

# L'écologie : de sa réalité biologique à sa réalité éco-lo-no-mique.

Quelques notions de base

**Groupe Emergence**

7 Décembre 2020

**Jacques de Gerlache**  
Dr. Sc. Pharm, (Eco)toxicologue  
**GreenFacts**

---

# Plan de la présentation

- |    |                                                                              |        |
|----|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. | <b>L'écologie : définition, principes et méthodes</b>                        | 1-18   |
| 2. | Pour-quoi y a-t-il des éco-systèmes                                          | 19-37  |
| 3. | Les grands principes d'organisation des écosystèmes                          | 38-57  |
| 4. | Les interactions entre flux de matière et d'énergie<br>au sein d'écosystèmes | 58-64  |
| 5. | Evaluer la résilience des écosystèmes entre dangers,<br>risques et sécurité  | 65- 73 |
| 6. | Epilogue                                                                     | 74-76  |

**« Tout ce qui arrive à la terre arrive aux fils de la terre.  
L'homme n'a pas tissé la toile de la vie, il n'est que le fil de tissu.  
Tout ce qu'il fait à la toile, il le fait à lui-même. »**

**le chef indien Seattle devant l'Assemblée des tribus.**

**Discours prononcé en 1854.**

**« *La loi de la dégradation de l'énergie* » est la plus métaphysique  
des lois de la physique, en ce qu'elle nous montre du doigt,  
sans symboles interposés, sans artifices de mesure,  
la direction où marche le monde »**

**Henri Bergson , *L'Evolution créatrice*,**

**« C'est l'approche globale de la biogéographie et de l'écologie qui  
met en évidence la diversité biologique. La diversité culturelle n'en  
est-elle pas le prolongement humain ? »**

**Jacques Grinevald**

# Plan de la présentation

1. **L'écologie : définition, principes et méthodes**
2. **Pour-quoi y a-t-il des éco-systèmes**
3. **Les grands principes d'organisation des écosystèmes**
4. **Les interactions entre flux de matière et d'énergie au sein d'écosystèmes**
5. **Evaluer la résilience des écosystèmes entre dangers, risques et sécurité**
6. **Epilogue**

# L'écologie : entre réalité biologique et mouvement socio-politique



**L'écologie** est l'étude des conditions d'existence des êtres vivants (*plantes, animaux et microorganismes*) et de leur relations avec leur milieu naturel (*vivant et non vivant*).

**L'écologie sur le plan biologique** (*du grec oikos, demeure, et logos, science*) , terme inventé en 1866 par le biologiste allemand Ernst Haeckel, a pour objet **l'étude des relations entre les êtres vivants et leur environnement.**

**L'écologie politique** est un ensemble de courants, largement diffusé depuis les années 1970, qui insiste **sur la prise en compte des enjeux écologiques dans l'action politique et dans l'organisation sociale et économique.**

[http://www.etopia.be/IMG/pdf/ecologie\\_politique.pdf](http://www.etopia.be/IMG/pdf/ecologie_politique.pdf)

# La dimension “systémique” de l’écologie

***“Le tout est plus que la somme des parties”***

D’une façon générale, un état complexe dit “organisé” de la matière constitue un “tout” que l’on nomme un “système dynamique” ce qui implique :

- Des flux d’énergie ;
- Un grand nombre d’éléments constitutifs ;
- Des interactions stables entre ces éléments ;
- Des mécanismes de régulation de ces interactions.

=> Cette dimension de “tout”, irréductible à l’analyse de ses “parties”, requiert une méthode scientifique d’analyse spécifique.

# Les composantes de *l'écologie scientifique*

« ECO- » → « *la Maison* » (en grec)

« -LOGIE » → « *La Science de* »

Cela Intègre :

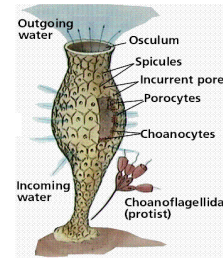
- ♦ les « objets » de la maison, du « village »;
- ♦ leurs « structures » et « fonctions » ;
- ♦ leurs niveaux d'organisation : *coordinations, hiérarchies* ;
- ♦ les flux d'énergie (échanges) entre les objets : « écoNOMIE » ;
- ♦ mais aussi les flux d'information : *signes et langages* entre individus et populations.

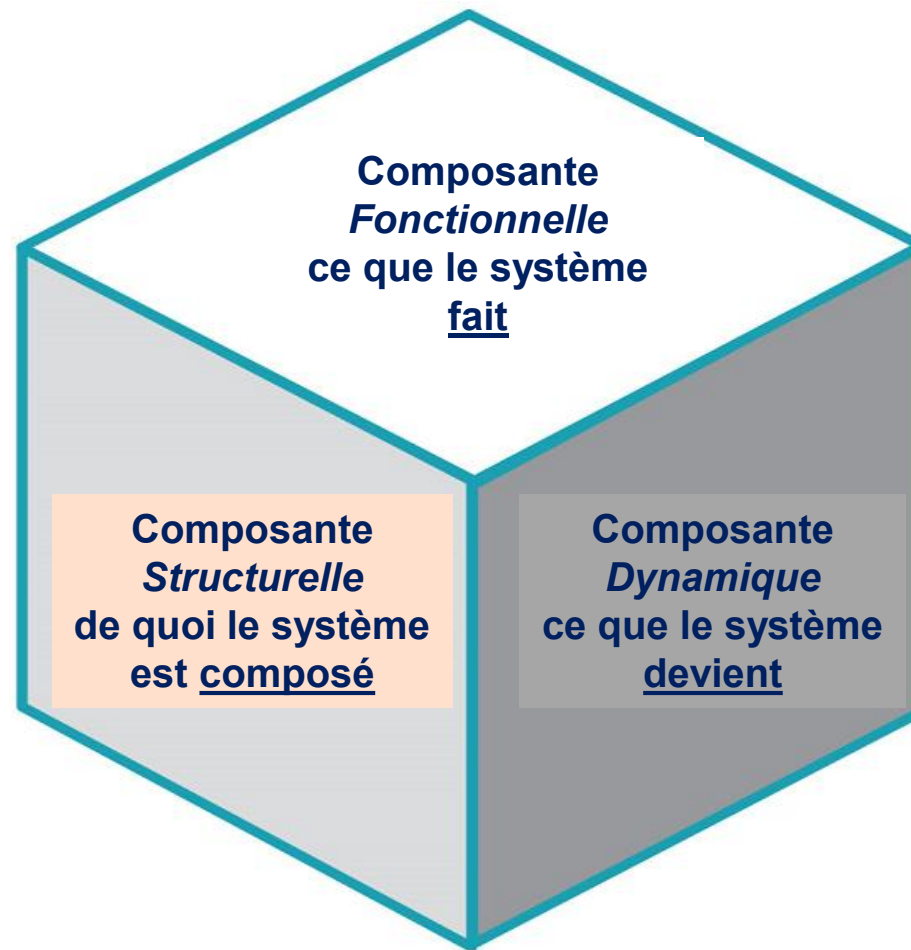


# Qu'est-ce qu'un système écologique ?

*« Un ensemble d'éléments biologiques en relations dynamiques »*

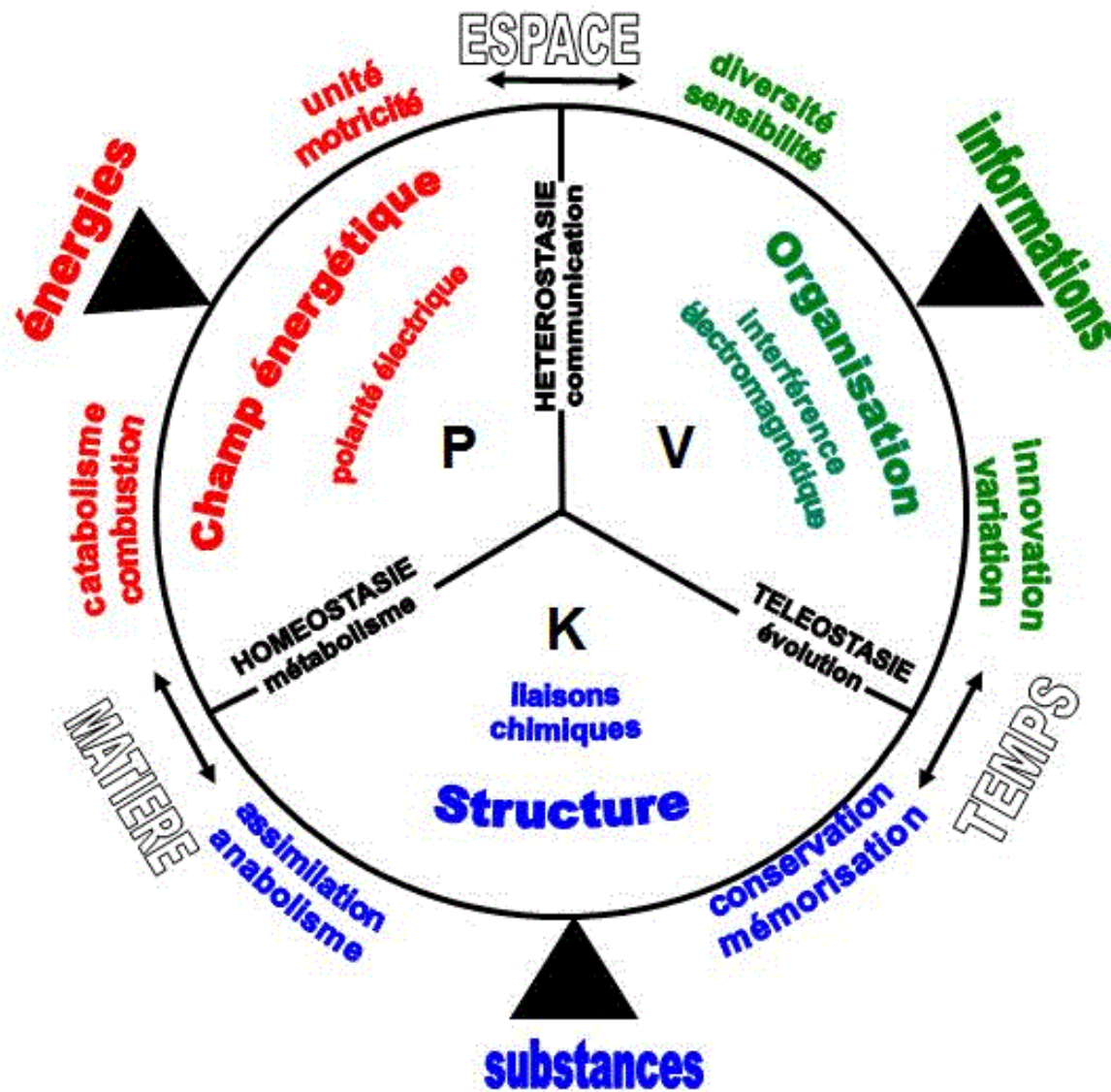
- Ex :
- La cellule et ses “organites”
  - la cellule et l'organisme ;
  - la fleur, la plante et le jardin ;
  - l'arbre et la forêt ;
  - l'abeille et le rucher ;
  - l'individu et la tribu ;
  - la maison et le village ;
  - le soldat et l'armée ;
  - l'entreprise et son marché
  - *Emergence* et ses membres ...





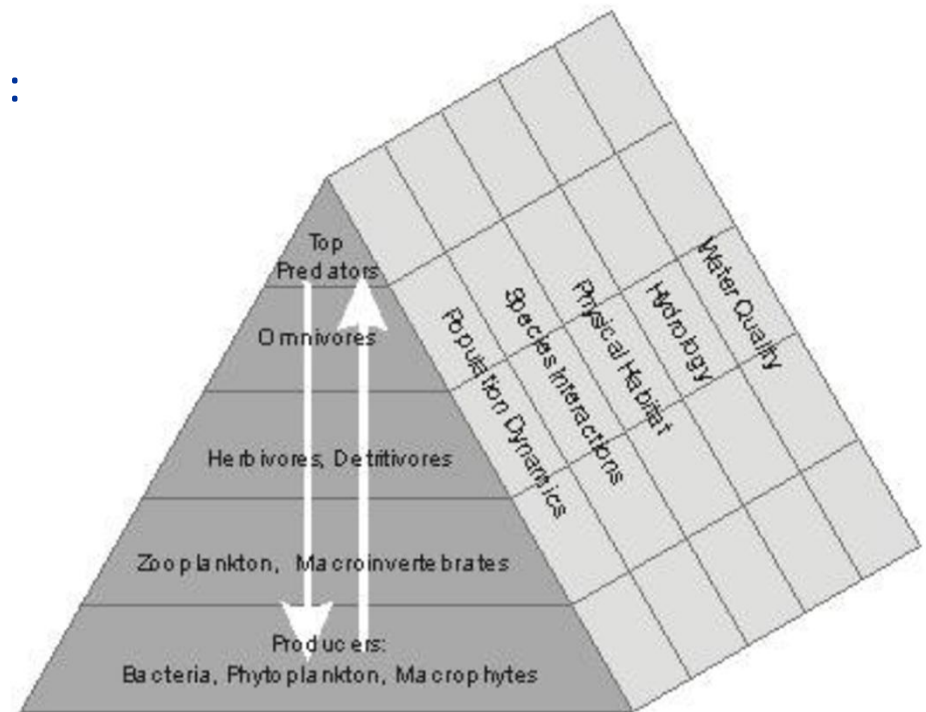
Adapté de Gérard Donnadiou

# Les dimensions d'une méthodologie éco-systémique



# Définition d'un écosystème

- ◆ Un écosystème est défini par référence au biotope auquel il est rattaché.
- ◆ Il va dépendre de plusieurs dimensions :
  - On distingue par exemple un écosystème propre à une forêt, un étang, à un arbre mort ou à une prairie ;
  - Ainsi, l'écosystème forestier, la prairie, font eux-mêmes partie d'un agro-écosystème plus vaste, l'écosystème terrestre ou continental (par rapport à un écosystème marin).



# L'écologie : une science pluridisciplinaire (1/2)

Elle emprunte notamment :

1. à la physique : en particulier les lois de l'énergie : l'énergie du soleil et en partie à celle de la géothermie. Les notions de cycle et de flux sont aussi prises en compte : passage du minéral à l'organique, du « mort » au « vivant » ;
2. à la géologie : comme dans les domaines de la pédologie, la géomorphologie, la paléontologie. Les écosystèmes sont implantés sur des plaques lithosphériques qui bougent ;
3. la volcanologie, la climatologie, la glaciologie, la sédimentologie pour connaître l'importance de la (géo)dynamique planétaire dans le fonctionnement des écosystèmes ;
4. à la chimie moléculaire : les lois spécifiques de la (bio)chimie : minérale, organique et biologique : *enzymologie, couplages, symbioses, métabolismes, ...*

# L'écologie : une science pluridisciplinaire (2/2)

5. à la «sociologie» : dans l'étude des comportements intra- et inter-espèces ;
6. à l'économie : dans la gestion des équilibres entre *efficacience* et *résilience*, notamment dans la dimension de la *biodiversité* ;
7. aux mathématiques :, la logique, la théorie des ensembles, la systémique pour construire les modèles ;
8. aux statistiques qui permet de valider les observations faites, notamment au niveau des populations ;
9. à l'informatique : permet de gérer les données , la création de modèles, d'effectuer des prédictions afin de bâtir des scénarii.

# L'écologie : 6 principales sous-disciplines (1/2)

1. L'écologie globale à l'échelle de l'écosphère ou de la biosphère de tous les milieux occupés par les êtres vivants ;
2. La syn-écologie ou *biocénétique* étudie la structure, le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes. Elle analyse le rapport existant entre une communauté d'individus (espèces) qui appartiennent à diverses espèces d'un groupement et leur milieu ou environnement.
  - - l'aspect statique (*synécologie descriptive*) décrit la composition spécifique des groupements qui se trouvent dans un milieu : nature, abondance, répartition spatiale, ... ;
  - - l'aspect dynamique (*synécologie fonctionnelle*) décrit sous quels facteurs évoluent et se succèdent des groupements dans un milieu déterminé et examine les transferts de matières et d'énergie entre les divers constituants d'un écosystème.

# L'écologie : 6 principales sous-disciplines (2/2)



3. La démo-écologie décrit la structure, la dynamique et les causes de fluctuations des *relations* existant entre une population et son environnement ;
4. L'auto-écologie étudie les rapports existant entre les individus d'une population et leur environnement : tolérance et préférence vis à vis des facteurs écologiques, influence du milieu sur la morphologie, la physiologie et le comportement de l'espèce.
5. L'éco-physiologie étudie les relations entre les processus physiologiques et les facteurs environnementaux ;
6. L'«écono-logie» ou économie de l'environnement étudie la consommation des ressources naturelles et leur impacts sur le système et l'environnement.

# « La planète Terre : un être « vivant » ? »

- ◆ « Pour les spécialistes du climat, des océans, des glaces ou de la biodiversité, la Terre n'est pas une simple planète, mais ***un corps traversé par de multiples processus complexes dont les interactions la maintiennent en équilibre plus ou moins précaire - un corps vivant, en somme !*** »
- ◆ Cette vision systémique de l'"*hypothèse Gaia*", formulée il y a 50 ans par James Lovelock, « *rompait radicalement avec le regard de l'époque, qui séparait strictement biologie et géosciences, subordonnant la première aux secondes.* »
- ◆ Cette intuition de **la vie comme système régulant l'état de la planète**, vivement rejetée durant plusieurs décennies, serait en train de s'imposer dans toutes les géosciences modernes.



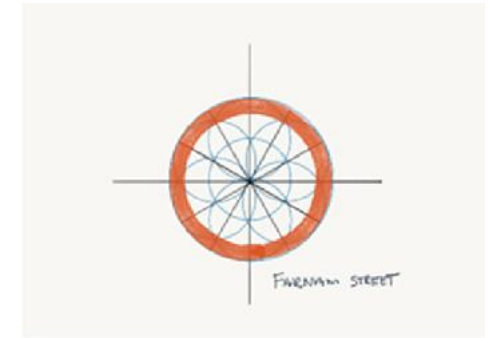
« Le Grand retour de l'hypothèse Gaia »  
Yves Sciama, Science-et-Vie

<https://www.science-et-vie.com/nature-et-enviro/le-grand-retour-de-lhypothese-gaia-54241>

# « La planète Terre : un être « vivant » ?

- ◆ Il ne s'agit plus d'un simple raccourci verbal ou d'un aphorisme ;
- ◆ Cette hypothèse reflète **une réalité physique**, telle que la géoscience moderne la conçoit;
- ◆ *« Cette hypothèse irrigue depuis trois décennies la géologie, la climatologie, l'océanographie, la glaciologie, mais aussi l'astrobiologie, l'écologie, les sciences de l'évolution et même la philosophie des sciences ».*
- ◆ Seul ce nouveau paradigme scientifique qui envahit toutes les sciences de la Terre, **permet en effet d'intégrer et de prédire les réalités « planétaires » : bascules climatiques, océanographiques dans les réalités, et donc les risques écologiques**, que les activités humaines font peser sur la planète ...

# Les quatre lois décrivant un écosystème

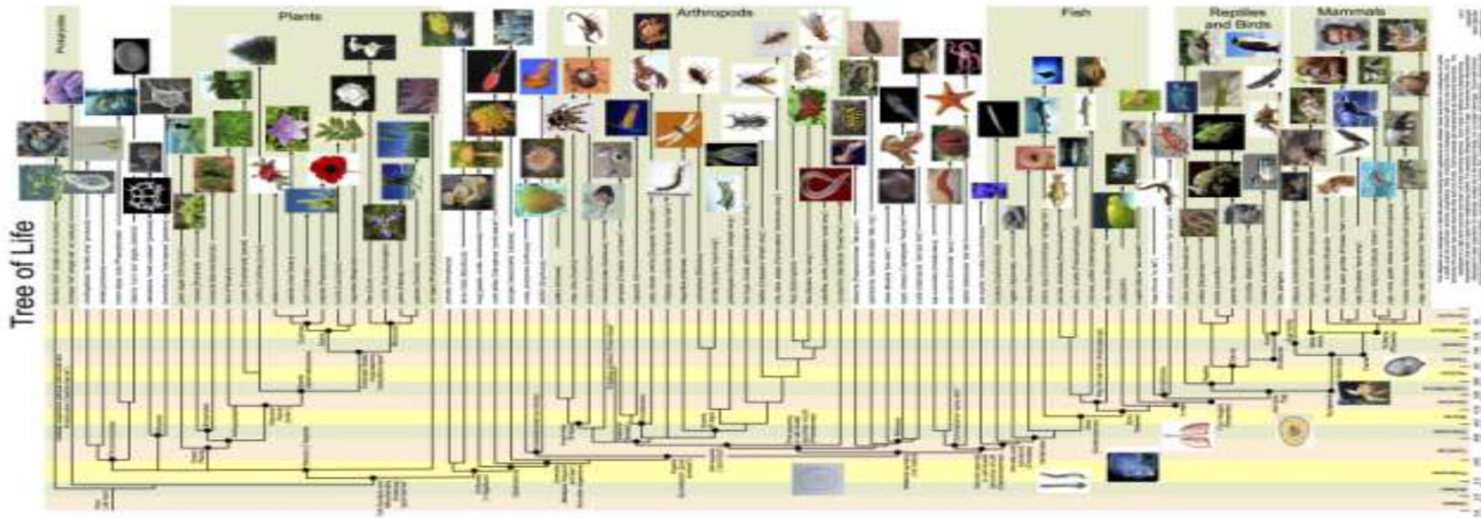


- ◆ Première loi : ***tout est lié à tout*** : Elle reflète le réseau complexe d'interconnexions dans l'écosphère : entre les différents organismes vivants et leur environnement physico-chimique, entre les populations, les espèces et les organismes individuels ;
- ◆ Deuxième loi : ***l'écosphère globale est prédominante*** : tout changement majeur apporté par une communauté à un système naturel est susceptible de porter préjudice à ce système ;
- ◆ Troisième loi : ***rien ne se perd*** : les impacts des *transformations* seront une des principales raisons de crises environnementales ;
- ◆ Quatrième loi : ***il n'y a pas de 'repas gratuit'*** : à chaque 'gain de valeur' local correspond un coût entropique global.

# Les différents niveaux d'étude d'un écosystème

## 1. à partir des communautés de populations

1. **L'individu** qui est un spécimen d'une espèce donnée ;
2. **La population** est un groupe d'individus de la même espèce occupant un territoire particulier à une période donnée ;
3. **La communauté** ou biocénose est l'ensemble des populations animales (*zoocénose*) et végétales (*phytocénose*) qui vivent dans les mêmes conditions de milieu au voisinage et en symbiose les unes avec des autres.



# Les différents niveaux d'étude d'un écosystème

## 2. à partir de leurs comportements énergétiques

1. les producteurs (les végétaux chlorophylliens), qui consomment de la matière minérale et produisent de la matière organique: ce sont les *autotrophes* ;
2. les consommateurs (les animaux), qui peuvent être des *hétérotrophes* de premier ordre (*phytophage*), de deuxième ordre ou plus (les *carnivores*) ;
3. les décomposeurs (les bactéries, champignons) qui dégradent les matières organiques de toutes les catégories, et restituent au milieu les éléments minéraux.

Ces relations forment des séquences, où chaque individu mange le précédent et est mangé par celui qui le suit, on parle de “*chaîne alimentaire*” ou de “réseau trophique”.

# Plan de la présentation

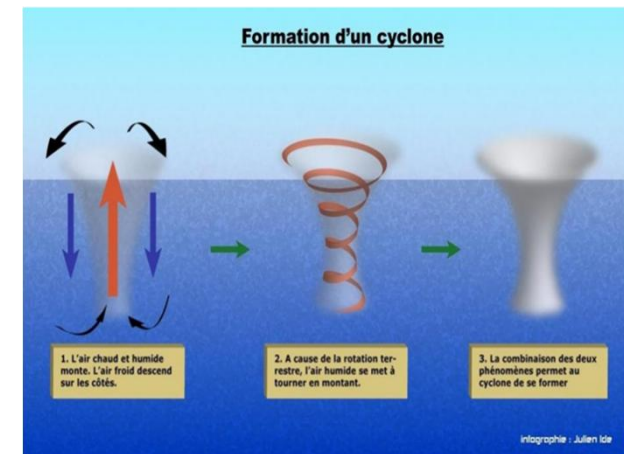
1. L'écologie : définition, principes et méthodes
2. **Pour-quoi y a-t-il des éco-systèmes**
3. Les grands principes d'organisation des écosystèmes
4. Les interactions entre flux de matière et d'énergie au sein d'écosystèmes
5. Evaluer la résilience des écosystèmes entre dangers, risques et sécurité
6. Epilogue

# La 3ème loi de la thermodynamique : la dissipation *maximale* de l'énergie

- ◆ Les structures organisées, telles les structures « vivantes » sont donc des structures « locales » qui contribuent à la dissipation de l'énergie du système « global » qu'elles consomment :

*les calories du soleil pour le monde végétal, celles accumulées dans leurs structures pour les animaux.*

- ◆ Elles tendent à se complexifier et donc à diminuer sans cesse leur propre entropie parce qu'elles favorisent ainsi la maximalisation de la vitesse de dissipation de l'énergie.

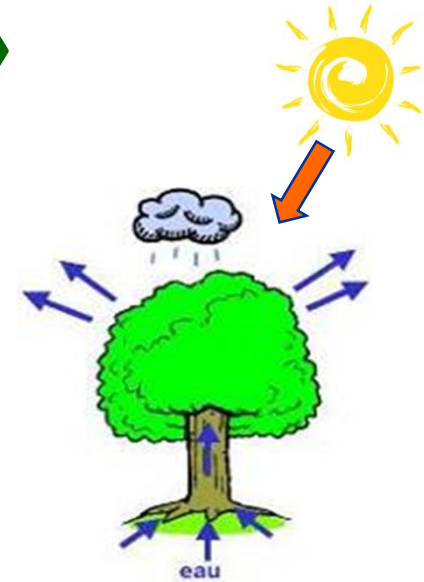


Paradoxe fondamental : un (éco)système “organise” est donc ***de l'ordre qui émerge localement pour créer globalement plus de désordre !***



## « Pour-quoi il y a des arbres ? »

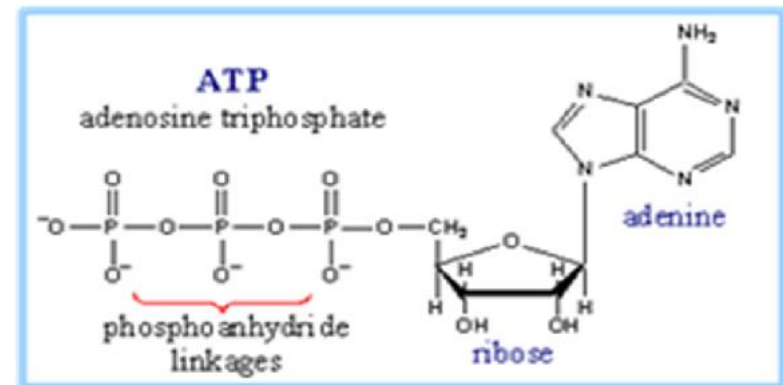
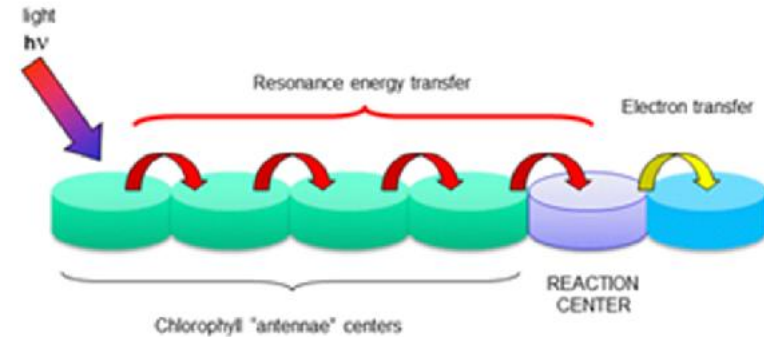
- ◆ Comme les cyclones, les arbres favorisent une évaporation optimale afin que le flux d'énergie capté par la surface terrestre soit plus efficacement dissipé dans l'atmosphère.
- ◆ La transpiration constitue en effet un mode important de dissipation de chaleur.
- ◆ A un seuil critique, une « transition de phase » établit *localement* un couplage s'établissant entre deux forces au sein d'un flux entropique ;
- ◆ C'est l'effet de « résonance » qui en résulte qui amplifie alors la dissipation de l'énergie ;
- ◆ *Un arbre pouvant transpirer jusqu'à 220 litres/hr, la transpiration des forêts, passage de la phase liquide à la phase vapeur, dissipe jusqu'à six fois plus de chaleur que la « transpiration » d'un plan d'eau de même taille (2.45 kJ/g à 20°C)*



<http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1/?q=content/14-5-4-latent-heat-transfer>

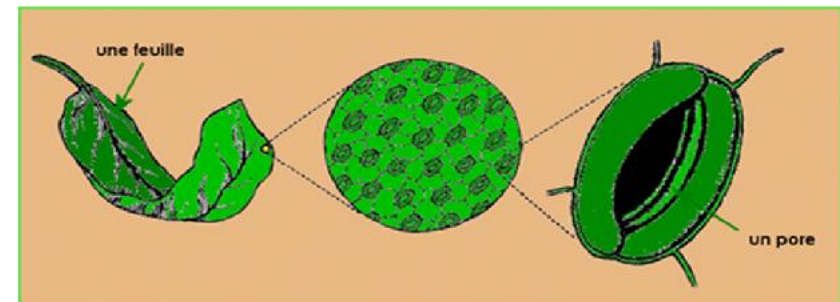
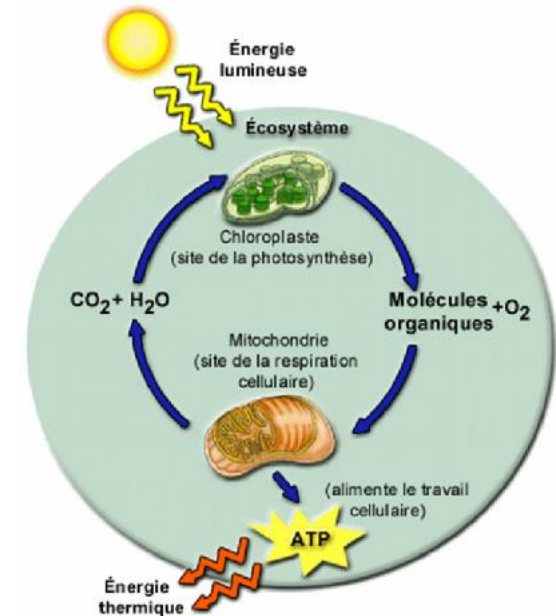
# Pour-quoi il y a des arbres : la capacité de capter et dissiper l'énergie solaire

- ◆ La molécule de chlorophylle capture l'énergie solaire pour la *transférer* sous forme d'électrons à d'autres molécules.
- ◆ En particulier la transférer à des molécules d'*adénosine triphosphate* (ATP), le « carburant principal » de tous les systèmes biologiques.
- ◆ Celui-ci permettra l'émergence de processus dissipatifs de plus en plus complexes : de l'algue monocellulaire jusqu' à l'arbre et la forêt.



# « Comment il y a des arbres »

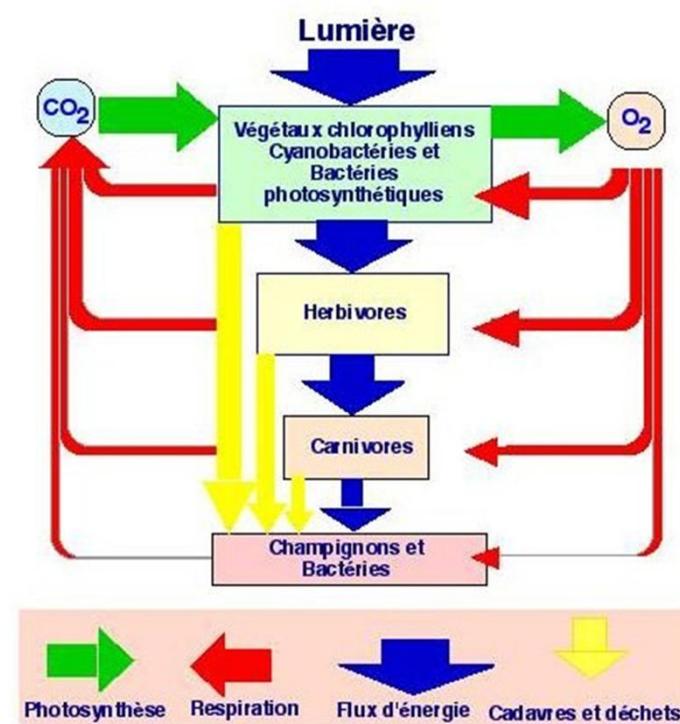
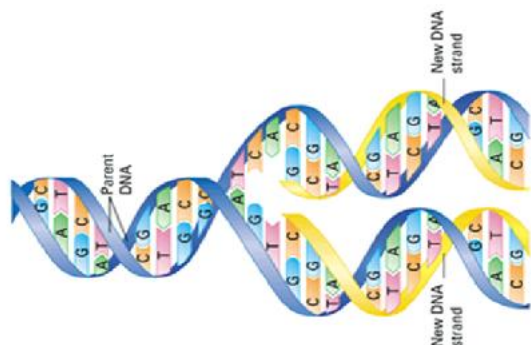
- ◆ Dans un milieu « cellulaire », les produits des réactions catalytiques qui vont alors diffuser et générer des couplages et exercer des phénomènes de stabilisateurs de rétroaction (« feed-back »). *(comme dans une chasse d'eau !)*
- ◆ Ces couplages vont finalement produire des structures organisées stables maximalisant la dissipation de l'énergie.
- ◆ Par rapport au même atome à l'état « non biologique », cette forme d'absorption d'énergie **augmente la capacité de dissipation - d'un facteur de 1 milliard** pour chaque atome ;



*Dans les végétaux plus complexes, les feuilles optimisent l'évaporation par le biais de micro-valves présentes à la surface des feuilles, appelées stomates.*

# Un processus fondamental du couplage localisé (re)produisant l'efficacité dissipative

- ◆ Un fraction de l'énergie captée et transformée servira à constituer et reproduire la structure elle-même vers des états plus stables et plus complexes dans leur efficacité dissipative.



# « Comment il y a des animaux »

- ◆ Plus les espèces se sont complexifiées, plus elles sont devenues dissipatives.
- ◆ L'accumulation des espèces végétales a fini par représenter une nouvelle source d'énergie à dissiper ;
- ◆ C'est comme cela que de nouvelles formes d'organisation dissipatives ont émergé : les espèces animales ;
- ◆ Ceci en étroite *symbiose* avec des espèces bactériennes qui assurent leur capacité à « digérer » ces sources organiques d'énergie ;
- ◆ Lorsque qu'on parle de la “*survie du plus apte*”, il s'agit alors des plus aptes (*espèces, individus*) à consommer et à maximaliser la dissipation d'énergie (« nourriture ») et à se multiplier.

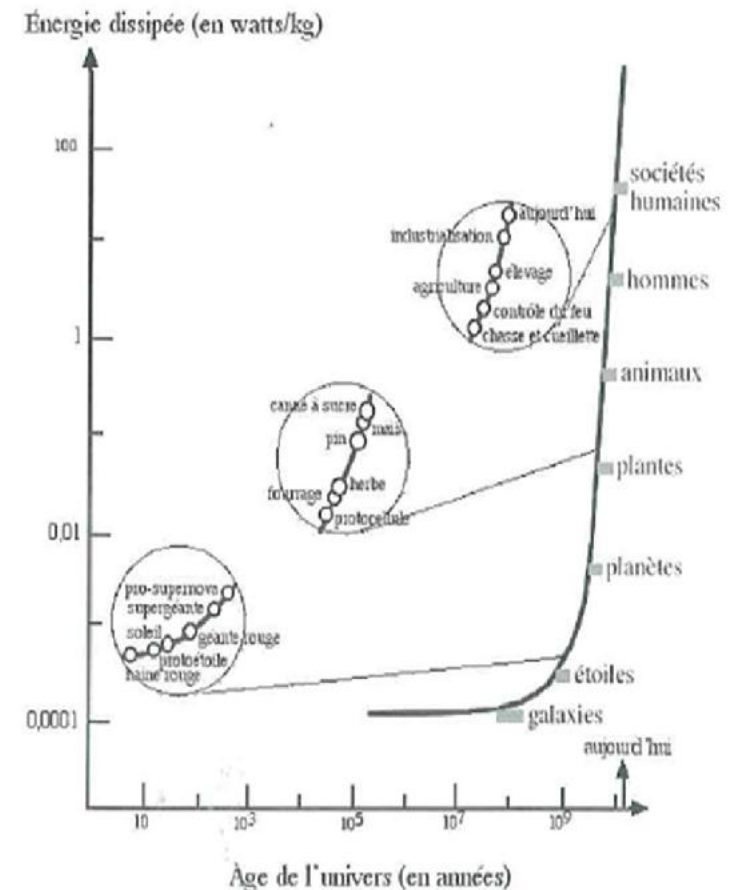
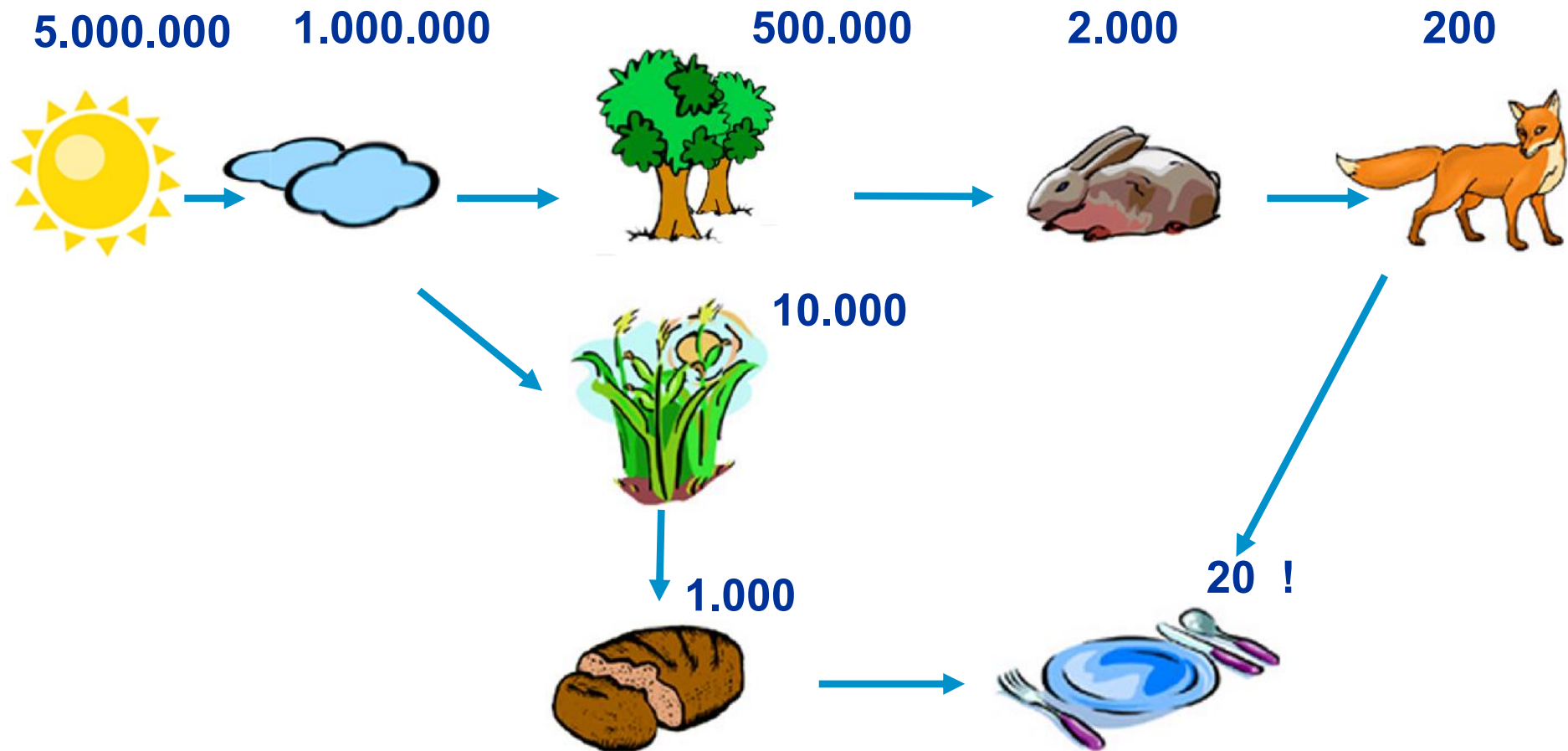


Figure 4. Énergie dissipée par unité de masse en fonction de l'âge d'apparition (d'après Éric Chaisson, 2001).

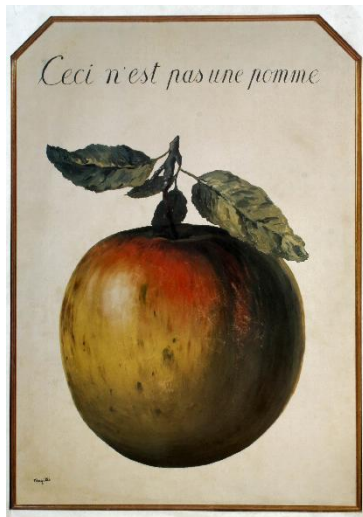
# Entre énergie *captée* et énergie *conservée* : l'efficacité dissipative des écosystèmes

Énergie captée (en kcal) -----> énergie conservée

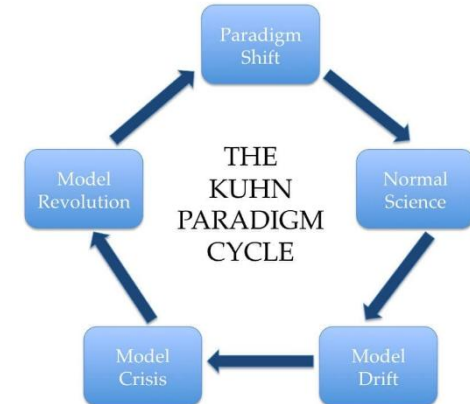


# « Ceci n'est pas un arbre » ou un bel exemple de renversement « copernicien » !

Si l'eau « sert » à assurer la croissance d'une plante,  
C'est surtout la plante qui « sert » à évaporer l'eau  
pour en dissiper la chaleur !!



Mais est-on enfin prêt à ne fut-ce  
qu'à *en-visager* cette  
vision *systémique* de la « réalité »  
??



Voir les petites vidéos d'animation « Le Principe d'émergence » parties 1 & 2 :

<https://www.youtube.com/watch?v=3wDLbwaOpck>

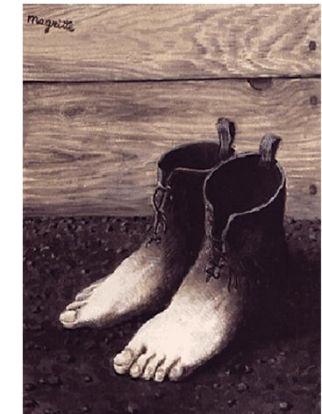
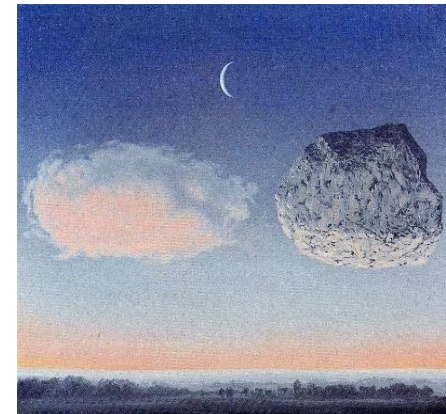
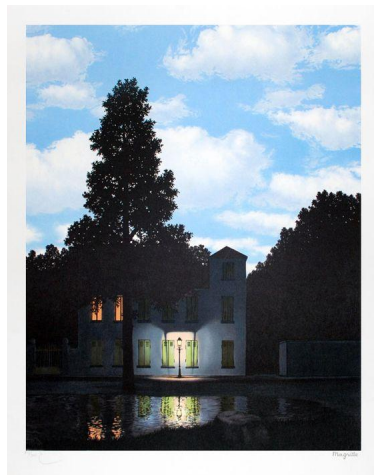
# Le « comment » des processus dissipatifs biologiques : des couplages symbiotiques « ago-antagonistes »

- ◆ couplage **catalytique** des réactions enzymatiques (« feed-back ») ;
- ◆ couplage **anabolisme/catabolisme** ;
- ◆ couple **noyau/ cytoplasme** ;
- ◆ couples **hétérocycliques** ARN/ADN et ARN/protéines ;
- ◆ couplages **symbiotiques** noyau/mitochondries , le couple de la reproduction sexuée ;
- ◆ couplages **régulateurs** de l'homéostasie : hormonaux, bactéries/intestins, etc ;
- ◆ couplages **neuro-sensoriels** ;
- ◆ couplage entre **hémisphères cérébraux** ; celui du système nerveux « entérique » et du système nerveux « central » ;
- ◆ couplages **inné/acquis** : instinct, apprentissage, culture ;
- ◆ couplages **entre espèces**, symbiotiques et/ou complémentaires.

**Le « Mystère » chez René Magritte ?  
Une émergence  
issue de « couples dissipatifs » !**



*Le couple qu'il constitue entre deux « objets » sans signification symbolique particulière fait « émerger » une pensée inédite chez celle ou de celui qui le « contemple » ...*



# Couplages, dissipation, évolution, sélection

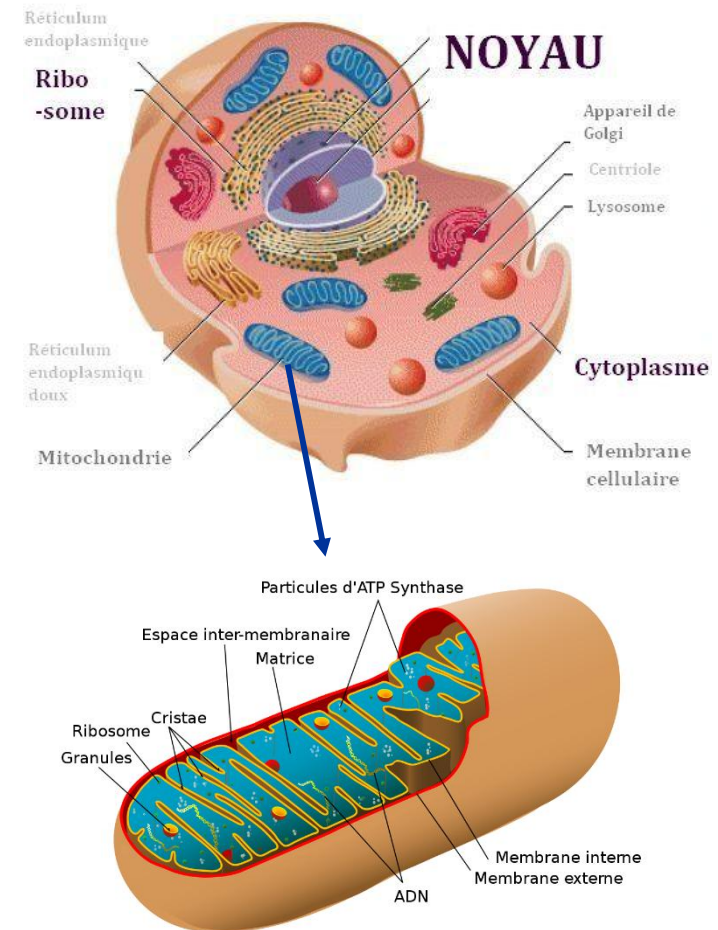
Du fait de ces *couplages d'éléments distincts*, ces phénomènes procèdent plus d'une hétéro-organisation que d'une auto-organisation.

◆ Ils s'observent aussi bien :

- dans les sociétés cellulaires et organismiques : *organisation énergétique et digestive, informationnelle, communicationnelle, reproductive, ...*
- Dans les éco-systèmes végétaux : *lichens, mousses, prairies, forêts, écosystèmes, ...*
- Dans les écosystèmes animaux : *organisation de fourmilières, de hordes, de troupes, de vols et migration d'oiseaux, ...)*
- dans les sociétés humaines : *applaudissements, panique collective, manifestations, intentions de vote, cultures, religions, associations civiles et politiques, ...)*
- Dans les sociétés socio-économiques (*les entreprises, les réseaux urbains, industriels, commerciaux, etc* ).

# Le rôle clé du couple entre mitochondries et noyau cellulaire dans le développement des organismes pluricellulaires

- ◆ La symbiose avec les mitochondries ont multiplié par 20 l'efficacité de la production énergétique cellulaire à partir de glucose ;
- ◆ Elles conservent un ADN propre (quoique "incomplet") et ont joué un rôle critique et déterminant dans l'émergence des organismes pluricellulaires : *reproduction sexuée et fertilité, taille des portées, adaptabilité, initiation et maintien de la détermination et la differentiation des types cellulaires et de leurs mouvements.*
- ◆ Elles contrôlent aussi ce phénomène dit de mort cellulaire programmée ou apoptose ("suicide cellulaire") qui est altéré dans les tumeurs cancéreuses.



# En bref : la loi thermodynamique de *production maximale d'entropie* comme clé de l'émergence et de l'évolution des systèmes biologiques



- ◆ Des couplages de flux d'énergie génèrent l'émergence locale de « systèmes organisés » de matière organique qui maximisent la production et la dissipation d'entropie ;
- ◆ Tant qu'il y a de l'énergie à dissiper, ils conservent hors équilibre une structure à peu près semblable (homéostasie).
- ◆ Dans ce contexte, la sélection naturelle favorise leur résilience autant par des processus de « *coopération systémique* » que par « *compétition individuelle* » :
  - entre les gènes dans un génome ;
  - entre les cellules dans un organisme multicellulaire ;
  - entre les individus dans une société ;
  - entre les espèces dans un écosystème ;
  - entre les processus éco-lo-nomiques gérant leur organisation.

**Ne retrouve-t-on pas déjà à ce niveau la dualité caractérisant des systèmes devant intégrer à la fois un niveau d'organisation *conviviale* et un niveau d'organisation « *libérale* » ??**

<http://www.afscet.asso.fr/Ande13/dubois-thermo-juin2013.pdf>

<https://editionsparole.fr/siteinteractifparoleeditions/wp-content/uploads/2012/03/Extrait-THERMODYNAMIQUE.pdf>

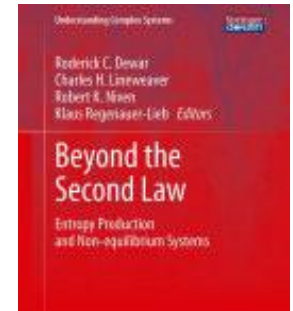
# La 3ème loi de la thermodynamique : la loi de « *Maximal Entropy Production* » (MaxEP)

**Abstract** The Second Law of Thermodynamics governs the average direction of all non-equilibrium dissipative processes. However it tells us nothing about their actual rates, or the probability of fluctuations about the average behaviour. The last few decades have seen significant advances, both theoretical and applied, in understanding and predicting the behaviour of non-equilibrium systems beyond what the Second Law tells us. Novel theoretical perspectives include various extremal principles concerning entropy production or dissipation, the Fluctuation Theorem, and the Maximum Entropy formulation of non-equilibrium statistical mechanics. However, these new perspectives have largely been developed and applied independently, in isolation from each other. The key purpose of the present book is to bring together these different approaches and identify potential connections between them: specifically, to explore links between hitherto separate theoretical concepts, with entropy production playing a unifying role; and to close the gap between theory and applications. The aim of this overview chapter is to orient and guide the reader towards this end. We begin with a rapid flight over the fragmented landscape that lies beyond the Second Law. We then highlight the connections that emerge from the recent work presented in this volume. Finally we summarise these connections in a tentative road map that also highlights some directions for future research.



[https://books.google.be/books/about/Beyond\\_the\\_Second\\_Law.html?id=xF65BQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp\\_read\\_button&redir\\_esc=y#v=oneper](https://books.google.be/books/about/Beyond_the_Second_Law.html?id=xF65BQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=oneper)

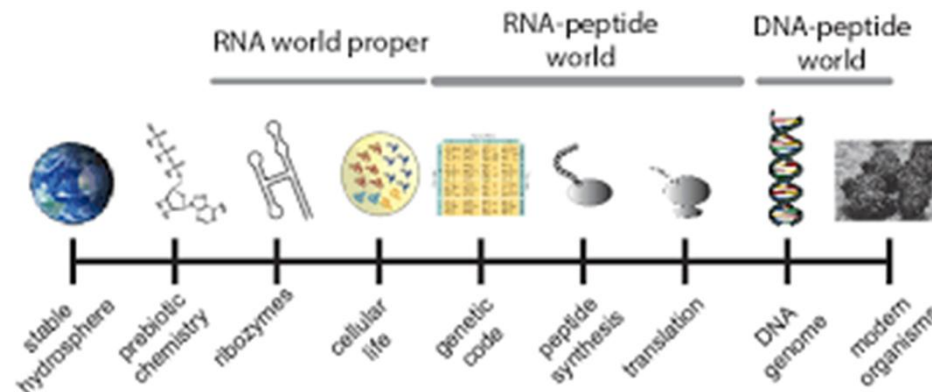
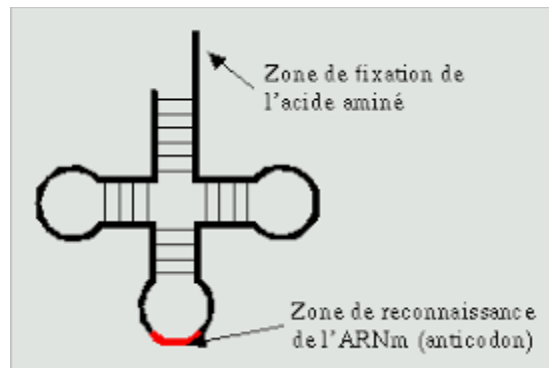
# La 3ème loi de la thermodynamique : la loi de « *Maximal Entropy Production* » (MaxEP)



**Abstract** Maximum entropy production (MaxEP) is a conjectured selection criterion for the stationary states of non-equilibrium systems. In the absence of a firm theoretical basis, MaxEP has largely been applied in an *ad hoc* manner. Consequently its apparent successes remain something of a curiosity while the interpretation of its apparent failures is fraught with ambiguity. Here we show how Jaynes' maximum entropy (MaxEnt) formulation of statistical mechanics provides a theoretical basis for MaxEP which answers two outstanding questions that have so far hampered its wider application: What do the apparent successes and failures of MaxEP actually mean physically? And what is the appropriate entropy production that is maximized in any given problem? As illustrative examples, we show how MaxEnt underpins previous applications of MaxEP to planetary climates and fluid turbulence. We also discuss the relationship of MaxEP to the fluctuation theorem and Ziegler's maximum dissipation principle.

# Le mystère de l'apparition de ces états dissipatifs cellulaires de la matière moléculaire reste cependant entier (1/2) ...

- Des hypothèses suggèrent que **les états dits vivants** auraient émergé de molécules d'ARN qui avaient d'emblée deux capacités essentielles : une capacité d'auto-réplication basée sur une matrice et une capacité à catalyser d'autres réactions ;
- Reste cependant inexpliqué comment, en partant de « *rien* », le processus proposé puisse avoir intégré dans une forme code intrinsèquement algorithmisé de simples molécules d'ARN auto-répliquées dans un « métabolisme dynamique » très complexe ...



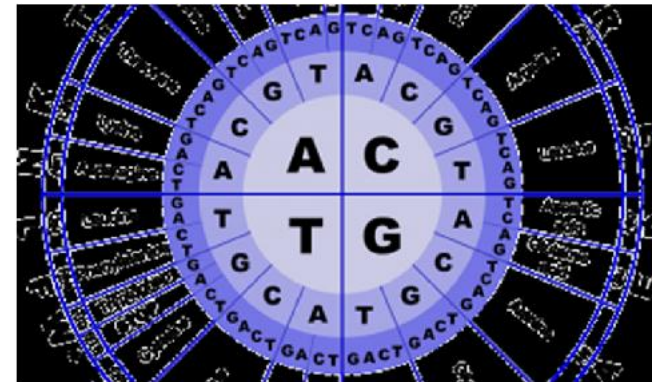
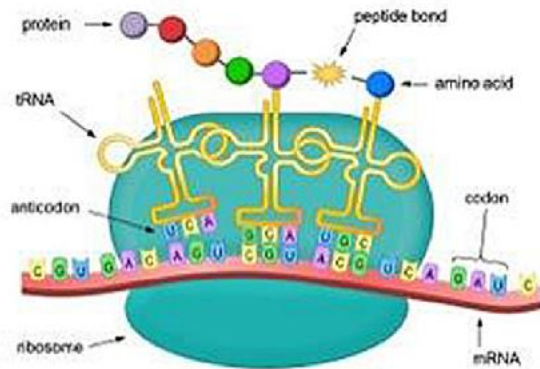
<https://www.phd-rna-biology.at/wp-content/uploads/2012/03/rna-makes-proteins.png>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10699-018-9563-1>

<https://www.semanticscholar.org/paper/Chemical-origins-of-life%3A-Prebiotic-RNA-unstuck.-Hern%C3%A1ndez-Piccirilli/ac16f7d28bf789f76eec1d8497c580c068a74478>

# Le mystère de l'apparition des états dissipatifs cellulaires de la matière moléculaire reste cependant entier (2/2) ...

- ◆ « les biologistes moléculaires n'ont trouvé aucune interaction chimique significative entre le « codon » d'un ARN « messenger », copie d'une séquence d'ADN et l'acide aminé associé au bras accepteur de l'ARNt.



- ◆ Cela signifie que les forces d'attraction chimique entre les acides aminés et ces groupes de bases (codons) n'expliquent pas seules les correspondances qui constituent la base de la codification génétique. »

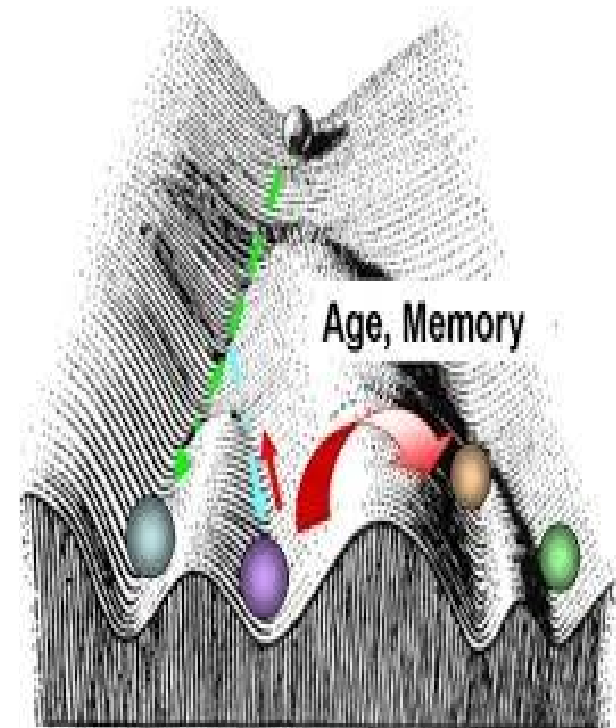
Meyer, Stephen C "Signature in the Cell"

# Plan de la présentation

1. L'écologie : définition, principes et méthodes
2. Pour-quoi y a-t-il des éco-systèmes
3. Les grands principes d'organisation des écosystèmes
4. Les interactions entre flux de matière et d'énergie au sein d'écosystèmes
5. Evaluer la résilience des écosystèmes entre dangers, risques et sécurité
6. Epilogue

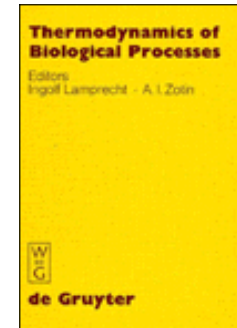
# Dissipation, évolution, sélection

- ◆ D'un point de vue local, la nature «bricole », et chaque structure sélectionnée pour son efficacité dissipative aura une histoire singulière, qui correspond à une trajectoire dans « l'espace des phases » d'un paysage évolutif ;
- ◆ Mais d'un point de vue global, sur de grandes périodes de temps, il s'agit bien d'un processus d'optimisation, qui ne conserve que les formes les mieux adaptées, celles qui dissipent l'énergie disponible dans l'environnement le plus efficacement.
- ◆ Ce qui correspond aux notions d'*homéostasie* et d'*homéorhésie*.



« C'est en allant vers la mer qu'un  
fleuve reste fidèle à sa source »  
*Jean Jaures*

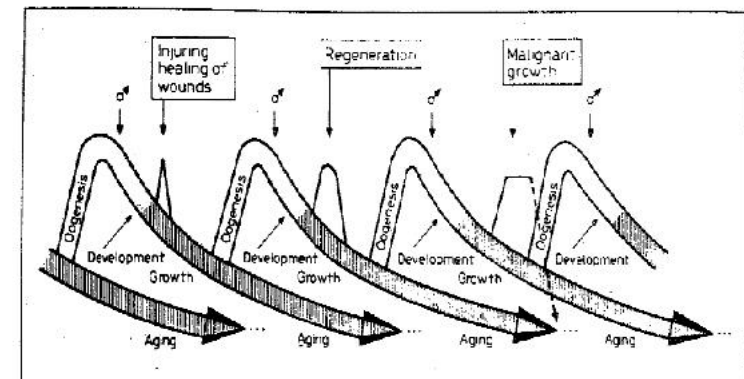
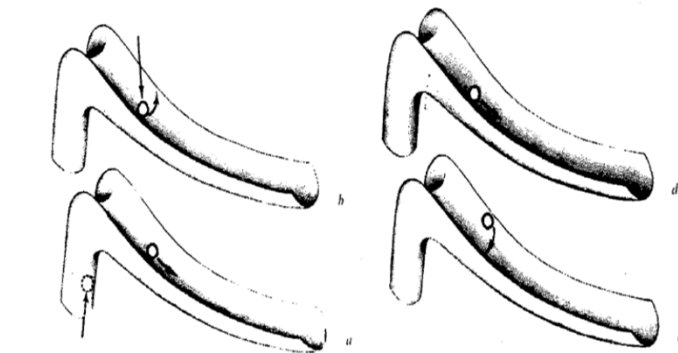
# Déviations inductives et constitutives des états d'équilibres dissipatifs biologiques



- ◆ Deux types de déviations de ces états d'équilibre stationnaire peuvent être observées en réaction aux perturbations subies par les organismes vivants :

- **les déviations inductives**, résultant de la variation transitoire de facteurs physiologiques autour de l'état stationnaire **d'homéostase**; c'est l'image du mouvement latéral de la bille sur les parois de la rigole ;
- **les déviations constitutives**, correspondant à une variation du mouvement vers l'équilibre final : l'**homéorhèse** : C'est le mouvement de la bille vers le bas par rapport à la rigole (vieillesse), ou vers le haut (régénération).

Les mouvements hors de la gorge décrivent alors les réactions pathologiques (cancer).



# Les relations inter-espèces

- De nombreuses relations existent entre individus d'espèces différentes, qui sont décrites en fonction de leur effet bénéfique, délétère ou neutre :

Types de combinaison d'interactions en fonction du résultat pour chaque individu :

|           | Bénéfique                     | Neutre               | Néfaste            |
|-----------|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Bénéfique | Mutualisme ou <u>Symbiose</u> | <u>Commensalisme</u> | <u>Prédation</u>   |
| Neutre    | Commensalisme                 | Indifférence         | <u>Amensalisme</u> |
| Néfaste   | <u>Parasitisme</u>            | Amensalisme          | <u>Compétition</u> |

# Les types de relations entre les êtres vivants :

## 1. les rapports neutres et compétitifs (1/2)

1. **Neutralisme**, ou l'absence de toute trace d'association ou d'antagonisme entre des espèces qui coexistent dans un même milieu. Ceci n'exclut pas une certaine hiérarchie entre espèces ;
2. **Synécie** où deux partenaires sont régulièrement associés sans que l'un soit pour l'autre source d'avantages ou d'inconvénients ;
3. **Compétition** qui peut s'établir entre individus de la même espèce ou entre espèces différentes d'autant plus intense selon la densité des populations en présence et entre deux espèces qui auront des exigences écologiques voisines ;
4. **Amensalisme** : utilisation de substances toxiques inhibitrices ou mortelles pour lutter à distance contre la concurrence d'autres espèces ;

Exemple : la guerre chimique par télétoxie pour empêcher la germination des graines rivales ;

# Les types de relations entre les êtres vivants :

## 1. les rapports compétitifs (2/2)

5. **Prédation** : l'aptitude à capturer la proie et la capacité d'échapper au prédateur constituent souvent de véritables réseaux inextricables au sein des chaînes trophiques ou alimentaires ;
6. **Cannibalisme** : forme extrême de prédation compétitive qui, chez les araignées, les insectes, les oiseaux, les poissons, empêche un état de surpopulation qui serait néfaste à l'espèce
7. **Parasitisme** : relation entre un hôte et une espèce parasite de taille plus faible pour se nourrir et se reproduire sans entraîner nécessairement sa mort.

Exemple : certains végétaux parasitent les racines, d'autres les parties aériennes de plantes ; des *parasites complets* existent, n'étant pas capables de photosynthèse.

# Les types de relations entre les êtres vivants :

## 2. Les relations “altruistes”

- ◆ **La coopération** qui permet à de nombreux organismes de s'associer entre eux pour en tirer un bénéfice, même s'ils peuvent se développer de manière indépendante ;
- ◆ **la réciprocité** est le cas où les coûts de l'aide sont inférieurs aux bénéfices d'être aidés et tant que les animaux ne gagneront pas à tricher ;  
*Exemple : un singe présente son dos à un autre singe qui en dépouillera les parasites ; après un certain temps, les rôles seront inversés.*
- ◆ **Le commensalisme** : l'hôte ne tire aucun bénéfice de l'organisme étranger auquel il offre le gîte. Le contact peut être permanent (*lichens, fougères, orchidées*) ou temporaire (*larves de syrphes dans les nids de guêpes*) ;
- ◆ **La synergie** qui, par la présence d'un autre, stimule l'activité ou le développement d'un organisme ;
- ◆ **La symbiose** qui se traduit par un bénéfice réciproque et présente un caractère incontournable pour les organismes qui la pratiquent et constitue la forme la plus évoluée des associations entre espèces.

# Le cas des insectes sociaux

- ◆ Six stades de socialité peuvent être définis : *solitaire, grégaire, subsocial, colonial, communal et eusocial* ;
- ◆ Présents depuis le temps des dinosaures, les **comportements altruistes** des insectes sociaux, entre eux et avec les autres êtres vivants, se déclinent selon des scénarios inédits ;

*Exemples : : fourmis et termites cultivant des champignons et capables de réalisations architecturales, fourmis élevant des pucerons, défendant leur plante hôte et nourricière contre des herbivores, ou s'alliant à des guêpes pour se protéger d'autres fourmis, site de nidification commun d'oiseaux où les parents s'occupent seulement de leur progéniture (stade colonial ) ou s'occupent aussi de celle d'autres congénères (stade communal).*

- ◆ Leurs **modes de communication originaux**, leurs systèmes de coopération souvent inégalés (*ex : partage du travail*) leur confèrent un rôle écologique et agronomique de premier ordre (*ex : abeilles pollinisatrices*) ;
- ◆ Leur **capacité à modifier durablement les caractéristiques physiques de leur environnement** en fait parfois de véritables ingénieurs de l'écosystème.



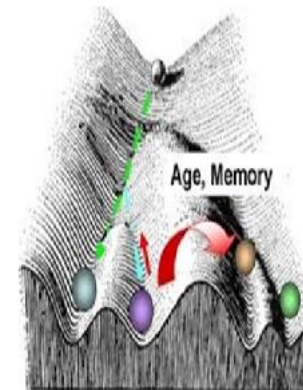
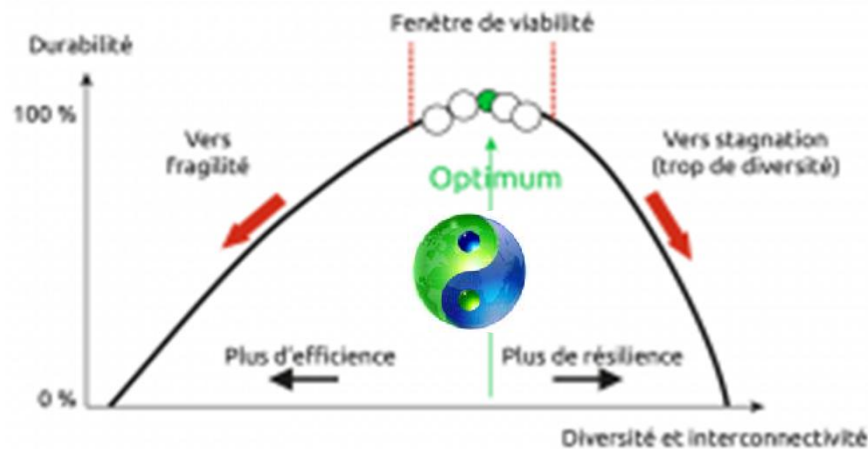
La socialité dans le monde des insectes <https://excerpts.numilog.com/books/9782759224272.pdf>

# Exemples de comportements altruistes chez les Mammifères

- les loups et les chiens sauvages rapportent de la viande aux membres de la meute non présents lors de la mise à mort ;
- les mangoustes soutiennent les animaux âgés, malades ou blessés ;
- les gibbons et chimpanzés En réponse à un geste prédéfini, en présence de nourriture la partageront avec les autres membres du groupe ;
- les chimpanzés aideront les humains et leurs congénères sans aucune récompense en retour ;
- des bonobos ont été observés en train d'aider des bonobos blessés ou handicapés ;
- les chauves-souris vampires régurgitent généralement le sang à partager avec des compagnons de gîte malchanceux ou malades qui n'ont pas pu trouver de repas, formant souvent un système de copinage ;
- des dauphins soutiennent les animaux malades ou blessés, nageant sous eux pendant des heures et les poussant à la surface pour qu'ils puissent respirer.

# La stabilité ou résilience d'un écosystème

- ◆ Une façon d'exprimer la stabilité consiste à la définir comme **la capacité d'un système à revenir à son état initial (homéostasie)** après avoir été perturbé.
- ◆ Une autre définition est celle de **la résistance au changement du système**. L'ampleur de la perturbation et la vitesse du retour et dont elle peut être à l'origine sont donc des variables clés.
- ◆ Le consensus actuel est que si les théories de la redondance sont correctes, **une plus grande diversité entraîne une plus grande résilience** dans la maximalisation de la dissipation de l'énergie disponible.



# Pourquoi les écosystèmes évoluent-ils ?

- ◆ Dans un écosystème, l'existence d'espèces différentes exerçant des fonctions équivalentes ou complémentaires favorisera sa stabilité ou **résilience** ;
  - Comme dans une ville, il est préférable d'avoir plusieurs types de restaurants ou de modes de transport, de logements, d'activités ;
- ◆ **La biodiversité est donc un facteur essentiel de résilience et d'efficacité**
  - Sur de grandes périodes de temps, les formes les mieux adaptées survivent : celles qui dissipent le plus efficacement l'énergie disponible dans l'environnement.



# La biodiversité : définie à trois niveaux

Ces niveaux sont tous liés entre eux, suffisamment distincts pour pouvoir être étudiés comme trois composantes distinctes, mais la plupart des études se concentrent sur le niveau des espèces.

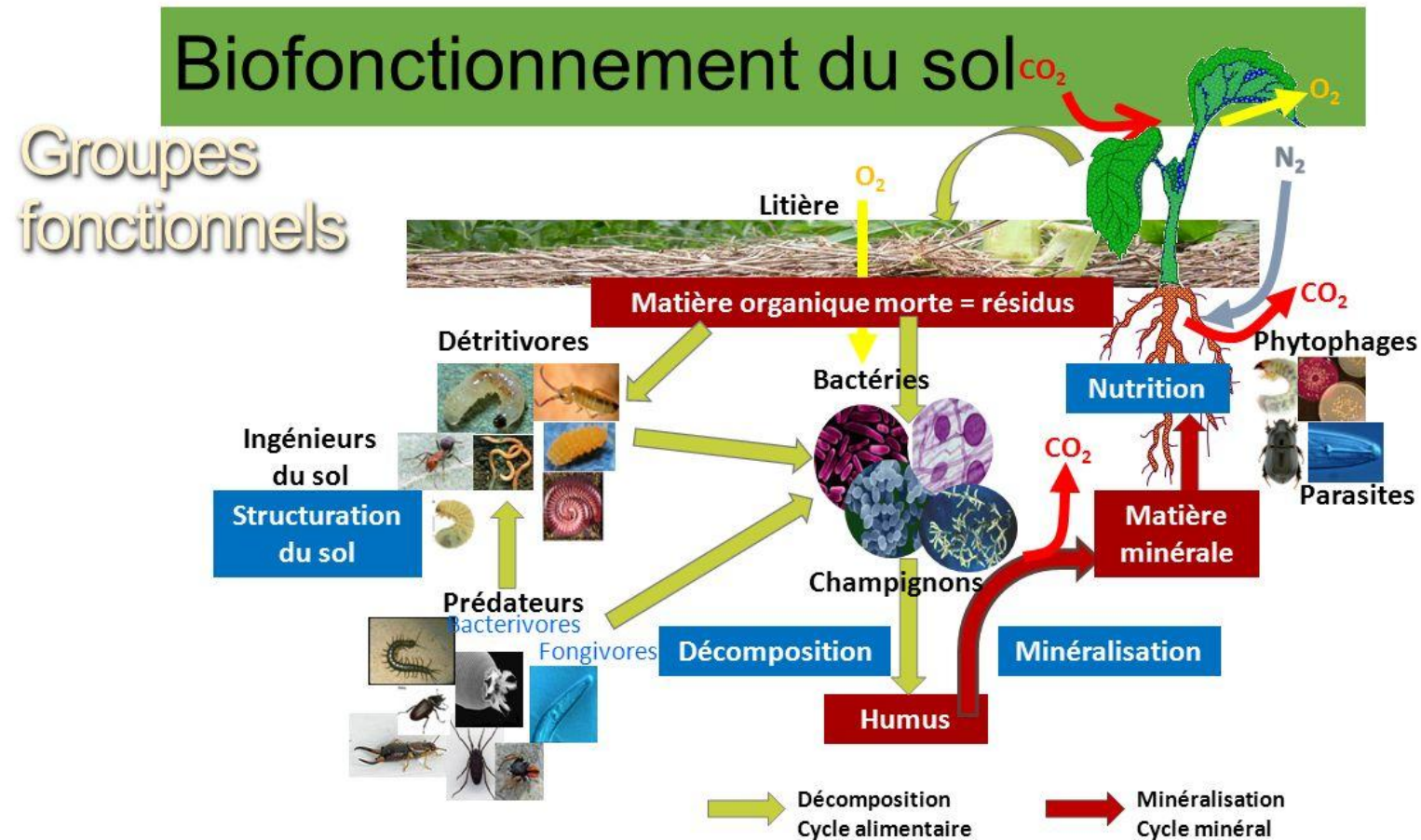
1. **diversité génétique** se concentre sur le niveau des gènes qui sont les éléments de base qui déterminent comment un organisme va se développer et quelles seront ses caractéristiques et ses capacités.

2. **diversité des espèces** : les études sur la biodiversité se concentrent généralement sur les espèces car il est plus facile de travailler avec la diversité des espèces

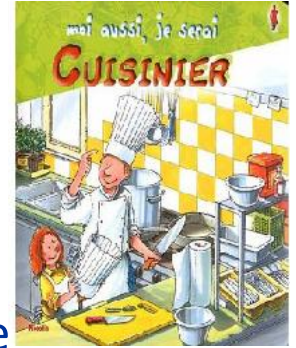
3. **diversité des écosystèmes** qui traite de la répartition des espèces et des modèles de communautés, du rôle et de la fonction des espèces clés, et combine les fonctions et les interactions des espèces.

Localement, de nombreux facteurs affectent la diversité qui peut augmenter et diminuer constamment à très court terme.

# C'est la biodiversité qui fait un sol « vivant »



## Une métaphore de l'état vivant partiellement déterminé par un supposé « programme génétique » absolu : le livre de recettes et le restaurant



- ◆ Quand on utilise un livre de recette, on applique rarement la recette intégralement : le cuisinier l'adapte aux équipements et aux ingrédients dont il dispose, à la quantité nécessaire, aux goûts de ses convives :

***Le plat final est une expression "épigénétique" de la recette***

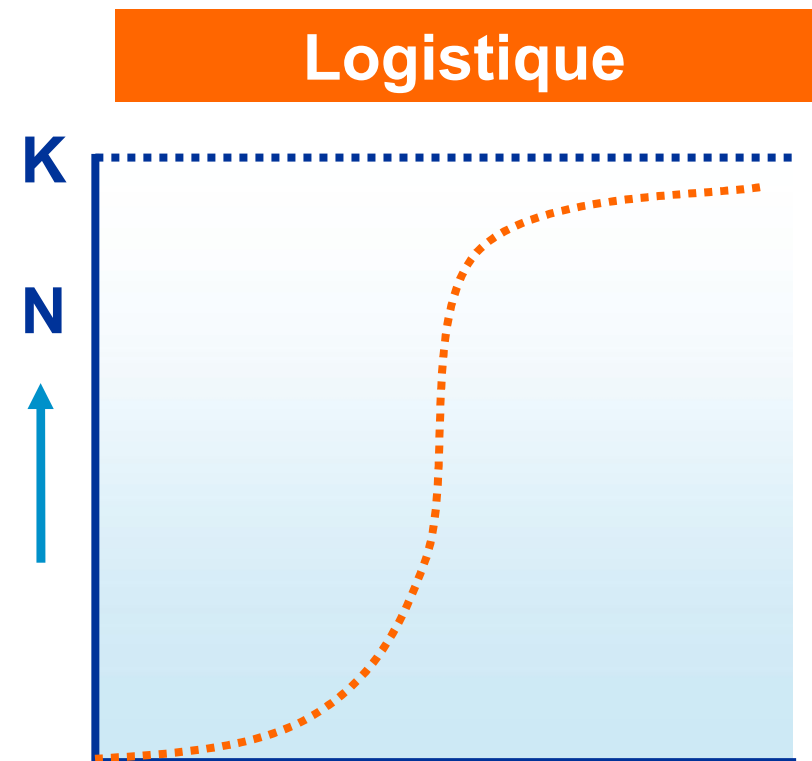
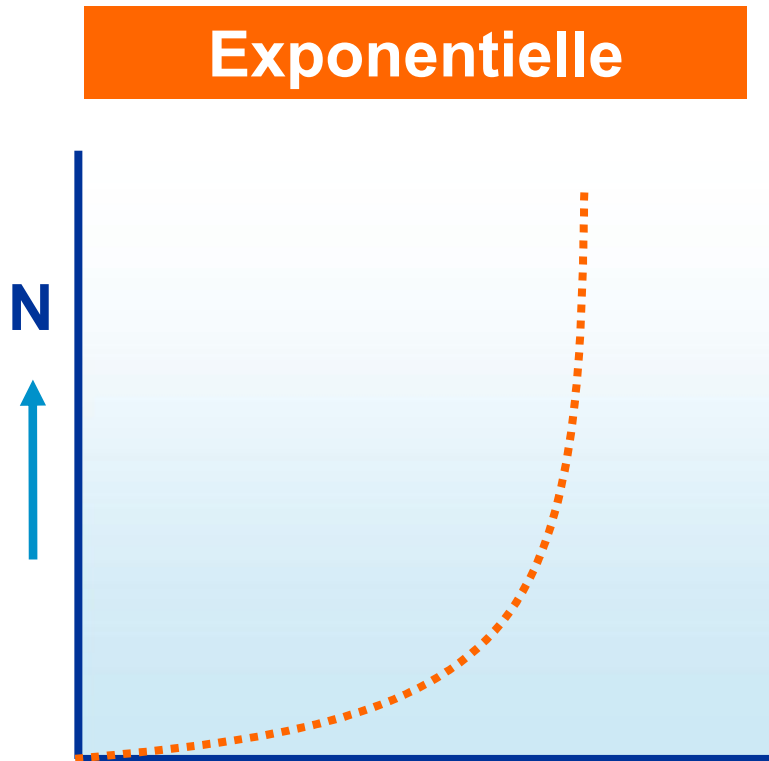
- ◆ C'est la différence avec un « Big Mac », «programme" informatisé » qui ne peut pas 'improviser" en adaptant la recette prévue ;

*Cette métaphore est pertinente à tous les niveaux des processus (auto-organisés) : cellules, organismes, espèces, les sociétés humaines, ... sont aussi le produit de "cuisiniers épigénétiques", pas seulement de "livres de recettes génomiques" même si celles-ci sont « essence-tielles »;*

**Autrement dit, l'environnement influence l'expression de l'information génétique et les processus de l'organisation en fonction de leur efficacité dissipative dans une situation donnée .**

**Et la valeur de la biodiversité, c'est le fait qu'il n'y a pas qu'un seul style de restaurant dans une ville ...: quid en cas de manque de spaghetti s'il n'y avait que des restaurants italiens ...**

# La croissance des populations : limitée par la disponibilité des ressources énergétiques à dissiper



**$K = f$  (limite nutritionnelle)**

# Résilience et stabilité d'un écosystème

Dominance : Nombre d'individus/ espèce en % du total

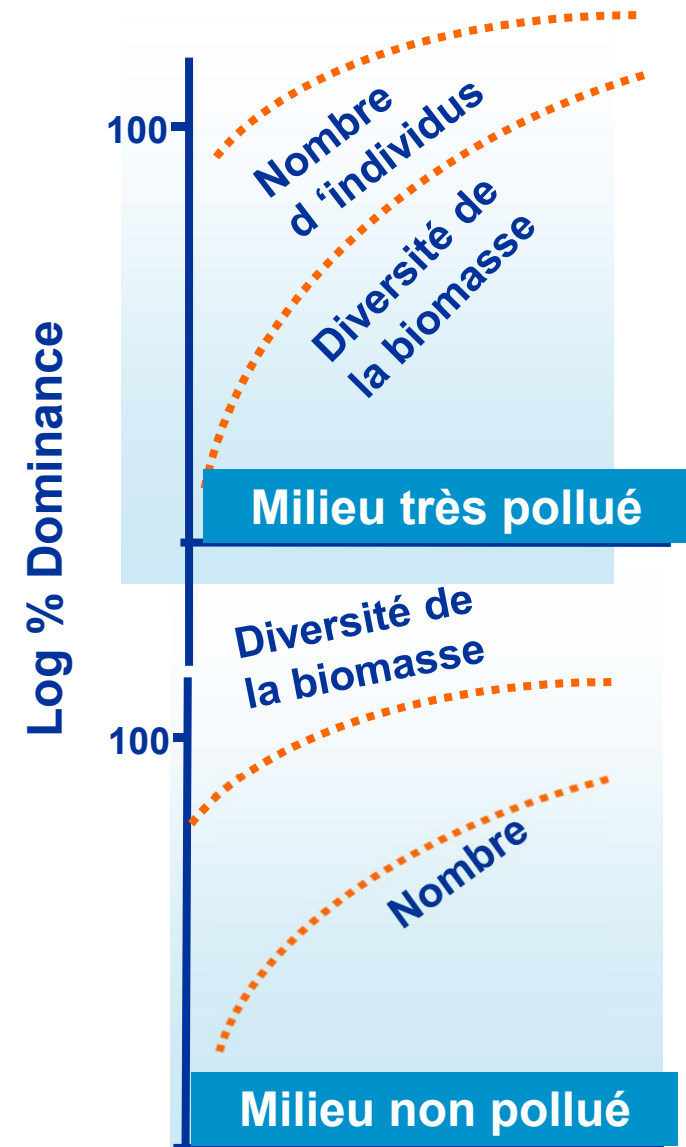
-> milieu peu pollué : beaucoup d'espèces différentes , peu d'individus par espèce : compétition, redondance :

→ **stabilité** du système ;

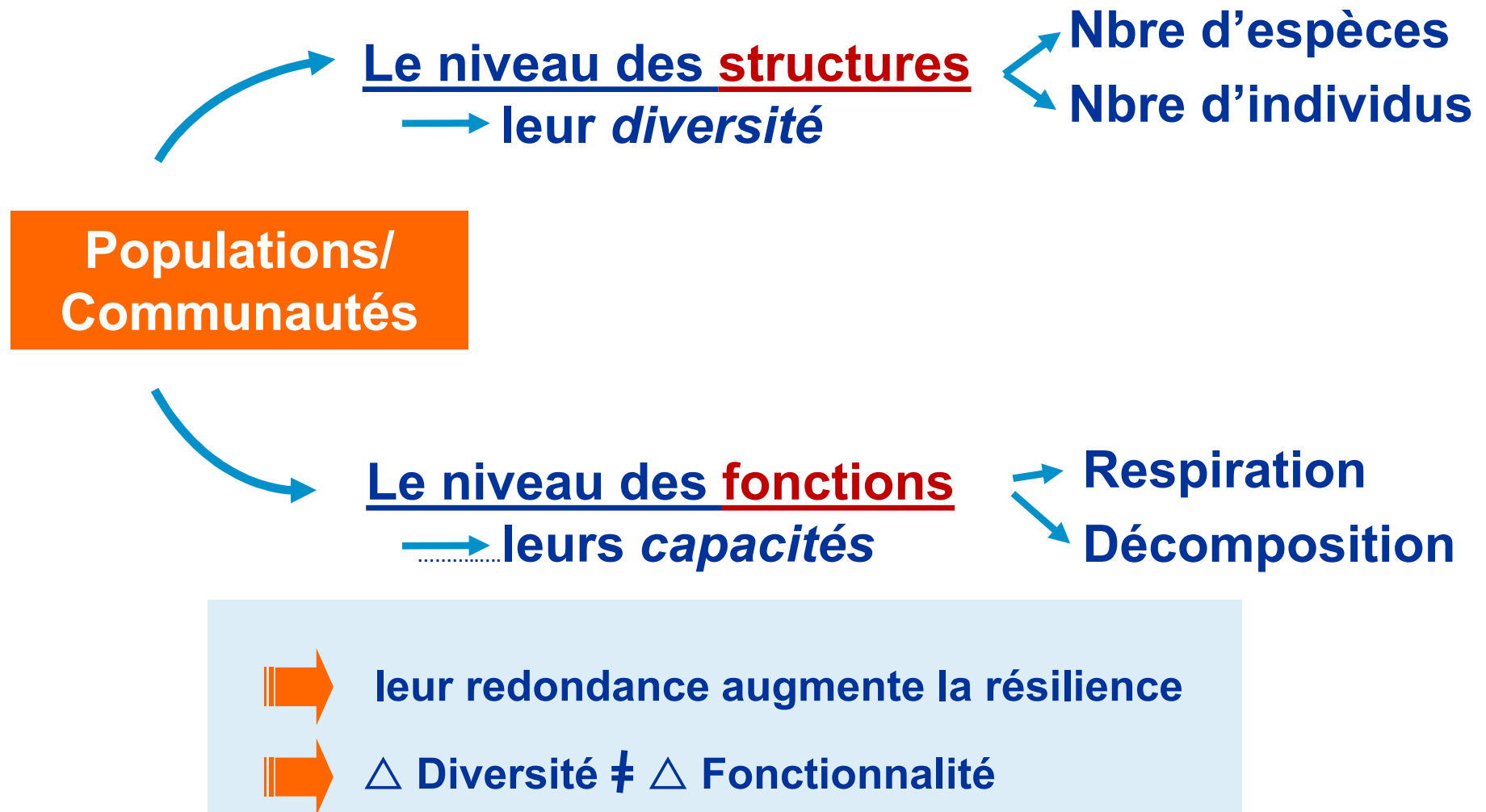
-> milieu pollué : peu d'espèces résistantes, nombre élevé d'individus par espèce : risque si perturbation dans une des plus rares espèces :

→ **fragilité** du système

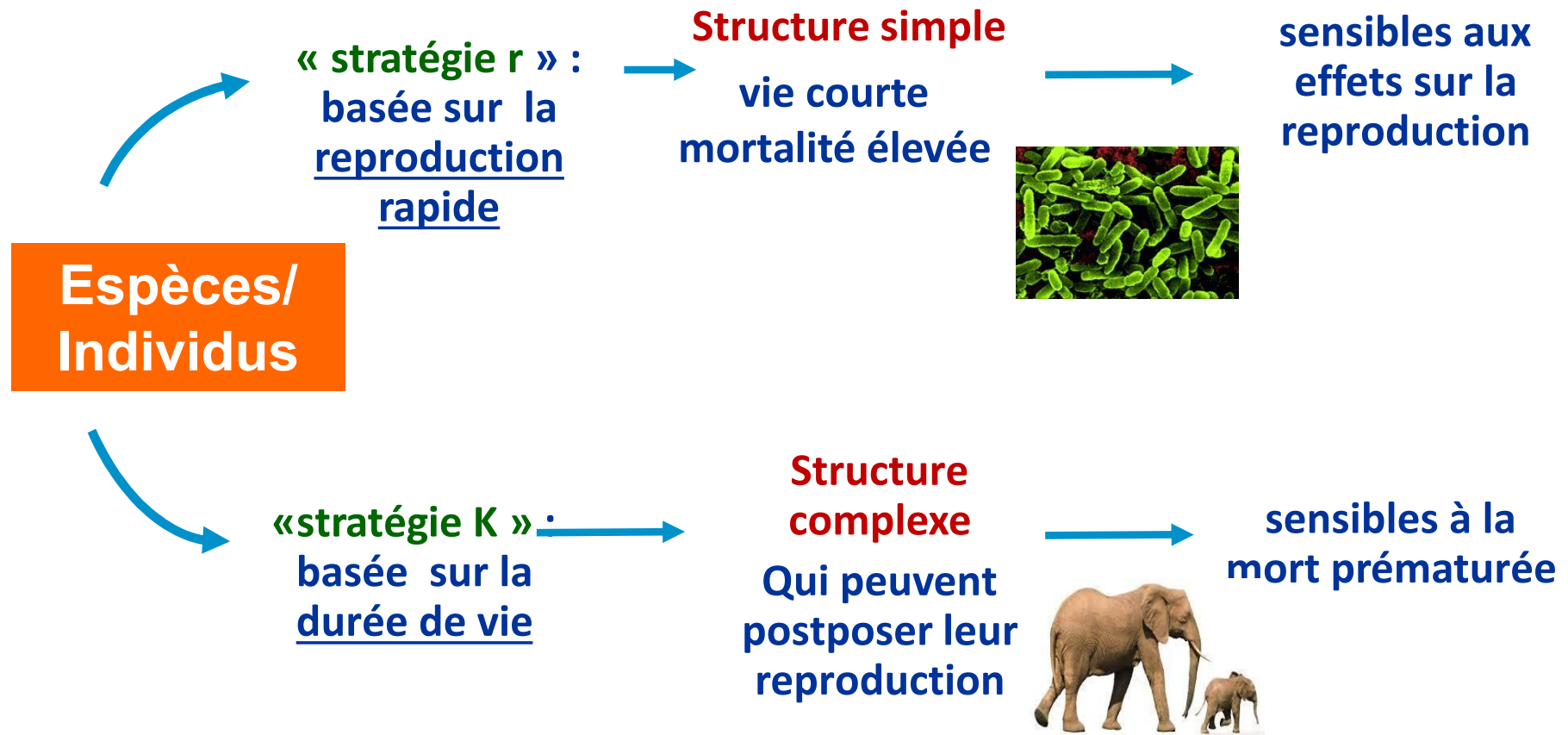
La prédation, le comportement saprophyte, le parasitisme et la symbiose, créent un équilibre dynamique des flux de molécules organiques entre les individus et les espèces.



# Populations et communautés écologiques : deux niveaux opérationnels



# Résilience des espèces : 2 stratégies possibles



La stratégie r favorise la résilience (survie) alors que la sélection K favorise l'efficacité.

# Stratégies r ou K et résilience : exemple des écosystèmes végétaux

- Une forêt naturelle (stratégie K) évolue facilement autour d'un état moyen au fil des saisons et des années, parce qu'elle s'adapte avec élasticité aux variations régulières du climat, mais elle sera **durablement détruite après le passage d'un cyclone** ;
- Les herbes folles d'une prairie (stratégie r) disparaîtront sous l'action du passage d'un troupeau de buffles ou seront tuées par la sécheresse de l'été, mais **elles renaîtront dès la première pluie**.



# La diversité et la différenciation des fonctions des espèces dans les écosystèmes

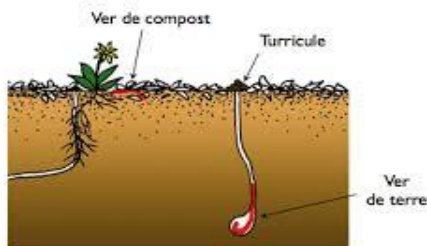
➡ des compartiments exercent des fonctions identiques :

Ex: *Microflore* → Décomposition → Champignons  
Bactéries

➡ des compartiments exercent plusieurs fonctions :

Ex: *Saprophytes* → - Décomposition en substrats pour la microflore

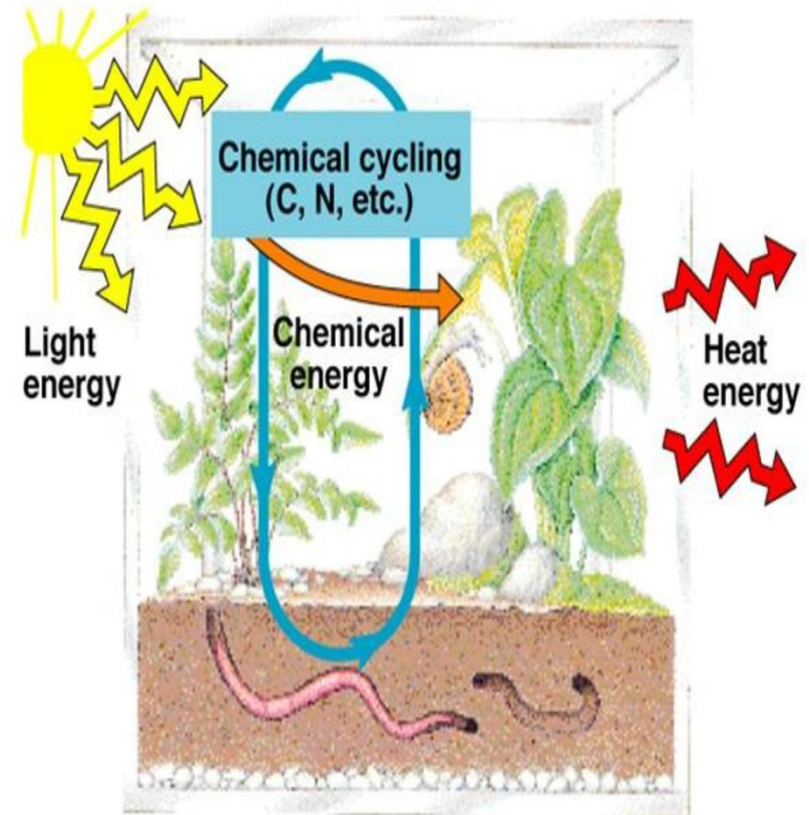
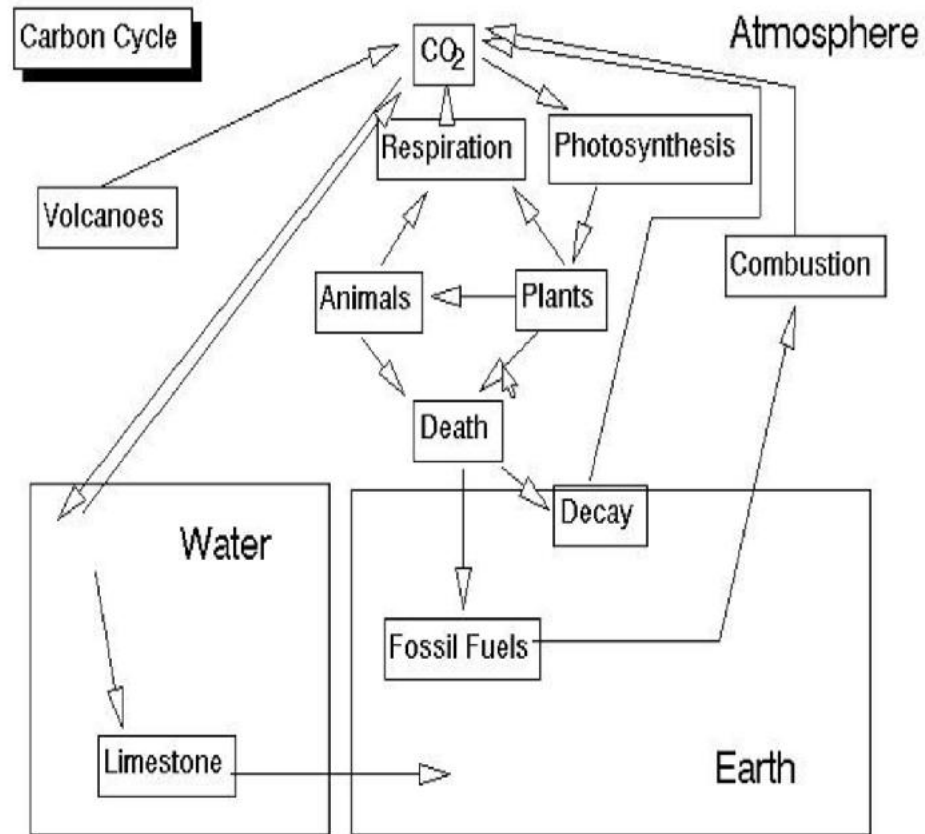
Ex: *ver de terre* → - Décomposition des végétaux;  
- Modification de la structure du sol ;  
- Redistribution de la matière organique.



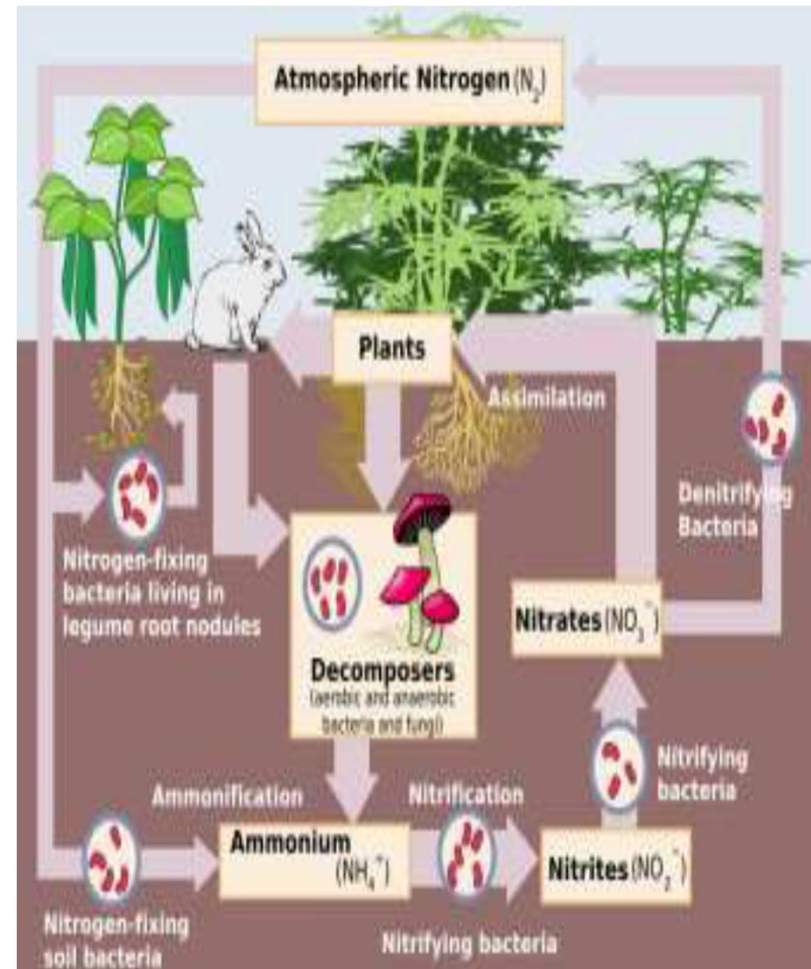
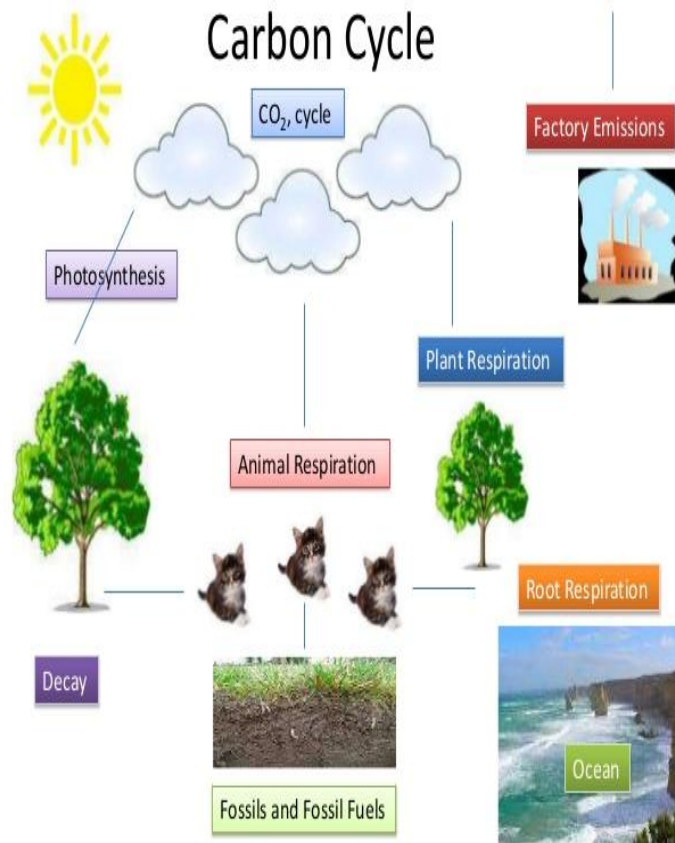
# Plan de la présentation

1. L'écologie : définition, principes et méthodes
2. Pour-quoi y a-t-il des éco-systèmes
3. Les grands principes d'organisation des écosystèmes
4. Les interactions entre flux de matière et d'énergie au sein d'écosystèmes
5. Evaluer la résilience des écosystèmes entre dangers, risques et sécurité
6. Epilogue

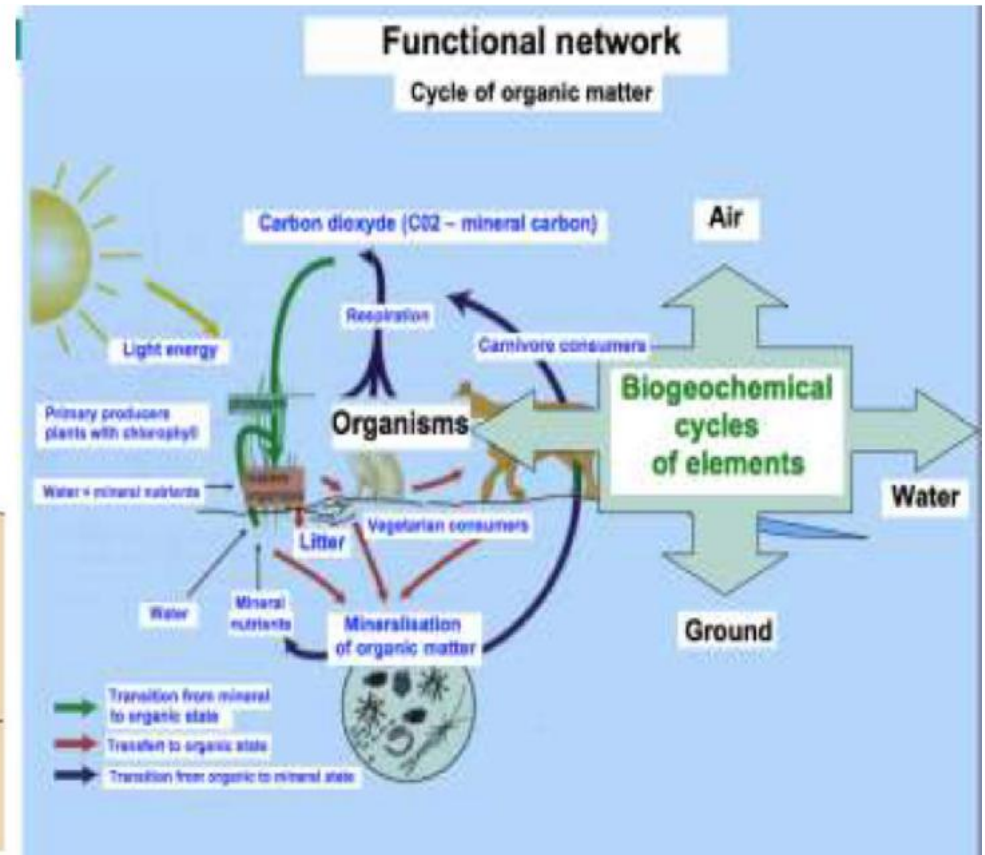
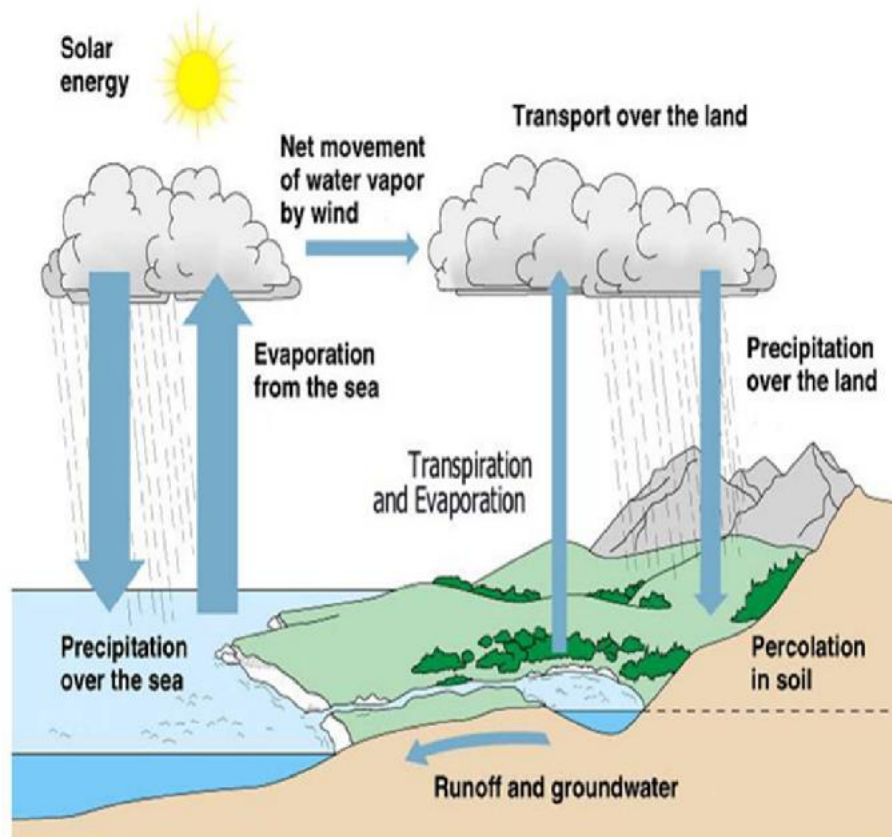
# Les cycles écosystémiques fondamentaux (1/2)



## Les cycles écosystémiques fondamentaux (2/2)

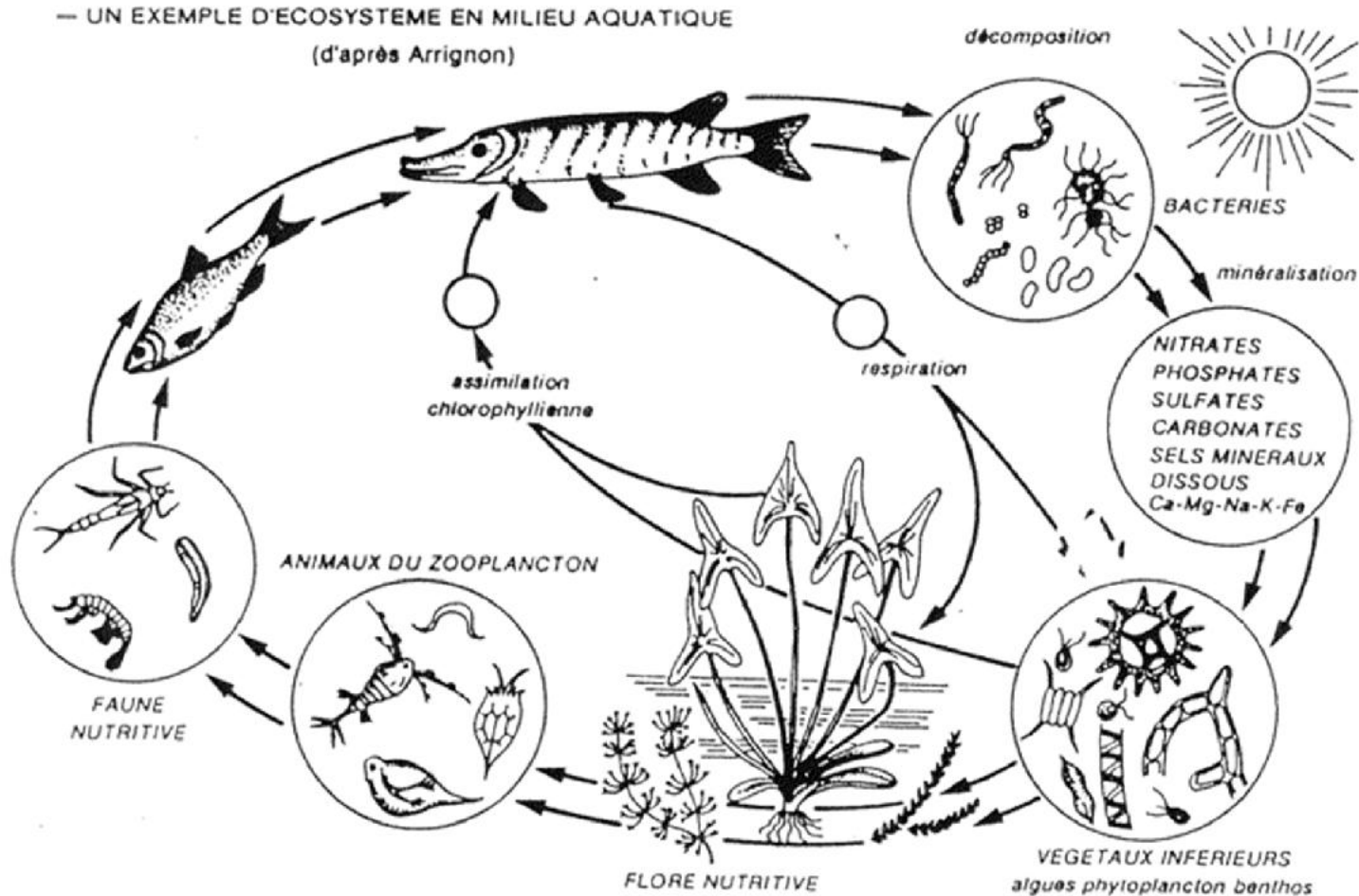


# Les cycles écologiques fonctionnels fondamentaux



<https://mio-ecsde.org/erasmus-IP-2014/trainers/day%2002-Ricard.pdf>

# Les couplages entre espèces : à l'origine des cycles trophiques



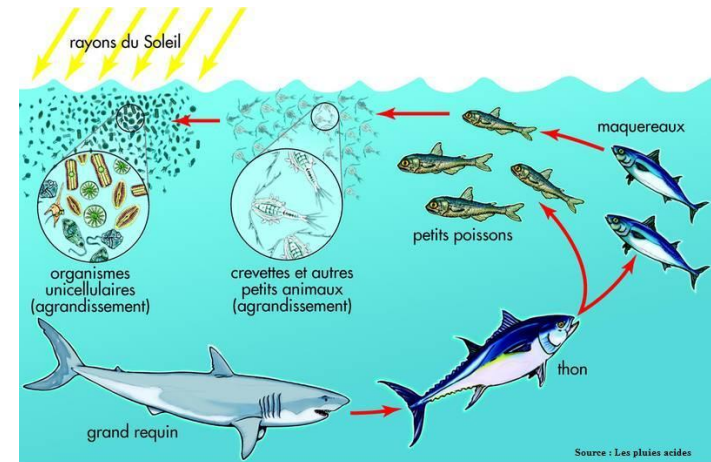
# Un exemple des interactions entre composantes d'un écosystème : les populations de cabillauds

- ◆ Quand il y a beaucoup de cabillauds, ils mangent beaucoup de harengs => les populations de harengs sont donc “maîtrisées”;
- ◆ Quand il y a peu de cabillauds (surpêche), ils mangent moins de harengs => les populations de harengs augmentent ;

Le problème : Le harengs mangent aussi les oeufs de cabillauds !! ...

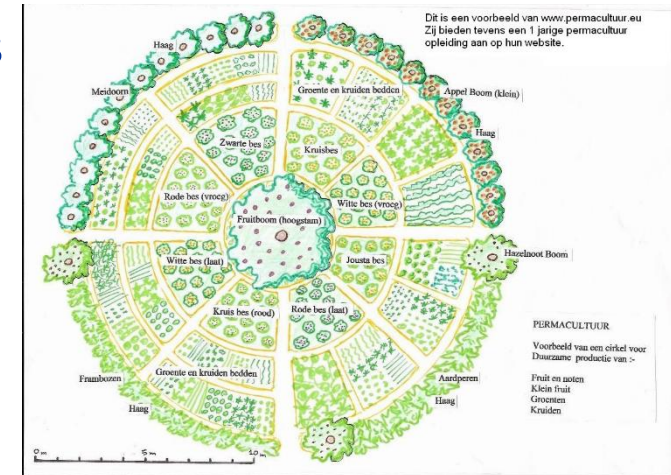
- ◆ Peu de cabillauds => peu d'oeufs de cabillauds ;
- ◆ Beaucoup de harengs mangent donc la plupart du peu d'oeufs de cabillauds !

**=> les populations de cabillauds ne seront pas restaurées ...**



# Un exemple d'écologie agricole : la permaculture

- ◆ Une pratique systémique déjà appliquée au cours des XVIIe et XVIIIe siècles qui s'inspire des écosystèmes naturels sans produire de déchets ;
- ◆ Elle consiste à **combiner les plants dans un même espace** pour optimiser l'utilisation des ressources : lumière, eau, nutriments ;
- ◆ Elle est adaptée à **la biodiversité de l'écosystème** qui est (re)créé. Les approches sont multiples en fonction des besoins, des territoires et des climats ;
- ◆ Elle permet de (re)produire fruits et légumes, des plantes médicinales, des herbes aromatiques ;
- ◆ **Elle trouve sa place dans les (petits) espaces** de vie en ville, en entreprise, dans les fermes, les jardins.



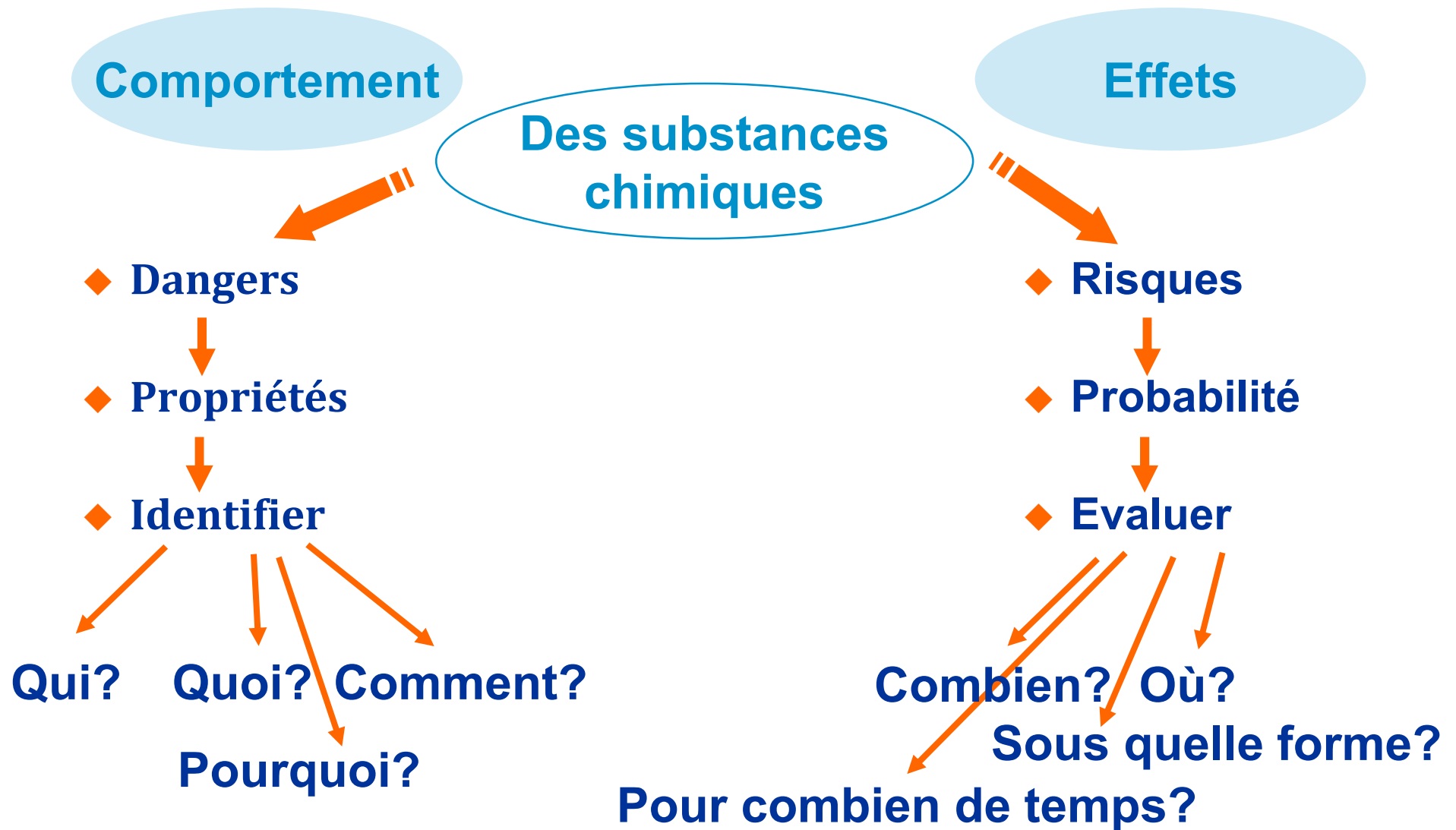
# Plan de la présentation

1. L'écologie : définition, principes et méthodes
2. Pour-quoi y a-t-il des éco-systèmes
3. Les grands principes d'organisation des écosystèmes
4. Les interactions entre flux de matière et d'énergie au sein d'écosystèmes
5. Evaluer la résilience des écosystèmes entre dangers, risques et sécurité
6. Epilogue

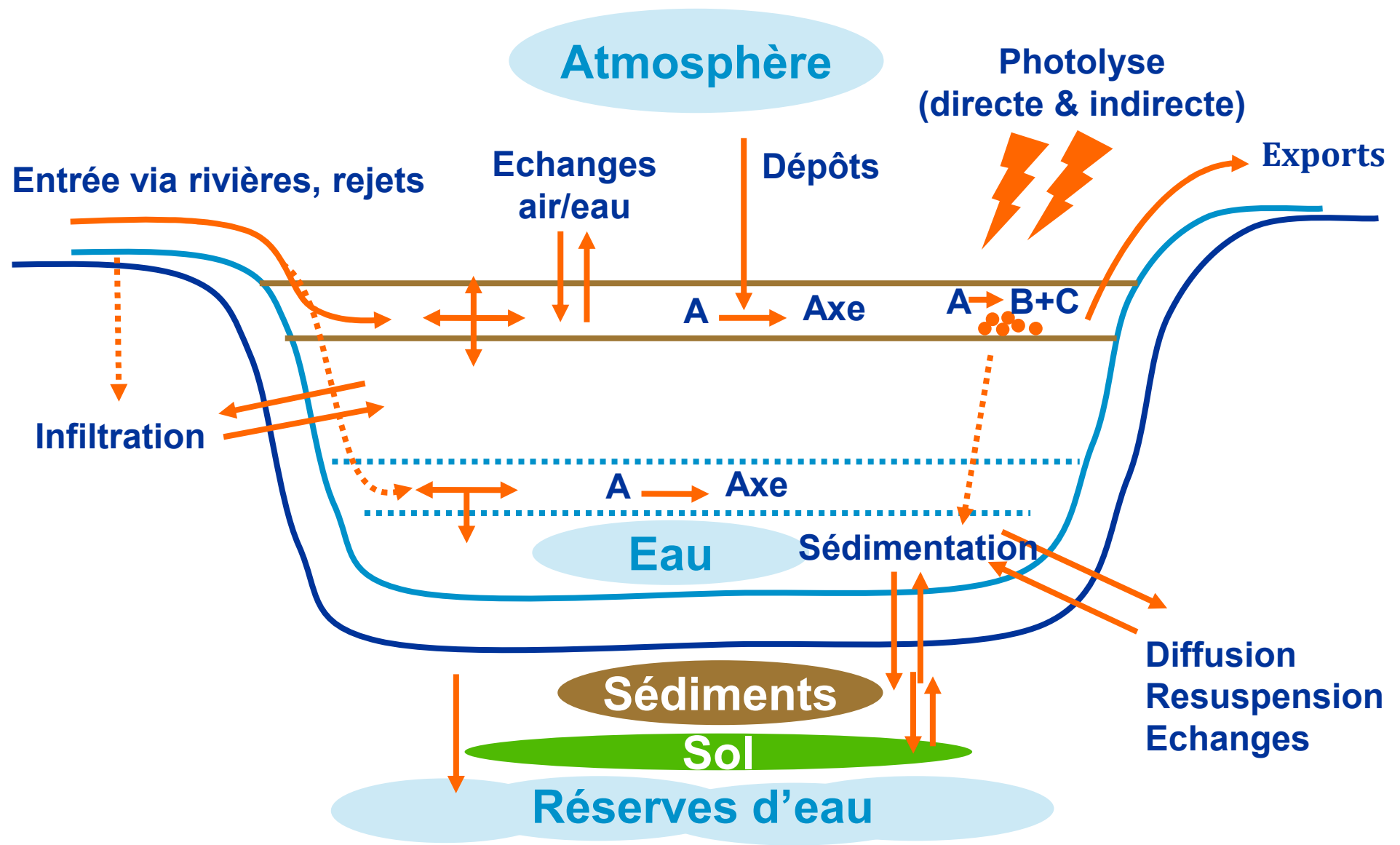
# La gestion des risques environnementaux



# Ecotoxicologie : quoi ?



# Eco(toxico)logie : où?



# Eco(toxico)logie : comment ?



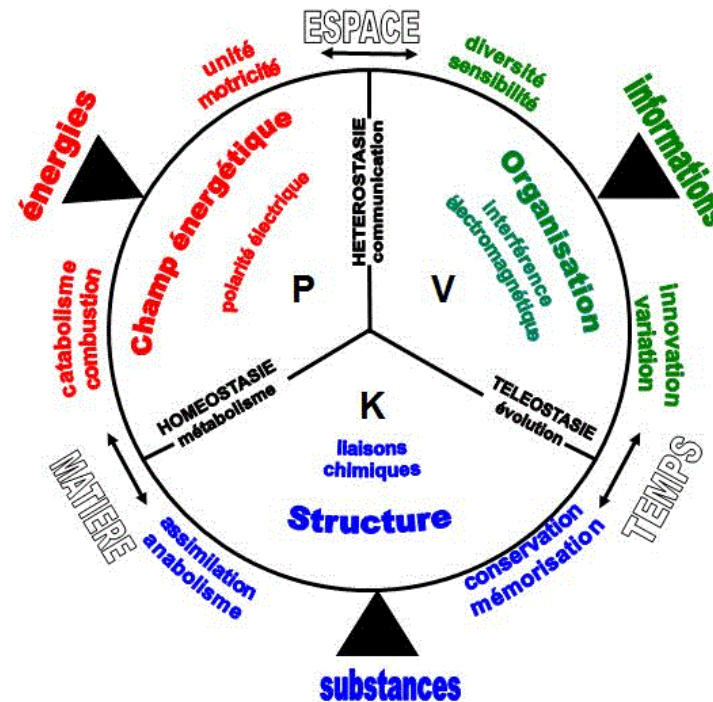
# Impacts potentiels sur les milieux

## Air:

- Haute atmosphère :  
*ozone, GES, ...*
- Basse atmosphère :  
*ozone, pollutions chimiques, ...*

## Sols :

- Occupation
- Déforestation ;
- Agriculture industrielle ;
- Appauvrissement biologique;
- Pollutions ;
- Énergies fossiles
- Déchets : ménagers, industriels & nucléaires



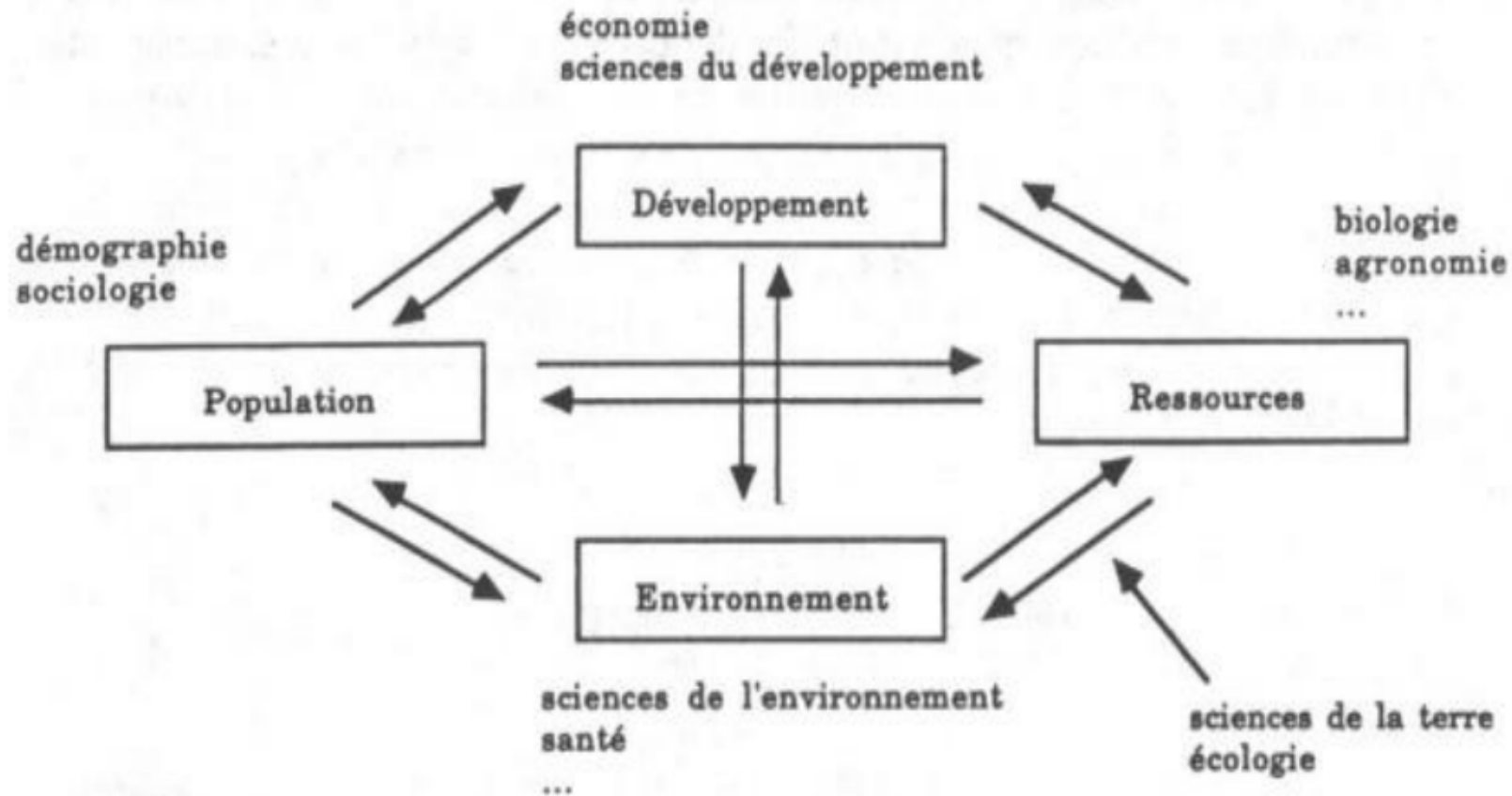
## Eaux :

- Eaux de surface,
- Eau potable & potabilisable
- Nappes phréatiques
- Mers & océans
- Biodiversité

## Sous-sols :

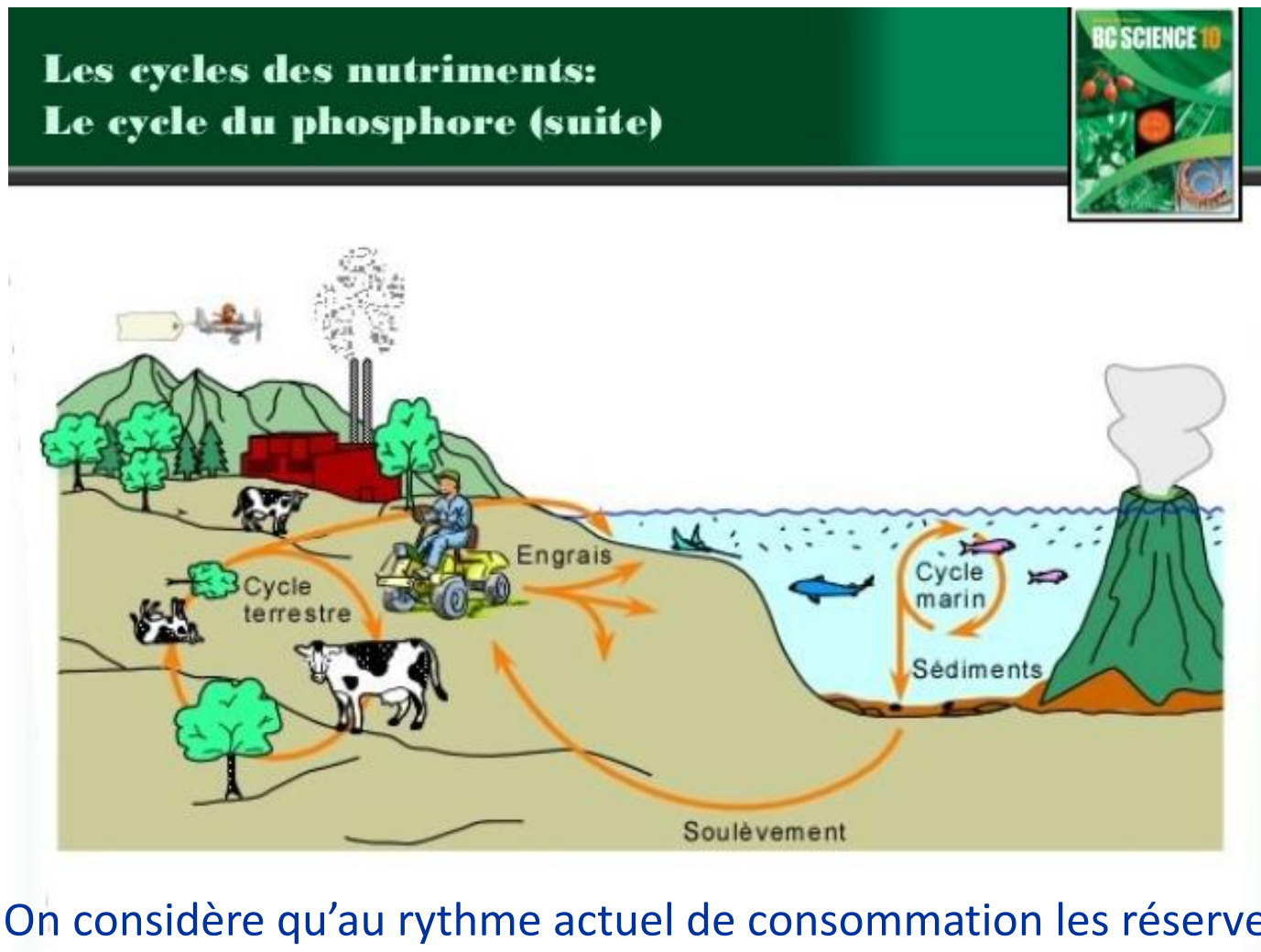
- Exploitations minières ;
- Pollutions ;
- Ressources non renouvelables
- Déchets

# Evaluation des risques : de l'évaluation d'un impact écologique à celle d'un impact économique ...



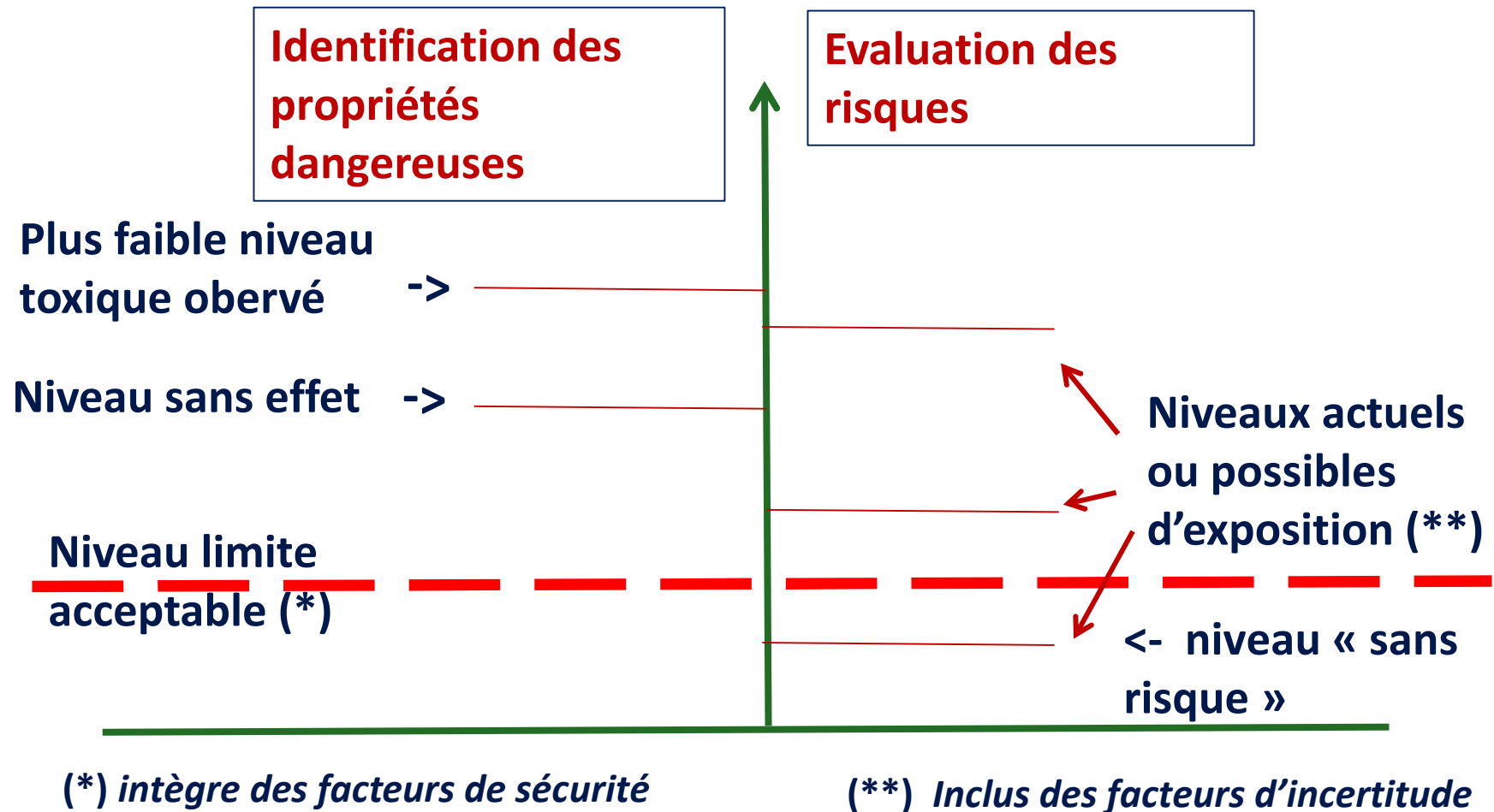
*Schéma n° 4. : Rapport entre la population et la production des biens*

# Un composé au renouvellement limité : le phosphore



On considère qu'au rythme actuel de consommation les réserves de phosphore seront épuisées à la fin du siècle !

# L'évaluation du niveau de sécurité : par la comparaison entre danger et risque



# Plan de la présentation

1. L'écologie : définition, principes et méthodes
2. Pour-quoi y a-t-il des éco-systèmes
3. Les grands principes d'organisation des écosystèmes
4. Les interactions entre flux de matière et d'énergie au sein d'écosystèmes
5. Evaluer la résilience des écosystèmes entre dangers, risques et sécurité
6. Epilogue

# Epilogue

- ◆ L'intégration de la dimension systémique de la science de l'écologie ouvre une perspective sans équivalent à la perception et à la maîtrise des enjeux complexes et irréductibles dans tous les domaines ;
- ◆ En ce sens, son enseignement devrait être « **fondamental** »
- ◆ Les carences immenses rencontrées dans la gestion des multiples crises auxquelles nos sociétés font face : *climatiques, sanitaires, sociales, économiques, culturelles, politiques* en sont la cruelle démonstration ..
- ◆ Mais comme l'a exprimé un jour Max Planck :
  - ◆ « **Une idée nouvelle ne triomphe jamais, ce sont ses adversaires qui finissent par mourir** »
- ◆ En espérant que, grâce à cette ouverture paradigmatique, ce ne soit pas l'ensemble de l'humanité qui, cette fois, finisse par mourir ...

# Un exemple de cette évolution de la manière de penser

- ◆ C'est de suggérer, par exemple de reformuler de façon plus intégrée à la lumière de cette perception plus matérielle de la réalité irréductible de nos systèmes sociétaux complexes ces valeurs fondamentales de :

*Liberté , égalité, fraternité*

En :

*Autonomie, équité, convivialité*

Ou encore :

*JE pense, donc JE suis*

En un :

*ILS pensent, donc JE suis ..*

Mais cela est une autre histoire ...

Merci de votre attention et ...  
de votre patience ...

*Jacques*

