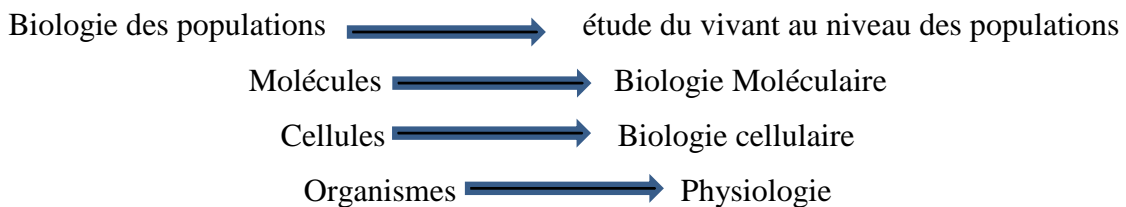


1.1 Histoire et concept

La biologie des populations, est l'étude des populations d'organismes, particulièrement liée à la régulation de la taille des populations, les caractéristiques biologiques comme la taille des pontes et l'extinction. Le terme de biologie des populations est souvent utilisé de manière interchangeable avec l'écologie des populations, bien que la biologie des populations est plus fréquemment utilisée dans l'étude des maladies, des virus et des microbes, alors que le terme écologie des populations est utilisée plus fréquemment dans l'étude des végétaux et des animaux.

Elle étudie le vivant au niveau des populations biologiques, sur le plan de la biodiversité, de l'évolution et de la biologie de l'environnement.



Alors que, l'étude de la population fait partie d'un vaste domaine des sciences de la vie qu'on appelle écologie.



1.2 Histoire de l'écologie

L'écologie est une discipline constituée principalement à partir du XIX^e siècle (le dix-neuvième siècle) autour de plusieurs courants de pensée.

Deléage (1991) a identifié trois principaux courants :

- Un courant botaniste ;
- Un courant géologique ;
- Et le courant populationnel.

Le mot « écologie » a été créé en 1866, par le biologiste allemand Ernst Haeckel, à partir de deux mots grecs : oikos qui veut dire : maison, habitat, et logos qui signifie science.

L'écologie apparaît donc comme la science de l'habitat, étudiant les conditions d'existence des

êtres vivants et les interactions de toute nature qui existent entre ces êtres vivants et leurs milieux. Donc l'écologie est considérée comme science des relations des êtres vivants avec leurs milieux ; les êtres vivants étant étroitement intégrés à leur « environnement », l'écologie est la science des systèmes biologiques fonctionnels complexes appelés « écosystèmes » : elle comporte aussi l'étude des rapports des êtres vivants entre eux »

1.2.1 Méthodologie

Dans ses relations l'écologiste ne sépare pas l'être vivant de son contexte, mais il l'étudie dans sa totalité. L'écologiste considère l'être vivant non plus dans un milieu théorique constant, mais bien dans un monde où se jouent des forces sans cesse variables. Exemple : Cas de l'Echinoderme *Echinastre sepositus* (étoile de mer) et du crustacé (*Eupagurus prideauxi*) (écrevisse carapace) dont la distribution semble correspondre à une sténohalinité rigoureuse et qui au laboratoire supportent des fortes dessalures même réalisées brusquement. De nombreux autres exemples montrent la divergence entre les résultats obtenus aux laboratoires et ceux obtenus dans la nature pourraient être cités.

L'écologiste étudie ce qui se passe réellement dans les conditions naturelles ; son domaine d'observation est la nature l'endroit même où vit l'être vivant ou la population qu'il étudie.

1.2.2 Domaine d'intervention

Les études écologiques portent conventionnellement sur trois niveaux ; l'individu, la population et la communauté.

Un individu est un spécimen d'une espèce donnée. Il concerne l'autoécologie ; c'est la science qui étudie les rapports d'une seule espèce avec son milieu. Elle définit les limites de tolérances et de préférences de l'espèce étudiée vis-à-vis des divers facteurs écologiques et examine l'action du milieu sur la morphologie, la physiologie et l'éthologie.

Une population est un groupe d'individus de la même espèce occupant un territoire particulier à une période donnée. Ce sont donc des individus qui interagissent entre eux (interactions intra spécifiques) mais aussi avec les autres espèces présentes dans l'écosystème (interactions interspécifiques) ou encore leur milieu physico-chimique (= biotope). Elle concerne l'écologie des populations ou la dynamique de populations ; c'est la

science qui étudie les caractéristiques qualitatives et quantitatives des populations ; elle analyse les variations d'abondance des diverses espèces pour en rechercher les causes et si possible les prévoir.

Une communauté ou biocénose est l'ensemble des populations d'un même milieu, peuplement animal (zoocénose) et peuplement végétale (phytocénose) qui vivent dans les mêmes conditions de milieu au voisinage les uns des autres. Chacun de ces trois niveaux fait l'objet d'une division de l'écologie.

Dans ce

L'étude des populations s'appelle biologie des populations, écologie des populations ou encore démoécologie (= démo-écologie). Elle comprend, au sens le plus large :

- L'étude de la structure des populations, c'est-à-dire de la démographie et de la répartition des individus qui la composent ;
- L'étude de leurs fluctuations démographiques qu'on peut appeler dynamique des populations ;
- L'étude de la diversité génétique en leur sein et son évolution dans le temps qu'on peut appeler génétique des populations et qui présente des liens avec la biologie évolutive.

La population n'est pas une structure fixe, mais elle est toujours en mouvement, il ya des individus qui arrivent à cette population, tan-disque d'autres vont quitter la population, des individus qui naissent et d'autres meurent de même le mâle dans la population ne choisit pas son partenaire, ce qui induit que l'accouplement se fait par hasard. Cette variation de la population au cours du temps est appelée « dynamique ».

On s'intéresse ici à l'effectif global des populations mais, évidemment, tous les paramètres sont potentiellement impactés.

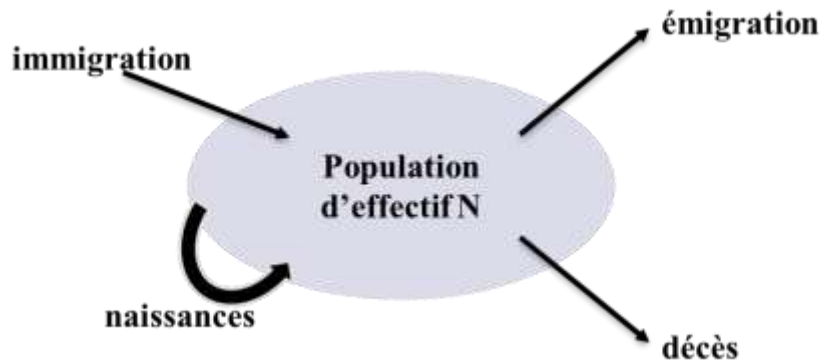


Figure 1. Principaux facteurs démographiques impliqués dans l'évolution de la population

La variation d'effectif d'une population dans un laps de temps donné dépend :

- du nombre d'individus produits par reproduction sexuée ou asexuée (« natalité » n),
- du nombre d'individus disparus suite au vieillissement ou suite à une cause accidentelle (par exemple : prédation) (mortalité m),
- du nombre de nouveaux individus arrivés dans le milieu, en provenance d'écosystèmes plus ou moins proches (immigration i),
- du nombre d'individus partant vers d'autres écosystèmes (émigration e).

On peut résumer cela par l'équation suivante (ΔN : variation de l'effectif dans un laps de temps donné) :

$$\Delta N = n - m + i - e$$

1.3 Notion de natalité fécondité : quelles différences ?

1.3.1 Natalité

Il va de soi que l'augmentation des naissances, si elles dépassent le nombre des morts, durant le même temps accroît les effectifs au sein d'une population. Le problème est bien connu dans l'espèce humaine. Dans la nature, le nombre des naissances est fortement lié aux facteurs trophiques. Il est notoire que le hibou des Marais, élève jusqu'à une dizaine de poussins s'il capture beaucoup de rongeurs. Mais s'il y a 17, un ou deux petits seulement arrivent à terme (**Faurie C, 2012) Ecologie approche scientifique et pratique**). La natalité

constitue le principal facteur d'accroissement des populations. On distingue toujours la natalité maximale (physiologique) et la natalité réelle. La première traduit le potentiel biotique de l'espèce. Le taux brut de natalité s'exprime en proportion de la population totale : 50 naissances pour 1000 individus par an, par exemple. Le taux net de reproduction désigne le nombre total de femelles produit par chaque femelle féconde. C'est le taux de multiplication par génération (**Grandi M, 2020**).

$$R_0 = \sum_x I_x \cdot m_x$$

m_x : le nombre moyen de jeunes femelle produites par femelle appartenant à la classe d'âge x .

I_x : le nombre d'individus survivant à l'âge x (pour 1000 à $x = 0$, par convention).

Natalité : nombre de naissances/1000 individus

1.3.2 Fécondité

La fécondité est la réalisation effective de la fertilité de la reproduction biologique d'une espèce. Elle est la capacité concrète à la reproduction. Elle est une condition de la natalité. La fécondité est un phénomène complexe qu'il faut décomposer pour comprendre ses mécanismes et son évolution. Le niveau de la fécondité résulte d'un ensemble de variables (facteurs) qui interviennent de façon différentes appelées les déterminants de la fécondité : les déterminants directs qui sont directement liées à la fécondité et les déterminants indirects qui influencent la fécondité. Leur combinaison détermine le niveau de fécondité d'une population, dont le **taux de fécondité** est le rapport du nombre de naissances vivantes de l'année à l'ensemble de la population féminine en âge de procréer.

Fécondité : nombre de naissances / nombre femelles fécondes

1.4 Migration

Les populations naturelles ne sont pas isolées totalement les unes des autres. Elles reçoivent donc des propagules venant d'autres populations plus ou moins éloignées. Ces propagules peuvent être des individus adultes, larvaires, des gamètes (pollen) ou des spores. Ils peuvent donc être haploïdes ou diploïdes. La migration peut être forte. Elle a tendance à homogénéiser les populations entre elles (génétiquement). C'est donc une force potentiellement majeure de l'évolution des populations. Les migrations sont des mouvements réguliers de départs et de retours, effectuées sur un rythme quotidien ou saisonnier. De nombreux groupes d'animaux

présentent un comportement migratoire : mammifères, insectes, poissons, amphibiens et reptiles.

Les migrations permettent aux populations animales d'éviter des conditions défavorables par déplacement dans l'espace. Il ne faut pas les confondre avec les mouvements d'immigration ou d'émigration qui ne se produisent que dans un seul sens. Le rythme des migrations est variable en fonction de la population étudiée :

- **Migration quotidienne** : *Calanus finmarchicus* qui est une espèce de crustacés copépodes. Il est un constituant important du zooplancton qui se trouve en quantités énormes en mer du Nord.
- **Migration annuelles** : Elles sont liées à l'alternance des saisons favorables et défavorables. Chez les oiseaux, les migrations sont largement répandues, les populations peuvent être entièrement migratrices, partiellement migratrices ou sédentaires. Plus de la moitié des 10 000 espèces d'oiseaux connues dans le monde sont au moins partiellement migratrices.
- **Migrations pluriannuelles** : Les poissons présentent aussi des migrations considérables. L'anguille se développe dans les cours d'eau d'Europe et d'Amérique du Nord. Les adultes descendent les rivières au moment de la maturité sexuelle et rejoignent la mer des Sargasses où ils se reproduisent et meurent. Les larves rejoignent en un an pour les américaines et en deux ou trois ans pour les européennes, leurs rivages respectifs. Elles se métamorphosent en civelles qui remontent les rivières et donnent en 8 à 10 ans de développement un poisson adulte. De nombreux autres animaux présentent des phénomènes de migrations : tortues, amphibiens, insectes.

Comment s'orienter ?

Il s'agit d'un sujet complexe et encore relativement mystérieux.

- Une carte Chez certaines espèces, comme les grues ou les cygnes, les jeunes font leur premier voyage en compagnie de leurs parents et mémorisent sans doute à cette occasion leur itinéraire.
- Chez beaucoup d'autres espèces, les jeunes voyagent seuls et doivent donc se référer à une « carte géographique génétiquement préprogrammée ».
- Une boussole, la majorité des espèces d'oiseaux montre une sensibilité au champ magnétique terrestre, aux ultraviolets ou à la polarisation de la lumière. Les variations de ces éléments à l'échelle du globe, leur permettraient alors de se repérer.

- D'autres (parmi ceux qui migrent de nuit) utilisent les étoiles pour s'orienter.
- Les poissons seraient également capables d'utiliser ces éléments ou les différences de salinités et de températures pour se repérer.
- D'autres, comme le saumon atlantique, disposent aussi d'une mémoire olfactive qui leur permet de retrouver leur rivière d'origine.
- L'odorat semble également être mobilisé chez certains oiseaux comme le pigeon voyageur ou les pétrels.

1.4 Mortalité

La densité d'une population, sa croissance, ou son déclin, dépendent du nombre d'individus qui lui sont ajoutés (natalité) et de ceux qui disparaissent (mortalité, émigration). En d'autres termes, les effectifs de chaque espèce dépendent principalement de la différence entre les taux de natalité et de mortalité et de l'équilibre entre émigration et immigration.

La mortalité constitue le second paramètre démographique d'importance fondamentale. De la même façon que la natalité, la mortalité varie en fonction du groupe d'âge considéré. Elle s'exprime par le taux de mortalité ou par la probabilité de mort.

Le taux de mortalité caractérise le nombre de morts survenues dans un intervalle de temps donné, divisé par l'effectif au début de l'intervalle. La mortalité écologique, ou réelle, caractérisant la disparition d'individus dans des conditions d'environnement données, n'est pas encore constante, mais varie en fonction de la population considérée et des facteurs du milieu.

1.5 La survie

L'étude des phénomènes démographiques nécessite de répartir les effectifs de la population en un certain nombre de groupes ou classes d'âge et de suivre leur devenir en fonction du temps. Selon les possibilités, on étudiera des générations des cohortes.

La génération correspond à l'ensemble des individus nés en même temps ou ; si l'espèce a une longévité importante, à l'ensemble des individus nés la même année. La cohorte est constituée par un groupe d'individus qui n'ont pas nécessairement le même âge mais qui ont vécu un même événement d'origine. Ainsi, dans une forêt, l'ensemble des arbres ayant

le même diamètre de tronc à 1.3 m de hauteur constitue cohorte.

Les tables de survie sont établies en dressant les colonnes dans lesquelles sont notés de façon conventionnelle un certain nombre de paramètres démographiques.

Exemple :

Une étude a été menée sur une population du lièvre d'Amérique ou lièvre variable (*Lepus americanus*) (*Mammalia lagomorpha, leporidae*) dans le parc provincial d'Algonquin, Ontario, Canada. Des jeunes levrauts ont été extraits de leurs terriers, des microémetteurs radio ont été insérés sous leur peau et ont été par la suite remis dans leurs nids. Des scientifiques ont suivi leurs activités mensuellement et ont inspecté les nids durant la saison de reproduction pour y compter le nombre de bébés produits. L'évolution numérique d'une cohorte de femelle et les taux de fécondité âge spécifiques (f_x) sont donnés dans le tableau ci-après.

Age, x (année)	0	1	2	3	4
Effectif, n_x	60	20	8	1	0
Taux de fécondité	0	4	8	8	0

Le *sex-ratio* est de 1 à toute les classes d'âge (50% mâles et 50% femelles).

1. Construire les tables de survie et de fécondité de cette population.
2. Calculer le taux net de reproduction, le temps de génération et le taux d'accroissement annuel fini ? Conclure.

La table de survie (dite longitudinale) résume de façon statistique l'évolution numérique d'une cohorte d'individus nés à la même époque depuis la naissance ou stade œuf ($\text{âge}=0$) jusqu'à l'extinction (disparition) du dernier individu.

Les résultats sont portés dans le tableau ci-dessous.

Age x (année)	Effectif n_x	I_x	d_x	q_x
0	60	1000	667	0,667
1	20	333	200	0,600
2	8	133	116	0,872
3	1	17	0	

x : indique l'âge

I_x : le nombre d'individus survivant à l'âge x (pour 1000 à $x = 0$, par convention).

d_x : le nombre d'individus disparus (morts) entre x et $x+1$

$$d_x = I_x - I_{x+1}$$

q_x = taux mortalité âge spécifique entre x et $x+1$

$$q_x = d_x / I_x$$

Table de fécondité

Les données relatives à la survie ne suffisent pas pour décrire les changements démographiques. Il est intéressant de considérer également la production de nouveaux individus (natalité).

Il faut donc calculer le taux de fécondité âge-spécifique :

f_x = le nombre moyen de jeunes (mâles et femelles) produits par femelle appartenant à la classe d'âge x .

Dans la table de fécondité, on ne considère que les femelles, on calcule donc le taux de maternité :

m_x = le nombre moyen de jeunes femelle produites par femelle appartenant à la classe d'âge x .

Les tables de survie peuvent donc être complétées par une colonne m_x , la somme des produits I_x par m_x , depuis l'âge à la première reproduction α jusqu'à l'âge à la dernière reproduction ω , donne le taux net de reproduction R_0 :

$$R_0 = \sum_{\alpha}^{\omega} I_x \cdot m_x$$

I_x exprimé en pour 1 à l'âge $x=0$; toujours dans la table de fécondité)

Age x (année)	Effectif n_x	I_x	m_x	$I_x \cdot m_x$	$x \cdot I_x \cdot m_x$
0	60	1	0	0	0
1= α	20	0,333	2	0,666	0,666
2	8	0,133	4	0,532	1,064
3= ω	1	0,017	4	0,068	0,204
			Σ	$R_0=1,266$	1,934

Comme le sexe ratio = 1 à tous les âges, on aura donc 50% de femelle produites par femelle d'âge x :

$$m_x = f_x \cdot 0,5 \quad f_x : \text{taux de fécondité}$$

Quand

$R_0 > 1$: population en croissance (cas de la population étudiée)

$R_0 = 1$: population stable pas de croissance

$R_0 < 1$: population en déclin (décroissance)

Dans notre cas la population a augmenté de 26,6% au bout d'un temps de génération T

T= temps de génération (années) : intervalle de temps moyen entre la naissance des parents et la naissance de leur jeunes :

$$T = \sum x.I_x.m_x / R_0 = 1,934 / 1,266 = 1,53 \text{ ans}$$

R_0 est donc le taux net de reproduction (croissance de la population au bout d'une génération (en temps T)

$$R_0 = N_T / N_0$$

N_T = effectif de la population au bout d'une génération (au temps T)

Dans le model exponentiel on aura

$$N_T = N_0 \cdot e^{r \cdot T} \quad \text{d'où} \quad N_T / N_0 = e^{r \cdot T} \quad \text{d'où} \quad r = \ln R_0 / T \\ = \ln R_0 / T = \ln (1,266) / 1,53 = 0,154 \text{ par ans} > 0$$

Taux d'accroissement annuel fini :

$$\lambda = e^r = 1,167 / \text{ans} > 1$$

La population a donc augmenté de **16,7%/an** (croissance).

1.6 Modèle de Lotka-Volterra

Le modèle de Lotka - Volterra décrit l'évolution d'une population proie et d'une population prédatrice en interaction (relation interspécifique). Ce modèle a été largement étudié du fait qu'il soit relativement simple, et considéré comme la base des systèmes d'interaction proies prédateurs. Ce modèle permette de prendre en compte chaque individu d'une population et de simuler son comportement et son interaction avec les autres individus. La croissance de deux espèces concurrente dans un environnement fermé a été analysée par Volterra (**Baily et Olis 1986**) après la 1^{ère} guerre mondiale. Un modèle a été conçu sous la forme :

$$\text{Proie (N)} : \frac{dN}{dt} = (r_1 - aP)N$$

$$\text{Prédateur (P)} : \frac{dP}{dt} = (-r_2 + bN)P$$

r1 : taux d'accroissement des proies

a : taux de capturabilité

r2 : taux d'accroissement des prédateurs

b : taux de prédation

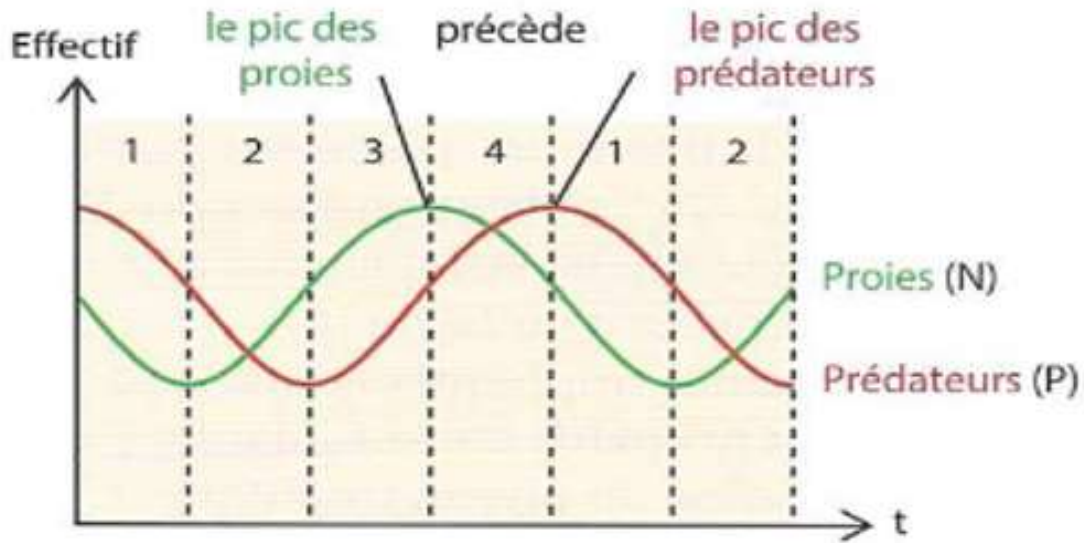


Figure 2. Relation proie-prédateur (Model LOTKA-VOLTERRA)

Comment il fonctionne ?

Le modèle Lotka-Volterra étudie la manière dont la compétition influence l'abondance de deux espèces concurrentes. Les variations de l'abondance d'une espèce sont modélisées en fonction de l'abondance de son concurrent, mais le mécanisme de compétition spécifique n'est pas explicitement énoncé ou exploré.

Cette relation mathématique admet l'interprétation biologique suivante : si, à l'instant initial, on suppose que les prédateurs sont en nombre très faible, alors les proies tendent à se reproduire assez vite, car elles rencontrent peu de prédateurs. Quand le nombre de proies augmente, les prédateurs trouvent plus de nourriture. Leur nombre croît donc plus rapidement qu'avant, ce qui entraîne une diminution du nombre de proies, qui sont chassées. Le nombre de prédateurs commence alors à diminuer à cause du manque de nourriture, et le nombre de proies augmente. Cette dynamique se poursuit ainsi à l'infini. Ce modèle proie-prédateur de base peut facilement être modifié pour refléter des relations de plus en plus complexes. Dont nous pouvons étudier : modèle de base, modèle logistique, modèle de compétition, mutualisme écologique, et une dérivée du modèle