

Introduction

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, de visiter tous les lacs d'une région de plusieurs milliers de km². L'échantillonnage, lorsque bien fait, permet de mesurer des caractéristiques sur un nombre restreint d'unités du groupe d'intérêt et d'arriver à une estimation des paramètres à l'étude qui sera non seulement précise et exempte de biais, mais aussi représentative de l'ensemble des unités du groupe. On entend par paramètre une caractéristique quantifiable de la population dont la valeur est fixe au sein d'une région et d'une période de temps donnée, mais qui demeure inconnue.

À titre d'exemple, une biologiste estimera 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? Est-ce que la probabilité que l'on observe ou capture les grenouilles varie en fonction de ces mêmes facteurs? Et si cela variait aussi en fonction des observateurs? Voilà bien des questions à prendre en compte avant même de pouvoir estimer une simple densité de grenouilles. Et ensuite, quels étangs sélectionner pour estimer le niveau de corrélation qu'il peut y avoir entre la densité de grenouilles et le pH des étangs? Est-il pertinent de choisir des étangs ayant différentes tailles pour répondre à cette question?

Il est aussi primordial de bien identifier les paramètres dont une estimation est requise avant de définir une méthode d'échantillonnage. Doit-on obtenir une estimation de la distribution spatiale, de la probabilité d'occurrence, de la densité des individus, de la taille de la population, du sexe ratio, de la structure d'âge, des taux de natalité ou de mortalité, des taux d'immigration et d'émigration, et/ou encore, de l'influence de certains facteurs environnementaux sur ces quantités. Certaines méthodes permettent d'estimer un seul paramètre, alors que d'autres permettent d'en estimer plusieurs, mais parfois avec des niveaux de biais et de précision variables. Il faut donc considérer les différentes options en fonction des besoins et des contraintes.

Plus souvent qu'autrement, les écologistes sont en course folle. Les niveaux de financement sont souvent faibles et de courtes durées. De plus, les phénomènes étudiés sont saisonniers. La planification de l'échantillonnage est donc souvent escamotée avec pour conséquence que les conclusions des études sont trop souvent de faible portée. En effet, il n'est pas rare que des chercheurs, dit d'expérience, se retrouvent avec une base de données qui ne peut être analysée proprement et qui ne permet pas de répondre à leurs questions de recherche. Il est toujours possible d'avoir recours à un statisticien pour nous aider à extirper l'information contenue dans une base de données issue d'un échantillonnage bien fait. À l'opposée, les statisticiens sont impuissants si l'échantillonnage a été mal fait. Il est donc plus qu'important de prendre le temps de planifier son échantillonnage. Il en va du succès de vos efforts d'échantillonnage.

Dans le même sens, la mise en place d'un plan d'échantillonnage est conditionnée par le choix du problème et la façon de le poser. Le choix de la problématique 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.).

1. Notion de pré-modèle et modèle

Tout processus d'échantillonnage suppose un ensemble théorique de tous les échantillons possibles, d'où l'on extrait par un processus défini les échantillons réellement étudiés, à partir desquels on fait des inférences sur l'ensemble théorique. Ceci suppose nécessairement que l'on se fait une idée implicite ou explicite de la structure de l'ensemble théorique. On peut soit admettre cette structure comme un postulat, soit chercher à vérifier la compatibilité de l'échantillon prélevée avec la structure, considérée alors comme une hypothèse à tester. De toute façon, il est essentiel du point de vue statistique de formuler exactement les hypothèses faites, qui constituent le modèle théorique de la population. Il est alors possible d'en déduire mathématiquement des propriétés d'échantillonnage que l'on cherchera à vérifier (GOUNOT, 1960).

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.

2. Stratégies d'échantillonnages

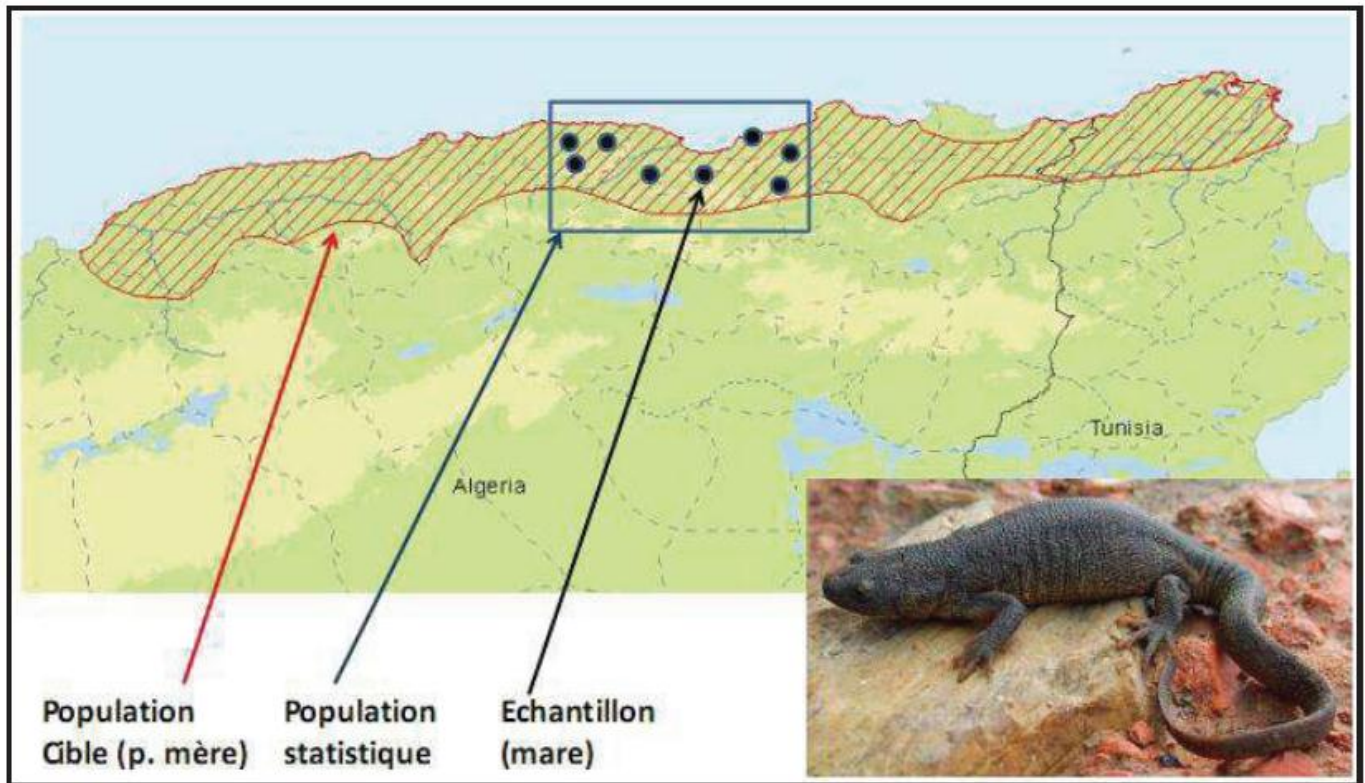
2.1 Quelques définitions

Echantillonnage : Fondamental, résulte de l'impossibilité de collecter des données sur tous les éléments d'une population ou d'une surface, souvent pour des raisons pratiques, techniques ou économiques. L'échantillonnage consiste à n'étudier qu'une partie représentative des éléments puis d'extrapoler sur l'ensemble de la population étudiée (inférence ou extrapolation).

Recensement ou **inventaire** : Travail pratique consistant à une étude exhaustive (complète) de tous les éléments.

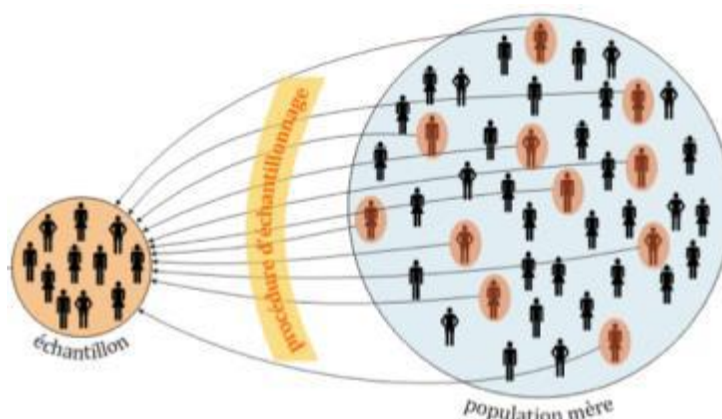
Population statistique : Représente une collection d'éléments possédant au moins une caractéristique commune et exclusive, permettant de l'identifier et de la distinguer sans ambiguïté de toute autre, de laquelle on extrait un échantillon et sur laquelle porte les conclusions statistiques. Elle est définie suivant l'objectif de l'étude envisagée et doit être circonscrite dans l'échelle spatiale (délimitation géographique) et temporelle (précision de la période d'étude).

Population cible (population mère) : Partie plus vaste incluant la population statistique dont tous les éléments ne sont pas connus ou difficile, voire impossible, à connaître complètement (exemple de toute l'aire de répartition d'une espèce).



Exemple d'échantillonnage : Etude de l'écologie et de la reproduction du Triton d'Algérie

Pleurodeles nebulosus (amphibien) en Kabylie, Algérie (**Population mère** : représente toute l'aire de répartition algéro-tunisienne de l'espèce ; **Population statistique** : population délimitée à l'étude à l'échelle de la Kabylie (rectangle), **Echantillon** : une mare représentée chacune par un point noir à l'intérieur du rectangle).



Echantillon : Collection d'éléments prélevés d'une façon particulière de la population statistique afin de tirer des conclusions sur celle-ci.

Modalités de l'échantillonnage : désigne la manière de recueillir les données sur le terrain, c'est-à-dire, le nombre, la taille et la forme des échantillons (carrés, rectangles, cercles) de la population statistique ainsi que la manière de répartir ces échantillons sur le terrain (mode aléatoire, systématique ou stratifié).

2.2. - Plan d'échantillonnage (protocole expérimentale) :

Un plan d'échantillonnage est caractérisé par une structure hiérarchique qui va de la population cible jusqu'à l'élément qui sera caractérisé (Fig. 01). La population cible consiste en la totalité des éléments d'intérêt qui sont visés par l'étude. Cette collection d'éléments doit être circonscrite dans l'espace et dans le temps. Par exemple, l'ensemble des Grenouille léopard se trouvant à l'intérieur des limites du Parc du Mont Saint-Bruno au cours de la saison de reproduction de 2005. L'élément est l'objet sur lequel une mesure sera prise. Dans l'exemple précédent, un individu de l'espèce Grenouille léopard est un élément.

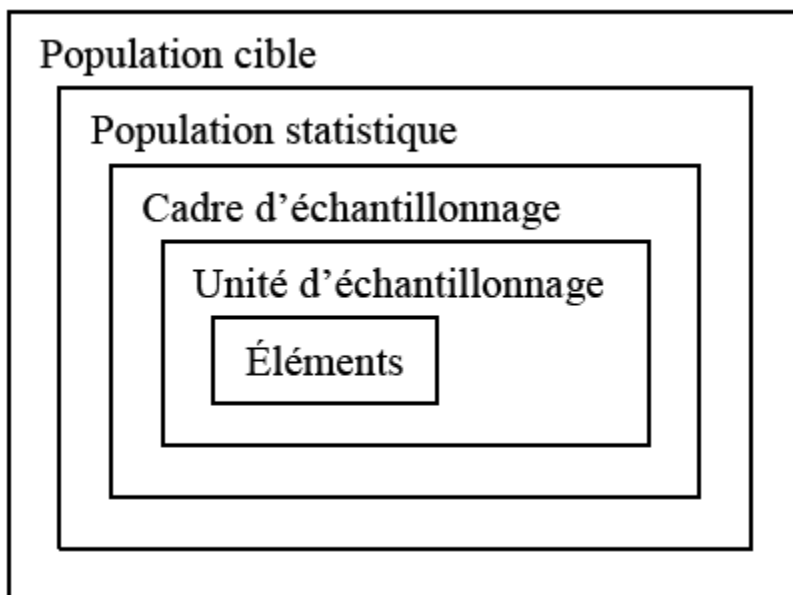


Figure 1. Structure d'un plan d'échantillonnage.

L'unité d'échantillonnage représente une collection unique d'éléments. À titre d'exemple, un étang habité ou non par des Grenouille léopard. En écologie, l'unité d'échantillonnage consiste fréquemment en une superficie de terrain délimitée plus ou moins arbitrairement (une parcelle). Les Grenouille léopard mesurées au sein d'une parcelle choisie aléatoirement parmi un groupe de parcelles constitueraient donc les éléments et la parcelle, l'unité d'échantillonnage. Notons que l'élément peut également être l'unité d'échantillonnage. De fait, un échantillon de Grenouille léopard pourrait être pris sur un ensemble de grenouilles capturées et les mesures prises sur ces individus. La structure du plan d'échantillonnage détermine la probabilité avec laquelle une unité d'échantillonnage sera contenue dans l'échantillon. Cette probabilité doit être connue pour que l'estimation des paramètres d'intérêt ne soit pas biaisée. Le cadre d'échantillonnage consiste en la totalité des unités d'échantillonnage qui ont la possibilité de constituer un échantillon. À titre d'exemple, l'ensemble des étangs se trouvant au sein du Parc du Mont Saint-Bruno et qui sont accessibles pour des fins d'échantillonnage. Il s'ensuit que les paramètres qui seront estimés ne pourront caractériser que ce cadre d'échantillonnage ou population statistique. Il est donc préférable que le cadre d'échantillonnage soit le plus représentatif possible de la population cible. L'estimation de paramètres caractérisant le cadre d'échantillonnage ou population statistique est une inférence statistique basée sur des éléments théoriques. Étendre les conclusions jusqu'à la population cible revient aux chercheurs et ne dépend donc que de leur jugement.

Le plan d'échantillonnage (protocole expérimentale) se résume dans les points suivants :

- l'objectif précis de l'étude,
- La population statistique (zone d'étude, taxon étudié),
- Méthode d'observation (comptage, capture, ...)
- La période d'étude,
- Modalités d'échantillonnage (aléatoire, systématique, stratifié, ...) pour déterminer l'emplacement des échantillons, et éventuellement des points de prélèvement (sous-échantillons),
- Paramètres à mesurer, nombre d'échantillons, technique de traitement des données, format d'expression des résultats.
- Moyens logistiques (matériel) et humains nécessaires.

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.

3. - Stratégie d'échantillonnage:

3.1.- Echantillonnage subjectif: C'est la forme la plus simple et la plus intuitive d'échantillonnage. Le chercheur choisit comme échantillons des zones qui lui paraissent particulièrement homogènes et représentatives (Gounot, 1960).

3.2.- Echantillonnage au hasard: La sélection d'emplacements au hasard est une opération minutieuse. Le lancer de cadres ou de cercle derrière son dos n'en est qu'une caricature assez grossière.

3.3.- Echantillonnage stratifié: Il s'agit d'utiliser toutes les connaissances préalablement acquise sur la végétation et le milieu pour découper la zone à étudier en sous zones plus homogènes qui seront échantillonnées séparément. On réduit ainsi parfois considérablement la variabilité dans chaque sous zone et on évite au moins partiellement les échantillons hétérogènes à cheval sur deux communautés (Gounot, 1960).

3.4.- Echantillonnage systématique: C'est une méthode d'échantillonnage anciennement pratiqué sous la forme du transect. Mais ce dernier n'avait pas pour but une description statistique précise. Sous sa forme moderne, il utilise tous les types d'échantillonnages élémentaires et toutes les mesures déjà décrites en les associant, les échantillons étant régulièrement espacés (Gounot, 1960 ; Géhu, 1974.).

4. - Méthodes d'études qualitatives de la végétation

4.1. La phytosociologie sigmatiste :

Repose sur le postulat suivant : l'espèce végétale, et mieux encore l'association végétale, sont considérées comme les meilleurs intégrateurs de tous les facteurs écologiques responsables de la répartition de la végétation (BEGUIN *et al.*, 1979). La végétation est donc utilisée comme le reflet fidèle des conditions stationnelles, elle en est l'expression synthétique (BEGUIN *et al.*, 1979 ; RAMEAU, 1987).

L'association végétale est définie par une combinaison répétitive originale d'espèces, formée "d'espèces dites caractéristiques qui lui sont particulièrement liées et d'espèces compagnes (ensemble spécifique normal)" (ou combinaison spécifique originale, *sensu* DE FOUCAULT, 1981).

La seconde préconise en plus des données floristiques la prise en compte de certaines propriétés de l'association végétale : "L'association végétale est un concept abstrait qui se dégage d'un ensemble d'individus d'association possédant en commun à peu près les mêmes caractères floristiques, statistiques, écologiques, dynamiques, chorologiques et historiques" (GEHU & RIVAS-MARTINEZ, 1981).

L'association est donc caractérisée par une amplitude assez étroite, contrairement au début de la phytosociologie. En plus des critères floristicostatistiques, elle s'inscrit dans un contexte écologique et géographique précis; sa signification est territoriale, dans un cadre écologique et dynamique défini et homogène (RAMEAU, 1987, 1988). Cette conception actuelle plus restreinte de l'association lui confère une valeur informative plus grande vis-à-vis du milieu et des territoires phytogéographiques (GEHU, 1980).

Propriétés de l'association végétale

Caractères floristiques: la qualité essentielle des associations réside dans leurs espèces végétales constitutives parce qu'elles sont porteuses d'informations précises qui peuvent être avantageusement utilisées (notamment celles d'ordre écologique et chorologique). Mais, comme toutes les espèces de la combinaison n'ont pas la même valeur informative ni le même degré de fidélité, on distingue des espèces caractéristiques, des espèces différentielles et des espèces compagnes (Gounot, 1960 ; Géhu, 1974 ; Géhu et Rivas-Martinez, 1981).

Caractères statistiques: l'association doit posséder une combinaison statistiquement répétitive des espèces caractéristiques, différentielles et compagnes (ensemble spécifique) (Gounot, 1960).

Caractères écologiques: l'association doit se situer dans un contexte écologique précis; elle doit posséder et contribuer à définir un biotope particulier (Gounot, 1960 ; Géhu, 1974).

Caractères dynamiques: l'association possède une signification évolutive déterminée à l'intérieur d'une série climacique (ou de groupements spécialisés mûrs). Elle est l'un des stades initiaux, intermédiaires, finaux ou déviants (par ex. nitrophiles) de la dynamique progressive ou régressive de la végétation.

Caractères chorologiques: chaque association possède une aire géographique particulière. Une association ne peut être considérée comme bien connue et bien délimitée que si l'on connaît exactement ses limites géographiques.

Caractères historiques: les groupements sont plus ou moins jeunes ou anciens; ils appartiennent à des séries actuelles ou correspondent à des vestiges de séries anciennes informant sur l'histoire climacique du peuplement végétal de la région (Gounot, 1960 ; Géhu, 1974 ; Géhu et Rivas-Martinez, 1981).

4.2.- Méthode physionomique: C'est la méthode la plus simple et la plus ancienne se base sur la physionomie de la végétation, c'est-à-dire sa structure qualitative sans référence nécessaire à sa composition floristique. Ces unités sont souvent appelées formation. C'est une approche basée sur la physionomie des groupements végétaux existe aussi. Elle considère d'abord les types biologiques des espèces dominantes dans un lieu donné. L'unité considérée est la formation végétale (Gounot, 1960; Géhu et Rivas-Martinez, 1981).

4.3.- Méthode écologique: Elle se base sur la variation de la végétation en fonction physique et chimique. De ce fait, il est possible d'admettre un parallélisme étroit dans le détail entre les conditions physique du milieu et la fonction de la végétation (Gounot, 1960).

4.4.- Méthode dynamique : Elle repose sur l'étude la variation dans le développement successive dans le temps d'une série de communautés végétales dont chacune prépare les conditions favorables à la suivante.

Donc sur la variation dans les formations végétales (successions) dans le temps jusqu'à l'arriver au stade climax (Gounot, 1960 ; Géhu, 1974).

.
4.5.- Méthode Chorologique: Cette classification prend comme point du départ l'étude des aires des espèces. La connaissance de cette dernière permet une classification en rapport avec l'histoire de la flore et les conditions climatiques (Gounot, 1960).