4.3 Échantillonnage volontaire

Certaines recherches ne pourraient s'exécuter autrement qu'en faisant appel à des volontaires. Les compagnies pharmaceutiques font appel à des volontaires qu'ils paient afin de vérifier les effets de leurs nouveaux produits.

Un groupe de volontaires risque d'être plus homogène qu'un groupe tiré au hasard dans la population.

Cette méthode est très utile et donne assez bons résultats, si le but est par exemple s'intéresser aux différents types d'opinions qu'on est susceptible de rencontrer dans la population. Il en serait tout autrement si notre objectif est de chercher à savoir quel est, pour chacune de ces opinions, le pourcentage de la population qui la partage (possibilité d'un biais). L'inconvénient est le risque de non représentativité de l'échantillon.

2.4.4 Échantillonnage au jugé

Cette technique consiste finalement à se fier au jugement du chercheur pour déterminer la composition d'un échantillon, ce dernier jugeant quelles sont les unités statistiques les plus susceptibles de fournir l'information adéquate (C'est le chercheur (qui décidera ce qui est typique).

Exemples : Un conseil municipal choisit de tenir son enquête socioéconomique dans un seul quartier de la ville. En considérant le rapport cout/bénéfices, l'enquête n'a pas touché d'autres quartiers.

Une telle technique risque de produire un échantillon très biaisé, mais elle peut garantir, néanmoins d'éviter que des éléments indésirables se glissent dans un échantillon .

2.4.5 Échantillonnage par quotas :

L'échantillonnage par quotas est largement employé dans les enquêtes d'opinion et les études de marché. Dans ce type d'échantillonnage, l'enquêteur choisit un échantillon qu'il veut le plus représentatif possible des différentes strates de la population : Au contraire de l'échantillonnage aléatoire simple qui ne permet pas de prédire qui fera partie de l'échantillon, la méthode des quotas fait un choix des individus, selon plusieurs caractéristiques recherchées : sexe, âge, scolarité, etc. Certaines unités peuvent n'avoir aucune probabilité d'être sélectionnées.

Cette méthode est peu coûteuse et assez rapide ; de plus, elle ne suppose pas que l'on possède une liste de tous les individus de la population. La différence avec l'échantillonnage par strate vient du fait que les individus ne sont pas choisis au hasard.

2.5 Méthodes probabilistes

2.5.1 Méthodes d'échantillonnage aléatoire simple (EAS)

4 Principe de plan

2.5.1.1 Définition :

L'échantillonnage aléatoire simple est une méthode qui consiste à prélever au hasard et de façon indépendante n unités d'échantillonnage d'une population de N éléments. Ainsi, chaque élément de la population possède la même probabilité de faire partie d'un échantillon de n unités et chacun des échantillons possibles de tailles n , possède la même probabilité d'être constitué.

Remarque : Il y a différents types d'échantillonnage aléatoire, aléatoire simple, stratifié et par grappes.

2.5.1.2 Protocole de sélection des unités d'échantillonnages :

Il est parfois difficile en écologie d'effectuer un échantillonnage aléatoire simple qui se conforme à la définition. En effet, pour qu'aucune erreur systématique ne s'introduise dans le prélèvement de l'échantillon, il faut :

- dresser la liste complète et sans répétition des éléments de la population.
- les numérotés de 1 à N
- procéder, à l'aide d'une table de nombres aléatoires, au tirage au sort de n unités différentes.

Remarque : L'échantillonnage AS s'avère facile à réaliser si la population n'est pas trop grande et si les éléments sont facilement identifiables et repérables. Toutefois, dans la majorité des autres cas, le processus s'avère difficile, voire irréalisable.

2.5.1.3 Comment utiliser une table de nombres aléatoires ?

Nous allons utiliser la table ci-dessous pour tirer au hasard un échantillon de 6 individus dans une population de 300 individus. On suppose que ces 300 individus ont été numérotés de 001 à 300 dans une base de sondage.

On choisit la méthode suivante : on lira les 3 derniers chiffres de la troisième colonne de la table, en lisant de haut en bas, en ne retenant que les nombres compris entre 001 et 300, et en rejetant tout nombre qui apparaîtrait pour la deuxième fois (pour ne pas tirer deux fois le même individu). Enfin, on choisit le point d'entrée en décidant de commencer la lecture à la troisième ligne.

Tableau 1. La table de nombres aléatoires (Hill, 1977)

17406	39516	24449	74015	43890	55118	27902	39548	72071	59327
73855	89884	56589	48471	36709	11110	31920	17626	67691	93202
36164	92283	27244	05702	62405	73041	93132	01371	08683	21829 <u>244</u>
78994	18171	59840	62624	74518	99822	00293	88084	30716	53590
83212	53819	70820	03945	68127	93070	44870	67948	01338	97258
28619	99766	49157	09339	55573	6683	87189	89254	17652	67314 <u>157</u>
85240	11095	46806	33176	51940	23127	90561	36469	85603	83297
98448	89051	17846	85123	76892	30908	04175	77862	13924	20099
46186	14176	89969	37701	11456	20210	32542	32146	77162	18567

35549 53554 76295 16048 38190 92244 56808 39717 83105 99486 295

34904 46147 60505 54418 78345 50570 58052 81085 26388 10243

06953 03928 58301 79506 99089 00231 95700 55663 45833 87967

85680 11023 45747 55475 97488 98531 02054 53841 70698 41772

99513 65174 23148 88646 24301 27909 83026 50673 75087 61801 148

92336 80844 34686 44894 34011 82172 97959 57568 47239 35986

53784 79567 64673 68622 87745 02165 94061 09140 63912 24787

86457 26826 20293 37348 76714 26917 68221 08181 73036 39186 293

26903 50718 03261 22399 19519 03808 82688 93418 75681 96105 261

17307 67935 72471 95209 78716 21582 93147 80487 23588 97851

50990 85208 68410 36019 02200 96138 53902 91022 17194 45198

2.5.1.4 Applications :

1. On souhaite évaluer la satisfaction des étudiants d'une université de 30 000 étudiants à propos de la propreté générale du campus. On décide donc de construire un échantillon de 2000 étudiants par la méthode d'échantillonnage aléatoire. Un ordinateur choisit donc au hasard le noms de 2000 des étudiants. Ces gens formeront l'échantillon qui représente la population.
2. On souhaite évaluer la satisfaction de personne d'un établissement d'Activité Sportive de 100 d'individus. On décide donc d'échantillonner des personnes par la méthode d'échantillonnage aléatoire. On procède, à l'aide d'une table de nombres aléatoires au tirage au sort de 15 individus. Ces gens formeront l'échantillon qui représente la population.
3. Cas d'une étude sur la reproduction et l'élevage des hérons bleus d'une colonie d'une région donnée (El Kala). On procède à un EAS des nids pour estimer certaines caractéristiques biologiques (état de propreté du nid assuré par les parents) qui, pour des raisons de temps et de dérangement des nids, ne pouvaient être mesurées sur l'ensemble de la colonie. Les 163 nids de la

colonie ont été repérés, reportés sur une carte et numérotés. Puis 7 d'entre eux ont été tirés au hasard pour constituer un échantillon.

4. Pour évaluer l'impact potentiel sur l'environnement de la construction d'un barrage hydroélectrique, des scientifiques ont étudié l'importance des colonies de sternes communes et goélands argentés dans les plans d'eau touchés par le projet. A partir de photographies aériennes 13 colonies de sternes ont été repérées. Pour déterminer le nombre moyen de nids par colonie, 5 colonies ont été tirées au hasard parmi les 13.

2.5.1.5 Conditions d'application du plan :

Contrairement à la majorité des autres plans d'échantillonnages, aucune information préalable n'est nécessaire. En effet, la préparation du protocole de sélection des unités d'échantillonnage n'exige aucune information (structure, fonctionnement...) de la population. En outre, les différentes estimations peuvent être calculées à partir des données recueillies sur l'échantillon, sans faire appel à d'autres renseignements.

Contraintes : Pour appliquer l'EAS il faut connaître ou dresser la liste complète et sans répétition des éléments de la population. Or, dans beaucoup de cas, il s'avère difficile, voire impossible, de dresser une telle liste. Ainsi, par exemple, l'échantillonnage des animaux et des plantes sauvages se heurte à l'abondance, la mobilité, la dispersion, la visibilité (Traces), etc. des éléments qui ne peuvent être énumérés. Dans une telle situation, le chercheur peut recourir à l'échantillonnage par degré.

2.5.1.6 Avantages et inconvénients du plan :

Avantages :

- Il est connu et accepté universellement.
- Les estimateurs ne sont pas biaisés. Comme on peut calculer les chances de chaque élément d'appartenir à l'échantillon, il devient possible de généraliser, c'est-à-dire de déterminer jusqu'à quel point les résultats obtenus avec l'échantillon s'appliquent à la population.
- Le calcul des estimateurs s'avère facile et la majorité des banques de programmes informatiques se prêtent à ce plan.

- Il n'est pas nécessaire d'élaborer une planification sophistiquée de la collecte et du traitement des données, dans la mesure où l'on est assuré que le processus de sélection est réellement au hasard non biaisé par une tendance, consciente ou non.

Inconvénients :

- L'inventaire des éléments de la population est souvent une opération difficile et parfois même impossible.
- Le protocole de sélection des unités d'échantillonnage est peu commode comparativement à celui de l'échantillonnage systématique.
- Son efficacité s'avère souvent très médiocre car on utilise pas les informations apportées par des expériences antérieures, ou ne collecte pas préférentiellement des éléments privilégiés dont l'accès ou l'examen s'avère plus commode ou plus économique, on ne module pas la probabilité de sélection des éléments en fonction de leur poids ou de leur importance relative.
- Coûteux et irréalisable pour de grandes populations

Remarques :

- La sélection des zones les plus caractéristiques d'un milieu ne conduit pas à un échantillonnage aléatoire simple. Ainsi, la technique souvent utilisée en phytosociologie qui consiste à tracer un ou plusieurs itinéraires-échantillons et à prélever tous les éléments l'interceptant ne conduit pas à E.A.S. car ce protocole est soumis au choix arbitraire d'un itinéraire unique et privilégie les unités de grandes tailles.
- Même si des engins de capture sont répartis aléatoirement, les spécimens collectés ne sont pas prélevés selon le principe de E.A.S. car la majorité des pièges s'avèrent sélectifs.

*Tous les individus doivent avoir la **même probabilité de capture**. Problème : Les variations comportementales individuelles, l'âge et le sexe des individus sont tous des facteurs qui influencent la probabilité de capture.*

2.5.2 Méthode d'échantillonnage stratifié

Principe du plan

Il est particulièrement utilisé quand l'aire étudiée est hétérogène

2.5.2.1 Définition:

L'échantillonnage stratifié est une technique qui consiste à subdiviser une population hétérogène en sous-populations ou "strates" plus homogènes, mutuellement exclusives et collectivement exhaustives. La population hétérogène d'effectif N est ainsi découpée en K strates plus homogènes d'effectif N_h de telle sorte que $N = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_K$. Un échantillon indépendant est par la suite prélevé au sein de chacune des strates en appliquant un plan d'échantillonnage aux choix de l'écologiste.

2.5.2.2 Protocole de sélection des unités d'échantillonnage :

l'application de l'échantillonnage stratifié soulève deux questions :

- comment construire les strates et quel plan d'échantillonnage adopter dans chacune des strates ?

Construction des strates : La première étape consiste à choisir un critère de stratification. Le meilleur stratificateur est la variable étudiée lors d'un recensement antérieur ou alors un autre caractère en corrélation aussi étroite que possible avec la variable étudiée. Le critère de stratification n'est pas obligatoirement une variable quantitative, ça peut être une variable qualitative (peuplements végétaux, bassins versants, districts administratifs, subdivision territoriale, etc).

La 2^{ème} étape nombre de strates : D'une façon générale, l'augmentation du nombre de strates s'accompagne d'une amélioration de la précision (mais au-delà d'un nombre x de strates ≈ 6 , la précision s'avère rarement profitable).

L'effort d'échantillonnage : L'effort de l'échantillonnage peut varier d'une strate à l'autre. On peut conserver la même fraction d'échantillonnage dans chaque strate, comme on peut moduler l'effort d'échantillonnage afin de minimiser le coût total de l'opération pour une précision donnée ou maximiser la précision pour un coût total fixé.

2.5.2.3 Choix du plan d'échantillonnage à l'intérieur des strates :

Dans la mesure où l'échantillonnage d'une strate est totalement indépendant de celui d'une autre, le chercheur peut choisir n'importe quel plan. Le choix d'un échantillonnage aléatoire simple stratifié, qui consiste à prélever un échantillon aléatoire simple ou un équivalent (échantillonnage systématique) dans chacune des strates, se révèle judicieux dans la majorité des cas.

Exemple : Pour évaluer l'importance des populations de grands herbivores dans le parc national de Waza au Cameroun, des chercheurs ont divisé le Parc en 5 strates correspondant aux différents types de végétation. Dans chaque strate des itinéraires échantillons ont été répartis régulièrement selon le principe de l'échantillonnage systématique. L'utilisation de l'échantillonnage stratifié s'avère dans ce cas tout à fait justifiée puisque la densité des grands herbivores varie en fonction de la couverture végétale.

2.5.2.4 Conditions d'application du plan:

Pour utiliser l'échantillonnage aléatoire simple stratifié, il faut connaître l'effectif N_h de chaque strate (strate male, femelle, petits). Si le critère de stratification est quantitatif, il faut alors utiliser les valeurs de la variable axillaire x de toute la population afin de déterminer les limites et l'effectif de chaque strate. Si le critère est qualitatif, la connaissance de N_h suffit.

Lorsque ces informations sont inconnues, on peut avoir recours au double échantillonnage. Le 1^{er} d'effectif N est un échantillon aléatoire simple ou éventuellement systématique servant à la construction des strates. Le second, d'effectif n , est un échantillonnage stratifié qui cherche à améliorer la précision de la variable étudiée.

2.5.2.5 Situations propices à l'application du plan :

- L'échantillonnage stratifié s'impose quand l'effort d'échantillonnage ne peut être maintenu constant pour des raisons financières, techniques, humaines ou autres.

- L'échantillonnage stratifié s'impose quand différents plan d'échantillonnage doivent être appliqués dans diverses catégories de la population.

2.5.2.6 Avantages et inconvénients du plan :

Avantages :

- La stratification peut entraîner des gains de précision appréciables.
- Les estimateurs de l'échantillonnage aléatoire simple stratifié ne présentent aucun biais.
- Ce plan constitue une solution avantageuse aux problèmes de variations de l'effort d'échantillonnage.
- Même si les informations nécessaires à la stratification ne sont pas connues, ce plan reste applicable grâce au double échantillonnage.

Inconvénients :

- Le double échantillonnage nécessite le prélèvement (n' très élevé par rapport à n).
- La majorité des programmes informatiques de traitement statistique des données ne sont pas conçus pour ce plan.

2.5.3 Méthode d'échantillonnage systématique

Principe du plan

Ce type d'échantillonnage consiste à répartir les échantillons de manière régulière.

2.5.3.1 Définition :

- L'échantillonnage systématique est une technique qui consiste à tirer au hasard un i ème élément, situé entre le premier et le p ème de la population puis à prélever systématiquement le $(i + p)$ ème, $(i + 2p)$ ème, $(i + 3p)$ ème, ..., $(i + (n-1)p)$ ème élément de la population. Les rangs des n unités sont ainsi en progression arithmétique dont la base est un nombre aléatoire i et la raison un nombre p calculé de telle sorte que l'échantillon se répartisse uniformément sur toute population. Contrairement à l'échantillonnage aléatoire simple, les unités ne sont pas prélevées de façon indépendante puisque le choix du 1^{er} élément détermine la composition de tout l'échantillon.

2.5.3.2 Protocole de sélection des unités d'échantillonnage

Le protocole s'avère très simple lorsque les éléments de la population sont facilement accessibles et en nombre connu. Il suffit :

1. de choisir l'effectif n de l'échantillon
2. de calculer la raison p ($p = N/n$)
3. de tirer au hasard un i ème élément que l'on considère comme le premier.
4. de prélever un élément toutes les p unités.

Lorsque l'effectif N est inconnu et qu'il s'avère difficile d'en estimer un ordre de grandeur, il n'est plus possible de choisir l'effectif n de l'échantillon car la valeur de p est fixée arbitrairement. Toutefois, si l'on se rend compte pendant l'échantillonnage que la raison p est trop petite ou trop grande, on peut intervenir en augmentant à un moment donné la valeur de p ou recommencer avec une autre raison. On peut aussi stratifier la population au moment voulu et diminuer la raison p . Dans tous les cas on s'assure que les éléments soient uniformément répartis au sein d'une strate de la population.

Exemples :

1. Imaginez qu'une entreprise de fabrication de vêtements de la localité a 2 700 employés. Le directeur du personnel veut obtenir les suggestions des employés sur comment améliorer leur milieu de travail. Puisqu'il serait trop long de questionner tous les employés, le directeur choisit un échantillon systématique de 300 employés.

Quel serait l'intervalle d'échantillonnage ?

Si le numéro 8 était votre premier numéro tiré au hasard, quels seraient les 5 premiers numéros de votre échantillon ?

Combien d'échantillons différents sont possibles selon cette technique ?

Réponse

l'intervalle d'échantillonnage serait de 9 ($2700 / 300$)

les cinq premiers numéros de l'échantillon seraient 8, 17, 26, 35, 44.

9 échantillons différents

2. Un annuaire téléphonique contient la quasi-totalité des individus de votre région et on en fait la liste de base. Comme 25 013 noms figurent dans l'annuaire et que votre échantillon sera composé de 1250 individus, vous devrez choisir un nom dans chaque bloc de 20 individus. Le hasard veut que l'on commence au 7^e abonné téléphonique. Notre deuxième unité sera le 27^e, notre troisième unité le 47^e et ainsi de suite.

La répartition d'un ensemble de relevés dans un intervalle de temps au sein d'une population linéaire, comme le lit d'une rivière, une lisière de forêt, etc. se réalise facilement avec l'échantillonnage systématique.

- A partir du nombre de relevés projeté (n) et l'intervalle l de temps, on définit la période $p=l/n$

- Pour répartir spatialement des stations d'échantillonnages dans un site donné, on procède de la même façon en calculant la période $p = \sqrt[2]{\frac{\text{surface étudiée}}{n}}$ et en fixant aléatoirement la base i dans un carré de coté égal à p.

- Même principe pour répartir des poids de prélèvements dans un volume, comme par exemple un lac. Le premier carré où l'on fixe aléatoirement, le 1^{er} point est alors remplacé par un cube de coté égal à p. $p = \sqrt[3]{\frac{\text{volume étudié}}{n}}$

Exemples :

1. L'hirondelle de rivage niche en colonie dans les falaises de sable où chaque couple creuse un terrier pour y construire son nid. Les orifices des tunnels sont souvent alignés et cet agencement facilite généralement le dénombrement et la sélection des cavités. Ainsi, pour étudier le taux d'éclosion des œufs ou tous autres paramètres relatifs à la nidification; on applique l'échantillonnage systématique. On sélectionne un trou sur 5, 7 ou 10 compris entre 1 et N.

2. On utilise l'échantillonnage systématique pour mesurer la disponibilité de nourriture. Sur un site de 25 hectares, aux limites arbitraires, 89 quadrats de 7,2 m² ont été disposé régulièrement tous les $p = \sqrt[2]{\frac{\text{surface étudiée}}{n}}$
= 53 m, le long de lignes parallèles distantes de 53 mètres environ.

Un intervalle d'environ 50 m sépareit donc chaque parcelle-échantillon sur lesquelles les données relatives à la disponibilité étaient collectées.

2.5.3.3 Conditions d'application du plan :

Pour utiliser sans risque l'échantillonnage systématique, il faut absolument savoir comment s'agencent les éléments de la population (information préalables).

- Si les unités sont agencées dans un ordre aléatoire, l'échantillonnage systématique est équivalent à l'échantillonnage aléatoire simple et l'avantage du 1er réside essentiellement dans la commodité et sa préparation et son exécution sur le terrain.
- Si les éléments de la population apparaissent selon une séquence qui engendre des variations périodiques du caractère étudié, l'échantillonnage systématique est moins efficace que l'aléatoire simple. En effet, dès que la période p du prélèvement des unités s'approche de la longueur d'onde des variations du caractère étudié, ou d'un multiple entier de celle-ci, une importante erreur systématique peuvent entacher les résultats.
- Les éléments de la population peuvent aussi présenter des phénomènes d'auto-corrélation. Exemple : les variations dans le temps et dans l'espace des conditions météorologiques constituent un exemple simple d'auto corrélation puisque les informations recueillies auprès de deux stations rapprochées sont très corrélées (abondance de la végétation avec l'altitude). Si de telles populations sont corrélées positivement, l'échantillonnage systématique est alors préférable à l'échantillonnage aléatoire simple. En effet, ce plan impose une distance minimum entre les éléments et évite la collecte d'informations redondantes. La position spatiale de stations d'échantillonnage auto corrélées positivement devrait être en quinconce car elle minimise la distance entre relevés.

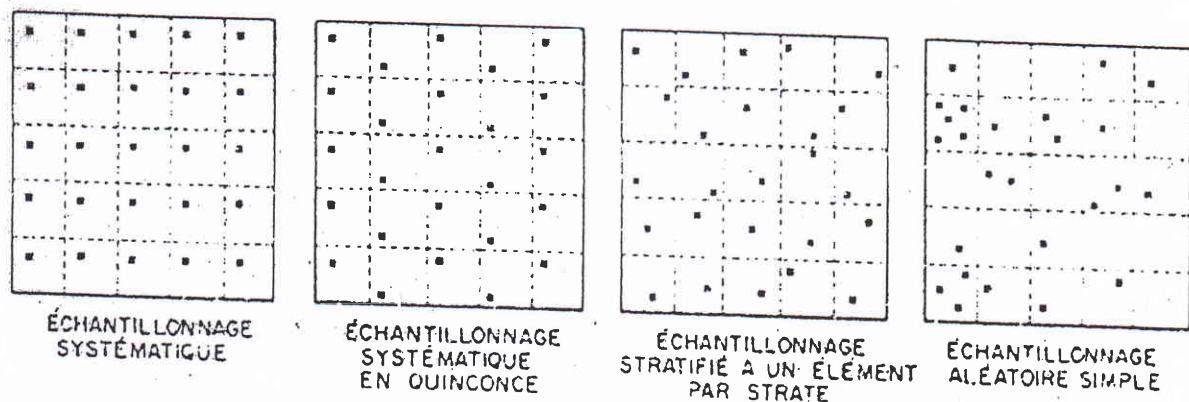


Fig. 1 Quatre types de répartition spatiale de stations d'échantillonnage.

La configuration en quinconce s'avère préférable à la régulière, elle-même préférable à l'échantillonnage stratifié à un élément par strate, qui est à son tour plus précis que l'aléatoire simple, si les relevés sont autocorrélés positivement.

2.5.3.4 Avantages et inconvénients du plan :

Avantages :

- L'échantillonnage systématique s'avère beaucoup plus commode à préparer et à exécuter que l'E.A.S.
- Si l'on est assuré que tous les éléments de la population se présentent dans un ordre aléatoire, ce plan est équivalent à l'E.A.S. Il cumule alors ses propres avantages.
- Si la population présente des phénomènes d'auto corrélation, c'est-à-dire, les éléments qui se suivent dans la série ont un comportement assez semblable au niveau des variables étudiées, ce plan se révèle plus efficace que E.A.S. qui comporte par le fait du hasard des relevés très rapprochés et d'autres très éloignés, ce qui entraîne des redondances et des défauts d'information dans la répartition de la variable étudiée.
- Si les éléments de la population présentent dans leur séquence une tendance linéaire au niveau de la variable étudiée, l'échantillonnage systématique s'avère plus efficace que l'E.A.S.

Inconvénients

- Mise à part la répartition spatio-temporelle des relevés, le protocole de sélection des unités d'échantillonnage impose une énumération de tous les éléments de la population afin de retenir un tous les p (raison). Ce processus s'avère souvent très laborieux comparativement à celui de l'échantillonnage par degré.
- Lorsque la série d'éléments présente au niveau du caractère étudié des variations périodiques insoupçonnées, ce plan s'avère peu efficace.
- Ce plan ne permet pas de collecter préférentiellement des éléments privilégiés dont l'examen ou l'accès s'avère plus commode, il n'ajuste pas, la probabilité de sélection des éléments en fonction de leur poids ou de leur importance relative.

2.5.3.5 Applications :

Indiquer la méthode d'échantillonnage retenue pour prélever les échantillons suivants :

1. Une association fait une enquête auprès d'un certain nombre de ses membres sélectionnés par tirage au sort à partir de la liste des membres.

Une usine produit 1000 pièces par jour. Pour vérifier la qualité du produit, on prélève chaque jour un échantillon de 50 pièces de la façon suivante : on prélève une pièce de la production à chaque 20 pièces produites en sélectionnant la première pièce au hasard entre la 1^{ère} et la 20^e pièce produite.

2. Dans le cadre d'une recherche auprès des membres de la coopérative étudiante du Cégep, on désire constituer un échantillon de 30 membres qui respecteraient la répartition des membres selon le sexe : 50% de femmes et 50% d'hommes. Pour ce faire, on sélectionne 15 femmes et 15 hommes au hasard des visites des clients de la coopérative.

3. Même situation qu'en 2, mais cette fois on sélectionne 15 femmes et 15 hommes au hasard dans la liste des membres de la coop.

Réponses : 1) aléatoire simple, 2) systématique, 3) par quotas

2.5.4 Echantillonnage par degré

Principe du plan:

2.5.4.1 Définition :

L'échantillonnage par degré regroupe tout un ensemble de plans d'échantillonnage caractérisés par un système ramifié hiérarchisé d'unités. En effet, chacune des N unités de la population, aussi appelées unités primaire ou grappes, se compose de M_i sous-unités plus petites (unités secondaires), qui peuvent elles-mêmes comporter K_{ij} unités tertiaires et ainsi de suite. A chaque niveau, un échantillonnage du 1^{er} du 2^{ème} ou 3^{ème} degré (2^{ème} ou 3^{ème} degré sont des sous-échantillonnages).

Les unités primaires et secondaires ne sont pas obligatoirement de la même taille.

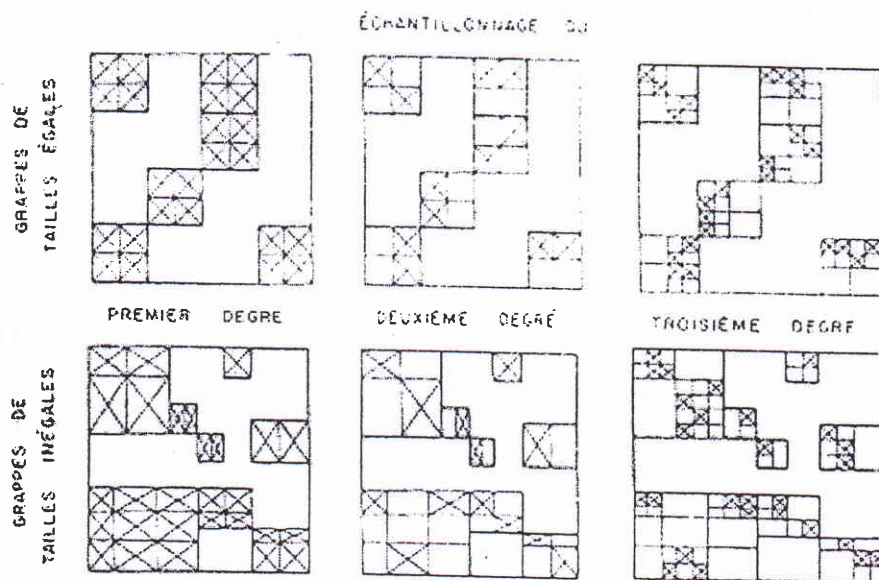


Fig.2 Représentation schématique d'échantillonnages du premier, deuxième, troisième degré à grappes égales et inégales

Exemple: Pour étudier les ravages d'animaux sauvages dans un parc d'une superficie environ 13000 km² a été divisé en 500 parcelles-échantillons de 26 km² et 20 d'entre elles ont été sélectionnées au hasard. La superficie des différents peuplements végétaux a été mesurée pour caractériser le couvert végétal. Chaque parcelle échantillon a été subdivisée en 59 placettes de 0,44km² et 6 d'entre elles ont été sélectionnées de façon aléatoire au sein de chacune des 20 parcelles-échantillons.

Deux plans d'échantillonnage, l'un du 1^{er} degré et l'autre du second degré, ont été appliqués.

$n = 20$ parcelles-échantillons (unités primaires) parmi $N = 500$ pour caractériser le parc

$m = 6$ placettes (unités secondaires) sur $M = 59$ ont été mesurés. tertiaires

2.5.4.2 Situations propices à l'application du plan

L'échantillonnage par degré s'impose lorsqu'il est impossible d'inventorier les éléments de la population et qu'il est possible d'énumérer les éléments de la grappe sélectionnée de façon aléatoire. Cette situation est particulièrement fréquente en écologie, car il n'est généralement pas possible d'énumérer tous les arbres d'une

3. Méthodes d'étude des groupements végétaux

3.1. Méthode physionomique : Elle se base sur la physionomie de la végétation sans référence à la composition floristique, (forêt, mattoral, steppe..).

3.2. Méthode dynamique : En général les communautés végétales ne sont pas stables, elles évoluent dans le temps soit par évolution progressive, soit régressive en passant successivement par une série de communautés végétales.

3.3. Méthode phytosociologique : Cette méthode est utilisée pour déterminer les groupements végétaux ou les associations végétales.

3.3.1. Relevé de végétation

Le groupement végétal est un ensemble d'organismes végétaux vivant dans un territoire donné.

L'association végétale est une combinaison originale d'espèces, dont certaines dites caractéristiques lui sont particulièrement liées, les autres étant qualifiées de compagnes. L'association végétale est représentée par l'individu d'association qui est une surface de végétation représentative sur le terrain de l'association végétale, il est le seul objet concret de la phytosociologie, l'individu d'association sera décrit par le relevé.

Pour réaliser le relevé on doit considérer l'uniformité des conditions écologiques, la dominance d'une ou plusieurs espèces et l'homogénéité physionomique (répétition d'un même groupe d'espèces sur une certaine surface).

Ce relevé est accompagné par une description du milieu, l'altitude, la pente, l'exposition, le sol

les observations sur la station et la période du relevé.

L'aire minimale : C'est la plus petite surface nécessaire pour que la plupart des espèces y soient représentées.

3.4. Méthodes d'analyse :

3.4.1. Coefficients de similitude

Il existe plusieurs coefficients de : Jaccard (1902), Kulezenski (1928), Sorensen (1948) :

Le principe est de calculer le degré de similitude ou de ressemblance entre les relevés, le plus utilisé est : Le coefficient de Jaccard $P_j = \frac{100c}{a+b-c}$

$$a+b-c$$

a : C'est le nombre d'espèces dans le relevé a

b : C'est le nombre d'espèces dans le relevé b

c : C'est le nombre d'espèces dans le relevé c

Deux relevés qui ont plus de 30 % d'espèces communes appartiennent à la même association.

3.4.2. Analyse factorielle des correspondances

A pour but d'établir la relation entre deux ensembles les observations (Espèces) et les variables (Facteurs écologiques) mis en correspondance, le nuage de points obtenu dans un espace à 3 dimensions sera projeté selon les coordonnées factorielles, sur un plan formé de deux axes.

La signification des axes révélera les facteurs écologiques qui opposent les espèces des différents relevés

3.4.3. Classification hiérarchique ascendante

Elle est le complément de l'AFC, elle affine les résultats déjà obtenus, elle consiste à regrouper par similitude les relevés, elle est représentée par un dendrogramme.

4. Méthodes d'étude des animaux :

Les études des peuplements animaux rencontrent beaucoup de difficultés parmi elles :

- La mobilité
- Présence sur terrain de l'observateur
- Installation de la surveillance du matériel de capture
- Diversité spécifique (aérienne, terrestre, marine)

4.1. L'abondance (n_i) :

C'est le nombre d'individus d'une espèce

4.2. La densité :

La densité est le nombre d'individus d'une espèce sur une unité de surface

4.3. La richesse : richesse totale : (S)

La richesse totale est le nombre total des espèces recensées dans un peuplement

Richesse moyenne c'est la moyenne des richesses stationnelles ou richesse par relevé, c'est le nombre d'espèces représentatives du milieu au sens de la fréquence de leur présence.

4.4. La fréquence relative

C'est le nombre d'individus d'une espèce sur le nombre total des espèces

$$f = n_i/N$$

n_i : Abondance spécifique de l'espèce

N : Abondance du peuplement

4.5. La fréquence d'occurrence ou centésimale :

La fréquence d'occurrence est le pourcentage du nombre de relevés où une espèce est présente sur le nombre total des relevés. On considère qu'une espèce est accidentelle ($F < 25\%$), Accessoire ($25\% < F < 50\%$), régulière ($50\% < F < 75\%$), constante ($75\% < F < 100\%$), omniprésente ($F = 100\%$).

$$F = r_i / R \times 100$$

r_i : nombre de relevés dans lequel l'espèce i est présente

R : Nombre total de relevés

4.6. La diversité :

La diversité d'un peuplement exprime le degré de complexité de ce peuplement. Elle est exprimée par un indice qui intègre à la fois la richesse du peuplement et les abondances spécifiques.

Il existe plusieurs indices (Margaleff, Simpson,...), qui expriment la structure du peuplement, dont L'indice de Shannon-weaver (1949) :

$$H' = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i \quad P_i = n_i / N$$

n_i : Effectif de l'espèce i

N : Effectif total du peuplement

Une valeur élevée de cet indice correspond à un peuplement riche en espèces dont la distribution d'abondance est équilibrée, une valeur faible de cet indice correspond soit à un peuplement caractérisé par un petit nombre d'espèces pour un grand nombre d'individus.

Soit un peuplement dans lequel il ya une espèce dominante. Les valeurs varient entre 0 et 4,5.

0 à 0,5 : Communauté composée d'une seule espèce ($\log 1 = 0$)

Si $H' < 1,5$: Peuplement dominé quantitativement par une ou q espèces : Stade jeune d'un écosystème.

Si $H' > 2,5$: Evolution temporelle du peuplement

Les valeurs commencent à se stabiliser aux alentours de 3,5 à 4.

4.7. Equitabilité :

C'est la distribution du nombre d'individus par espèce.

$$E = H' / H' \max \quad \text{où } H' \max = \log_2 S \quad S = \text{Nombre total des espèces de tous les relevés}$$

L'équitabilité varie de 0 à 1, elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce, elle tend vers 1 lorsque toutes les espèces ont une même abondance, cas théorique dans la mesure où il existe toujours des espèces rares dans un peuplement.