

The background features a light blue gradient with several green leaves and two butterflies. One butterfly is purple and green, and the other is blue and brown. The text is centered in a light green box.

Les populations, leur dynamique et les relations interspécifiques

Préparation à l'Agrégation de l'académie de Nantes 2014-2015

Alix Helme-Guizon

BCPST-Véto Lycée Le Fresne

alix.helme-guizon@educagri.fr

<http://prepaangers.weebly.com>

Définitions

- Une population est composée d'individus **d'une même espèce** rencontrés dans **un milieu donné** (biotope), qui se reproduisent et engendrent une descendance féconde.
- Les limites de la population peuvent être naturelles ou fixées par l'expérimentateur pour une étude (on parle alors de population statistique, exclu ici)
- Une population a une **structure** : densité, mouvement des individus, proportion des individus dans chaque classe d'âge, variabilité génétique, taille et organisation des surfaces d'habitat.



Exemple de Problème à résoudre : le compte des moutons sur une île

- 1932 introduction de moutons sauvages de Soay (Ecosse) sur l'île de Hirta, pour sauver la race
- Race la plus proche des moutons domestiques
- Pas de prédateur



Comptage annuel : effectifs varient du simple au double d'une année sur l'autre!



I. L'effectif d'une population varie au cours du temps

1.1) Les paramètres démographiques contrôlent les effectifs de la population

Exercice de cours



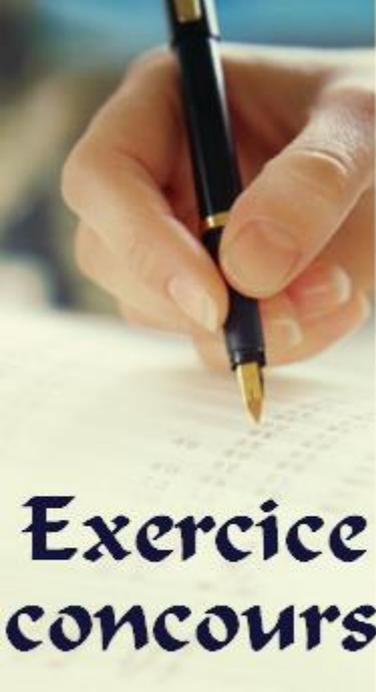
Imaginez quels sont les facteurs susceptibles de modifier les effectifs d'une population naturelle d'animaux ou de plantes (=démographie)

Représentez-les sur un schéma de synthèse

11.2. L'expérimentateur regroupe les observations dans une table de survie

- Origine : assurance-vie début XXème siècle -> pour déterminer espérance de vie moyenne
- Table de survie = recensement pour chaque âge du nombre d'individus vivants dans une population
- Cohorte = groupe d'individus du même âge
- On calcule le taux de survie (ou de mortalité) de la cohorte d'une tranche d'âge à une autre.





Exercice concours

Table de survie de Spermophiles de Belding en Californie

Âge (an)	FEMELLES			MALES		
	Nb de vivants au début de l'intervalle	Nb de morts durant l'intervalle	Taux de mortalité	Nb de vivants au début de l'intervalle	Nb de morts durant l'intervalle	Taux de survie
0-1	337	207	0,61	349	227	0,65
1-2	252	125	0,5	248	140	0,56
2-3	127	60	0,47	108	74	0,69
3-4	67	32	0,48	34	23	0,68
4-5	35	16	0,46	11	9	0,82
5-6	19	10	0,53	2	2	1
6-7	9	4	0,44	0		
7-8	5	1	0,2			
8-9	4	3	0,75			
9-10	1	1	1			



D'après Campbell

Calculez les taux de mortalité manquants et concluez

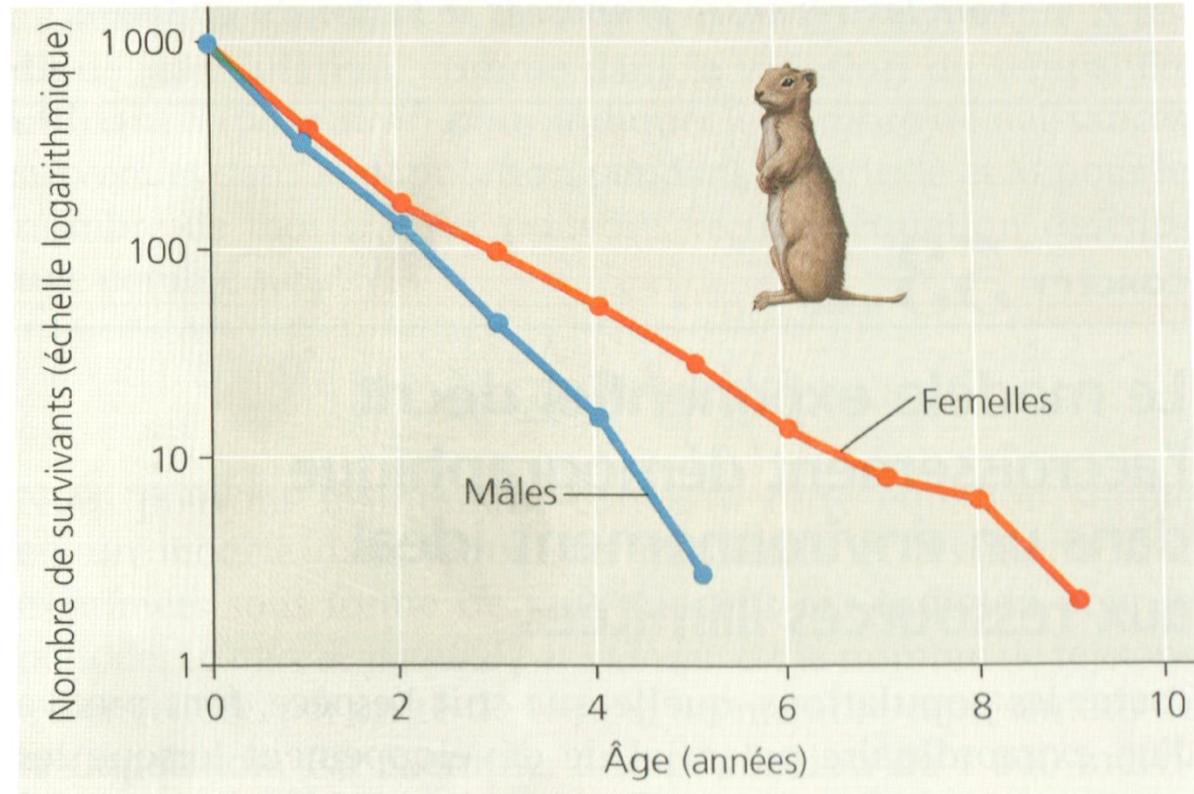


Diagnostic

11.3. Il existe 3 types de courbe de survie

À partir des tables de survie, on trace des courbes de survie (souvent en échelle logarithmique)

NB : ici on est parti de 1000 naissances, et non 337 comme dans l'ex précédent)

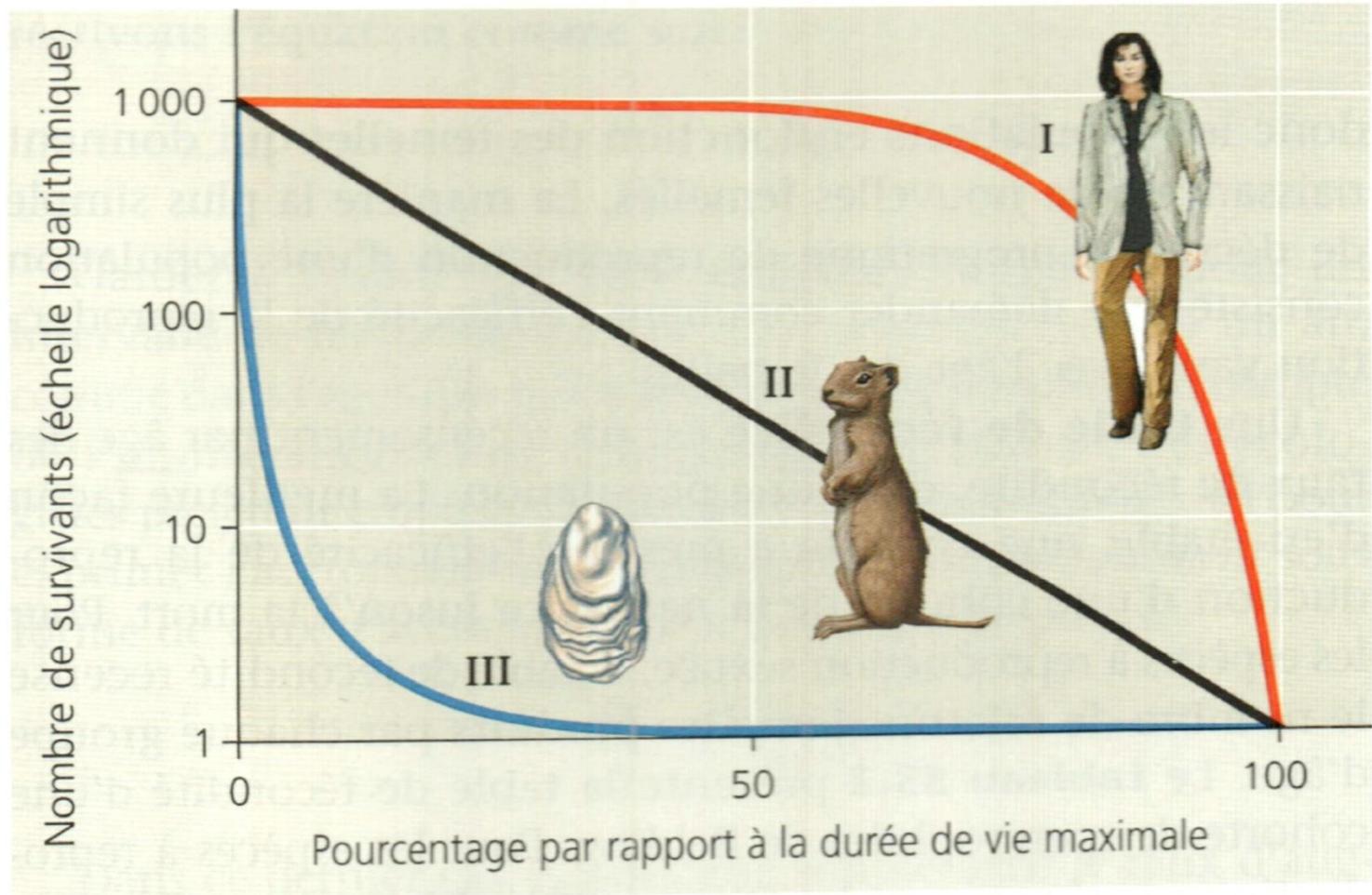


▲ **Figure 53.5** Courbes de survie des mâles et des femelles chez le spermophile de Belding. L'échelle logarithmique employée ici permet d'observer les changements dans le nombre de survivants d'un bout à l'autre de l'intervalle de variation (de 2 à 1 000 individus) du graphique.

Campbell

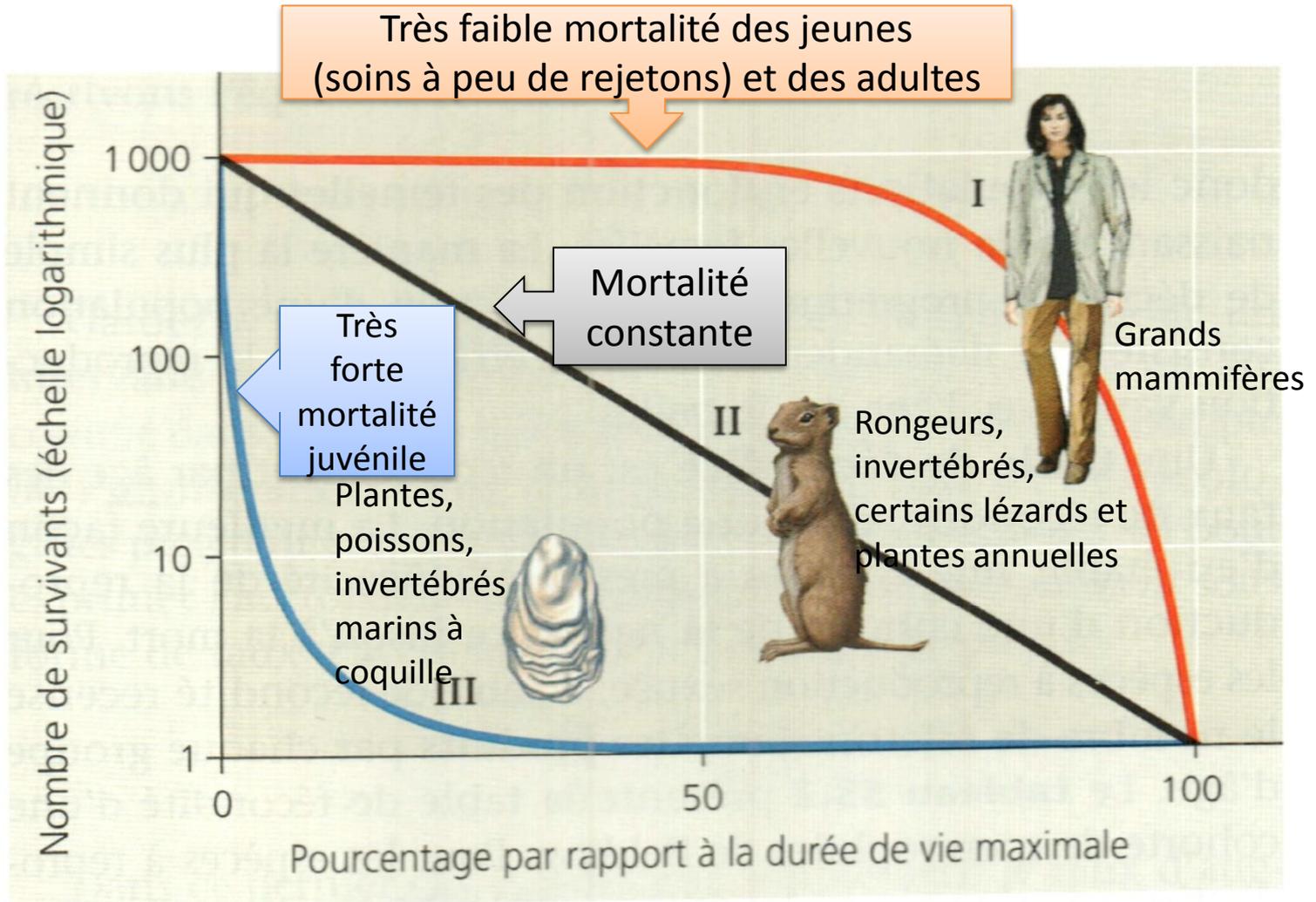


Les 3 courbes de survie



▲ **Figure 53.6** Les courbes de survie: types I, II et III. L'axe des y est logarithmique et l'axe des x est relatif, si bien qu'on peut comparer sur un même graphique des espèces dont l'espérance de vie varie grandement.

Les 3 courbes de survie



▲ **Figure 53.6** Les courbes de survie: types I, II et III. L'axe des y est logarithmique et l'axe des x est relatif, si bien qu'on peut comparer sur un même graphique des espèces dont l'espérance de vie varie grandement.

D'après Campbell



- Origine des 3 types de courbes de survie
 - Le soin des adultes envers les jeunes détermine leur taux de survie
 - Meilleur taux de survie : peu de descendants et beaucoup de soins (stratégie dite « K ») =/ nb descendants abandonnés (« r »)

Seulement 3 types de courbes?

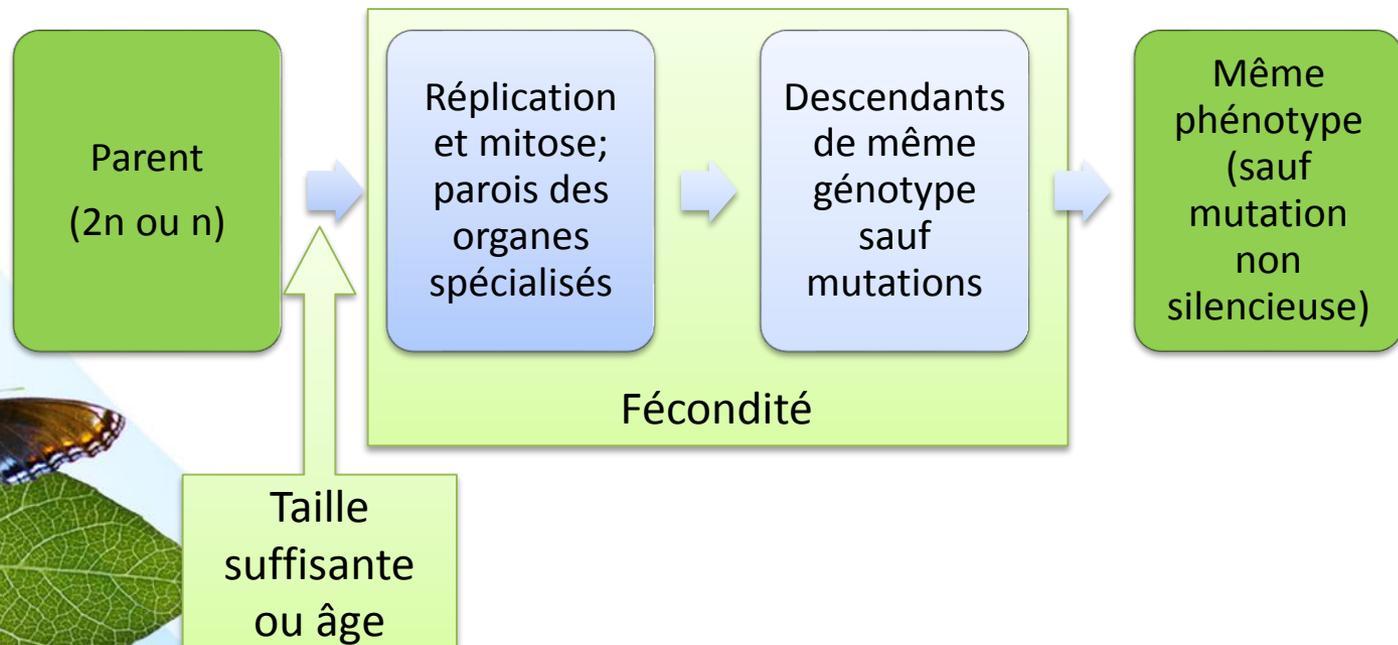
- Exception : la courbe II-III des Oiseaux
Forte mortalité chez les jeunes, mais constante chez les adultes
- Exception : la courbe en escalier des arthropodes (mue)
Forte mortalité en période de mue (crabe) car vulnérables.



11.4. Le taux de reproduction est consigné dans des tables de fécondité

114.1) En cas de reproduction asexuée, le sex-ratio n'a aucune importance

- Fréquent chez les Bactéries (division binaire = scissiparité), les Mycètes (spores mitotiques), les Embryophytes (y compris les Angiospermes)
- Rarissime chez les animaux (éponges, cnidaires, qq annélides)



114.2) En cas de reproduction sexuée, le sex-ratio et la fécondité déterminent le taux de reproduction

Le sex-ratio est le pourcentage de femelle dans une population sexuée. Seules les femelles produisent des descendants par reproduction sexuée.

L'âge reproductif est l'âge à partir duquel une femelle peut se reproduire, et sa fécondité le nombre de descendants par femelle.

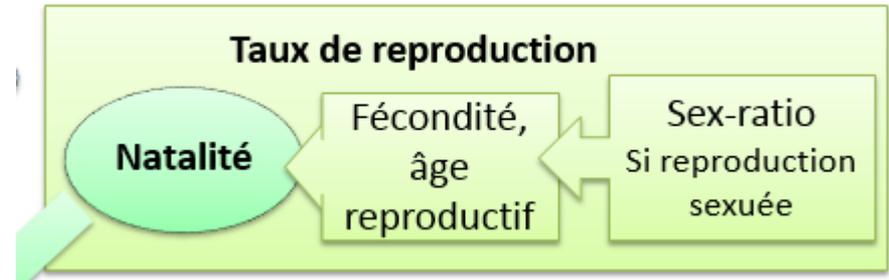


Tableau 53.2 Table de fécondité d'une cohorte de spermophiles de Belding (*Spermophilus beldingi*) de Tioga Pass

Âge (années)	Proportion de femelles ayant une portée	Nombre moyen d'individus par portée (mâles + femelles)	Nombre moyen de femelles par portée	Nombre moyen de rejetons femelles*
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00
1-2	0,65	3,30	1,65	1,07
2-3	0,92	4,05	2,03	1,87
3-4	0,90	4,90	2,45	2,21
4-5	0,95	5,45	2,73	2,69
5-6	1,00	4,15	2,08	2,08
7-8	1,00	3,85	1,93	1,93
8-9	1,00	3,85	1,93	1,93
9-10	1,00	3,15	1,58	1,58

Source: P. W. Sherman et M. L. Morton, Demography of Belding's Ground Squirrel, Ecology 65: 1617-1628 (1984).

* Le nombre moyen de rejetons femelles est la proportion de femelles ayant une portée multipliée par le nombre moyen de femelles par portée.

Campbell

La fécondité dépend de l'âge



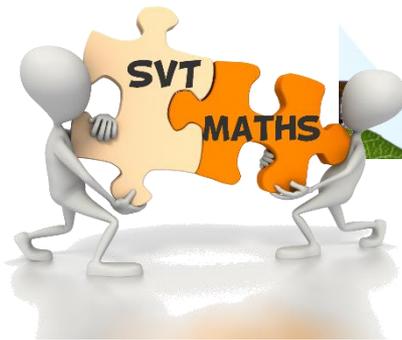
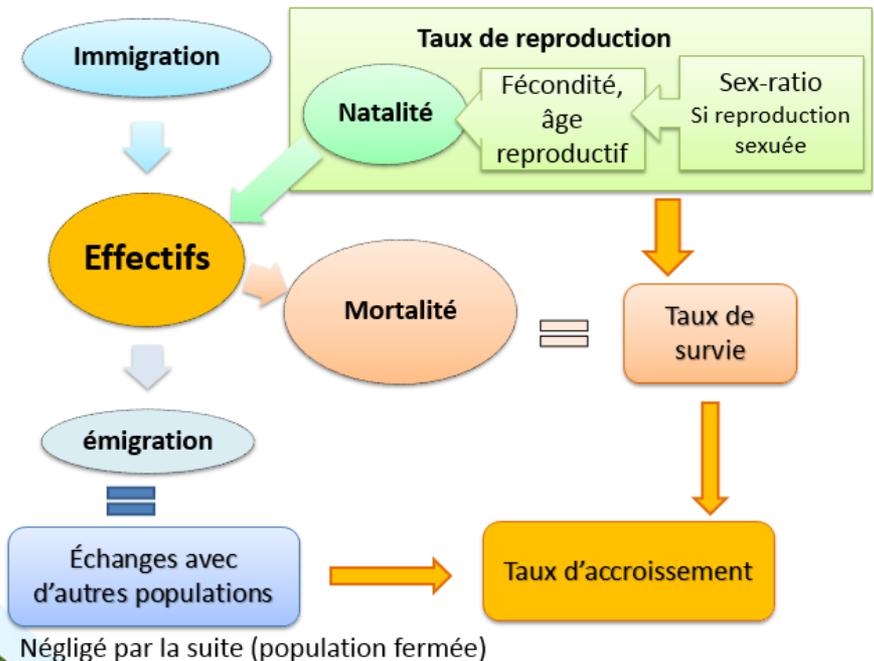


À retenir

En absence d'échange avec une autre population, les deux principaux facteurs qui déterminent la taille d'une population sont :

1. Le taux de survie des individus
2. Le taux de reproduction

-> on devrait pouvoir modéliser mathématiquement l'évolution des effectifs d'une population!



1 Une table de survie est organisée en classe d'âge parce que :

- 1 le taux de survie dépend de l'âge
- 2 on veut connaître le nombre de jeunes
- 3 on veut connaître l'âge maximum

2 Les organismes suivants ont une très forte mortalité juvénile (cochez les réponses vraies)

- 1 antilopes
- 2 blé
- 3 huitre
- 4 truite

4 Le taux de reproduction dépend

- 1 du sex ratio pour tous les organismes
- 2 du nombre divisions par unité de temps pour les bactéries et unicellulaires
- 3 de l'âge reproductif en cas de reproduction sexuée
- 4 du taux de natalité en cas de reproduction sexuée

5 le taux d'accroissement d'une population c'est:

- 1 son taux de natalité
- 2 son taux de survie
- 3 le taux de survie et le taux net d'immigration
- 4 les flux migratoires

1.2. les effectifs peuvent dépendre de...

12.1. Facteurs indépendant de la densité, qui ne dépendent que du biotope

121.1. Dans un milieu aux ressources illimitées, on peut calculer l'évolution temporelle des effectifs

Hyp : pas d'échanges avec une autre population

N= nombre d'individus de la population

B= nombre de naissances (birth)

M = nombre de morts

La variation d'effectifs d'une population fermée s'écrit : $\Delta N/\Delta t = B - M$



1.2. les effectifs peuvent dépendre de...

12.1. Facteurs indépendant de la densité, qui ne dépendent que du biotope

Quand le taux de natalité et de mortalité ne dépend que du milieu (conditions climatique, ressources) on dit qu'il est indépendant de la densité de population.

12.1.1. Dans un milieu aux ressources illimitées, on peut calculer l'évolution temporelle des effectifs

Hyp : pas d'échanges avec une autre population

N= nombre d'individus de la population

B= nombre de naissances (birth)

M = nombre de morts

La variation d'effectifs d'une population fermée s'écrit : $\Delta N/\Delta t = B - M$



Transformons cette équation grâce au taux d'accroissement par individu

- Taux de natalité par individu = $b = \text{nb de naissances (par saison reproductive)} / \text{effectif total} = B/N$
 $\Rightarrow B = \text{nb de naissances totales} = bN$
- Taux de mortalité par individu (pour la même période) = $m = M/N$
 $\Rightarrow M = mN$
- On s'intéresse au **taux d'accroissement par individu** = $r = b - m$.
si $r > 0$ la population s'agrandit
- on avait : $\Delta N / \Delta t = B - M = bN - mN$ d'où $\Delta N / \Delta t = rN$

Rappel : Les taux de natalité et de mortalité sont supposés ne dépendre que du milieu, et être **indépendants de la densité**

En absence de migration (ni émigration, ni immigration),
Et en présence de ressources illimitées,
l'accroissement instantané de la population peut s'écrire :

$$dN/dt = rN$$

Déduisez-en l'aspect de la courbe d'évolution temporelle de la population



121.2. Dans un milieu aux ressources illimitées, la population a théoriquement une croissance exponentielle

Pour pouvoir utiliser l'équation précédente sur plus d'une saison reproductive, il faut que :

- Les ressources du milieu soient illimitées : tous les individus ont accès à une nourriture abondante
- Les individus se reproduisent au maximum de leurs capacités reproductives, sans être influencés par la densité de population.

On a alors le taux maximal d'accroissement par individu par unité de temps $r = r_{\max}$

$$dN/dt = r_{\max} N \text{ ou } N'(t) = rN(t)$$

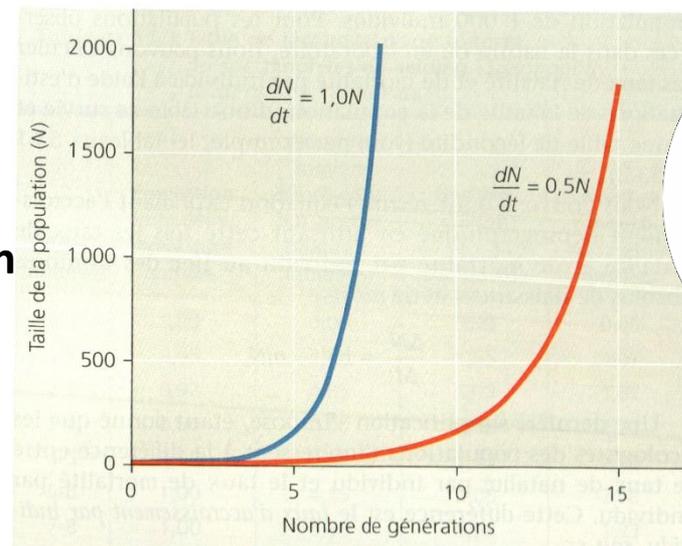
$$\text{Soit } N = N_0 \cdot e^{rt}$$

=> La croissance de la population est exponentielle!

On parle aussi de modèle de Malthus

temps de doublement $T = \ln 2 / r$

Campbell



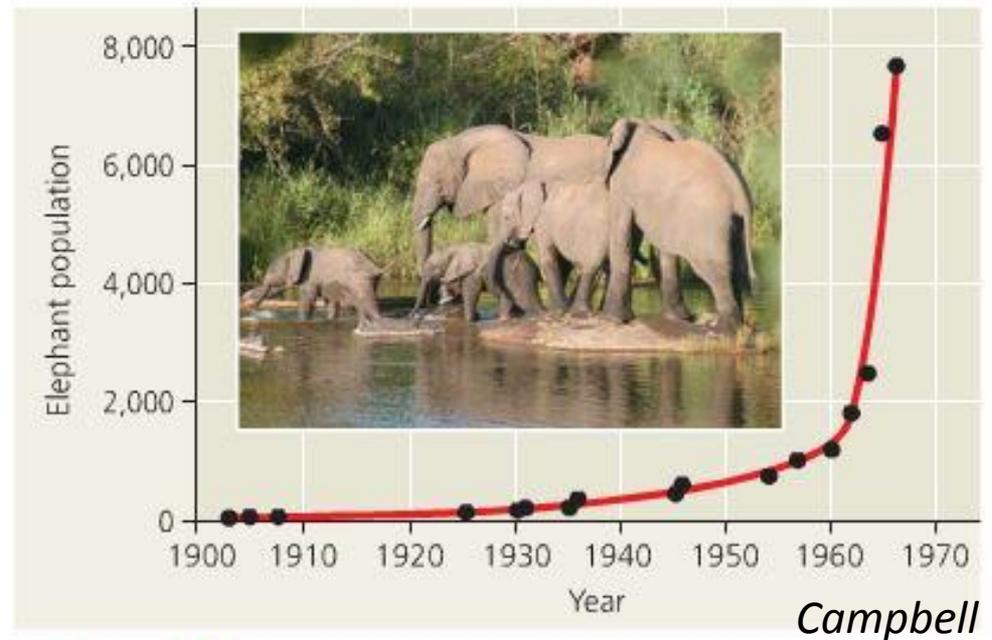
▲ **Figure 53.7** L'accroissement démographique selon le modèle exponentiel. Ce graphique compare la croissance de deux populations pour lesquelles les valeurs r_{\max} sont différentes.



Pas dans le poly

121.3. Une croissance exponentielle s'observe lors de l'introduction d'une espèce dans un milieu favorable.

- E coli dans un milieu de culture : division toutes les 20 minutes en début de culture.
- Introduction d'éléphants dans un parc d'Afrique du sud, protégés du braconnage. La croissance exponentielle a amené les gestionnaires du parc à donner les éléphants à d'autres parcs et à recourir à la contraception !



▲ **Figure 53.8** Exponential growth in the African elephant population of Kruger National Park, South Africa.

Une espèce à croissance exponentielle dans un biotope est une espèce **invasive**



Invasion de lapins en Australie au XIXème siècle



En 1859, Thomas Austin, un britannique du sud de l'Australie importe pour la chasse **12 couples** de lapins de garenne (*Oryctolagus cuniculus*). Cinquante ans plus tard, **600 millions** de ces animaux ont colonisé 60 % du territoire à la vitesse moyenne de 110 kilomètres par an : une des pires catastrophes de l'Australie!

Les lapins n'ont pas, en Australie, d'ennemi naturel. Ils dévorent la végétation, causant une crise agricole et écologique. Les wallabies (petits kangourous) sont menacés par le manque de nourriture. Toutes les espèces voient leur population chuter...

Les mesures prises pour stopper l'invasion

1. Construire 1.833 km de grillages mais le lapin creuse dessous ! Une deuxième et une troisième barrière ne suffiront pas;
2. Introduire le renard, prédateur du lapin ... qui mange les petits marsupiaux ;
3. Utiliser des virus du lapin : la myxomatose efficace dans un premier temps, mais... les lapins deviennent résistants ;
4. Importer la puce espagnole -> échec
5. les dingos, un autre problème australien !



Montrez qu'il s'agit
d'une croissance
exponentielle



Réinvestir

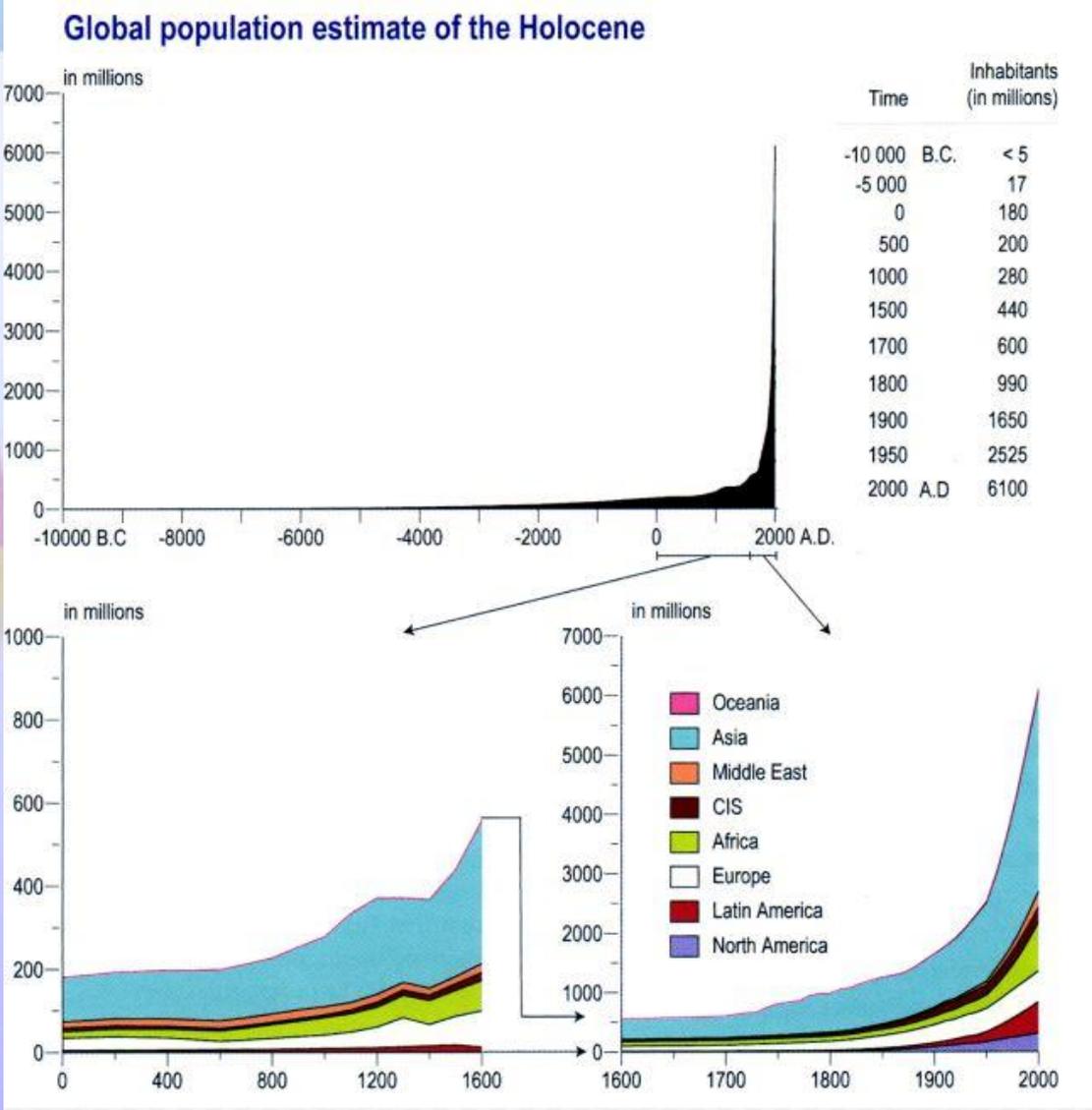




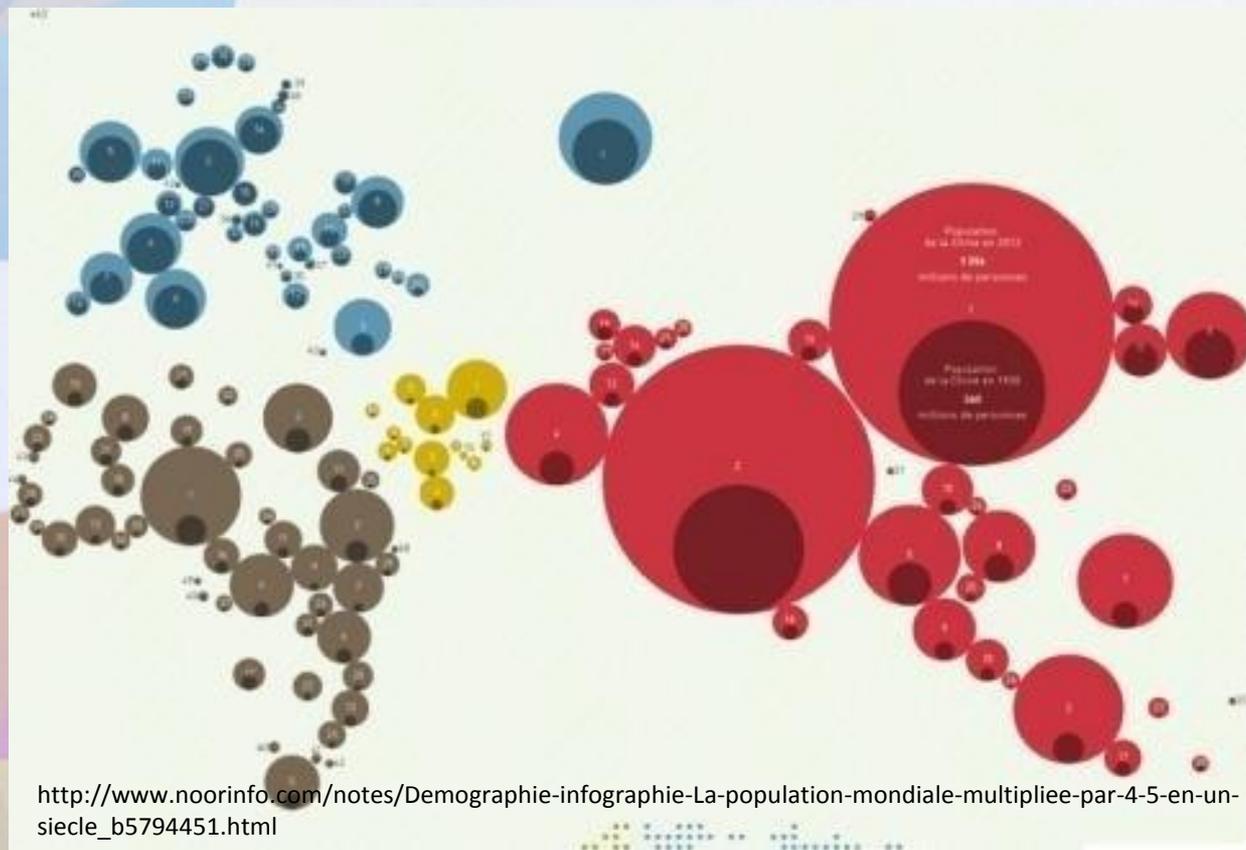
L'humain, une espèce invasive?



Thomas Malthus
1766-1834



l'évolution de la population mondiale, entre 1900 et 2012



Les pays sont représentés par leur seule masse démographique.

aujourd'hui **7,2 milliards** sur la planète

9,6 milliards en 2050.

Capacité limite de la Terre estimée entre 10 et $15 \cdot 10^9$

L'estimation dépend de **l'empreinte écologique**, de l'accès à l'eau, de la répartition inégale de la nourriture, de la transformation de terres agricoles en construction ou productions non alimentaires, etc.

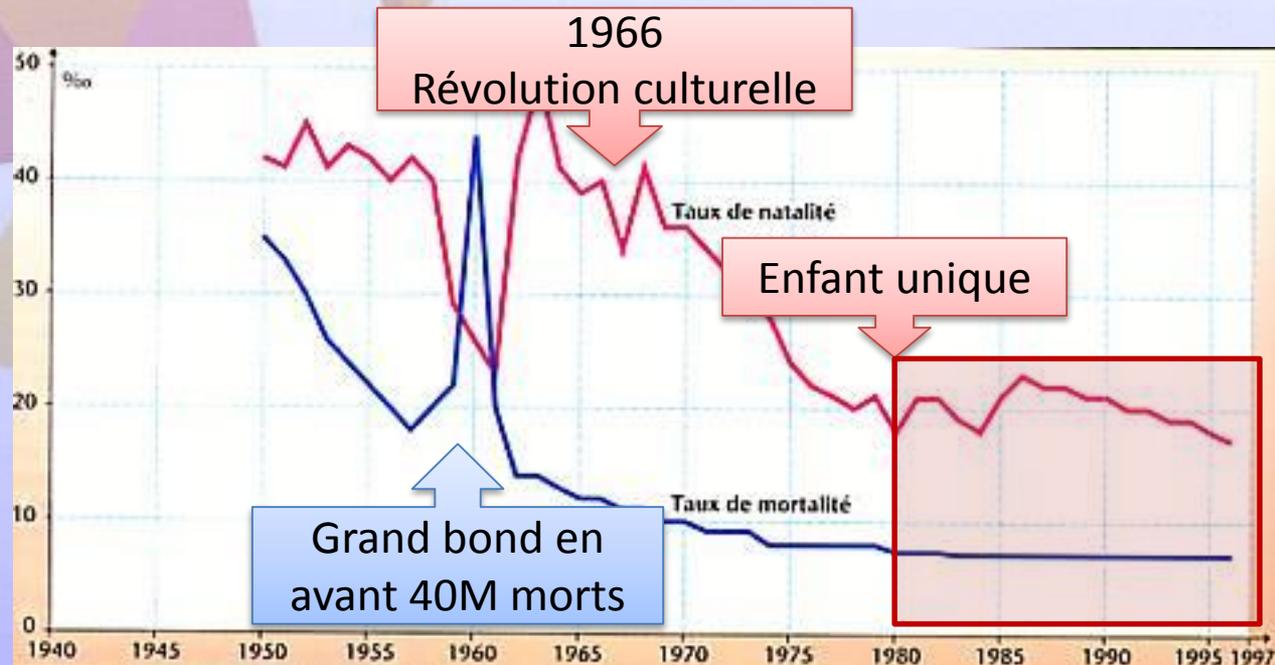


Chine : la politique de l'enfant unique

- En 1979. Depuis 2013, les couples comprenant une personne elle-même enfant unique sont autorisés à avoir deux enfants.

Dans le cas de naissances illégales, des pénalités sont prévues : amendes et non délivrance de livret de résidence permettant, entre autres, l'accès à la scolarité, etc.

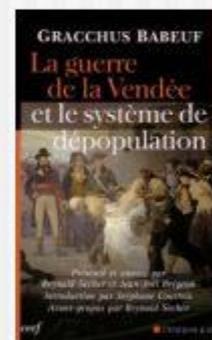
Il manque des filles : 117 garçons pour 100 filles (taux normal 105)





Les prémices en France

*Dans **La Guerre de Vendée et le système de dépopulation** (1794) Gracchus Babeuf accuse la Convention nationale (21 septembre 1792-26 octobre 1795) d'avoir délibérément organisé un génocide en Vendée :*



Sur la justification des massacres... « Que d'ailleurs un dépeuplement était indispensable, parce que, calcul fait, la population française était en mesure excédente des ressources du sol, et des besoins de l'industrie utile: c'est-à-dire, que les hommes se pressaient trop chez nous pour que chacun y pût vivre à l'aise. »



6 dans un milieu ayant de fortes ressources et pas de prédateurs, on introduit une petite population.

1 l'accroissement de cette population sera indépendante de la densité de population

2 l'évolution de cette population sera entièrement décrite par le taux de natalité

3 l'évolution de cette population sera entièrement décrite par le taux d'accroissement individuel

4 la population double tous les ans

7 Une populations suit la loi $dN/dt = rN$ à conditions que:

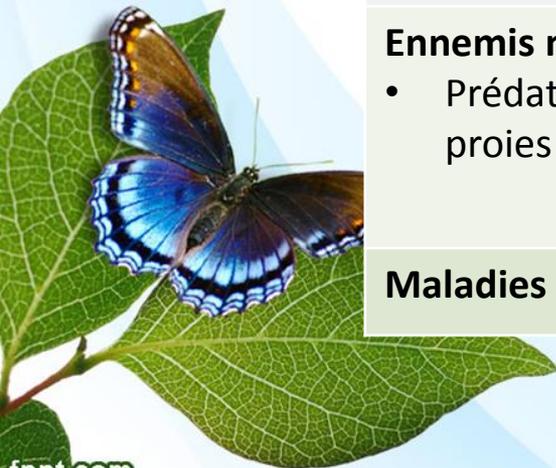
- 1 les ressources soient illimitées
- 2 le taux de reproduction r soit très élevé
- 3 il n'y a pas de prédateurs
- 4 il n'y a ni émigration, ni immigration



1.2. les effectifs peuvent dépendre de...

12.2. Facteurs dépendant de la densité

Facteurs <u>ind</u> épendant de la densité	Facteurs dépendant de la densité
Climat : <ul style="list-style-type: none">• Lumière, Température• Humidité, Vent• Sol• Qualité de la nourriture	Compétition intraspécifique : <ul style="list-style-type: none">• Quantité de nourriture• Surpopulation (Réduction de la fertilité)• Formation de territoires• Migrations• Cannibalisme
Ennemis non spécifiques : <ul style="list-style-type: none">• Prédateurs préférant d'autres proies	Ennemis spécifiques : <ul style="list-style-type: none">• Prédateurs• parasites
Maladies non contagieuses	Maladies contagieuses



122,1) La croissance n'est exponentielle qu'au début ...

Dans le modèle exponentiel, on suppose que le milieu peut nourrir et abriter les individus, quelque soit leur nombre et la densité de population. Cette hypothèse n'est vraie **que tant que le milieu n'est pas densément peuplé.**

Modélisons maintenant ce qui se passe après la première phase de croissance exponentielle.

122,2) ...car les ressources ne sont jamais « illimitées »

- Au début de l'introduction d'une population dans un milieu, les ressources excèdent très largement les besoins -> modèle exponentiel
- Puis la part disponible par individu s'amenuise -> cela limite le nb d'individus qui peuvent occuper un même biotope.



Imaginez quels sont les facteurs dépendant de la densité de population et qui peuvent limiter la taille des populations



Hypothèses

122,3) La capacité limite du milieu donne le nb max d'individus pouvant s'y développer durablement

- Définition : Capacité limite du milieu = **K** = capacité de charge du milieu = **nb max d'individus d'une espèce capables de vivre dans un milieu au cours d'une période, sans dégradation du biotope.**
- Si effectifs > K => **surpopulation** -> épuisement des ressources
- K varie dans le temps et l'espace, en fonction des ressources disponibles

Limitation par la nourriture:
éléphants du Parc d'Afrique du Sud en 1970 endommageaient la végétation -> risque de famine si on avait pas « exporté » des éléphants vers d'autres parcs.



LPO

Limitation par l'habitat + site reproduction:

Falaises calcaires

Le vautour fauve peut nicher sur n'importe quel substrat rocheux. Par leur abondance de corniches et cavités en parois, les massifs calcaires sont particulièrement favorables à l'installation des colonies nicheuses rupestres.

Altitude

Le vautour fauve prospecte couramment des côtes à la haute montagne. Pour nicher il est nécessaire que les falaises abondent entre le niveau de la mer et la moyenne montagne. Des couples de vautours fauves nichent jusqu'à la limite supérieure des forêts,

Vautour Fauve Alpes (réintroduction)



Gorges de la Jonte - photo : B. Berthémy ©

122,4. Le modèle logistique * décrit le ralentissement de la croissance lié à la densité

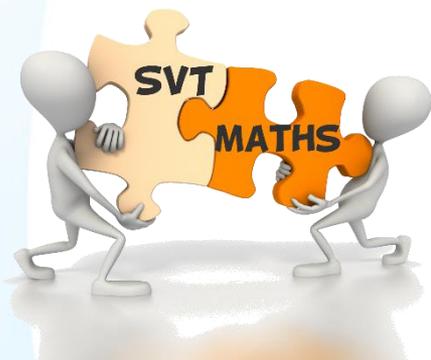
- Hypothèse fondamentale : le taux d'accroissement par individu (r), se rapproche de 0 quand la taille de la population (N) se rapproche de la capacité limite du milieu (K).
- Il faut donc modifier le modèle exponentiel de façon à ce que le taux d'accroissement dépende de la densité de la population et diminue quand celle-ci se rapproche de K .
- $K-N$ est le nb d'individus qui peuvent encore se rajouter au milieu (tant que $N < K$) et $(K-N)/K = 1-N/K$ représente le pourcentage de K qui admet encore un accroissement démographique.
- Bien sûr quand $N \rightarrow K$ cette expression $\rightarrow 0$ = arrêt de croissance d'une population qui se rapproche de la capacité limite du milieu.

Quand $N \ll K$, cette expression $\rightarrow 1$ = on retrouve la loi exponentielle

$$\frac{dN}{dt} = r_{\max} N \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

Terme qui montre l'effet néfaste de la densité de peuplement





Calcul de l'équation de la courbe logistique

On peut calculer explicitement les solutions de l'équation différentielle logistique $N' = rN(1 - \frac{N}{K})$ de la façon suivante :

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \left(1 - \frac{N(t)}{K}\right)$$

peut se réécrire

$$\frac{1}{N(t) \left(1 - \frac{N(t)}{K}\right)} dN(t) = r dt$$

Mais comme on a l'égalité $\frac{1}{N(1 - \frac{N}{K})} = \frac{1}{N} + \frac{\frac{1}{K}}{1 - \frac{N}{K}}$, l'équation devient

$$\frac{dN(t)}{N(t)} + \frac{\frac{1}{K} dN(t)}{1 - \frac{N(t)}{K}} = r dt$$

Il en résulte que, **aussi longtemps que la population reste inférieure à sa capacité limite du milieu K , elle ne cesse de croître** (puisque $N_0 > 0$).

Et on calcule facilement la limite, quand t tend vers l'infini, de l'expression trouvée pour la solution $N(t)$, qui vaut précisément K .

A l'inverse, si **$N(t)$ est supérieure à cette capacité, $N(t)$ décroît** (puisque $N_0 < 0$) et on vérifie facilement qu'elle tend également vers K .

L'examen du graphe de la fonction $f(N) = rN(1 - N/K)$, qui représente la dérivée de N , renseigne aussi sur **le taux de croissance maximal** d'une population soumise à une croissance logistique. En effet, le maximum de f est atteint **pour $N = 0,5 K$** , ce qui signifie que c'est lorsque la taille de la population est égale à la moitié de sa capacité biotique que sa croissance est la plus forte.

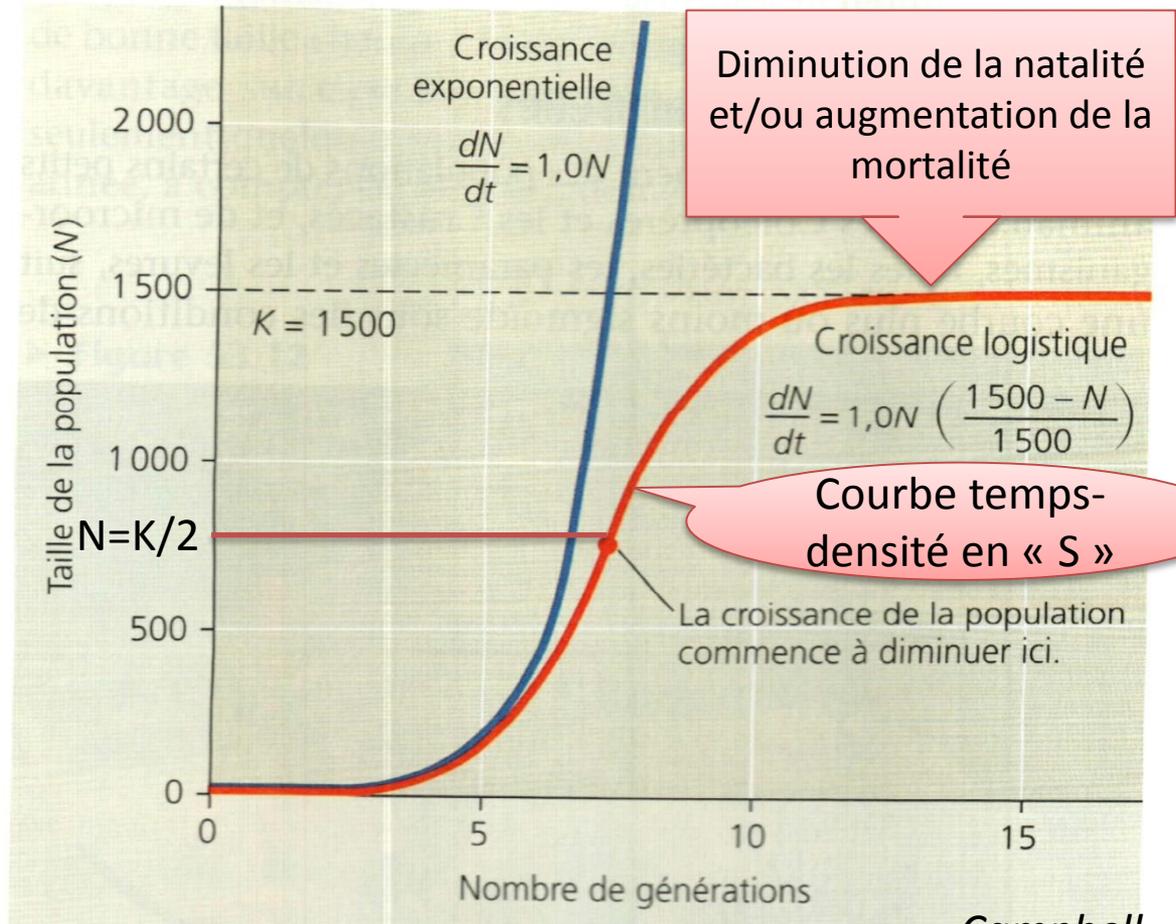


Courbe de croissance logistique***



À retenir :

La densité de population réduit son taux d'accroissement quand on se rapproche de la capacité limite du milieu



Campbell

▲ **Figure 53.9** La prédiction de l'accroissement démographique au moyen du modèle logistique. Le taux d'accroissement démographique diminue au fur et à mesure que la taille de la population (N) s'approche de la capacité limite du milieu (K). La ligne rouge représente l'accroissement





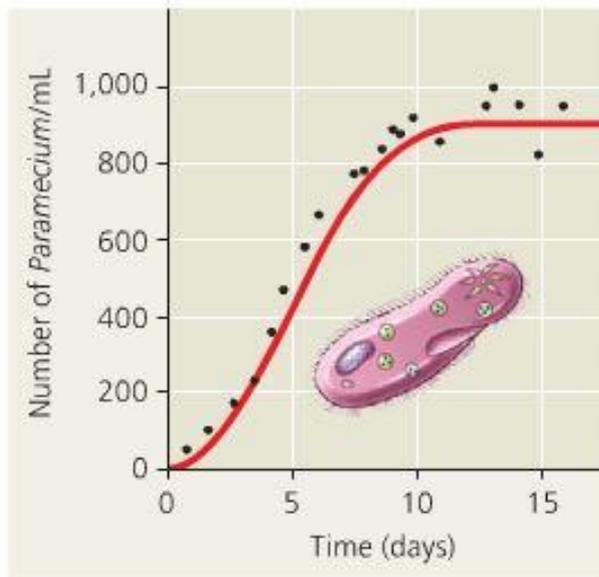
Exercice concours

Le parc Kruger à la frontière entre l'Afrique du Sud et le Mozambique a été colonisé par un petit groupe de 10 éléphants en 1905, vraisemblablement venu du Mozambique. Des mesures de protection strictes, à la fois des animaux et de leur habitat furent décidées dans ce parc et maintenues tout au long du 20^e siècle. Elles permirent une **croissance naturelle de cette population jusque dans les années 60**, où le parc devint surpeuplé, et les baobabs ravagés. Pour décider de l'attitude à adopter pour gérer au mieux les populations de ce parc, les responsables eurent recours à un modèle mathématique appelé modèle logistique.

Montrez que ce modèle logistique peut bien rendre compte de l'évolution de cette population.

t	1905	1923	1930	1939	1945	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Nb d'individus	10	13	29	450	980	3010	5800	6500	7400	7200	7310

122,5. Sans prédation ni compétition, les populations unicellulaires suivent le modèle logistique ...



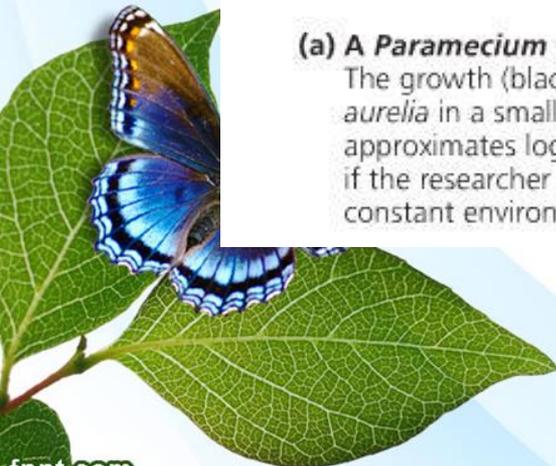
(a) A *Paramecium* population in the lab. The growth (black dots) of *Paramecium aurelia* in a small culture closely approximates logistic growth (red curve) if the researcher maintains a constant environment.

Campbell

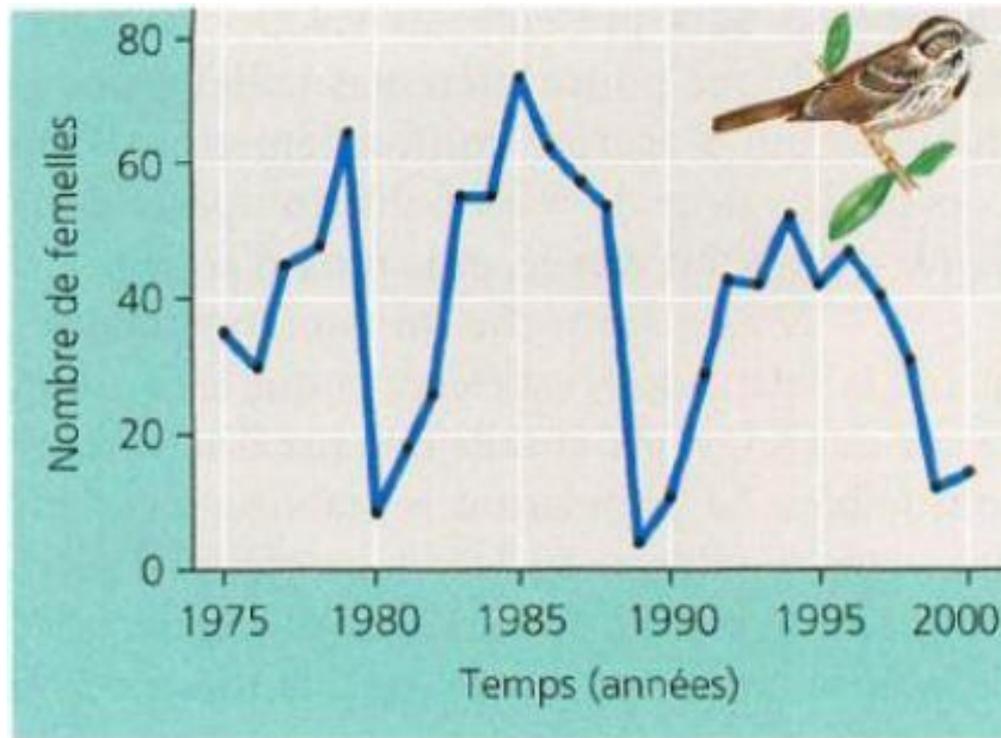
Bon modèle pour les cultures et élevages de :

- Bactéries
- Unicellulaires : levures, daphnies, paramécies
- Petits animaux : coléoptères, crustacés.

Application : permet de prédire la quantité de cellules en fonction du temps de culture -> industries agro-alimentaire et pharmaceutique (levures, bactéries lactiques, etc)



... à conditions que le biotope reste stable...



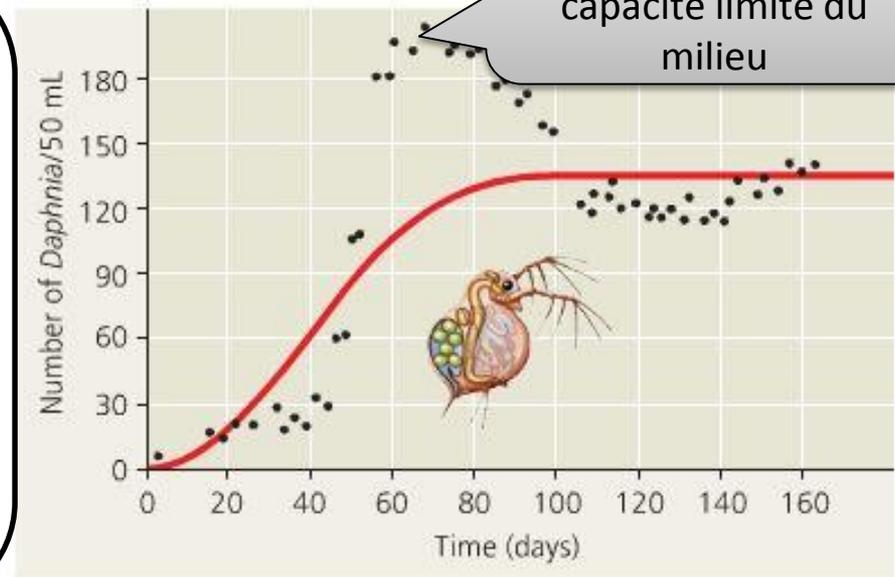
(c) Population de bruants chanteurs (*Melospiza melodia*) dans son habitat naturel. La population de bruants chanteurs femelles qui nichent sur l'île de Mandarte, en Colombie-Britannique, diminue périodiquement, en raison d'hivers rigoureux. Ainsi, l'accroissement démographique ne se conforme pas bien au modèle logistique.

Campbell
Ancienne édition
(supprimé dans la
nouvelle)



... mais l'ajustement n'est pas instantané

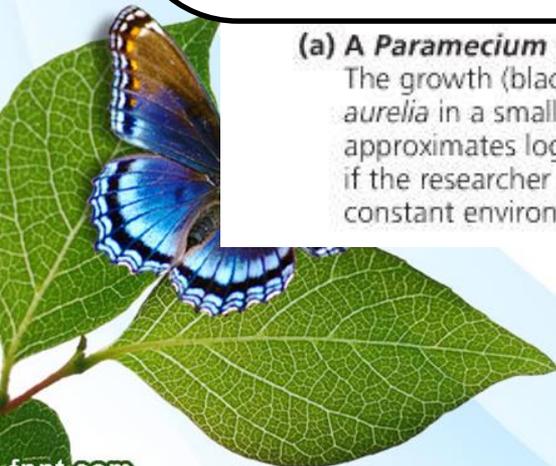
Le modèle suppose un ajustement instantané de la taille de la population aux capacités du milieu. Or le manque de nourriture ralentit la reproduction, mais les femelles (ou cellules) ont des réserves -> dépassement temporaire de la capacité limite du milieu K.



(a) A *Paramecium* population in the lab. The growth (black dots) of *Paramecium aurelia* in a small culture closely approximates logistic growth (red curve) if the researcher maintains a constant environment.

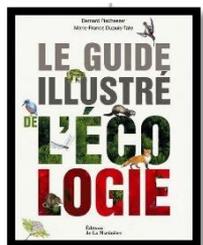
(b) A *Daphnia* population in the lab. The growth (black dots) of a population of water fleas (*Daphnia*) in a small laboratory culture does not correspond well to the logistic model (red curve). This population overshoots the carrying capacity of its artificial environment before it settles down to an approximately stable population size.

Campbell

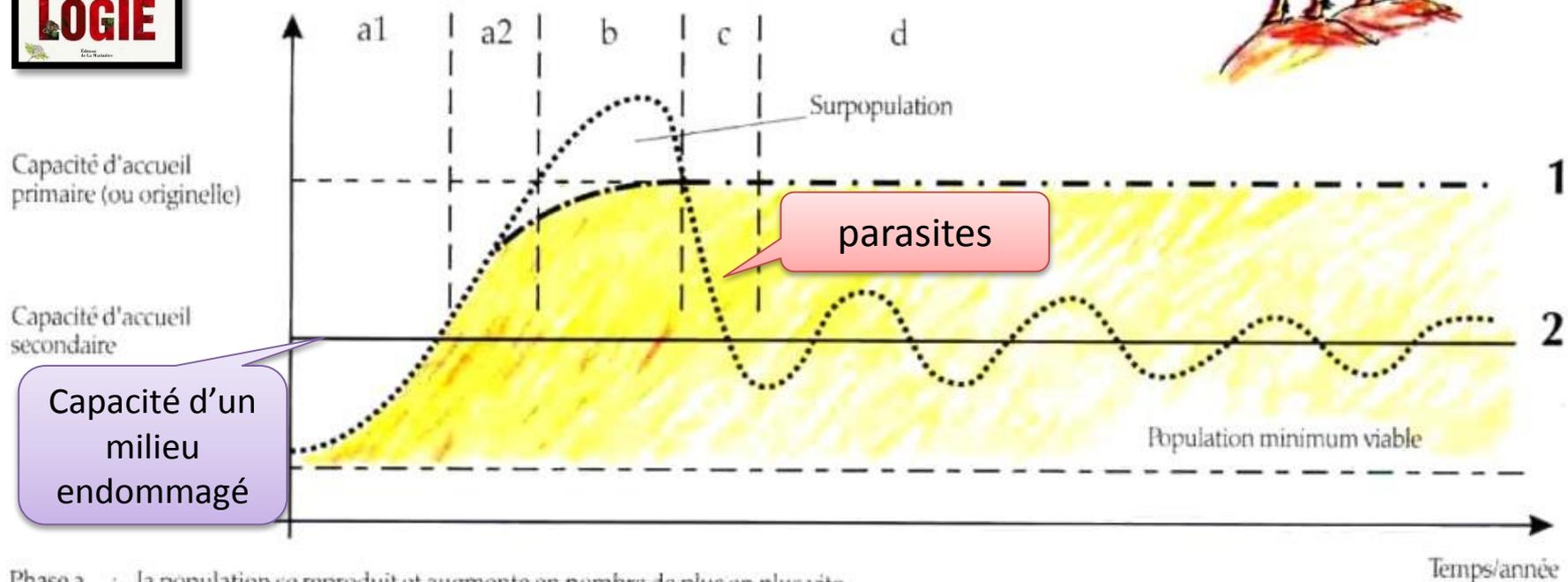


Le retard d'ajustement modifie la capacité limite du milieu

Exemple : courbe de croissance cyclique d'une population d'ongulés sauvages en situation naturelle et sans prédateur (d'après Riney 1957)



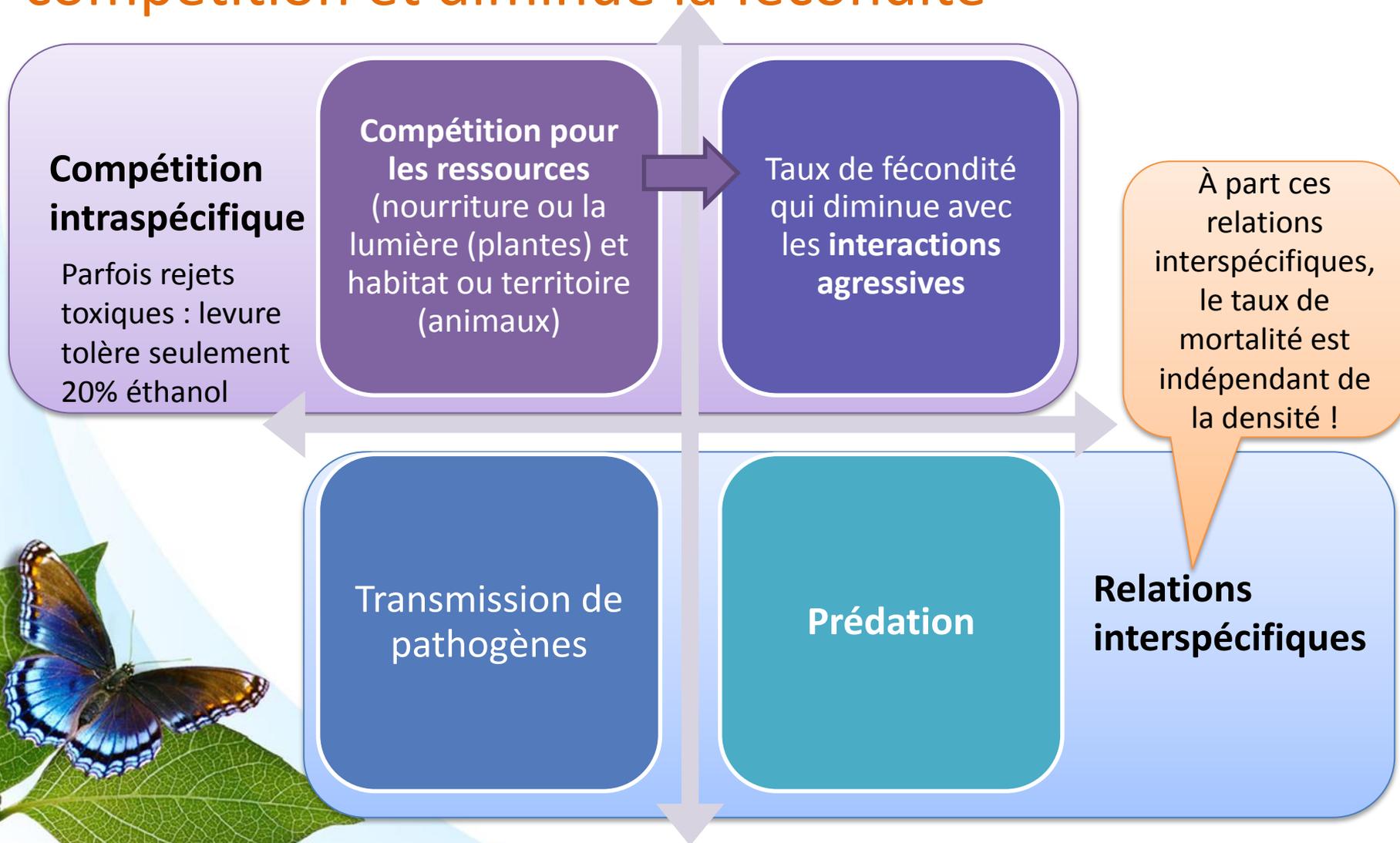
Nombre d'individus/km²



- Phase a : la population se reproduit et augmente en nombre de plus en plus vite.
- Phase a1 : croissance lente. Phase a2 : croissance active.
- Phase b : la population dépasse largement la capacité d'accueil du milieu qui se dégrade.
- Phase c : l'équilibre écologique est rattrapé par une mortalité brutale.
- Phase d : la population se maintient par variation autour de la capacité d'accueil dégradée.

Espace de liberté pour effectuer un choix d'option de gestion : toute option de gestion est biologiquement possible si la densité n'excède jamais la capacité d'accueil primaire et ne tombe jamais au-dessous du niveau minimum viable de la population.

122.6. La densité de population accroît la compétition et diminue la fécondité

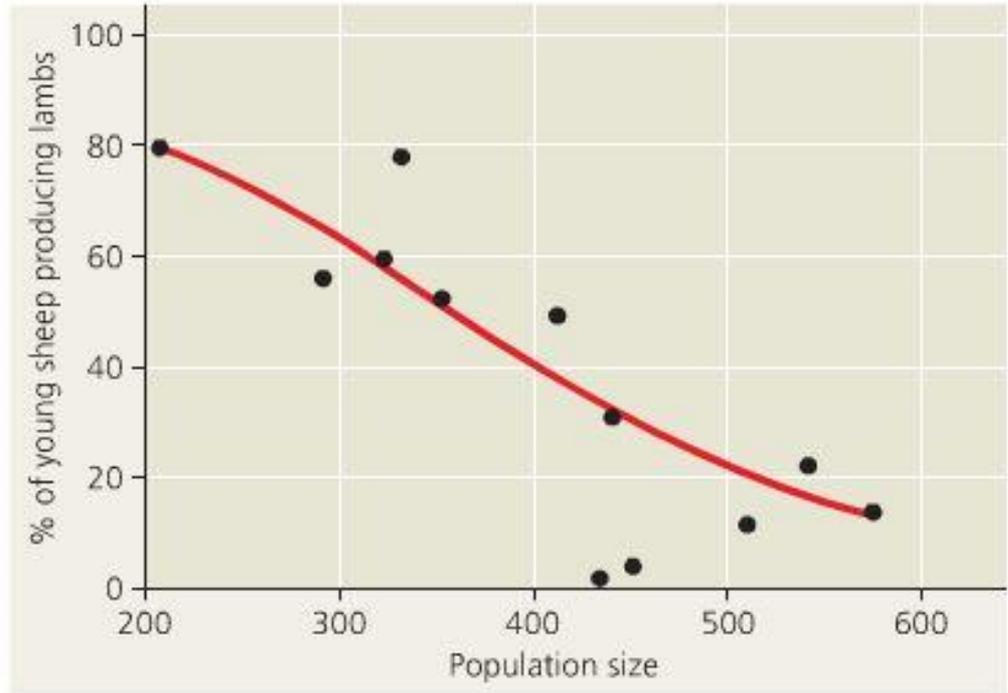


Densité et fécondité



Le taux de mortalité est indépendant de la densité car il n'y a pas de prédateurs sur l'île.

% de jeunes brebis produisant des agneaux



▲ **Figure 53.16 Decreased reproduction at high population densities.** Reproduction by young Soay sheep on Hirta Island drops dramatically as population size increases.

Campbell

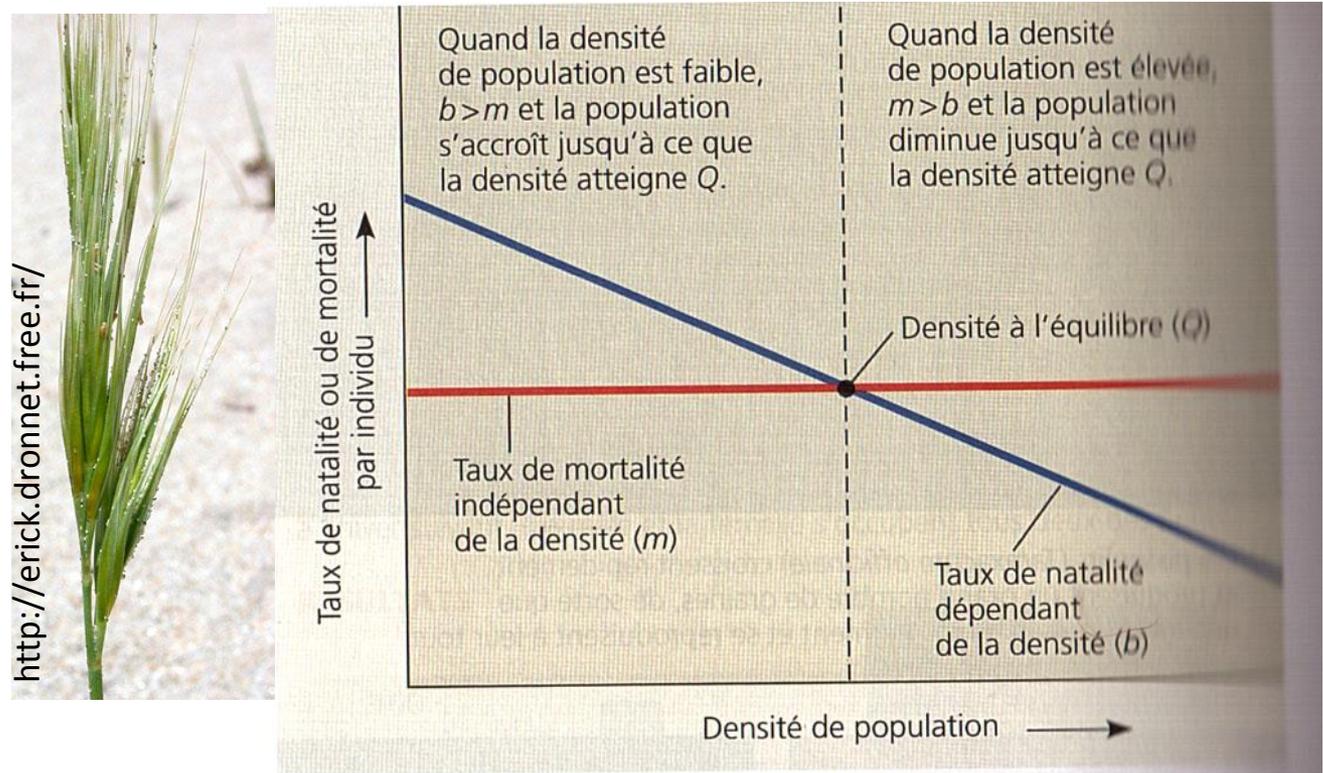


Interprétez les fluctuations de la population de moutons de Soay

Modèle de Watkinson et Harper : Le taux de mortalité est indépendant de la densité et le taux de natalité est dépendant de la densité.

Vulpia fasciculata
(Poacée)

Chez les plantes, c'est la survie des plantules qui est sensible à la densité.



<http://erick.dronnet.free.fr/>

▲ **Figure 53.15** La détermination du point d'équilibre de la densité de population. Ce modèle graphique simple ne tient compte que des taux de natalité et de mortalité (il suppose que les taux d'immigration et d'émigration sont soit nuls, soit égaux). Dans cet exemple, le taux de natalité varie selon la densité de population, tandis que le taux de mortalité est constant. Au point de densité à l'équilibre (Q), les taux de natalité et de mortalité s'équivalent.

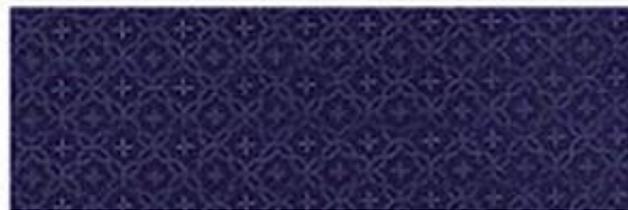
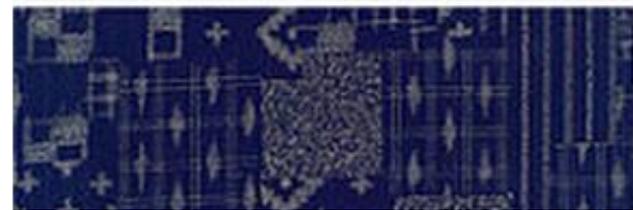
Campbell





Conclusion sur l'évolution d'une population fermée sans prédation

- Les facteurs du milieu sont indépendants de la densité et déterminent le taux de survie
 - Nourriture pour les animaux et unicellulaires, sels minéraux et lumière pour les plantes
 - Abri et territoire
 - Aléas climatiques, agents pathogènes
 - **> L'effet du biotope est pris en compte dans le modèle de croissance exponentiel**
- La densité fait diminuer la fécondité par la compétition intraspécifique
 - Par des interactions agressives et des effets hormonaux, la fécondité chute (principalement chez les dominés dans les sociétés hiérarchisées),
 - cela bien se produit avant que la compétition pour la nourriture n'entraîne de surmortalité.
 - **L'effet de la compétition intraspécifique sur la fécondité est pris en compte dans le modèle de croissance logistique.** (même si ce modèle ne fait aucune hypothèse sur les causes du ralentissement démographique)



8 la capacité limite du milieu est :

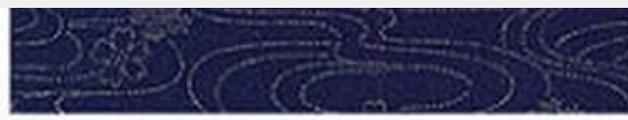
- 1 la quantité de ressources qu'il contient
- 2 la quantité de nourriture qu'il contient
- 3 le nombre maximum d'individu qui peut y vivre
- 4 son seuil de dégradation

9 la modèle logistique est

- 1 un modèle de croissance exponentielle
- 2 un modèle de croissance exponentielle qui ralentit en se rapprochant de la capacité limite du milieu
- 3 la loi $dN/dt = rN$
- 4 la loi $dN/dt = rN - K$

10 Le principal effet de l'augmentation de la densité de population est (1 seule réponse)

- 1 une diminution de la disponibilité de l'habitat
- 2 une augmentation de la prédation
- 3 une réduction de la fécondité
- 4 une diminution de la disponibilité de la nourriture



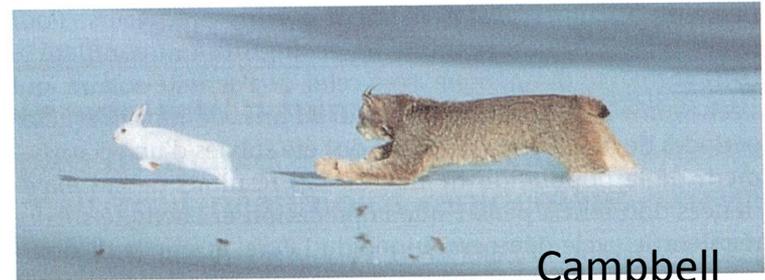
[1.2. les effectifs peuvent dépendre de...]

12.3. Facteurs dépendant de la prédation

123.1) Dans les populations naturelles, il y a souvent de grandes fluctuations d'effectifs à cause de la prédation : on parle de **dynamique** des populations.

Le lynx (*Lynx canadensis*) a pour proie quasi exclusive le lièvre à raquettes d'Amérique (*Lepus americanus*).

Méthode : fourrures des trappeurs vendues dans le port de la côte Est pour exportation vers l'Europe.



Campbell

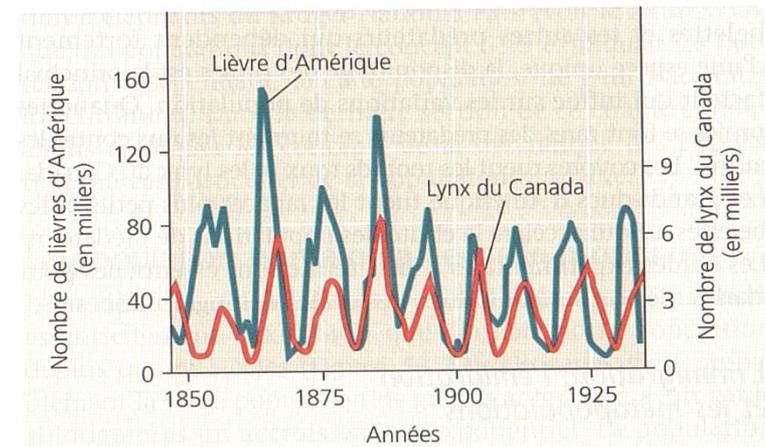


Quels peuvent être les biais de cette méthode?

Compétence : esprit critique

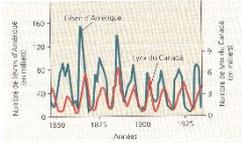


Compétence : hypothèses



▲ **Figure 53.19** Les cycles démographiques du lièvre d'Amérique et du lynx du Canada. L'effectif des populations se fonde sur le nombre de peaux vendues par les trappeurs à la Compagnie de la Baie d'Hudson.

? Qu'observez-vous à propos de la relative correspondance des pointes de population de lièvres et de lynx? Qu'est-ce qui pourrait expliquer cette observation?



A. Figure 53.19 Les cycles démographiques du lièvre d'Amérique et du lynx du Canada. Cette illustration illustre les cycles de population des lièvres et des lynx observés par les chercheurs à la Concession de la Bore d'Alaska.

Qu'observe-t-on à propos de la relation temporelle des pics de population de lièvre et de lynx? Pourquoi les cycles de population des lièvres et des lynx ont-ils disparu?

2 hypothèses pour expliquer ces cycles de 10 ans

1. Pénurie d'alimentation hivernale

- Hiver lièvre se nourrit de brindilles de saule et de bouleau
- Faiblesse de l'hyp : pourquoi arbres auraient un cycle de 10 ans?
- Exp sur 20 ans avec apport de nourriture aux lièvres -> nb de lièvre a triplé, mais même cycle de 10ans => la pénurie de nourriture n'est pas la cause principale des fluctuations
- Colliers émetteurs pour retrouver immédiatement les lièvres morts -> 90% tués par des prédateurs, aucun mort de faim

2. Interactions prédateur/proie

- hyp: Qd le lièvre prolifère, cela facilite la croissance de la population de prédateurs => réduction de la population de proie -> famine du prédateur + compétition entre prédateurs (entre lynx + les coyotes attaquent les lynx) -> déclin de la population de lynx
- expérience d'exclusion des prédateurs par barrière électrique + nourriture en excès -> disparition totale des cycles
- (si seulement exclusion des prédateurs, il reste des fluctuations)

Il existe des fluctuations cycliques des populations d'un prédateur quand il est spécialisé sur une proie exclusive, et réciproquement.



123.2) Évolution des populations de proies selon le modèle de Lotka et Volterra

Notations :

P= effectifs de la population de prédateurs

H= effectifs de la population de proie (souvent des Herbivores, comme le lièvre)

r_H = taux d'accroissement individuel de la population de proies, en l'absence de prédateur

- Hyp1 : On garde comme hypothèse **une croissance exponentielle de la population de proies en absence de prédateur**, et on suppose –de façon simpliste- que la **mortalité de la proie n'est due qu'au prédateur**.

Ainsi, $dH/dt = r_H H - \text{mortalité due au prédateur}$

- Hyp 2 : la **mortalité due au prédateur peut être décrite simplement par la loi d'action de masse**, c'est-à-dire que la prédation est proportionnelle à PH, car les effectifs des 2 populations déterminent la probabilité de rencontre entre 1 proie et son prédateur.

On note p la proportion de rencontre proie-prédateur qui se sont soldées par la mort de la proie. C'est **l'efficacité du prédateur**.

$$p \in [0,1]$$

$$\frac{dH}{dt} = r_H H - b_H H P$$

Variation de la taille de la population de proie ayant un seul prédateur

Croissance exponentielle sans prédateur

Mortalité proportionnelle à la fréquence des rencontres et l'efficacité du prédateur.
= « terme de prédation »



Alfred James Lotka 1880-1949



Vito Volterra 1860-1940

1ère loi de Volterra

Analyse de l'évolution de la population de proies selon Lokta-Voltera



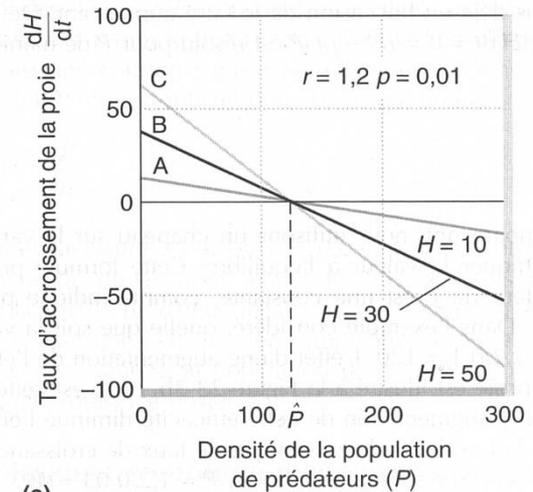
1-que représentent les ordonnées à l'origine?

2-Pourquoi les valeurs ABC sont-elles différentes pour des populations de proies de taille initiale différente?

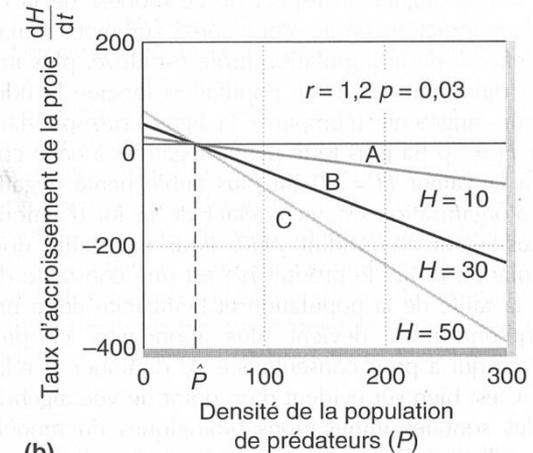
3- Démontrez que à l'équilibre, c'est-à-dire quand la population de proies est stable, la population de prédateur aura toujours le même effectif, quelque soit l'effectif initial de la population de proies!



Analyse de données,
raisonnement



(a)



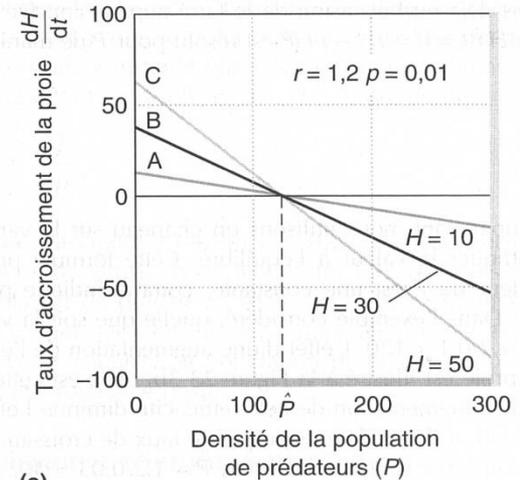
(b)

Figure 23-3

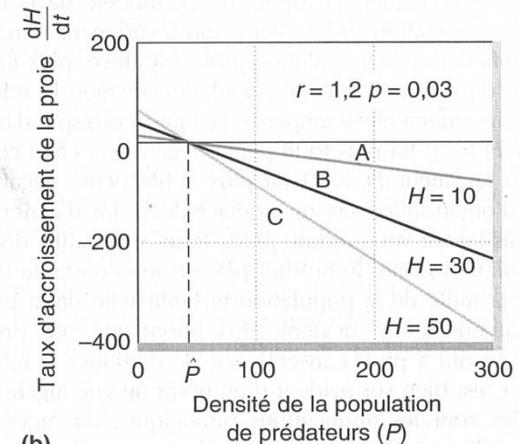
(a) Taux d'accroissement instantané d'une population proie, dH/dt (axe vertical), avec l'augmentation de densité du prédateur (axe horizontal) pour trois densités de proies (ligne A, $H = 10$; ligne B, $H = 30$; ligne C, $H = 50$) et des valeurs de paramètres $p = 0,01$, $r = 1,2$. L'intersection de chaque ligne avec l'axe vertical indique le taux de croissance de la population proie en l'absence de prédateurs, rH (A = 12, B = 36, C = 60). $\hat{P} = r/p = 1,2/0,01 = 120$. (b) Même relation qu'en (a) excepté que $p = 0,03$. Notez que l'augmentation d'efficacité du prédateur, p , diminue la valeur d'équilibre, \hat{P} .

La taille de la population de proies détermine sa résistance face aux prédateurs.

- Pour un faible nombre de prédateur (par ex $P=50$), la population de proies la plus nombreuse connaît le plus fort taux d'accroissement, et se maintiendra dans le milieu.
- Par contre, les populations les plus nombreuses sont celles qui sont le plus sensibles à l'augmentation du nombre de prédateur quand celle-ci dépasse la valeur d'équilibre \hat{P} (car la pente de réduction des effectifs est $-b_H H$)



(a)



(b)

Figure 23-3

(a) Taux d'accroissement instantané d'une population proie, dH/dt (axe vertical), avec l'augmentation de densité du prédateur (axe horizontal) pour trois densités de proies (ligne A, $H=10$; ligne B, $H=30$; ligne C, $H=50$) et des valeurs de paramètres $p=0,01$, $r=1,2$. L'intersection de chaque ligne avec l'axe vertical indique le taux de croissance de la population proie en l'absence de prédateurs, rH (A = 12, B = 36, C = 60). $\hat{P} = r/p = 1,2/0,01 = 120$. (b) Même relation qu'en (a) excepté que $p=0,03$. Notez que l'augmentation d'efficacité du prédateur, p , diminue la valeur d'équilibre, \hat{P} .

123.3) Évolution des populations de prédateurs selon le modèle de Lokta et Volterra

- Hyp : le taux de natalité des prédateurs est proportionnel au nombre de proies capturées.
- Seule une partie de l'énergie contenue dans les proies sera convertie en jeunes; elle est notée « a » $a \in [0,1]$
- D'où $\frac{dP}{dt} = a b_H HP - mortalité des prédateurs$
- On suppose que le taux de mortalité des prédateurs est constant $= b_p P$

$$\frac{dP}{dt} = a b_H HP - b_p P$$

La population de prédateurs est stable pour une population de proies $\hat{H} = \frac{b_p}{a b_H}$

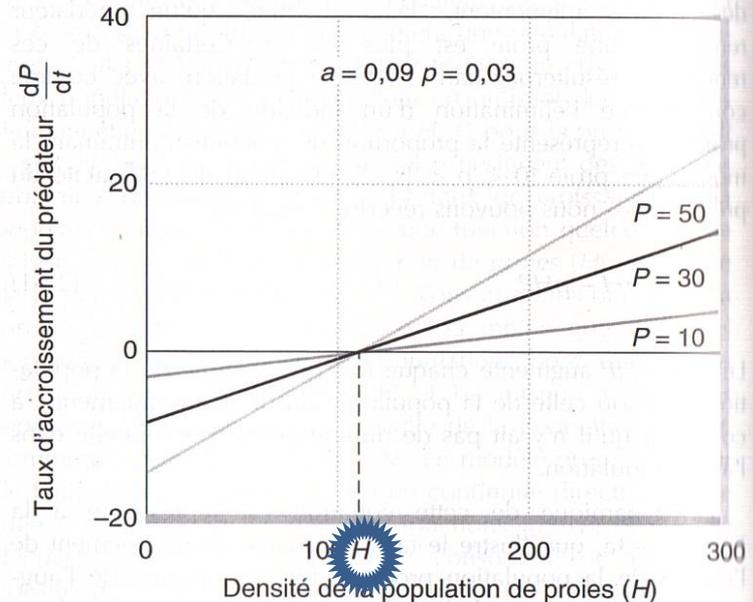


Figure 23-4

Taux d'accroissement instantané d'une population de prédateurs, dP/dt , avec l'augmentation de densité des proies pour trois densités de prédateurs ($P = 10, 30$ et 50) et des valeurs de paramètres $a = 0,09, p = 0,03, d = 0,3, \hat{H} = d/ap = 111$.

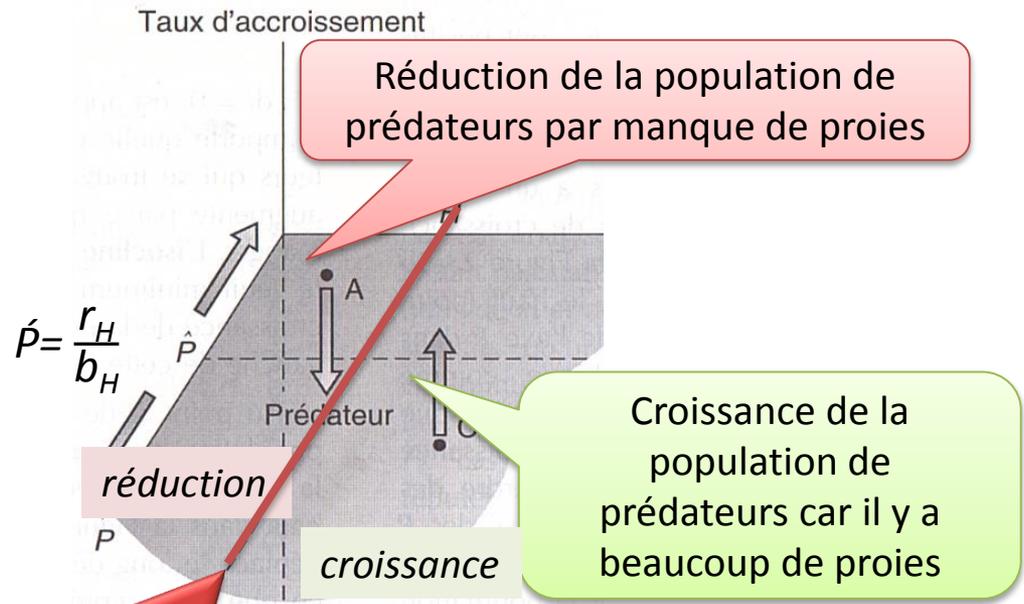
Ricklefs et Miller « écologie » De boeck



123.4) Évolution conjointe des populations de proies et de prédateurs selon le modèle de Lokta et Volterra

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP}{dt} = a b_H H P - b_P P \\ \frac{dH}{dt} = r_H H - b_H H P \end{array} \right.$$

1. Représentation 3D : Évolution de la population de prédateurs



Population de prédateurs à l'équilibre quand la population de proies est $\hat{H} = \frac{b_P}{a b_H}$

Ricklefs et Miller « écologie » De boeck



3.Représentation 2D des oscillations des 2 populations*

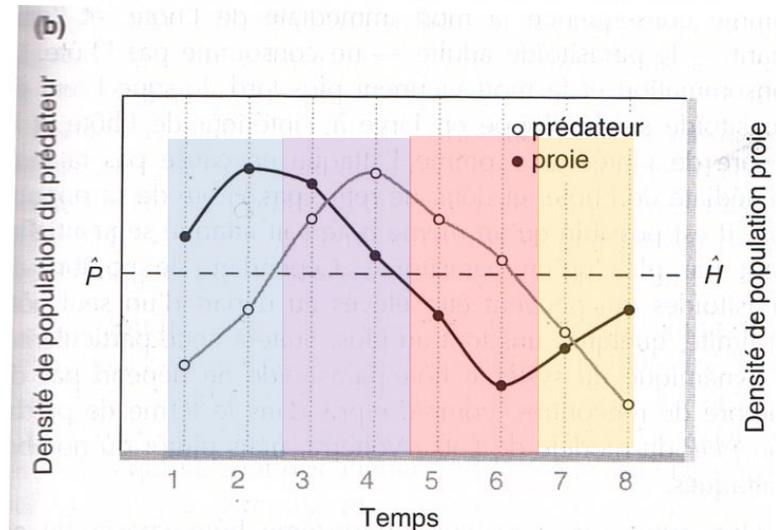
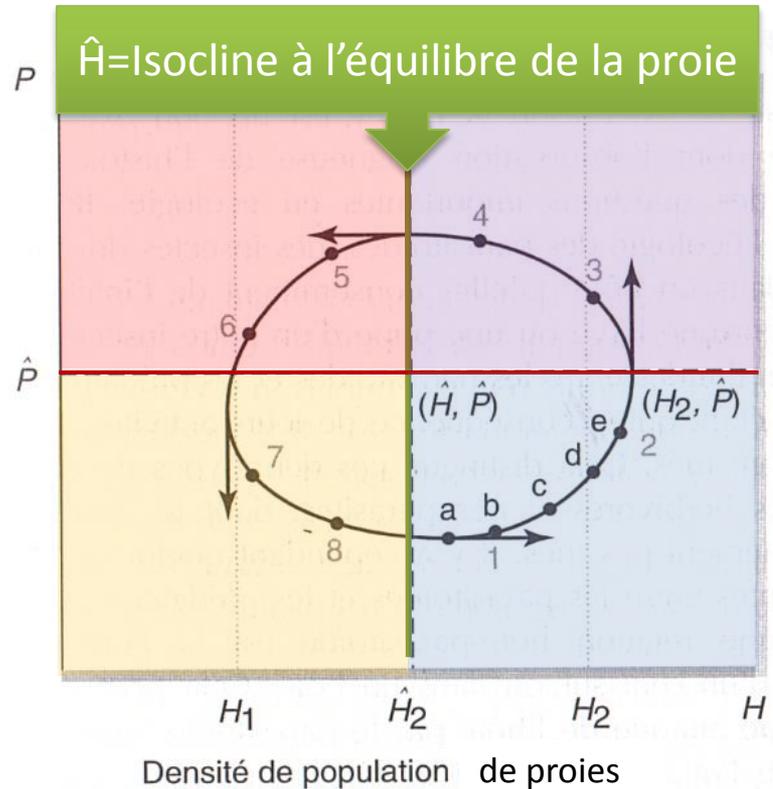
Isocline à l'équilibre du prédateur $\hat{P} = \frac{r}{p}$



Indiquez sur le graphique comment évoluent les 2 populations (sans vous aider des courbes!)

Comparez avec les courbes du lynx et du lièvre d'Amérique. Conclure.

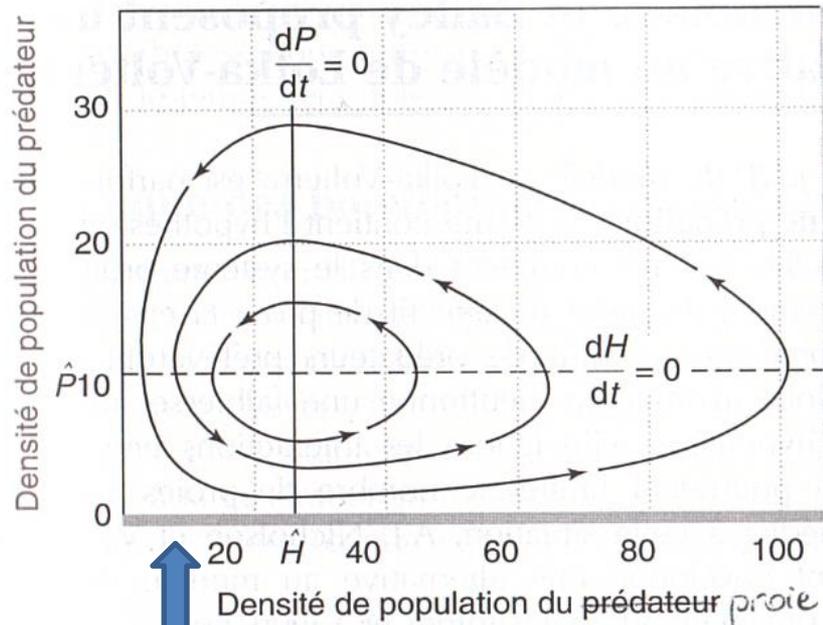
Densité de population du prédateur



Modifié d'après Ricklefs et Miller « écologie » De Boeck

Les populations oscillent autour du point d'équilibre, quelque soient les effectifs initiaux

2^{ème} loi de Volterra



Faible densité de la population de proies



Selon ce modèle, les populations de proies et de prédateurs évoluent sur une ellipse dans le **sens anti-horaire**. Un des foyers de cette ellipse est le point de rencontre des 2 isoclines. Le système a un équilibre neutre, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de forces internes qui le ramène vers \hat{H} et \hat{P} , même en cas de perturbation qui accroît une des population

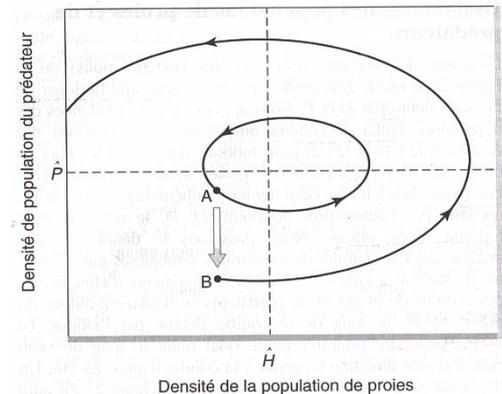


Figure 23-8

Implications de fortes perturbations de taille des populations dans le modèle de Lotka-Volterra. La taille de la population de prédateurs est diminuée et passe du point A au point B en raison d'une catastrophe naturelle. Comme le modèle ne possède pas de caractéristiques internes qui le ramènent à l'équilibre, le système continuera sur une trajectoire plus grande jusqu'à ce que la population proie soit amenée à zéro et que le système perde son intégrité.

Ce modèle de prédation est-il réaliste?

- **Hypothèses et leurs limites**

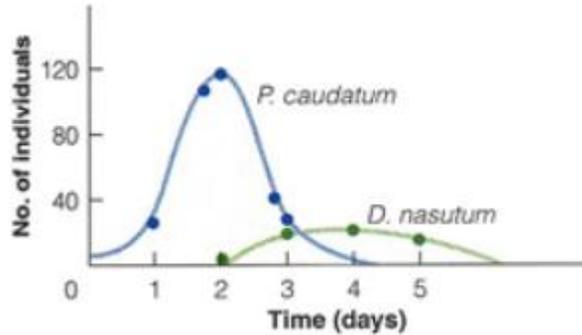
- Le taux de changement d'une population est proportionnel à sa taille.
- La population de proies trouve toujours de la nourriture en quantité suffisante.
- La nutrition du prédateur ne dépend que de la taille de la population de proies.
- **Les prédateurs ont un appétit illimité, et n'entrent jamais en compétition entre eux** (ni pour les proies ni pour l'habitat)-> corrigé dans le modèle de Rosenzweig-MacArthur
- L'environnement ne change pas en faveur d'une espèce et l'adaptation génétique est trop lente pour être perceptible ici.
- **Même si une des populations est réduite à un très petit effectif, elle peut se régénérer. Il n'y a jamais d'extinction.**

- **Limites intrinsèque du modèle**

Pour certaines valeurs des isoclines, il n'y a pas de stabilité du système (oscillations aléatoire ou extinction d'une population).

Lokta a remédié à ce problème en ajoutant des facteurs dépendant de la densité pour contrôler la population de prédateurs, c'est-à-dire en ajoutant de la compétition intraspécifique).





Les expériences d'élevages de proies et de prédateurs ne suivent la loi de Lokta-Volterra que si on ajoute :

- (1) des caches pour la proie
- (2) unensemencement régulier par des prédateurs.

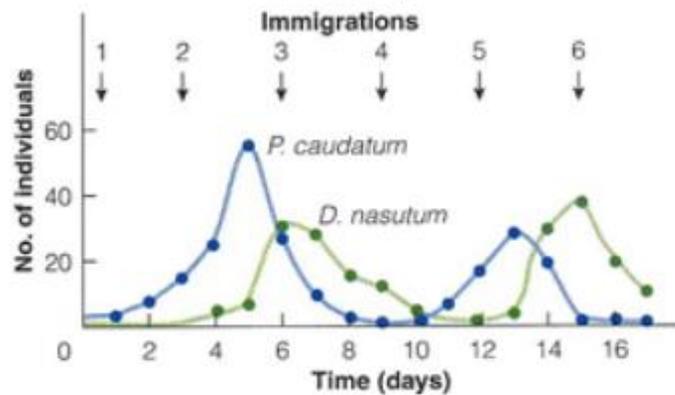
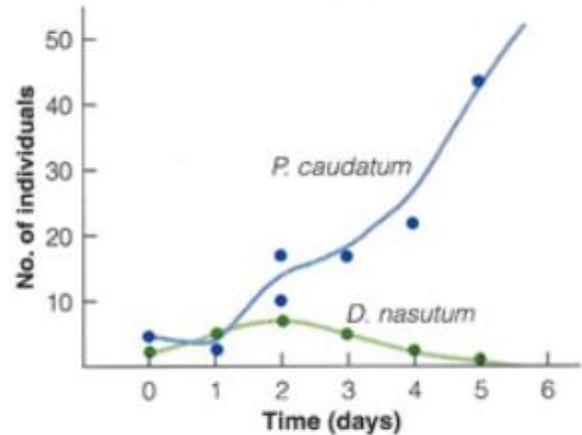


FIG. 11 – Expériences de Gause sur *P. caudatum* et *D. nasutum*. Dans le premier cas, la proie est consommée complètement puis le prédateur s'éteint. Dans le second cas, la proie dispose de cachettes. Elle peut ainsi échapper finalement au prédateur qui s'éteint. Des oscillations ne sont observées que quand des prédateurs sont rajoutés de façon régulière au système.

1.3. les effectifs calculés reflètent-ils la réalité?

1.3.1. Le modèle logistique permet des prédictions en absence de compétition et de prédation

Applications du modèle logistique

- Protection des espèces

- Biologie de la **conservation** : il faut parfois réintroduire des espèces là où elles ont disparu (vautour fauve des Alpes), ou renforcer leurs effectifs -> on peut prédire l'évolution des effectifs
- Calculer le taux de prélèvement acceptable pour maintenir une population (chasse, récolte de plantes), et prendre des mesures si les prélèvements sont inacceptables (braconnages des rhinocéros par ex, surpêche)
- Calculer la taille critique de population en dessous de laquelle l'espèce risque de disparaître (ex: thon rouge)

- Prédire l'invasion par les espèces invasives

- Prévoir la démographie humaine

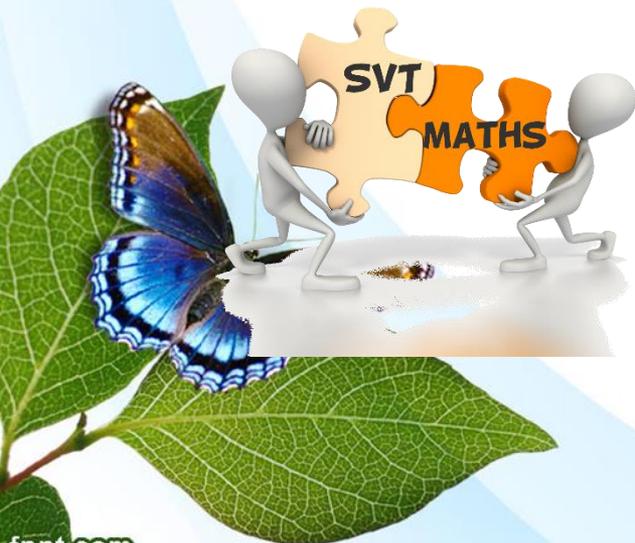


Critiques et limites

- Dans une très petite population, la reproduction et la survie sont très difficiles

« Effet Allee ». Par ex, un plante isolée est soumise au froid et au vent, alors qu'un groupe de plantes en est protégé.

- Dans la nature, l'absence de compétition et de prédation est rarissime



Nb : on fait des modèles plus élaborés à l'aide du calcul matriciel, afin de tenir compte du fait que les paramètres démographiques peuvent être différents dans chaque classe d'âge.

1 L'évolution d'une population de proies en présence d'un prédateur est décrit par la loi :

- 1 $dH/dt = rH - bHP$
- 2 $dH/dt = rHP - bH$
- 3 $dH/dt = rP - bHP$
- 4 $dH/dt = rP - bH$

2 dans la loi de de Lokta et Volterra de la question précédente

- 1 r est le taux de reproduction de la proie
- 2 r est le taux de reproduction du prédateur
- 3 b est le taux de reproduction de la proie
- 4 b est le taux de mortalité du prédateur

3 quand la population de proies est stable

- 1 la population de prédateur augmente
- 2 la population de prédateur est stable
- 3 la population de prédateur diminue

4 dans la loi modélisant l'évolution de prédateurs : $dP/dt = a(b1)HP - (b2)P$

- 1 (b1)HP désigne l'efficacité du prédateur à tuer sa proie
- 2 a désigne l'efficacité du prédateur à tuer sa proie
- 3 b1 est le taux de mortalité du prédateur
- 4 b2 est le taux de mortalité du prédateur

5 les fluctuations des populations de proies et de prédateurs sont cycliques car

- 1 elles suivent les cycles solaires
- 2 c'est un système chaotique
- 3 on obtient une solution cyclique en "résolvant" les 2 équations différentielles associées qui décrivent les 2 populations
- 4 les 2 populations oscillent autour d'un point d'équilibre, sans jamais l'atteindre

6 les hypothèse du modèle de Lokta et Volterra sont :

- 1 La population de proies trouve toujours de la nourriture en quantité suffisante.
- 2 Les prédateurs n'entrent pas en compétition entre eux
- 3 la rencontre proie-prédateur se solde toujours par la consommation de la proie
- 4 la prédateur a un rendement énergétique parfait (100%)



1.3.2. Le modèle logistique permet d'identifier 2 types de compromis (trade-off*) entre survie et croissance

- Compromis (trade-off*) entre survie et croissance (fréquence de reproduction, soins aux jeunes, nb de descendants) => **Les caractéristiques des cycles biologiques de organismes sont le résultat de la sélection naturelle**

Équation logisitique

$$\frac{dN}{dt} = r_{\max} N \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

r = taux de reproduction individuel

K = capacité limite du milieu = nb max d'individus que le milieu peut abriter et nourrir sans se dégrader.

Sélection indépendante de la densité

Sélection dépendante de la densité



d'où, en intégrant,

$$\ln N(t) - \ln\left(1 - \frac{N(t)}{K}\right) = rt + C^{ste}$$

soit encore en prenant l'exponentielle

$$\frac{N(t)}{1 - \frac{N(t)}{K}} = e^{rt} e^{C^{ste}}$$

$$N(t) = \frac{K}{1 + \left(\frac{K - N_0}{N_0}\right) e^{-rt}}$$

Il est facile de vérifier que la constante d'intégration vaut ici $C^{ste} = \ln\left(\frac{N(0)K}{K - N(0)}\right)$. D'où, après simplifications, la solution

$$N(t) = \frac{N(0)K}{N(0) + e^{-rt}(K - N(0))}. \quad (3)$$

Pour savoir qu'elle est l'allure du graphe de cette solution (en réalité il y a autant de solutions que de choix de valeurs initiale $N(0)$), on pourrait calculer sa dérivée (ce qui serait légèrement fastidieux...) mais il est bien plus simple d'utiliser l'équation différentielle : en effet, l'équation différentielle donne la dérivée N' comme une fonction de N , puisque $N' = rN(1 - N/K)$. On voit donc, sans calcul, que

- N' s'annule lorsque $N = 0$ et $N = K$
- $N' > 0$ lorsque N est compris entre 0 et K
- $N' < 0$ sinon.

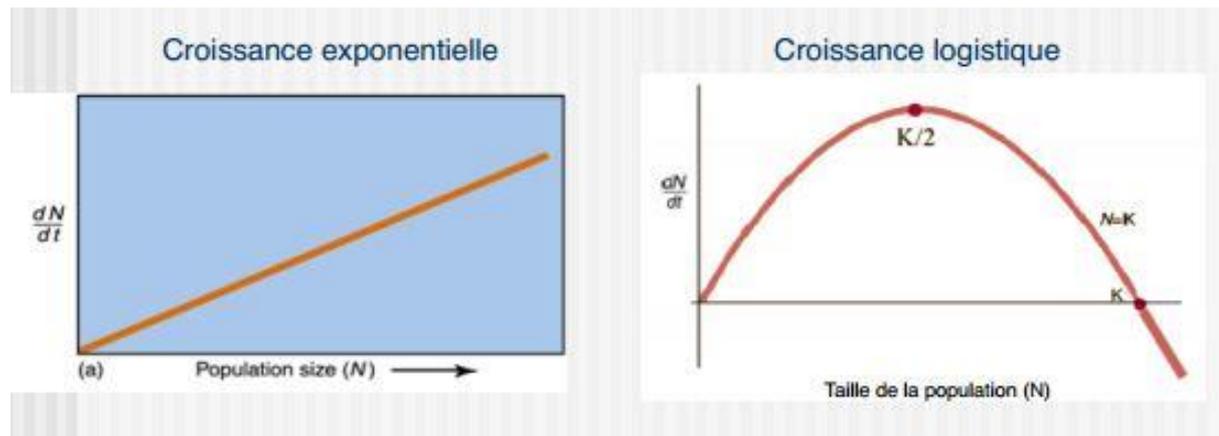


FIG. 2 – La parabole qui s'annule en $N = 0$ et $N = K$, graphe de la fonction $N' = f(N)$.

Stratégies démographiques

En théorie...

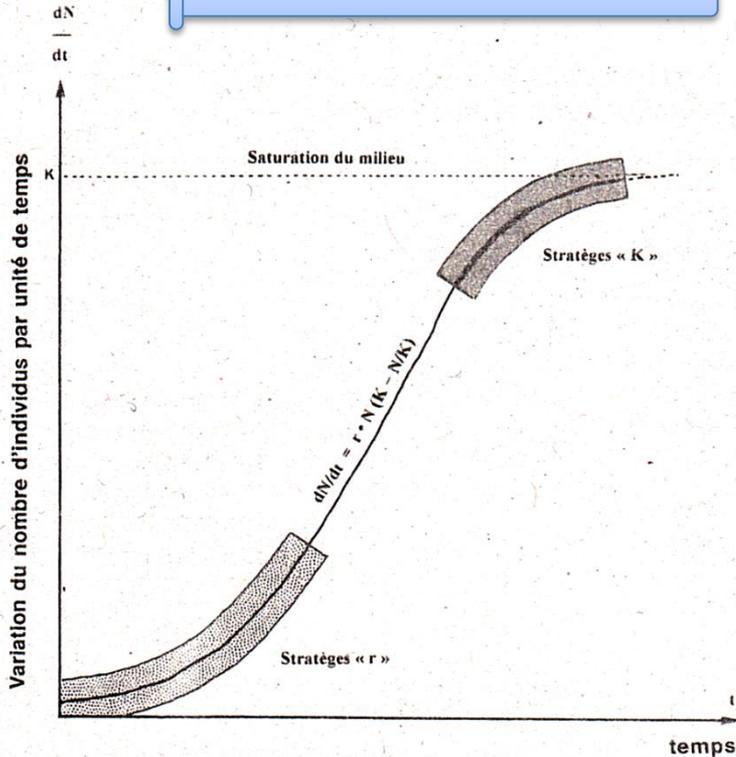
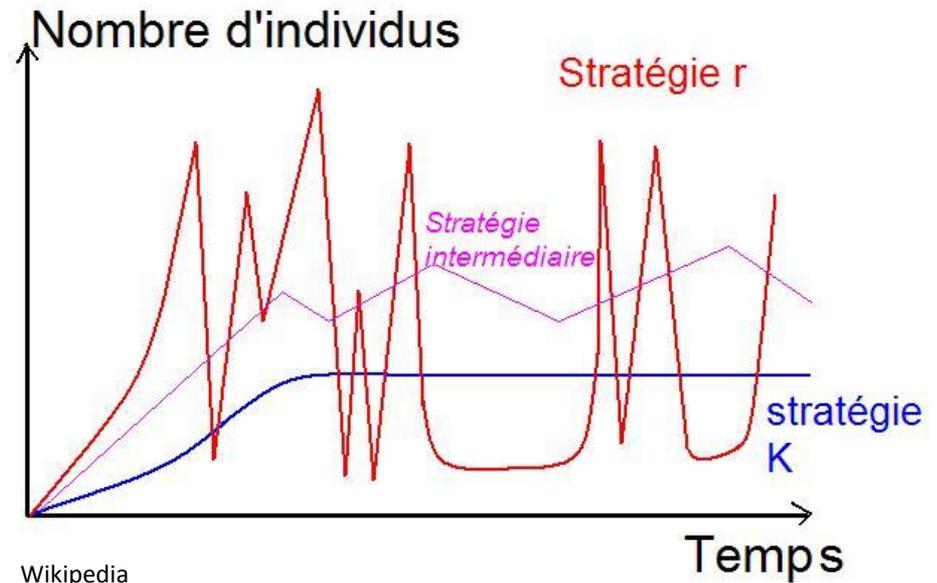


Figure 23 ■ Expression de la loi logistique : variation du nombre d'individus ou de la biomasse en fonction du temps.



...En réalité



Pour les êtres à stratégies « r », il y a souvent des « catastrophes » compensées par une recolonisation rapide du milieu.

1.3.2.1. La stratégie r, issue d'une sélection indépendante de la densité, est une faible croissance et forte reproduction

Campbell

Ex: Pissenlit produit de très nombreux akènes très légers, dont la plupart sont issus de la reproduction Asexuée
Animaux: poissons, amphibiens (cannibalisme des œufs), souris et campagnol



(a) Les pissenlits (*Taraxacum officinale*) croissent rapidement et produisent un grand nombre de graines, de sorte que quelques-unes au moins germent et se reproduisent.

Typique des **espèces invasives** :

Jussie et reproduction asexuée,
Jacinthe d'eau
Crapaud Buffle, Tortue de Floride, écureuil gris, chenilles processionnaires du Pin, frelon asiatique, etc.

Facteurs indépendants de la densité

Climat :

- Lumière, Température
- Humidité, Vent
- Sol
- Qualité de la nourriture

Ennemis non spécifiques :

- Prédateurs préférant d'autres proies

Maladies non contagieuses



Caractéristiques des espèces à stratégie r :

- Taille réduite et durée de vie courte
- Croissance rapide
- Maturité précoce
- **Forte descendance**
- **Énergie majoritairement dédiée à la reproduction**
- Peu ou pas de soins parentaux -> faible proba de survie des descendants
- Une seule reproduction (sémelparité) (ex: saumons)



r élevé
Faible croissance
et forte
reproduction

- Régime alimentaire large (limite la compétition)
- **Importantes fluctuations de populations**
- **Populations non ou faiblement régulées par la densité**
- **Faible compétition**
- Communautés saturées

Sélection par le milieu
et pas par la densité

Condition d'apparition :

- Très fréquent chez espèces soumises à forte prédation
- Forte compétition pour l'espace (plantes)



1.3.2.2. La stratégie K, issue d'une sélection dépendante de la densité, est une forte croissance et faible reproduction



Campbell

(b) Certaines espèces végétales, comme le noyer d'Amazonie (à droite), produisent un petit nombre de graines volumineuses insérées dans une gousse (ci-dessus). De grandes quantités d'albumen fournissent des nutriments à l'embryon, une adaptation qui favorise le succès d'une proportion

Noyer d'Amazonie (*Bertholletia excelsa*), ou noyer de milieu tempéré : graines avec beaucoup d'albumen

Stratégies « K »

- Grande taille.
- Productivité faible.
- Période d'immaturité sexuelle longue.
- Mortalité faible.
- Espérance de vie longue.
- Économie de l'utilisation d'énergie.
- Espèces de type « spécialistes ».
- Densité de population très dépendante des variations du milieu.
- Régulation démographique liée à la densité de la population.
- Espèces inféodées au climax.
- Faibles fluctuations des effectifs.

- Animaux ou plantes de grande taille
- Plusieurs reproduction (itéroparité) avec parfois des couples stables (oiseaux)
- Peu de descendants avec forte espérance de vie
- Soins parentaux aux jeunes, ce qui a un coût énergétique pour les parents et réduit leur espérance de vie

Condition d'apparition :

- Avantage dans un milieu stable
- Milieu avec forte compétition entre adultes pour les ressources (milieu proche de K)

Les plantes pérennes sont à la fois K et r (très nombreux fruits) ex: chêne



À connaître

Tableau comparatif entre les stratégies « r » et les stratégies « K » (d'après Pianka, 1970 et Blondel, 1975, 1976).

Stratégies « r »	Stratégies « K »
<ul style="list-style-type: none"> • Petite taille. • Productivité forte. • Grande précocité sexuelle. • Mortalité forte. • Espérance de vie courte. • Gaspillage énergétique considérable. • Espèces de type « généralistes ». • Densité de population indépendante des variations du milieu. • Régulation démographique non liée à la densité de la population. • Espèces pionnières et colonisatrices. • Effectifs très fluctuants. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grande taille. • Productivité faible. • Période d'imaturité sexuelle longue. • Mortalité faible. • Espérance de vie longue. • Économie de l'utilisation d'énergie. • Espèces de type « spécialistes ». • Densité de population très dépendante des variations du milieu. • Régulation démographique liée à la densité de la population. • Espèces inféodées au climax. • Faibles fluctuations des effectifs.



Facteurs indépendants de la densité

Facteurs dépendants de la densité

Climat :

- Lumière, Température
- Humidité, Vent
- Sol
- Qualité de la nourriture
- Pollution

Compétition intraspécifique :

- Quantité de nourriture
- Surpopulation (Réduction de la fertilité)
- Formation de territoires
- Migrations
- Cannibalisme

Ennemis non spécifiques :

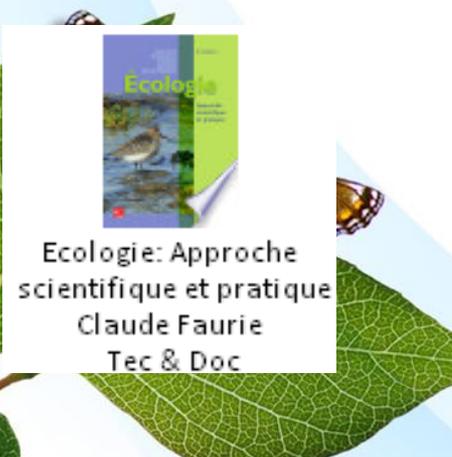
- Prédateurs préférant d'autres proies

Ennemis spécifiques :

- Prédateurs
- parasites

Maladies non contagieuses

Maladies contagieuses



Stratégies et colonisation d'un milieu

- La végétation naturelle d'un emplacement particulier se développe selon une succession d'étapes impliquant des communautés de plantes différentes. = **successions végétales**
- Lorsqu'un milieu a subi une perturbation (éruption volcanique, grand feu, inondation, stérilisation, ...), les espèces à **stratégie r sont les premières** à s'implanter, puis elles donnent naissance à un environnement de plus en plus compétitif où les espèces à stratégie K s'imposent.
- Certaines espèces à stratégies r n'auraient même aucune chance de subsister dans la biosphère sans ces perturbations.

Ex: Oyat qui est remplacé par la Fétuque rouge dès que la dune est stabilisée



NB: Pour les humains, ceux des pays développés ont une stratégie K, et ceux des pays très pauvres et/ou instables une stratégie « r ».

Exercice concours

Diagnostic



Regardez ces vidéos en anglais et déterminez quel est le type de stratégie (r ou K) de l'animal. Notez les arguments en faveur de votre hypothèse.



1) **Manchots** empereurs d'Antarctique (*Aptenodytes forsteri*) :

<http://www.youtube.com/watch?v=MfstYSUscBc>

- Chick : poussin
- Offspring : descendance, rejeton

2) **Homard** : <http://www.youtube.com/watch?v=h6nhOChpMck>

-> À partir de 2^{ème} min

- Lobster : Homard
- Shallows : haut-fonds



Conclusion sur l'évolution des populations

- **Les facteurs qui contrôlent les effectifs** d'une population sont la natalité, la mortalité, le sex-ratio et la fécondité. Cela détermine le taux d'accroissement r de cette population.
- **Les facteurs du milieu** sont indépendants de la densité et déterminent le taux de survie. La capacité limite du milieu, K , décrit sa capacité maximale à nourrir et abriter sans se dégrader. Ces facteurs sont ceux qui limitent l'extension des populations d'espèce à stratégie r (avec la prédation).
- La **densité** fait diminuer la fécondité par la compétition intraspécifique. Cela limite les effectifs des population à stratégie K .
- La **prédation** est un facteur de fluctuation des effectifs, selon un modèle cyclique quand on a affaire à 1 espèce de proie pour 1 espèce de prédateur.
- **Utilité** : Les modèles mathématiques permettent de prédire l'évolution des populations d'espèces protégées ou invasives et sont une base pour prendre des décisions en matière de gestion écologique.

7 les animaux à stratégie "r" sont

- 1 issus d'une sélection dépendante de la densité
- 2 souvent des espèces invasives
- 3 utilisent la majorité de leurs ressources énergétiques pour produire des descendants
- 4 présentent une forte mortalité juvénile



Un arbre est une espèce à stratégie

- 1- « K »
- 2- « r »
- 3- « K » et « r »
- 4- ni « K » ni « r »

Une prairie de montagne vient d'être dévastée par une coulée de boue. Les premières espèces à recoloniser cet espace seront :

- 1- Les chênes grâce aux glands produits par les chênes adultes de la haie
- 2- Les herbacées, grâce aux akènes provenant des prairies voisines
- 3- Les vaches, provenant du pré voisin
- 4- Les mulots, dès qu'ils pourront à nouveau creuser des terriers

Une population de mulots présente de grandes fluctuations d'effectifs, alors que la population de buses est stable. Ces fluctuations de la population de mulots sont dues à :

- 1- La prédation, selon le modèle de Lokta-Volterra.
- 2- La stratégie « r » des mulots.
- 3- Au climat est très variable, ou des épidémies.
- 4- Il est impossible de le savoir.

II. L'espèce est formée de populations interconnectées

2.1. Diversité des populations d'une espèce et notion d'écotype

2.1.1. Il y a une grande diversité des populations d'une espèce

Parus caeruleus



18 mesures pour analyser le phénotype des populations européennes, d'Afrique du Nord et des îles Canaries
1277 mâles

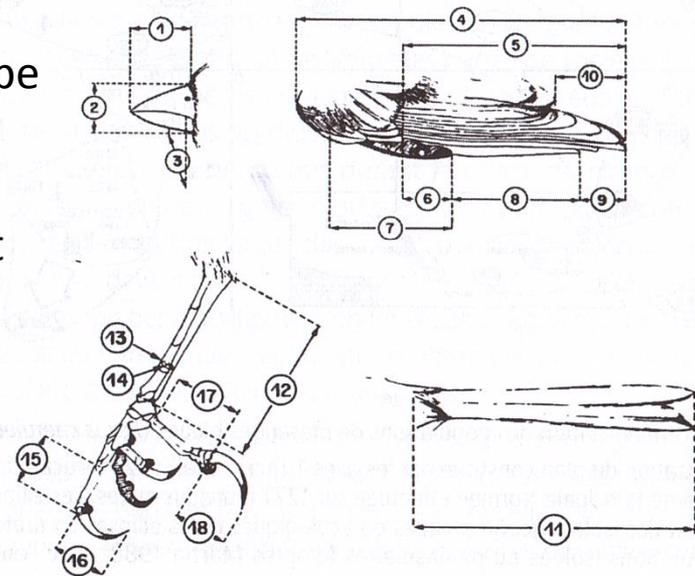
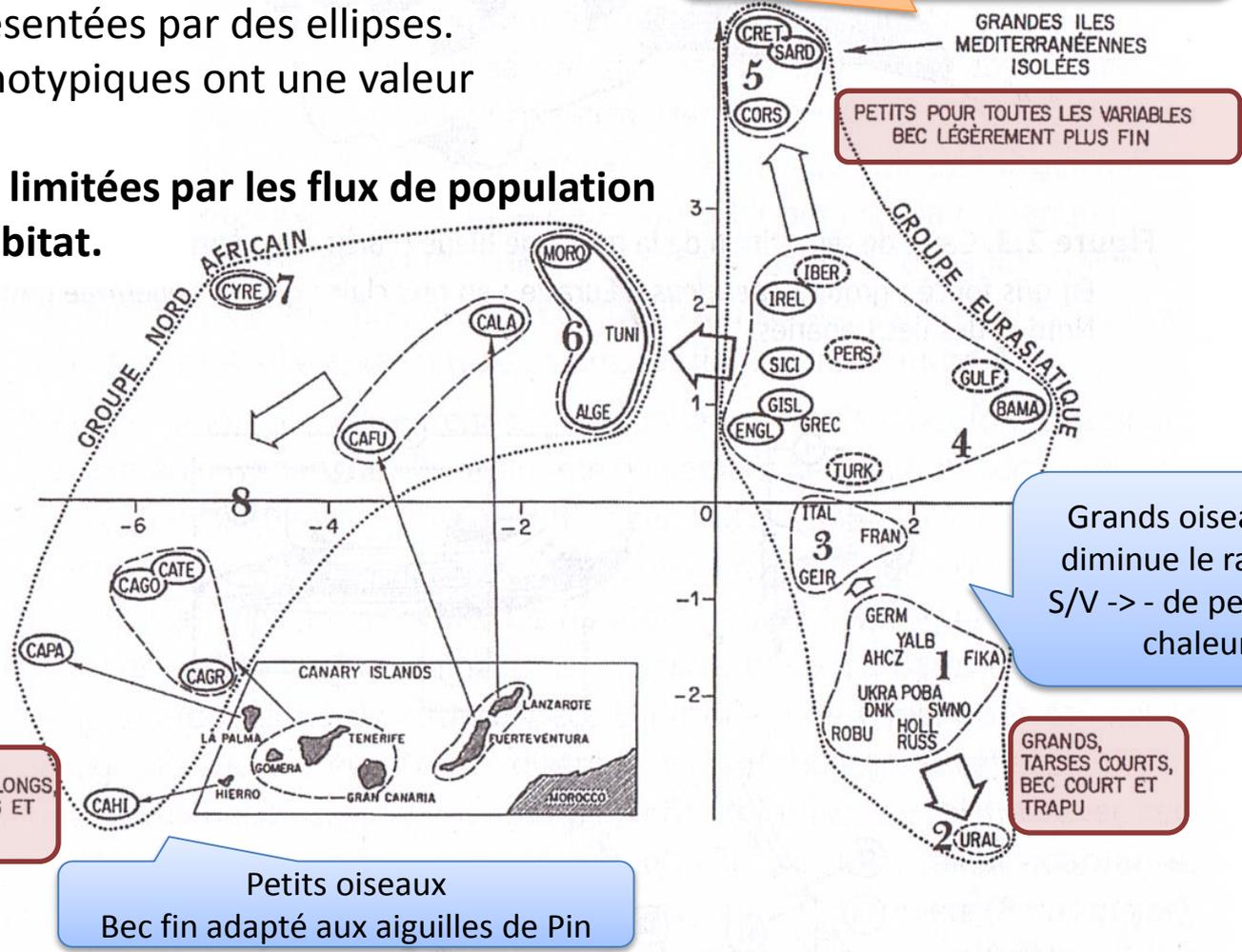


Figure 2.4. Étude du polymorphisme morphologique de la mésange bleue (*Parus caeruleus*)
Les dessins montrent les 18 paramètres morphologiques mesurés sur le bec, l'aile, la patte et la queue des spécimens (d'après Martin 1988, avec l'autorisation de l'auteur).

Les populations locales de mésange bleue diffèrent par leurs phénotypes

- Tous les individus ramassés au même endroit ont le même phénotype. Les populations locales sont **homogènes** -> représentées par des ellipses.
- Les différences phénotypiques ont une valeur **adaptative**.
- Les différences sont limitées par les flux de population entre les zones d'habitat.
(pas de spéciation)

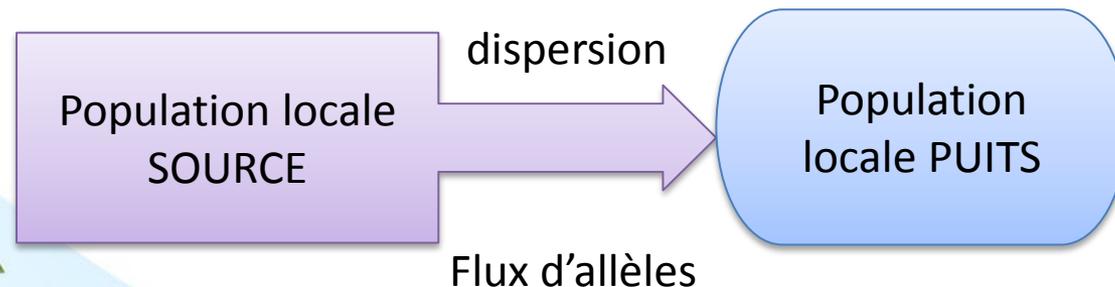
Plus une population est isolée, et plus elle est différente



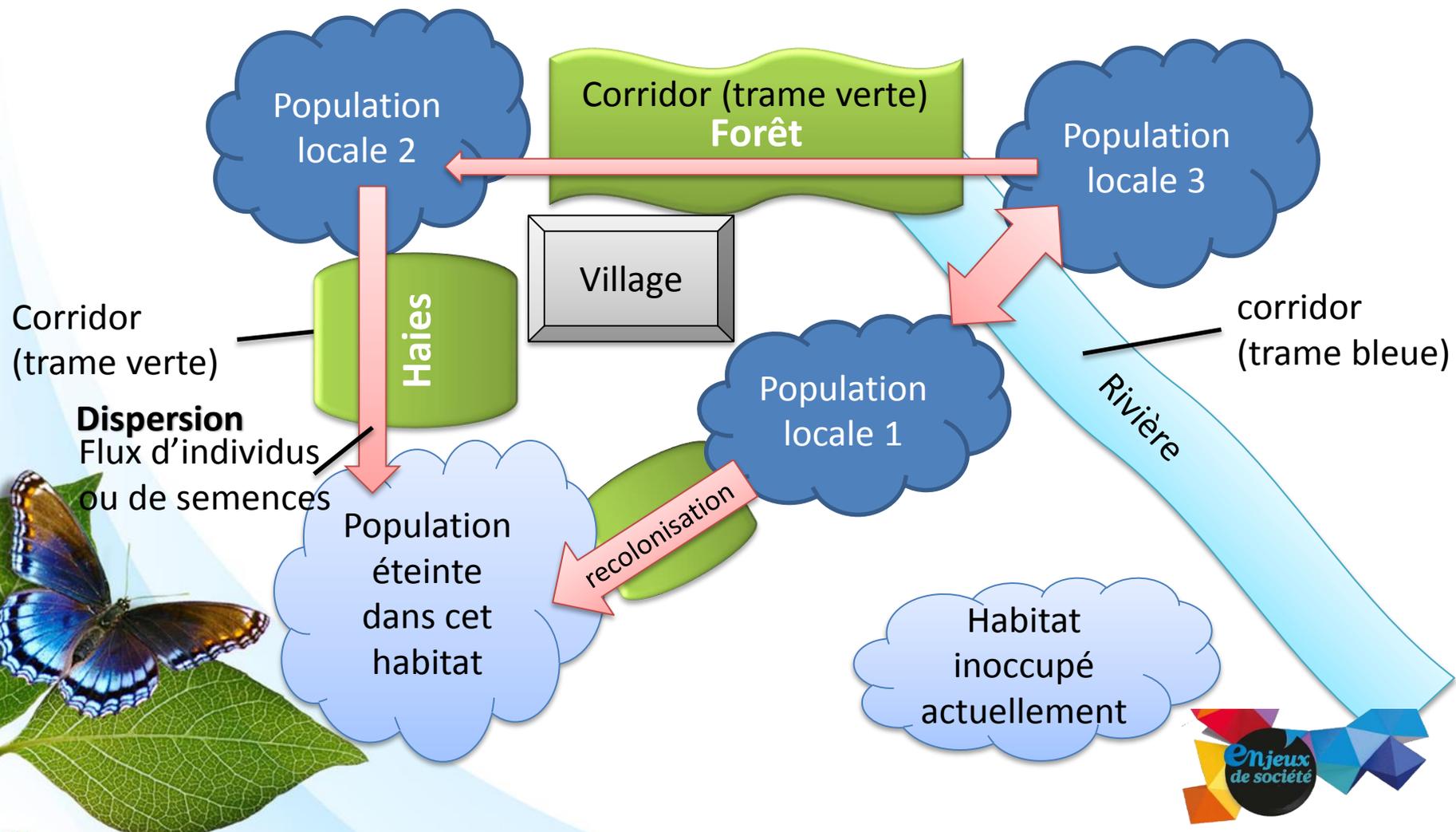
21.2. Une métapopulation est ensemble de populations interconnectées par la dispersion

La connectivité des populations d'une espèce est un gage de son maintien dans le temps et l'espace

- Une population locale habite dans une tache d'habitat (« habitat patches »). À un moment donné, une tache d'habitat peut être inoccupée, et peut alors être colonisée par des individus provenant d'une autre tache.
- Les perturbations (biotope, prédateurs) sont susceptible de faire disparaître certaines populations locales.
- L'espèce ne disparaît pas de cette zone par **recolonisation** à partir d'une autre population locale. On parle de population Source et population Puits
- **Cette connectivité limite les différences génétiques** entre populations et s'oppose à la spéciation (voir cours sur l'évolution)



La **métapopulation** est l'ensemble de populations d'individus d'une même espèce séparées spatialement ou temporellement et étant interconnectées par la dispersion.



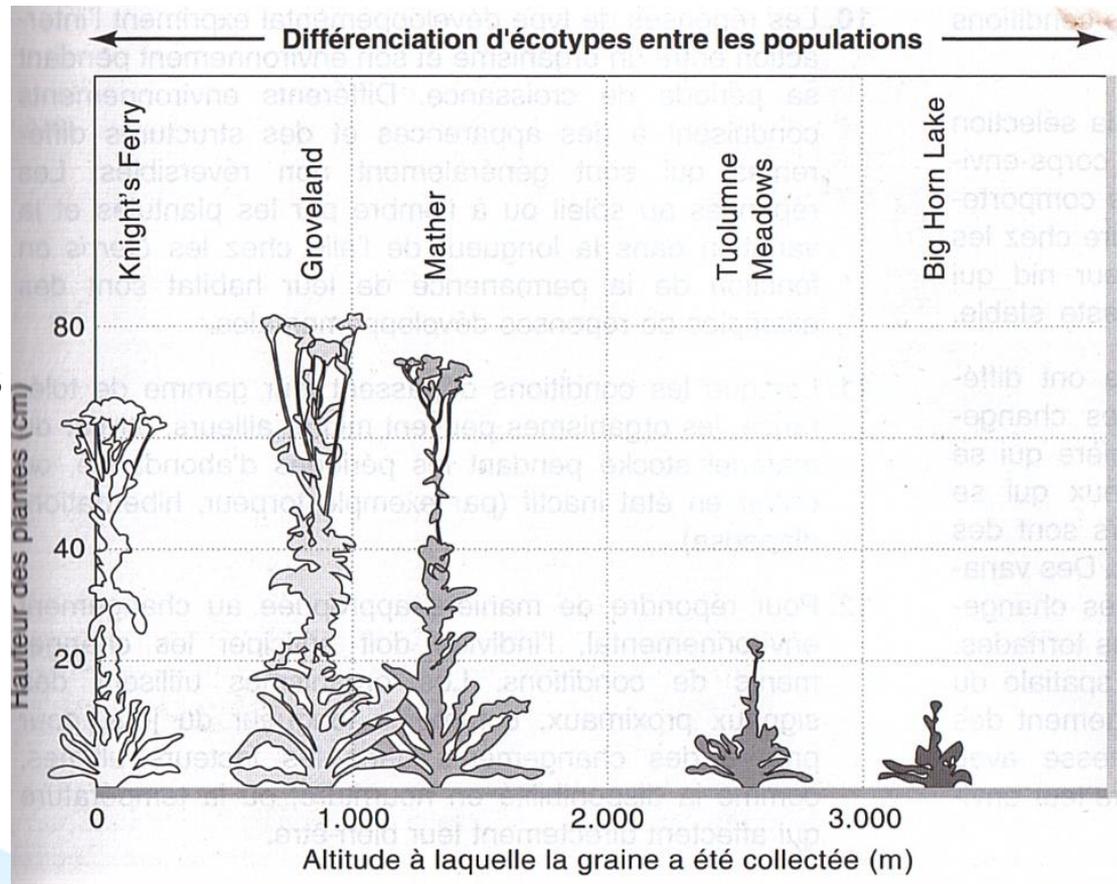
21.3. Les populations locales peuvent former des écotypes ayant des adaptations locales

Un **écotype** est une population locale d'une espèce donnée qui présente des caractéristiques nouvelles **adaptées** à un habitat particulier. Les caractéristiques propres à l'écotype sont **héréditaires**.

Achillea millefolium

On a fait pousser des graines provenant de différentes altitudes dans les mêmes conditions, durant plusieurs générations

Ricklefs et Miller
« écologie » De Boeck



7 les animaux à stratégie "r" sont

- 1 issus d'une sélection dépendante de la densité
- 2 souvent des espèces invasives
- 3 utilisent la majorité de leurs ressources énergétiques pour produire des descendants
- 4 présentent une forte mortalité juvénile

8 une métapopulation est

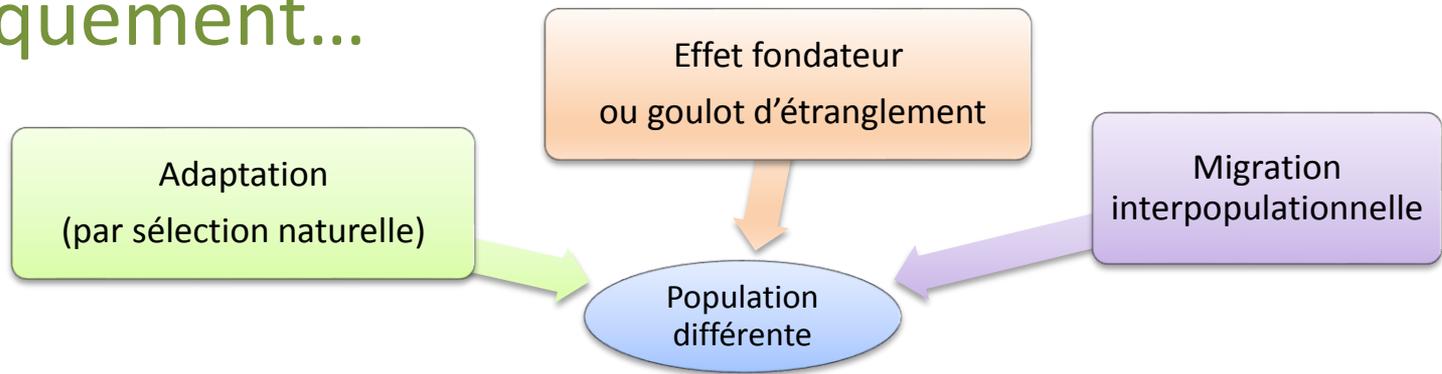
- 1 une très grande populations
- 2 un ensemble de populations indépendantes de même espèce
- 3 un ensemble de populations de plusieurs espèces
- 4 un ensemble de populations interconnectées de même espèce

9 un écotype est

- 1 une espèce typique d'un écosystème
- 2 une population locale présentant des adaptations
- 3 une espèce marqueur, qui donne des indices sur le milieu
- 4 un écosystème particulier



2.2. les populations peuvent diverger génétiquement...



• 22.1. ... par adaptation

Drosophila melanogaster

- Souches 1930 : pas d'allèle de résistance au DDT dans les lignées conservées
- DDT à partir de 1940
- 1960 60% des drosophiles prélevées dans la nature sont résistantes
-> évolution adaptative dans le temps et l'espace (dans les zones avec utilisation de DDT)
(voir cours évolution)



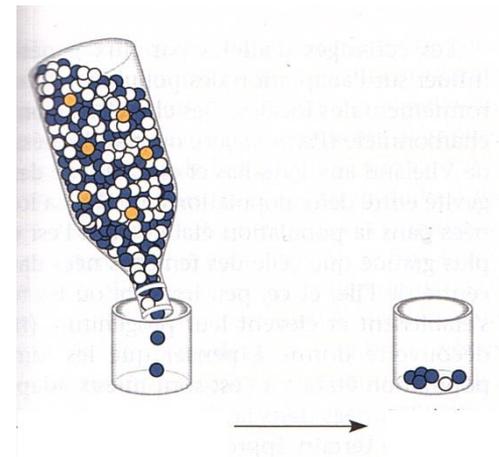
2.2. les populations peuvent diverger génétiquement...

On parle de **dérive génétique** quand les populations sont tellement **petites** que les fréquences des allèles peuvent fluctuer de manière aléatoire.

• 22.2. ... à cause d'événements fondateurs

1) Effet fondateur lors de la colonisation d'un milieu par un petit nb d'individus

- dystrophie myotonique (autosomale dominante, atteinte musculaires, rythme cardiaque irrégulier, troubles neurologiques)
- Québec région de Charlevoix 189 cas/100 000 habitant
- fréquence 4/100 000 en Europe
- Très petite population de colons provenant de Vendée et Charente Maritime porteurs de cet allèle



2) Effet de goulot d'étranglement lors d'une forte réduction de la population

Si une perturbation catastrophique réduit considérablement la population, la variabilité génétique de la population se trouve extrêmement réduite, avec des fréquences alléliques différentes de celles de la population initiale.

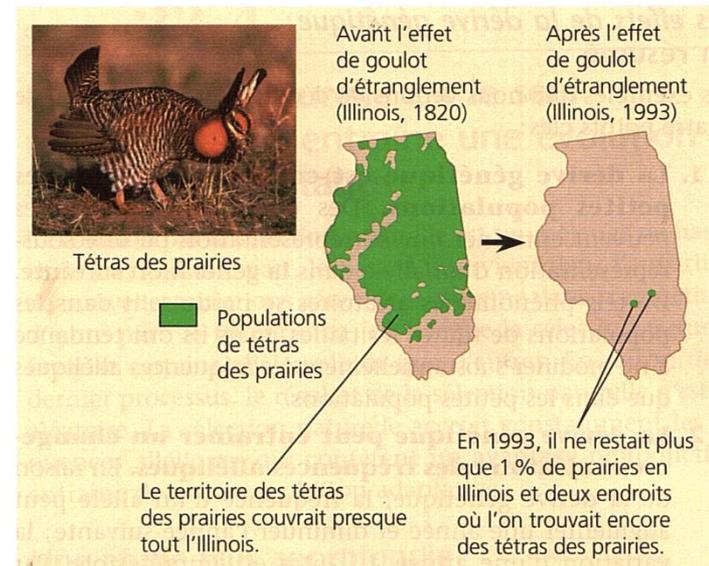
Expliquez pourquoi le Tétrás des Prairies de l'illinois en 1993 a un si faible taux d'éclosion des œufs; et pourquoi l'apport de 271 oiseaux provenant d'états voisins a ramené ce taux d'éclosion à 90%?



Exercice de cours



Réutiliser évolution



(a) En Illinois, la population des tétras des prairies est passée de plusieurs millions dans les années 1800 à moins de 50 oiseaux en 1993.

Location	Taille de la population	Nombre d'allèles par locus	Pourcentage d'œufs éclo.
Illinois			
1930-1960	1 000-25 000	5,2	93
1993	<50	3,7	<50
Kansas, 1998 (pas de goulot d'étranglement)	750 000	5,8	99
Nebraska, 1998 (pas de goulot d'étranglement)	75 000-200 000	5,8	96

(b) Conséquence de la réduction draconienne de la taille de la population de tétras des prairies en Illinois, la dérive génétique a produit une chute du nombre d'allèles par locus (moyenne sur 6 loci étudiés) et une diminution du pourcentage des œufs qui parvenaient à éclore.

▲ **Figure 23.11** La dérive génétique et la perte de variation génétique.



La biodiversité des plantes alimentaires : un enjeu largement ignoré

Vidéo sur la Pomme de Terre dont la biodiversité est maintenue par les paysans des Andes (American Museum of Natural History) en anglais sous titré:

[http://www.amnh.org/explore/science-bulletins/\(watch\)/bio/documentaries/potato-biodiversity-ensuring-the-future](http://www.amnh.org/explore/science-bulletins/(watch)/bio/documentaries/potato-biodiversity-ensuring-the-future)

Threat = menace

Breeders = semenciers qui font des croisements



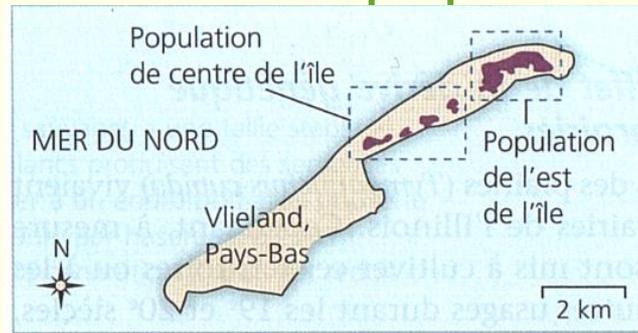
Pourquoi est-ce utile de protéger la biodiversité des plantes alimentaires?
Qui entretient cette biodiversité?
Pourquoi est-elle menacée?

2.2. les populations peuvent diverger génétiquement...

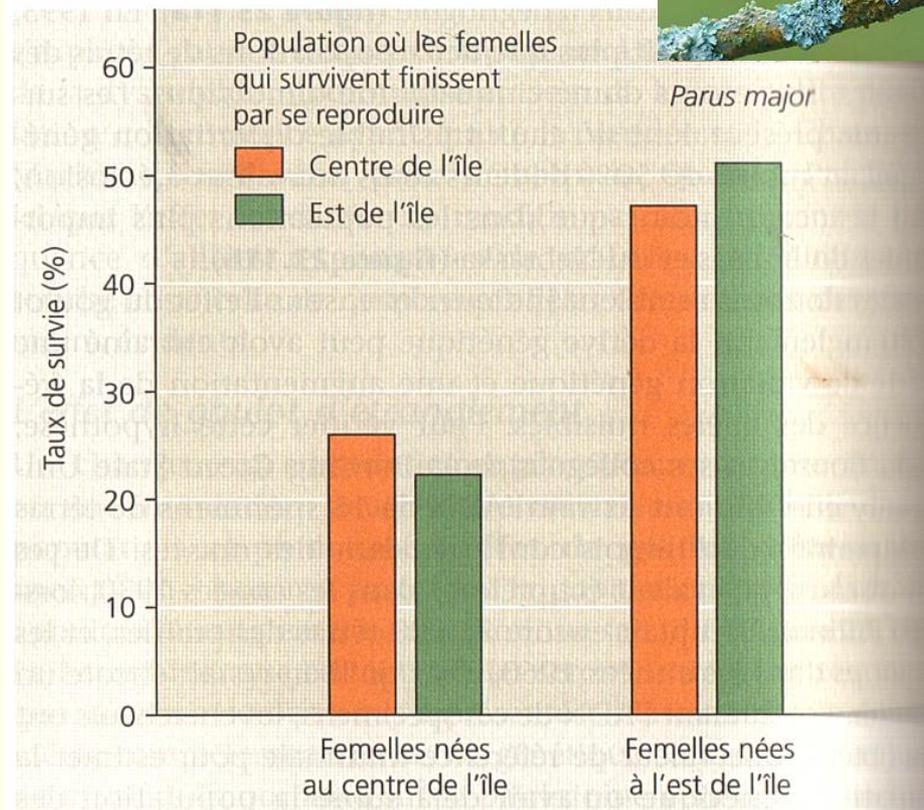
• 22.3. ... à cause de migrations interpopulationnelles

43% des mésanges qui se reproduisent au centre de l'île sont des immigrants provenant du continent, contre 13% dans l'est de l'île.

Qu'est-ce qui détermine la longévité des femelles mésanges, leur biotope ou leur lieu de naissance? Pourquoi?



Mésange
charbonnière
Pays Bas



Exercice
concours





Conclusion les populations interconnectées

- Les populations sont **interconnectées** par des flux d'individus ou au moins d'allèles (semences, pollen, etc)
- Les populations peuvent différer génétiquement et écologiquement, au point de présenter des **écotypes** adaptés à certains biotopes.
- **Les flux entre populations réduisent les différences** entre les populations en les homogénéisant.
- L'effet **fondateur** ou toute réduction drastique de la population réduit sa diversité génétique. Ces **petites populations sont soumises à la dérive génétique**, qui est une fluctuation aléatoire des fréquences de leurs allèles. (voir évolution)

III. La fréquence des alleles dans une population varie au cours du temps

- 3.1) Une population présente un polymorphisme d'allèles (= réservoir d'allèles)

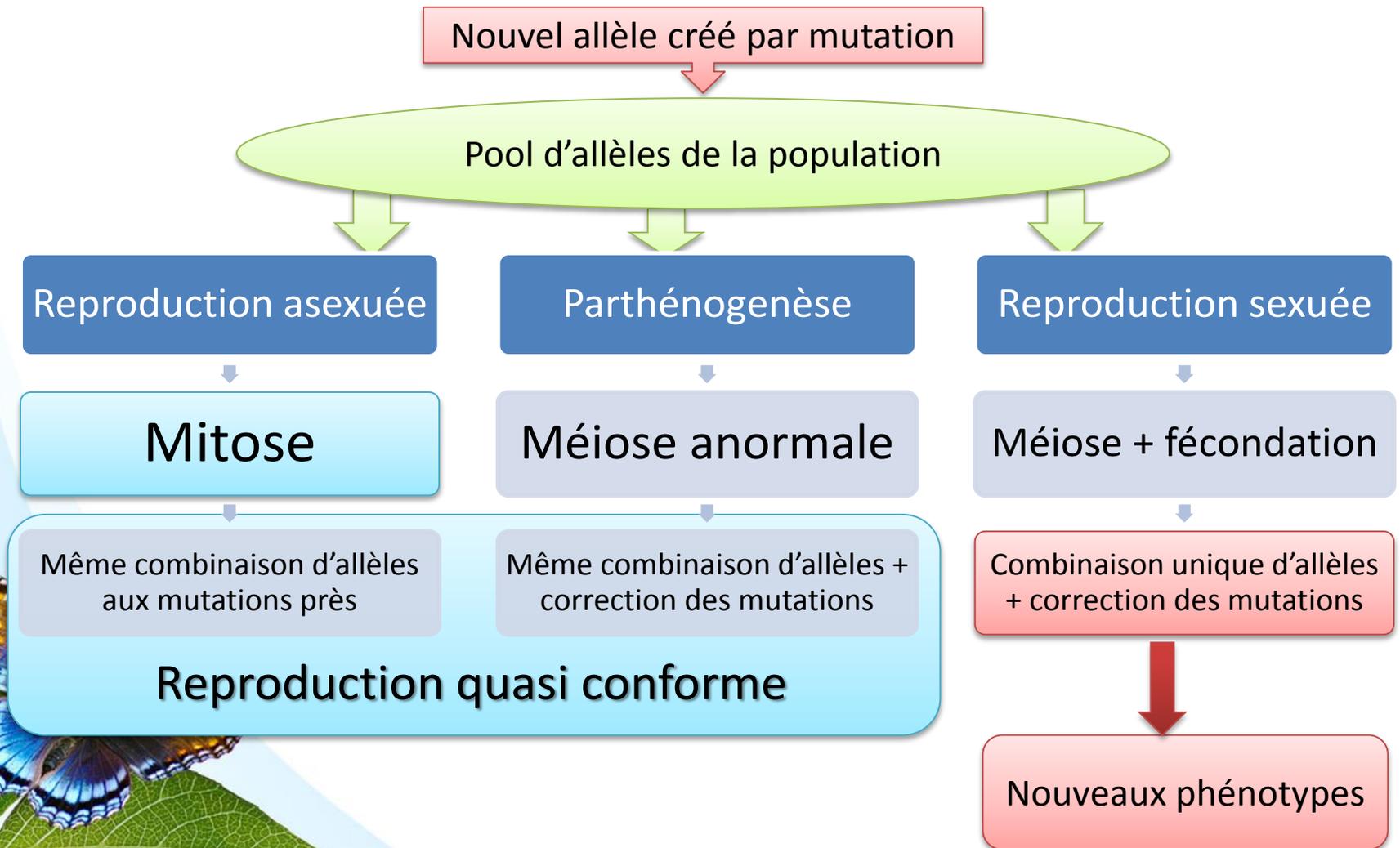
Dans une population, certains gènes sont fixes (1 seul allèle), mais d'autres gènes présentent un polymorphisme (2 allèles ou plus)

Ex: allèles des groupes sanguins humains : 3 allèles dans la population mais seulement un ou 2 chez une personne.

- **Les nouveaux allèles apparaissent par mutation**
- La reproduction sexuée ne fait que créer de nouvelles combinaisons, sans modifier les allèles



Les allèles se transmettent par plusieurs modes de reproduction*



3.2. à l'équilibre, le modèle d'Hardy-Weinberg permet de calculer les fréquences alléliques

32.1. Le modèle d'Hardy Weinberg repose un accouplement aléatoire et une absence de sélection

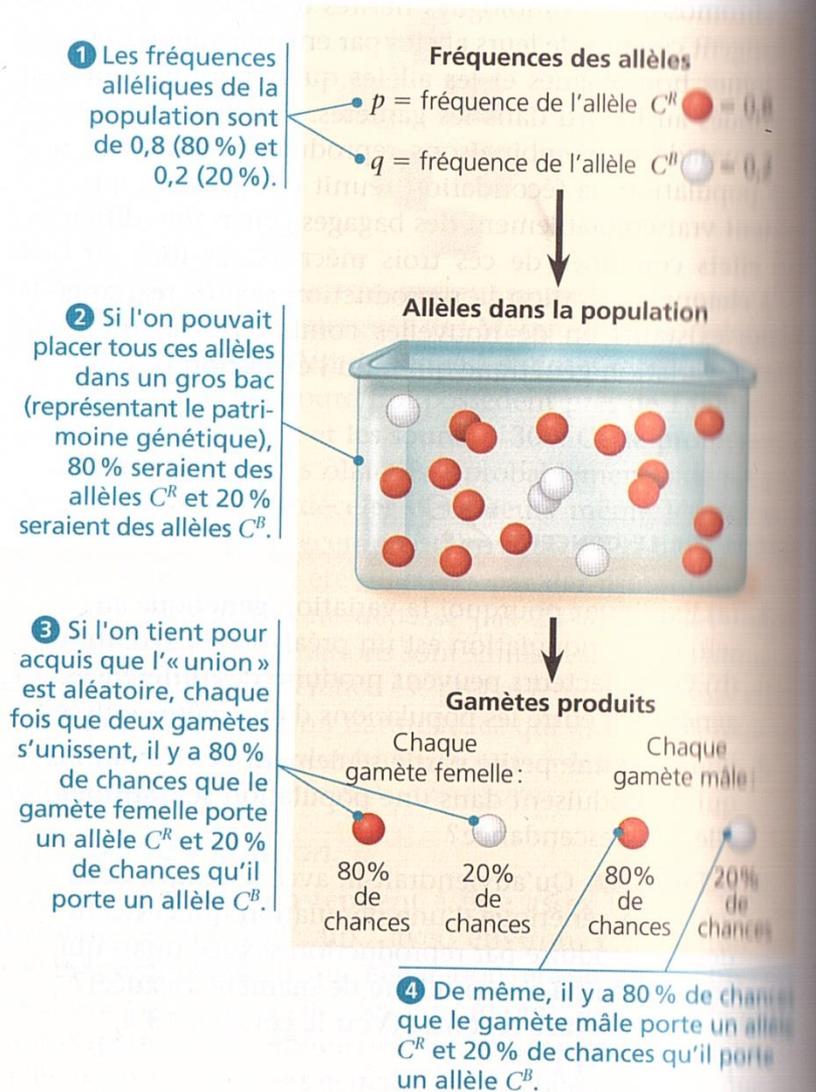
5 Hypothèses :

1. **Pas de mutation** qui modifie les allèles étudiés;
2. La reproduction est sexuée, avec des croisements totalement aléatoires = **panmixie** (gamètes équiprobables, pas de sélection du partenaire, ni d'obstacles aux rencontres ni à l'autofécondation);
3. **Pas de sélection** naturelle qui modifierait la probabilité de survie ou de transmission de certains génotypes;
4. **La taille de la population est très grande**, si bien qu'il n'y a pas de dérive génétique
5. **Il n'y a pas de flux génétique**, c'est-à-dire d'apports ou de retraits d'individus ou d'allèles à cette population par migration.

Évalue l'effet du brassage génétique seul, on parle de « modèle nul »



32.2. Dans ce cas, les fréquences alléliques restent constantes



Exercice de cours

Soit un gène ayant dans une population 2 allèles A et a

On note p la fréquence de l'allèle A et q celle de a (bien sûr $p+q=1$)

[AA] a une fréquence de ...

[aa] a une fréquence de ...

[Aa] a une fréquence de ...

Justifiez que $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

En calculant la fréquence des gamètes produit par ces 3 types d'individus, retrouvez la fréquence des différents phénotypes à la génération suivante.

Solution

- [AA] a une fréquence de p^2 , [aa] a une fréquence de q^2
[Aa] a une fréquence de $2pq$ car c'est [aA] ou [Aa] selon l'origine maternelle ou paternelle de chaque allèle.
- *Justifiez que $p^2 + 2pq + q^2 = 1$: c'est la somme des fréquences de tous les génotypes possibles, donc 100%*
- [AA] forme 100% de gamètes ou spores [A]. Ils ont donc une fréquence de $1 \cdot p^2$
- [aa] forme 100% de gamètes [a]. Ils ont donc une fréquence de $1 \cdot q^2$
- [Aa] forme 50% de gamètes [A] et 50% de [a]. Chacun a une fréquence de $0,5 \cdot 2pq = pq$
- Donc un gamète [A] a une fréquence de : $pq + p^2$; un [a] de $pq + q^2$
- Par fécondation, on obtient les 3 mêmes génotypes qu'à la génération précédente
- [AA] a une fréquence de $(pq + p^2)^2 = p^2 (p+q)^2 = p^2$ car $p+q = 1$
- [aa] a une fréquence de $(pq + q^2)^2 = q^2 (p+q)^2 = q^2$ car $p+q = 1$
- [aA] peut être une réunion de A et a ou a et A, sa fréquence est donc de $2(pq + p^2)(pq + q^2) = 2p(q+p)q(p+q) = 2pq$

CCI : les fréquences restent constantes lors du brassage génétique de la reproduction sexuée si les accouplements sont aléatoires.

3.3. les fréquences alléliques ne suivant pas le modèle d'Hardy-Weinberg quand...

33.1) ... il y a action de facteurs internes : déterminisme du sexe

Chez les mammifères le sexe est mâle déterminé chromosomiquement par la présence du chromosome Y, et génétiquement par le gène SRY (Sex determining Region, Y chromosome)

La fréquence de l'allèle normal SRY sur Y n'est pas p^2 mais p , et **$p=1$ chez les mâles; $p=0$ chez les femelles**. En effet tous les XX qui sont mâles (3/20000) ont cet allèle.

En cas de mutation qui rend SRY non fonctionnel, on obtient le développement « par défaut » qui est femelle, même avec XY.

m/s n° 4, vol. 1 1, avril 95



Tableau I
LES PRINCIPALES ANOMALIES DE LA DÉTERMINATION DU SEXE CHEZ L'HOMME

	Mâle XX sans ambiguïtés	Mâle XX avec ambiguïtés	Mâle XX hermaphrodite	Femme XY avec dysgénésie gonadique
Fréquence par naissance	1/20000	1/20000	1/20000	très rare
Cytogénétique	46,XX	46,XX	46,XX	46,XY
Gonades	testicule sans cellules germinales	testicule sans cellules germinales	tissu testiculaire et ovarien	gonade dysgénétique en bandelettes fibreuses
Organes génitaux externes	mâle normal	ambiguïtés génitales micropénis, hypospadias	ambiguïtés génitales	femmes normales
Clinique	stérilité	ambiguïté sexuelle	ambiguïté sexuelle gonadoblastome	aménorrhée, stérilité

Cas de gènes portés par le chromosome X

Le daltonisme (cécité des couleurs rouge/vert) est un caractère récessif lié au sexe qui, en France, atteint 8% des garçons et 0,45% des filles.

Exercice concouRS

APPROFONDIR



- 1) Calculez la fréquence des allèles D et d chez les mâles, puis chez les femelles. Comparez.
- 2) Calculez la fréquences des femmes qui sont des **porteuses saines**.

3.3. les fréquences alléliques ne suivant pas le modèle d'Hardy-Weinberg quand...

33.2) ... quand l'appariement n'est pas aléatoire

332.1. il y a homogamie ...

Homogamie = les croisements ne sont pas aléatoires, mais se font préférentiellement **entre individus qui se ressemblent** (par isolement géographique, ségrégation, culture, groupe social –sourds-)

Cas de la drépanocytose = anémie falciforme aux USA

- il y a 10% d'afro-américains, la fréquence de l'allèle pathogène récessif HbS dans cette population minoritaire est $q_{\min} = 0.05$
- Dans le reste de la population, $q_{\text{maj}} = 0$
- La fréquence de la pathologie dans la population entière est de 0.00025

Calculez la fréquence de cette pathologie selon le modèle d'Hardy Weinberg

1. Quand la population est panmictique
2. Quand la population noire est homogame (et le reste de la population l'est aussi)



- 332.2) ... ou hétérogamie

BCPST1

Chez les Angiospermes, des systèmes d'incompatibilité empêchent la rencontre entre les gamètes génétiquement proches. Les systèmes d'incompatibilité sont constitués d'un locus S contenant de nombreux gènes très proches. Par simplification, on notera l'ensemble de ces allèles S1 ou S2, comme s'il s'agissait d'un seul gène.

Prenons le cas du Chou (*Brassica*) qui présente une **incompatibilité sporophytique**. Le pollen haploïde est recouvert par les protéines produites par l'anthere diploïde. Ces protéines sont reconnues par le style, et **si le style possède des protéines de même type, le pollen ne se réhydrate pas**.

Complétez le tableau

Pollen	S1//S1	S1//S2
Style S2//S2	...% tubes polliniques	...% tubes polliniques
Style S2//S3	...% tubes polliniques	...% tubes polliniques

Vous plantez dans votre jardin 3 variétés de chou S1//S1, S2//S2 et S3//S3. Vous les laissez se croiser et se re-semer. Que devient cette population avec le temps?

Exercice concours

3.3. les fréquences alléliques ne suivant pas le modèle d'Hardy-Weinberg quand...

33.3) quand certains facteurs externes sélectionnent un allèle ou réduisent la population



Voir cours évolution :

- effet de la sélection naturelle sur la fréquence des allèles
- Effet de la taille de la population (notion de dérive génétique)



1 Les hypothèses de la Loi de Hardy Weinberg

sont

- la sélection naturelle est positive
- la reproduction est sexuée et asexuée
- la population est très grande
- il n'y a pas d'immigration ni émigration

2 le modèle de Hardy Weinberg décrit l'évolution d'une population

- qui n'est pas soumise à la sélection naturelle
- qui présente une dérive génétique
- où il n'y a aucune barrière aux croisements entre individus
- où les allèles apparaissent par mutation

3 selon ce modèle, les fréquences des allèles d'un même gène

- sont variables, car l'allèle dominant tend à se répandre.
- sont variables, car l'allèle récessif tend à se répandre.
- sont stables
- sont imprévisibles

4 l'homogamie c'est

- le fait que les gamètes mâles et femelles soient identiques
- que les individus sont hermaphrodites
- que les individus tendent à s'accoupler quand ils se ressemblent
- que les individus tendent à ne pas s'accoupler quand ils se ressemblent

5 l'incompatibilité chez les Angiospermes c'est

- l'impossibilité pour deux plantes de pousser à côté l'une de l'autre
- l'impossibilité pour deux plantes de se reproduire ensemble
- l'impossibilité pour une plante de s'autoféconder
- le fait qu'une plante soit toxique

6 la dérive génétique

- c'est une fluctuation aléatoire des proportions des allèles dans une population
- la conséquence d'une réduction très importante de la taille de la population
- une diversification des allèles dans une population
- la conséquence de l'effet fondateur



ui



CONCLUSION

- Les organismes sont répartis en populations dont les effectifs varient au cours du temps, selon la valeur des **paramètres démographiques**.
- L'espèce est formée d'un **réseau de populations** potentiellement interconnectées par la dispersion, nommé métapopulation. Certaines populations présentent des adaptations locales (écotypes).
- Les populations constituent des **réservoirs d'allèles** (polymorphisme génétique) qui sont transmis par des systèmes de reproduction variés. La **fréquence** des allèles et leur **répartition spatiale changent** au cours du temps. Cela est dû à des facteurs internes (déterminisme du sexe, mortalité des allèles à l'état homozygote, etc.), à l'appariement non aléatoire (parades sexuelles animales, incompatibilités chez les Angiospermes et Mycètes) et à la sélection par des facteurs du milieu.



Les organismes d'une espèce sont regroupés en populations, elles-mêmes regroupées en une **métapopulation**.

C'est sur elle que s'exerce la sélection ou la dérive génétique à l'origine de l'évolution, c'est à dire de la transformation/disparition de l'espèce.

Ouverture : Pour **préserver une espèce** à un endroit donné, il faut connaître sa métapopulation et conserver les moyens de dispersion qui connecte ses différentes populations. En urbanisme, ces corridors qui permettent la connexion des populations s'appelle la trame verte pour les animaux terrestres, et trame bleue pour les aquatiques. On doit aussi veiller à avoir une diversité génétique de la population pour son maintien à long terme.