

Thème 3 : Une histoire du vivant

Chapitre 9 : La biodiversité et son évolution

L'évolution du monde vivant désigne deux choses :

- Les modifications progressives du monde vivant au cours du temps.
- La théorie synthétique de l'évolution, extension de la théorie de Darwin qui vise à expliquer ces modifications.

En biologie, lorsqu'on parle d'évolution sans préciser, c'est du premier des deux sens qu'il s'agit. L'évolution, ensemble de modifications progressives du monde vivant au cours du temps, est à l'origine de la diversité du monde vivant actuel ou biodiversité. Mais la biodiversité est un phénomène complexe qui possède plusieurs dimensions. Nous allons préciser la notion de biodiversité, montrer comment il est possible de la mesurer et d'étudier son évolution au cours du temps, notamment pour connaître l'impact des activités humaine sur le monde vivant.

1. Mesurer la biodiversité

1.1 Les dimensions de la biodiversité

Le terme « biodiversité » désigne le plus souvent la diversité des espèces ou diversité interspécifique. Le monde vivant actuel comprend environ 1,8 Millions d'espèces recensées de plantes, d'animaux, de microorganismes, etc. ; mais de nombreuses zones géographiques n'ont pas fait l'étude d'un dénombrement systématique et exhaustif (par exemples les plaines abyssales des fonds océaniques), et on estime que le nombre total d'espèces différentes dans le monde vivant actuel est proche de 10 millions.

L'intérêt d'un tel chiffre est limité. En effet il ne permet pas d'estimer la biodiversité localement. Or, La biodiversité est très inégalement répartie à la surface de la Terre. Elle se concentre surtout autour de 34 zones géographiques ou hot spots de biodiversité, très souvent des zones littorales intertropicales. Pour tenir compte de la diversité des écosystèmes, il faut donc être capable d'estimer la biodiversité de chaque zone géographique, de chaque milieu de vie.

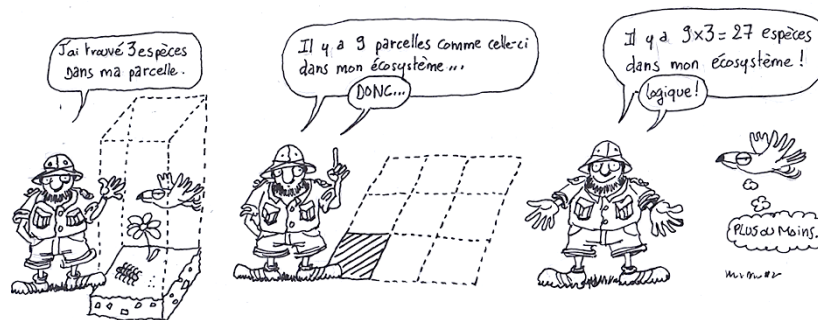
La richesse spécifique d'un milieu est évaluée par un inventaire des espèces présentes dans des parcelles de surface connue de ce milieu ; l'inventaire peut reposer sur :

- Des observations directes, éventuellement dans un projet de science participative
- Des enregistrements automatiques (vidéos)
- Des analyses d'ADN prélevé dans le milieu

Le nombre d'espèces trouvé dans la parcelle est ensuite multiplié par le nombre de parcelles qui constituent la surface totale du milieu pour obtenir le nombre total d'espèces dans le milieu étudié.

Il faut souvent multiplier les parcelles et/ou corriger ce calcul, car même à l'intérieur d'un même milieu le nombre d'espèces est rarement proportionnel à la surface. Par exemple, le calcul suppose

que chaque nouvelle parcelle contient le même nombre de nouvelles espèces que les parcelles qui ont été inventoriées, alors que certaines espèces sont présentes dans toutes les parcelles.



Principe de calcul du nombre théorique d'espèces dans un milieu

Mais la biodiversité est aussi la diversité des individus à l'intérieur d'une même espèce ou **diversité intraspécifique**. Plus le nombre d'individus d'une espèce est grand, plus la contribution de cette espèce à la biodiversité est importante. Il est donc important d'estimer le nombre total d'individus ou **abondance** de chaque espèce dans le milieu étudié.

Nous allons voir comment il est possible d'avoir une bonne estimation de l'abondance de chaque espèce dans un écosystème.

1.2 Méthodes pour estimer l'abondance d'une espèce dans un milieu

L'ensemble des individus d'une même espèce vivant dans un même milieu est une **population**. Il est relativement facile de compter le nombre d'individus des populations fixées comme les plantes, mais pour les populations mobiles comme les animaux il faut faire appel à des **méthodes d'estimations** que nous allons détailler.

La méthode capture/marquage/recapture (quatrième proportionnelle)

- 1-On **capture** un nombre connu d'individus **M** de l'espèce étudiée
- 2-On marque ces individus (bague, marqueur fluorescent, puce électronique...) et on les **relâche** dans le milieu
- 3-On **capture à nouveau** un nombre connu **C** d'individus de cette espèce ; parmi ces individus il y a un certain nombre d'individus marqués **R** qui ont été recapturés.
- 4- On part du principe que la proportion d'individus marqués parmi les C individus de la seconde capture est la même que la proportion de la totalité des individus par rapport au nombre total d'individus dans la population noté N.

Ainsi :

$$\frac{R}{C} = \frac{M}{N} \Rightarrow N = M \times \frac{C}{R}$$

avec :

M le nombre total d'individus marqués

C le nombre total d'individus recapturés (seconde capture)

R le nombre total d'individus marqués parmi les individus recapturés

N l'effectif total de la population

En mathématiques, il s'agit du calcul d'une **quatrième proportionnelle** : le quatrième terme d'une égalité entre deux fractions est calculé à partir des trois autres termes qui sont connus.

On obtient donc par cette méthode une estimation du nombre N d'individu ou effectif de la population étudiée dans le milieu étudié. Mais quelle confiance peut-on accorder au résultat obtenu ?

Fiabilité du résultat : l'intervalle de confiance

En utilisant la méthode de capture-marquage-recapture pour un échantillon de taille C (à ne pas confondre avec l'effectif total de la population noté N), on a obtenu une valeur de la fréquence des individus marqués et recapturés $f = \frac{R}{C}$. Généralement, si l'on reproduit l'estimation de N plusieurs fois on obtient **des fréquences f variables**. Quelle confiance peut-on avoir dans le résultat ?

Dans le cas le plus favorable, la répartition des individus dans la population et leur prélèvement lors de la recapture sont vraiment aléatoires. Dans ce cas, la probabilité du résultat se répartit selon une loi mathématique (hors programme), ce qui permet de calculer l'**intervalle de confiance** à 95% de f dont la formule suivante donne une approximation convenable :

$$f - \frac{1}{\sqrt{C}} \leq f \leq f + \frac{1}{\sqrt{C}}$$

Cet encadrement signifie que **la valeur réelle de f (qui correspond à $\frac{M}{N}$) a 95% de chances de se trouver dans cet intervalle.**

On remarque que **plus la taille de l'échantillon (ici C) est grande**, plus l'intervalle de confiance est petit et plus l'encadrement de la valeur est précis pour un degré de confiance donné (ici 95%). On peut donc augmenter C jusqu'à obtenir la précision que l'on souhaite.

Une fois la valeur de f obtenue avec l'intervalle confiance voulu, on peut l'utiliser pour le calcul de l'effectif N de la population selon la formule déjà expliquée précédemment :

$$N = M \times \frac{C}{R} = \frac{M}{f}$$

Remarques :

La méthode que nous venons de présenter ne permet pas seulement d'estimer des populations ; elle est très généralement utilisée dans l'étude statistique de la **distribution des caractères dans les populations** (proportion d'individus possédant un caractère bien précis, par exemple proportion de femelles, proportion d'individus infectés par un virus...), les études sociales, les sondages (sondages électoraux par exemple), etc.

1.3 Conclusion : estimer la biodiversité d'un milieu

Nous avons vu qu'il est possible d'estimer la biodiversité d'un milieu de plusieurs manières :

- En estimant le nombre d'espèces qu'il abrite ou sa **richesse spécifique** (diversité interspécifique)
- En estimant l'abondance (effectif) de chaque espèce qui reflète la diversité des individus de chaque espèce et donc sa **diversité intraspécifique**. Mais dans certains cas, l'abondance reflète mal la diversité intraspécifique (par exemple dans le cas des populations qui constituent un clone, qui peuvent avoir une abondance très élevée et une diversité intraspécifique pratiquement nulle)
- Enfin, lorsque des milieux contiennent un même nombre d'espèces, la biodiversité est plus grande lorsque chaque espèce est représentée par un nombre important d'individus et qu'il n'y a pas d'espèce « sous-représentée ». On appelle **équitabilité** ce caractère : plus les abondances des différentes espèces sont proches, plus l'équitabilité est grande.

2. Étudier l'évolution des populations

La reproduction joue un rôle important dans l'évolution, qui dépend notamment des allèles¹ qui seront transmis aux descendants par leurs parents. Si l'on veut comprendre l'évolution, il est essentiel de **modéliser la transmission des allèles** au fil des générations au sein des populations.

2.1 L'équilibre de Hardy-Weinberg

Les chercheurs Hardy et Weinberg ont cherché à décrire la transmission de deux allèles d'un même gène, A et a, dans un modèle de population. Dans ce modèle :

- La population est de très **grande taille** (taille « infinie ») ;
- Les individus sont **diploïdes** (ils ont des paires de chromosomes), à **reproduction sexuée** ;
- La population est **isolée** (aucun nouvel allèle ne peut apparaître provenant d'une autre population ou disparaître à cause de migrations) ;
- Les croisements se font au hasard (pas d'interdit ou de préférences sexuelles) : c'est la **panmixie** ;
- La fréquence de départ l'allèle A est de p et celle de l'allèle a est de q (donc $p+q = 1$). La **fréquence d'un allèle** est la proportion des chromosomes qui portent cet allèle dans la population.

Si ces conditions sont respectées, **les fréquences des allèles A et a (soit p et q) sont stables dans la population au fil des générations**, et les fréquences des génotypes des individus sont également stables, de valeurs :

| | |
|-------|--------------------------------------|
| P^2 | pour le génotype homozygote (A//A) |
| $2pq$ | pour le génotype hétérozygote (A//a) |
| q^2 | pour le génotype homozygote (a//a) |

Cette situation stable porte le nom **d'équilibre de Hardy-Weinberg**. Si certaines situations réelles s'en rapprochent pendant un certain laps de temps, aucune ne lui correspond jamais parfaitement.

¹ Des **allèles** sont des formes différentes d'un même gène ; par exemple, les allèles A, B et O du gène des marqueurs du groupe sanguin. Ils ont la même position chromosomique ou locus, contrôlent le même caractère mais n'ont pas le même effet sur ce caractère.

Quelles sont les raisons pour lesquelles les fréquences des allèles ne se conforment jamais à l'équilibre de Hardy-Weinberg ?

2.2 Les perturbations de l'équilibre de Hardy-Weinberg

Les mutations

L'équilibre de Hardy-Weinberg suppose que le nombre d'allèles du gène étudié ne varie pas au cours du temps. Nous savons pourtant que dans une situation naturelle des mutations² peuvent faire apparaître de nouveaux allèles. Si un troisième allèle a' apparaît dans la population, cela fera automatiquement diminuer les fréquences de A et de a dans la population : l'équilibre de Hardy-Weinberg sera modifié.

La sélection naturelle

Si l'un des allèles est favorable à la survie ou à la reproduction des individus dans leur milieu de vie, ceux qui le possèdent auront en moyenne plus de descendants que ceux qui ne le possèdent pas, et la transmission de cet allèle sera donc favorisée dans cet environnement. Cette influence du milieu naturel est la sélection naturelle : sélection par l'environnement naturel des allèles (des génotypes) les plus favorables à cet environnement, dont la fréquence tend à augmenter au fil des générations. La sélection naturelle fait donc augmenter la fréquence des allèles favorables dans le milieu de vie des individus, et modifie ainsi l'équilibre de Hardy-Weinberg.

La dérive génétique

Au cours de la reproduction, la transmission des allèles est aléatoire. À chaque génération, le hasard détermine quel allèle sera transmis à chaque descendant par chacun de ses deux parents. Si la population est de très petite taille, la transmission des allèles de chaque parent a un impact important sur l'évolution de la fréquence des allèles. L'évolution de la fréquence des allèles devient très imprévisible et certains allèles peuvent ne pas être transmis du tout à la génération suivante. Les fréquences des allèles varient fortement et aléatoirement au cours du temps. C'est la dérive génétique, qui modifie l'équilibre de Hardy-Weinberg. La dérive génétique est la variation aléatoire des fréquences alléliques au fil des générations, sous l'effet des mécanismes de la reproduction sexuée.

Nous venons de voir comment estimer la biodiversité et quelques outils pour comprendre son évolution au cours du temps. Ces éléments ont permis de mesurer la crise actuelle qui affecte la biodiversité et fournissent des pistes pour limiter ses effets dans certains écosystèmes.

3. L'impact des activités humaines sur la biodiversité

² Mutations : modifications aléatoires des séquences d'ADN constituant le programme génétique des êtres vivants ; elles peuvent être spontanées ou provoquées par des agents mutagènes et ne sont pas toujours héréditaires.

3.1 Les activités humaines et la 6^{ème} crise de la biodiversité

Nous avons vu que la situation d'équilibre de Hardy-Weinberg est en fait théorique. En pratique, toute population vivante connaît une évolution génétique plus ou moins rapide. C'est cette évolution des populations qui produit les nouvelles espèces et permet une diversification du monde vivant à l'origine de la biodiversité. Mais au cours du temps des espèces disparaissent également : ce sont les extinctions.

Actuellement, le taux annuel des extinctions est, selon les estimations, entre 100 et 3000 fois supérieur à sa valeur moyenne passée : c'est la 6^{ème} crise majeure du monde vivant. Cette crise est liée à l'empreinte écologique de l'espèce humaine, due au développement de :

- La prédation (chasse, pêche, cueillette)
- La destruction des habitats naturels (urbanisation, déforestation)
- Les pollutions
- Le changement climatique

L'un des mécanismes qui conduit aux extinctions d'espèces sauvages est la fragmentation des milieux de vie. Les déforestations et les constructions humaines (routes, voies ferrées) créent des séparations artificielles au sein d'un même milieu naturel. Chaque population naturelle de ce milieu se trouve fragmentée en plusieurs populations plus petites qui ne se reproduisent plus entre elles. Dans ces petites populations, comme nous l'avons vu, la dérive génétique est forte, et certains allèles sont absents ou disparaissent rapidement. Cela conduit à un appauvrissement génétique rapide des populations, qui les fragilise car la diversité génétique est un facteur important de la résistance des espèces aux variations de l'environnement.

3.2 Des pistes pour protéger certains écosystèmes

Les actions entreprises pour préserver la biodiversité sont beaucoup plus efficaces lorsqu'elles s'appuient sur une bonne connaissance du monde vivant et des mécanismes de son évolution. Ainsi :

- La connaissance des particularités de chaque écosystème permet de mettre en œuvre des actions simples indispensables à sa stabilité, comme par exemple l'étrépage des tourbières (prélèvement de la fraction la plus superficielle du sol) qui évite l'épaississement du sol et le développement d'une forêt au détriment de la tourbière.
- La connaissance des mécanismes de l'évolution (équilibre de Hardy-Weinberg, migrations, dérive génétique), incite à mettre en place dans de nombreuses régions des corridors biologiques et des « trames bleues » de petits cours d'eau et canaux interconnectés pour éviter la fragmentation excessive des habitats et des populations par les installations humaines.

4. Conclusions

Le monde vivant actuel présente une extraordinaire diversité à plusieurs niveaux : diversité des écosystèmes, diversité interspécifique, diversité intraspécifique. Cette biodiversité peut être estimée dans chaque milieu grâce à divers indicateurs (richesses spécifique, abondance de chaque espèce, équitabilité).

Elle est le résultat d'une diversification commencée il y a près de 4 milliards d'année, dans laquelle la transmission aléatoire des allèles d'une génération à la suivante au sein de chaque espèce joue un rôle essentiel. Dans certaines conditions, cette transmission peut assurer une certaine stabilité des espèces, mais divers phénomènes conduisent finalement les populations à évoluer sur le long terme.

La connaissance de la biodiversité et de ses mécanismes est précieuse pour tenter de limiter la crise actuelle de la biodiversité, liée à l'impact sans précédent des activités humaines.