

Les tables d'histoire de vie

Marc Girondot

marc.girondot@u-psud.fr

université
PARIS-SACLAY

FACULTÉ
DES SCIENCES
D'ORSAY

1

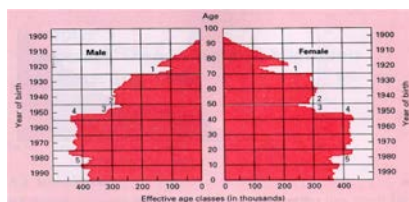
Traits d'histoire de vie

- Les traits d'histoire de vie principaux sont : la taille à la naissance, le patron de croissance, l'âge à maturité, la progéniture (nombre de jeunes, taille et sex-ratio), les investissements reproducteurs âge et taille-dépendants, la mortalité âge et taille-dépendante et la durée de vie.
- La théorie des histoires de vie est une branche de la biologie évolutive. Elle analyse ce qui cause les différences de valeur adaptative (« fitness ») entre les différents génotypes et phénotypes retrouvés dans la nature.

2

Pyramide des âges

Population en France au 1 janvier 1992

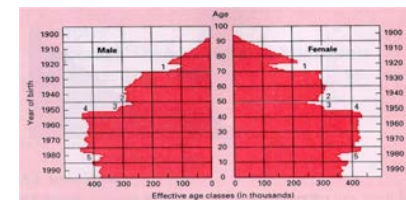


Une cohorte est l'ensemble des individus nés dans un même intervalle de temps. L'intervalle choisi dépend de l'espèce et de l'objectif de l'étude.

3

Suivi d'une cohorte

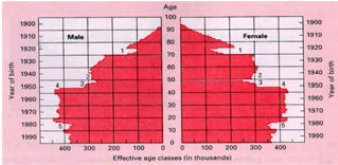
- Sur l'axe x, on a l'effectif des différentes cohortes.
- Le terme pyramide vient de l'observation générale de la forme qui est due au fait qu'en moyenne, une cohorte de niveau supérieur est en nombre plus faible que la cohorte inférieure.



4

Passer d'une cohorte à l'autre

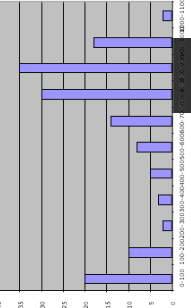
- Le passage d'une cohorte à l'autre s'effectue en prenant en compte la mortalité.
- L'effectif d'une cohorte dépend de son effectif à la naissance et des évènements de mortalité durant chaque période de temps (année ici).



5

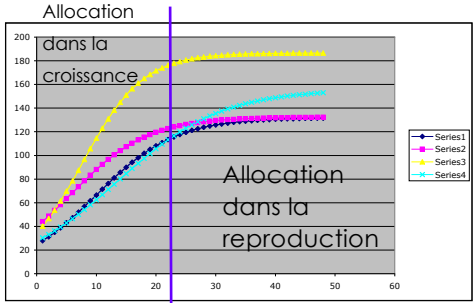
Pyramide des tailles

- On peut faire un graphique semblable avec les tailles.
- Si la taille est un bon indicateur de l'âge (croissance continue au cours de la vie) alors ce graphique amène une information concordante à celle obtenue avec une pyramide d'âge.
- Si la taille n'est pas un bon indicateur de l'âge, alors la distribution des tailles des individus au sein d'une population n'amène que peu d'information sur la structure en âge de la population.



6

Modèle de croissance des individus



Allocation dans la croissance

Allocation dans la reproduction


Maturité sexuelle

Stearns SC (1992) The evolution of life histories. Oxford University Press, New York

7

Comment modéliser la croissance des organismes ?

- La croissance d'un organisme peut être vue comme la croissance du nombre de cellules dans un milieu avec des ressources limitées.
- C'est exactement la formulation du modèle de Verhulst que l'on a vu en dynamique des populations.
- En conséquence, le modèle de Verhulst est une des alternatives possibles pour modéliser la croissance des individus.





Verhulst P.F. 1838. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance Mathématique et Physique 10:113-121.

$$masse = \frac{a}{1 + e^{b(t-t_0)}}$$

8

Différentes équations


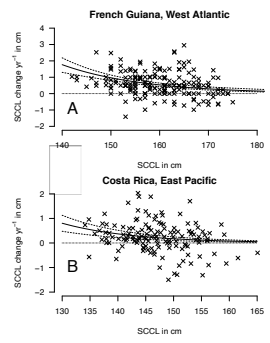



- Bertalanffy, L. von 1938. A quantitative theory of organic growth. Hum. Biol., 10 (2): 181-213. $y = A[1 - B \exp(-kt)]^{(1/(1-m))}$
- Gompertz B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philos Trans R Soc Lond [Biol] 115:513-585. $y = a \exp(-C \exp(-kt))$

9

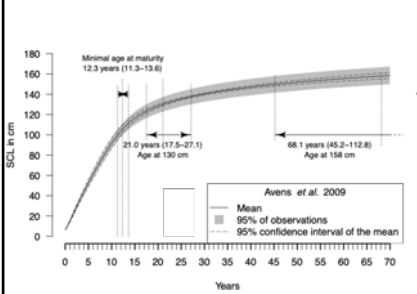
Limites

- Toutes ces équations représentent une croissance déterminée, c'est-à-dire qu'il y a une asymptote.
- La généralité de ce type de modèle est très fortement remise en cause.

10

Nouveau modèle



Asymptote

Gompertz

Linéaire

Âge de transition

Qualité habitat

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \alpha h \ln\left(\frac{K}{x}\right) x \\ \frac{dK}{dt} = \beta h \left(\frac{1}{1+e^{(1/S)(M-x)}}\right) \end{array} \right.$$

Avens et al. 2009

Chevallier D, Mourrain B, Girondot M (2021) Modelling leatherback biphasic indeterminate growth using a modified Gompertz equation. Ecological Modelling. 109037

11

Maturité sexuelle

- La maturité sexuelle est une caractéristique définie à l'échelle de l'individu;
- La zone d'infléchissement de la croissance correspond à une caractéristique de la population.
- La relation entre maturité sexuelle des individus et la maturité sexuelle à l'échelle de la population est complexe.

12

Comment construire une pyramide des âges

- Connaître l'âge des individus

13

Capture-Marquage-Recapture

Les modèles de Capture-Marquage-Recapture ne permettent pas d'avoir accès à l'âge absolu des individus, mais seulement leur âge relatif par rapport à la première capture.

Même dans le cas de saturation de marquage, on ne peut jamais exclure une immigration ou un animal non encore capturé.

14

Accès à l'âge absolu

L'âge depuis la naissance

15

Croissance chez les arbres

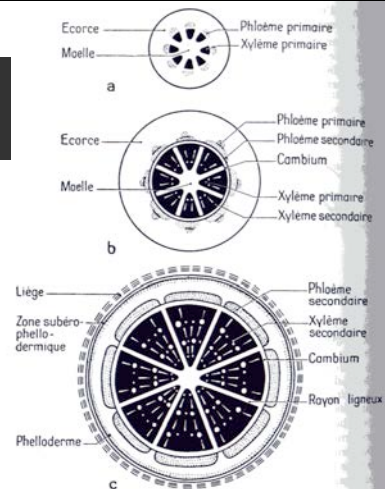

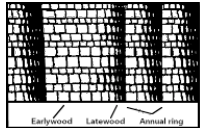


FIG. 141. — Croissance en épaisseur et structure secondaire d'une tige de Hêtre.
a : structure primaire; b : tige à la fin de sa première année; c : tige de 3 ans.

16

Dendrochronologie

■ Permet d'obtenir l'âge d'un arbre

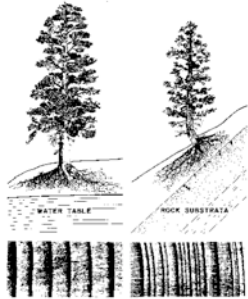
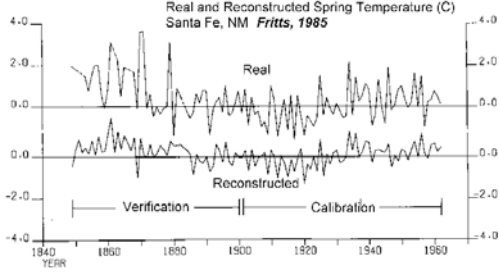



Attention, si le prélèvement est effectué sur une branche, on a l'âge de la branche et non celui de l'arbre.

17

Utilisation pour la datation absolue

■ La taille des cerne peut-être utilisée pour reconstruire les conditions climatiques du passé.

Real and Reconstructed Spring Temperature (C)
Santa Fe, NM Fritts, 1985

Real
Reconstructed

Verification Calibration

1840 1860 1880 1900 1920 1940 1960

4.0 2.0 0.0 -2.0 -4.0

4.0 2.0 0.0 -2.0 -4.0

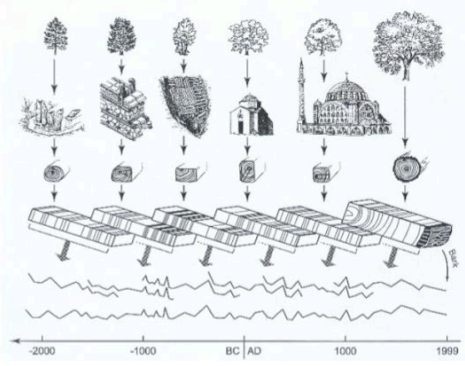
YEAR

RINGS OF UNIFORM WIDTH PROVIDE LITTLE OR NO RECORD OF VARIATIONS IN CLIMATE.

RINGS OF VARYING WIDTH PROVIDE A RECORD OF VARIATIONS IN CLIMATE.

18

On combine différentes informations



-2000 -1000 BC AD 1000 1999

19

Precise dating of the Norfolk timber circle

This curious monument on the English coast has survived for more than four millennia.

In August 1998, the site of a subcircular ring of 55 oak timbers surrounding a large inverted oak tree was discovered within the intertidal zone at Holme-next-the-Sea, Norfolk (52.58° N, 00.33° E). The circle, the first surviving example discovered in Britain, was in serious danger of destruction by tidal erosion, so it was imperative that detailed archaeological investigations be undertaken, including dating. Information provided by tree-ring analysis and radiocarbon measurements was combined using a bayesian approach¹, resulting in a precise absolute dating for the structure.

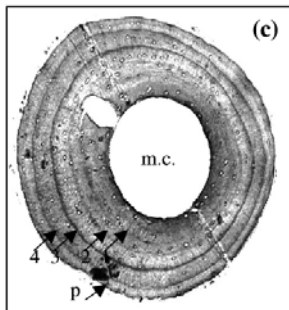


Combining the information from both dating techniques, including unmeasured partial rings on the outside of the tree-ring samples, reveals that the upturned tree in the centre of the monument died, or was felled, in April to June 2050 BC. The surrounding posts were felled in April to June of the following year, 2049 BC.

Bayliss, A., Groves, C., McCormac, G., Baillie, M., Brown, D. & Brennand, M. (1999) Precise dating of the Norfolk timber circle. Nature 402, 479.

20

Os enchondral de vertébré poïkilotherme



Etude des lignes d'arrêt de croissance (LAC ou Line of Arrested Growth, LAG, en anglais)

Section transversale d'une phalange d'un sonneur à ventre de feu de 5 ans, *Bombina bombina*. Il n'y a pas de résorption endostéale. Quatre LACs sont présentes.



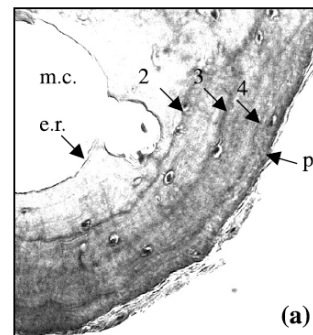
Population age structure and growth in four syntopic amphibian species inhabiting a large river floodplain

Dan Cogălniceanu and Claude Miaud

21

Os enchondral de vertébré poïkilotherme

Squelettochronologie: biais possible, la résorption endostéale



Section transversale de l'humérus d'un triton commun, *Triturus vulgaris*, de 5 ans. La LAC la plus ancienne est érodée.

Population age structure and growth in four syntopic amphibian species inhabiting a large river floodplain

Dan Cogălniceanu and Claude Miaud

22

Comment détecter l'érosion

- L'os enchondral se dépose par couche circulaire se superposant vers l'extérieur puis peut intervenir un remaniement interne.
- On peut établir la taille moyenne d'un os à la naissance et l'utiliser comme référence sur les os plus âgés pour un rétro-calcul du nombre de LAC perdues.

23

Autres biais possibles de la squelettochronologie

- Marque d'estivation
- Double-marques d'hivernage
- Absence de marque d'hivernage
- Les marques sont très compactées à partir de la maturité sexuelle.
- On peut utiliser des méthodes équivalentes avec les écailles des chéloniens par contre les marques peuvent s'effacer avec l'âge ou avec les otolithes des actinoptérygiens.



24

Les cycles de vie

Relation entre longévité et reproduction

25

Cycles de vie

- Semelpares (parfois appelé monocarpique chez les plantes) - un seul évènement de reproduction au cours de la vie
- Itéropares (parfois appelé polycarpique chez les plantes) - évènements multiples de reproduction au cours de la vie

26

Cycles de vie de longévité faible

(a) Semelparous annual

(b) Iteroparous annual

(c) Semelparous ephemeral

(d) Winter annual

Annual

27

Cycles de vie de forte longévité

(e) Biennial

(f) Indeterminate semelparity

(g) Continuous semelparity

(h) Overlapping iteroparity

(i) Continuous iteroparity

28

Tables de vie et de fécondité

- Dans l'objectif de suivre ces cycles de vie dans le détail, on construit des tables de vie (life tables) à partir desquelles on peut tirer les courbes de survie (survivorship curves).
- La fécondité sera aussi intégrée à ces tables pour fournir des tables de fécondité (fecundity schedules).

29

Table de vie

- Table de vie d'une cohorte chez une sauterelle- décrit le suivi d'une seule cohorte d'individus.
- Les nombres d'individus (valeurs a_x) sont transformées en données proportionnelles pour comparaison (l_x).

Stage (x)	Number observed at start of each stage a_x	Proportion of original cohort surviving to start of each stage l_x
Eggs (0)	44 000	1.000
Instar I (1)	3513	0.080
Instar II (2)	2529	0.058 → 2529/44000
Instar III (3)	1922	0.044
Instar IV (4)	1461	0.033
Adults (5)	1300	0.030

30

Table de fécondité

- La table de fécondité représente la production âge-spécifique des œufs chez la sauterelle.
- Le nombre d'œufs pondus est indiqué dans la colonne F_x et cela permet de calculer le nombre d'œufs par adulte survivant à tous les stades m_x ($22,617/1,300 = 17$) et $l_x m_x$ étant le nombre d'œufs mis en proportion de la taille initiale de la cohorte dans le stade (44000).

Stage (x)	Eggs produced in each stage F_x	Eggs produced per surviving individual in each stage m_x	Eggs produced per original individual in each stage $l_x m_x$
Eggs (0)	—	—	—
Instar I (1)	—	—	—
Instar II (2)	—	—	—
Instar III (3)	—	22617/1300	—
Instar IV (4)	—	—	—
Adults (5)	22 617	17	0.51
			22617/44000

31

Le taux net de reproduction λ

- Les tables de vie de cohorte peuvent être résumées en une seule valeur, le taux net de reproduction (basic reproductive rate) λ qui est le nombre moyen de descendants produits à la fin de la cohorte par adulte initial.
- Ce taux peut être calculé par: $\lambda = \sum l_x m_x$

Stage (x)	Eggs produced in each stage F_x	Eggs produced per surviving individual in each stage m_x	Eggs produced per original individual in each stage $l_x m_x$
Eggs (0)	—	—	—
Instar I (1)	—	—	—
Instar II (2)	—	—	—
Instar III (3)	—	22617/1300	—
Instar IV (4)	—	—	—
Adults (5)	22 617	17	0.51
			22617/44000

32

Exemple de table avec des catégories de jours

Age interval (days) $x - x'$	Number surviving to day x a_x	Proportion of original cohort surviving to day x l_x	F_x	m_x	$l_x m_x$
0-63	996	1.000	—	—	—
63-124	668	0.671	—	—	—
124-184	295	0.296	—	—	—
184-215	190	0.191	—	—	—
215-264	176	0.177	—	—	—
264-278	172	0.173	—	—	—
278-292	167	0.168	—	—	—
292-306	159	0.160	53.0	0.33	0.05
306-320	154	0.155	485.0	3.13	0.49
320-334	147	0.148	802.7	5.42	0.80
334-348	105	0.105	972.7	9.26	0.97
348-362	22	0.022	94.8	4.31	0.10
362-	0	0.000	—	—	—
			2408.2	2.41	

$\lambda = 2.41$

33

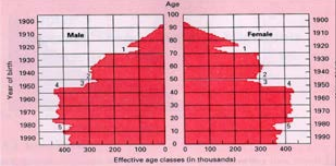
Rappel: Croissance géométrique

- La fraction de la taille de la population d'une année par rapport à celle de l'année précédente (ou du pas de temps précédent) est = λ
- $\lambda = N_{t+1} / N_t$ t est une unité arbitraire de temps
- Donc $N_{t+1} = N_t \lambda$

- $N_t = N_0 \lambda^t$

34

Lien avec la pyramide des âges



- Soit une pyramide des âges effectuée l'année Y.
- L'effectif à la naissance pour l'année t est notée $n(0, t)$. La première barre de cet histogramme est donc $n(0, Y)$. Le nombre $n(1, Y)$ est égal à $n(0, Y-1) \cdot P(0, Y-1)$.
- $P(0, Y-1)$ est la proportion survivante de la classe 0 l'année précédente (Y-1), c'est donc bien ceux qui passent dans la classe d'un an l'année Y. On peut généraliser:

$$n(x, Y) = n(0, Y-x) \cdot \prod_{i=0}^{x-1} P(i, Y-x+i)$$
- Notez que l'émigration ou l'immigration n'est pas prise en compte.

35

Les problèmes inverses

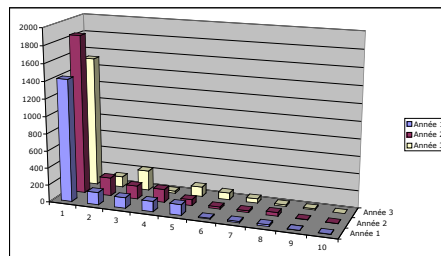
- Un thème récurrent de l'étude des problèmes inverses est que les taux des paramètres vitaux ne sont pas totalement identifiables si on ne connaît que la dynamique de la population ou sa structure, parce que de multiples combinaisons de taux démographiques peuvent produire la même dynamique.
- Par exemple, pour passer de 1 à 2 ours d'hier à aujourd'hui, il est possible qu'un soit né cette nuit ou bien il a pu y avoir 101 naissances et 100 décès, ou toute combinaison entre les deux.

McCallum, H., 1999. Population parameters: Estimation for ecological models. Wiley-Blackwell.

36

Suivi d'une structure d'âge

- On peut par contre tirer une information démographique lorsque la structure d'âge d'une même population est suivie.
- Par contre, là encore, des hypothèses fortes doivent être effectuées (notamment sur la forme des distributions).



Gross K., Craig B.A., Hutchison W.D. 2002. Bayesian estimation of a demographic matrix model from stage-frequency data. *Ecology* 83:3285-3296.

37

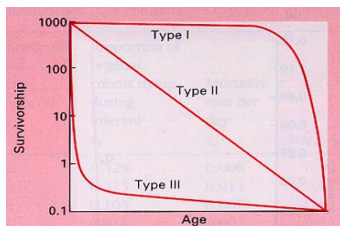
Suivi d'une structure d'âge

- Le nombre d'individus de chaque classe dépend du nombre dans la classe précédente l'année $t-1$, de la survie, de l'émigration, de l'immigration et de la probabilité de capture.
- Le nombre dans la classe 0 dépend de la fécondité de chaque classe l'année $t-1$.

38

Courbes de survie

- Survivorship curves were classified by Pearl and later Deevey into types I (convex or "late loss"), II (straight or "constant loss") & III (concave or "early loss")



39

Longévité

- La longévité est la durée de vie d'un individu ou la durée de vie moyenne si on parle d'une population. Elle correspond à l'espérance de vie d'un individu à la naissance, si tous les facteurs influençant la démographie restent identiques à ce qui est défini.
- L'espérance de vie est une mesure statistique de la durée pendant laquelle un organisme pourra vivre, sur la base de l'année de naissance, son âge actuel et d'autres facteurs démographiques, y compris le sexe.

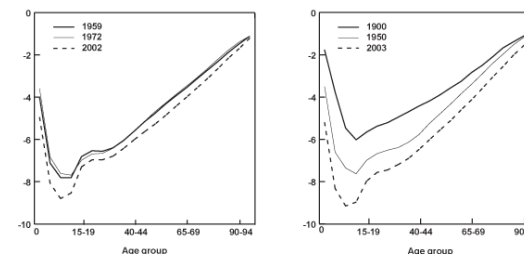
40

Espérance de vie

- La mesure la plus couramment utilisée de l'espérance de vie est l'espérance de vie à la naissance (LEB – life expectancy at birth) qui est notée e_0 (nombre d'années restant à vivre en moyenne pour un individu d'âge 0).
- La valeur e_5 permet de décrire l'espérance de vie d'un individu encore vivant à 5 ans donc en éliminant la mortalité infantile. Notez que la longévité moyenne attendue d'un individu est alors $5+e_5$

41

Probabilité de décès chez l'homme



Meseguer, J., 2008. The out-of-sample performance of stochastic methods in forecasting age-specific mortality rates. ORES Working Paper Series. Social Security Administration, p. 63.

42

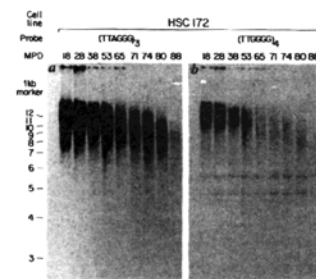
Vieillesse, sénescence et sénilité

- Le vieillissement est un phénomène à base purement temporelle qui implique que l'on est plus âgé au temps $t+1$ qu'au temps t
- La sénescence est un phénomène qui conduit à une déficience physiologique progressive
- La sénilité correspond au développement de pathologies spécifiques de l'âge

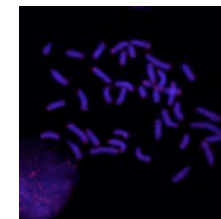
MONACO T. O., P. S. P. SILVEIRA 2009. Aging is not senescence: a short computer demonstration and implications for medical practice. — *Clinics* 64 (5): 451-457.

43

Les télomères marqueurs du vieillissement



from Harley, Fuchter and Greider (Nature 1990)



44

Réduction de la taille des télomères

modified from Blackburn (Nature, 1991)

During replication of DNA, the 3'→5' strand is completely replicated.

On the contrary, replication uses RNA intermediates for the duplication of the 5'→3' strand and replication progresses by small fragments (known as Ogasaki fragments).

This strand cannot be completely replicated and a small part of the telomere end is lost at each cell division.

45

Les télomères comme cause de la sénescence cellulaire

46

Taille des télomères et longévité moyenne

- Telomeres shorten more slowly in long-lived birds and mammals than in short-lived ones.
- Haussmann MF, Winkler DW, O'Reilly KM, Huntington CE, Nisbet IC, Vleck CM.

Species	Maximum Life Span (years)	Telomere Rate of Change (bp/year)
Mus	~10	~-500
Canis	~15	~-400
Ovis	~20	~-500
Macaca n.	~25	~-400
Bos	~30	~-300
Macaca f.	~40	~-150
Pan	~60	~-100
Homo	~120	~-100

47

Le cas d' *Emys orbicularis*

La sénescence existe-t'elle chez les tortues ?

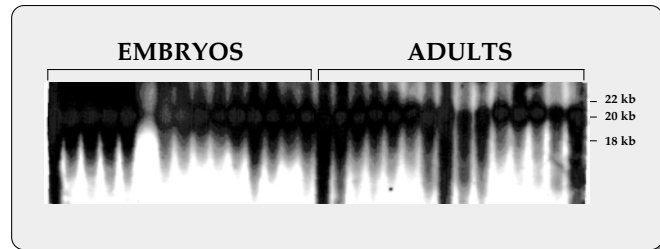
- Pas de maladies liées à l'âge
- Augmentation des capacités reproductrices au cours du vieillissement

Analyse de la taille des télomères, marqueur du vieillissement chez les vertébrés et une des causes de la sénescence.

Cistude d'Europe

48

Télomères chez *E. orbicularis*



49

Difficultés d'observer la sénescence

- En conditions naturelles, les organismes pourraient mourir avant d'atteindre l'âge de la sénescence.
- La compétition inter-individus pour l'accès aux ressources peut produire une augmentation de la mortalité en fonction de l'âge qui n'est pas de la sénescence.

50