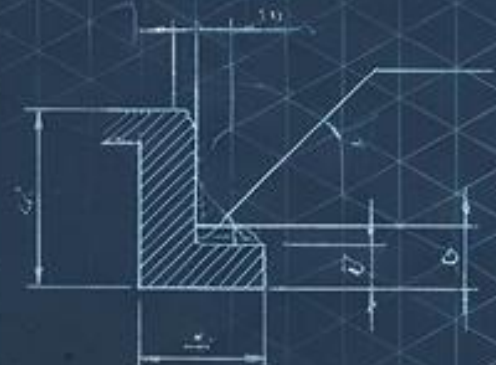
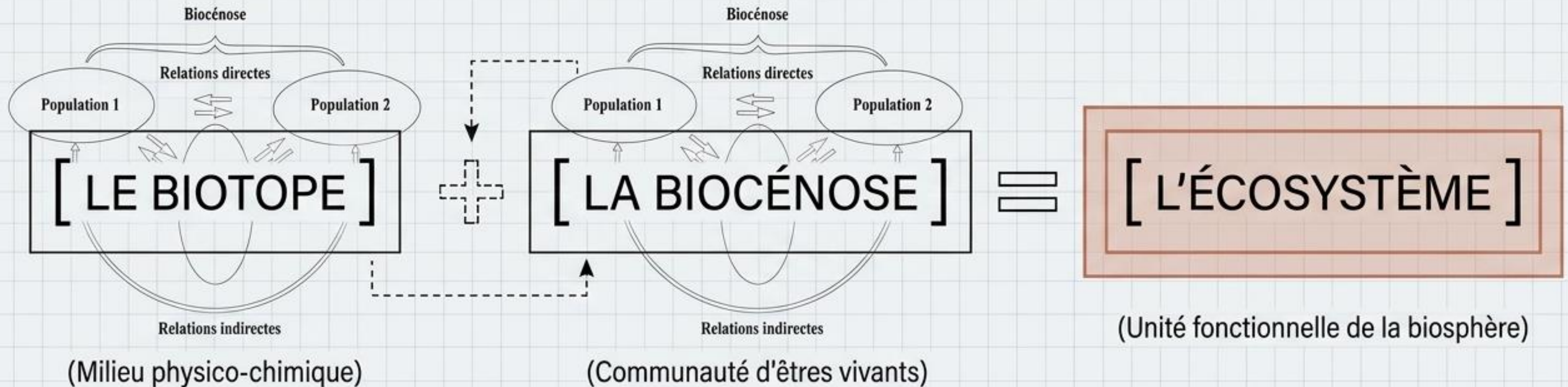


# Écosystème Biologique

Anatomie, dynamiques et  
plan d'ingénierie du vivant.

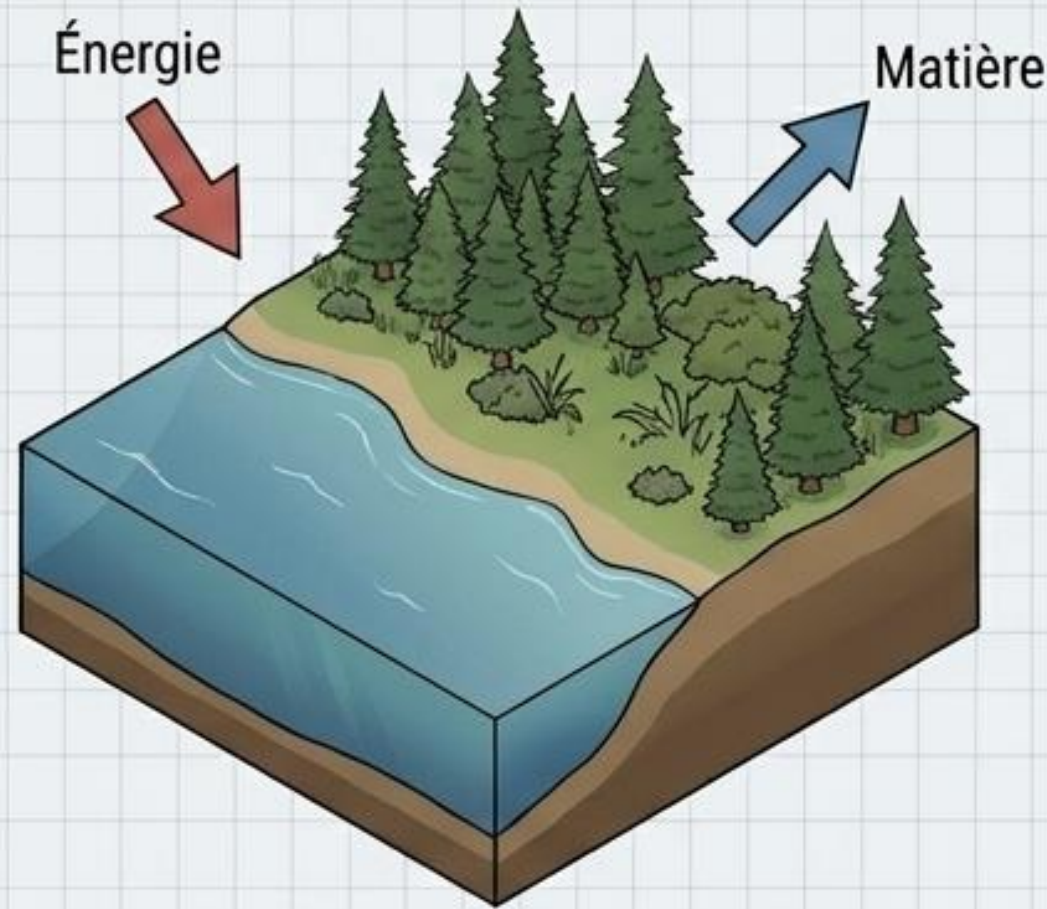


# L'équation fondamentale du vivant



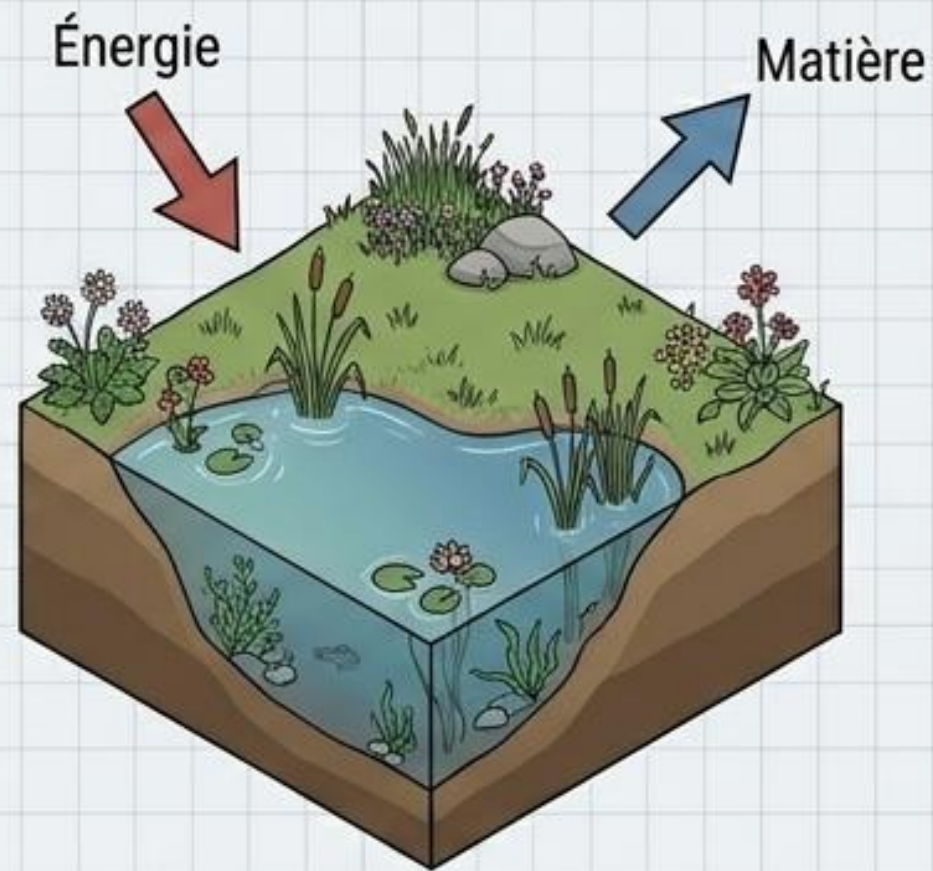
**1935** : Concept forgé par le botaniste Arthur George Tansley. L'écosystème marque le passage d'une vision descriptive à une analyse rigoureuse des réseaux de dépendances.

# La relativité de l'échelle : un système ouvert



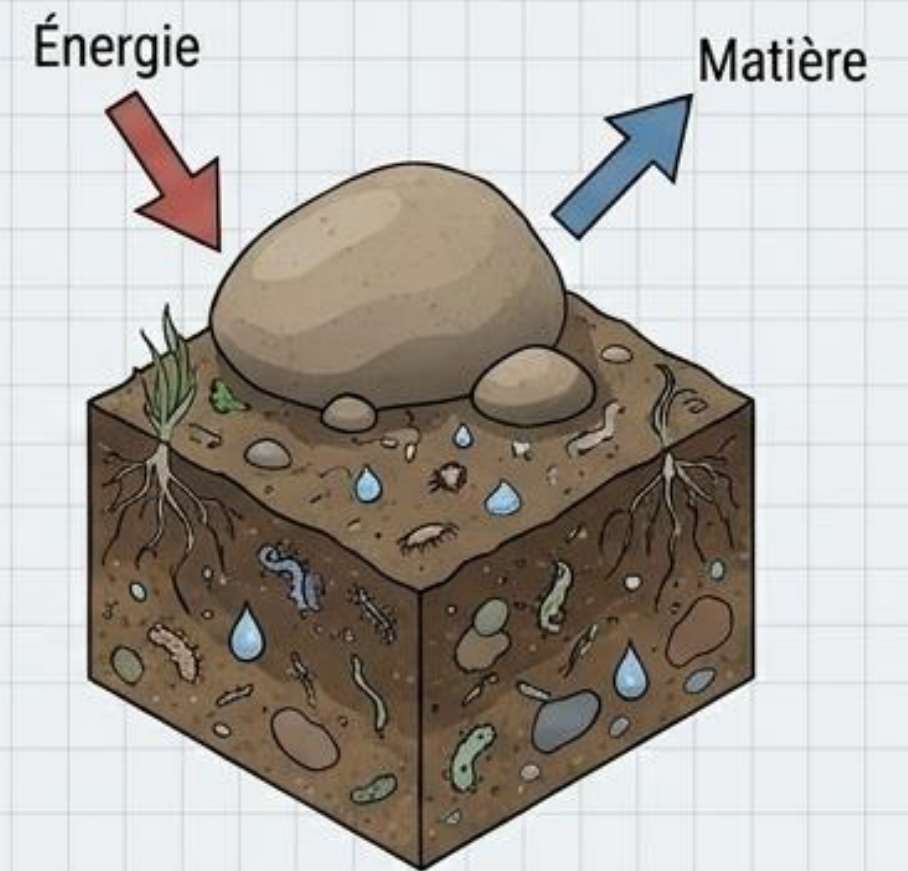
## Scale 1: Le Macroécosystème (Biome)

Ex. Océan ou forêt boréale.  
Influence globale.



## Scale 2: Le Mésoécosystème

Ex. Un étang ou une prairie.  
Milieu défini localement.



## Scale 3: Le Microécosystème

Ex. Une flaque d'eau ou le dessous d'un  
caillou. Limité mais complet.

Indépendamment de sa taille, chaque écosystème est un **système ouvert qui échange en permanence de l'énergie** et de la **matière** avec son voisinage.

# La dichotomie du système : Le cadre et les acteurs

## Le Biotope

**Nature** : Composante ABIOTIQUE  
(sans vie).

---

**Rôle** : Le cadre. Agit comme un  
filtre déterminant la survie et la  
reproduction.

---

**Composition** : Énergie solaire, eau,  
minéraux, gaz.



## La Biocénose

**Nature** : Composante BIOTIQUE  
(le vivant).

---

**Rôle** : Les acteurs. Organisés en  
catégories fonctionnelles assurant  
la circulation de biomasse.

---

**Composition** : Végétaux, animaux,  
champignons, bactéries.

# Le Biotope : 4 piliers du cadre abiotique



## Facteurs Climatiques

Température, luminosité, vent, précipitations.  
(Régule le métabolisme, floraison).



## Facteurs Édaphiques

Texture du sol (sable, argile), pH, minéralisation.  
(Support végétal, rétention d'eau, nutriments).



## Facteurs Hydrologiques

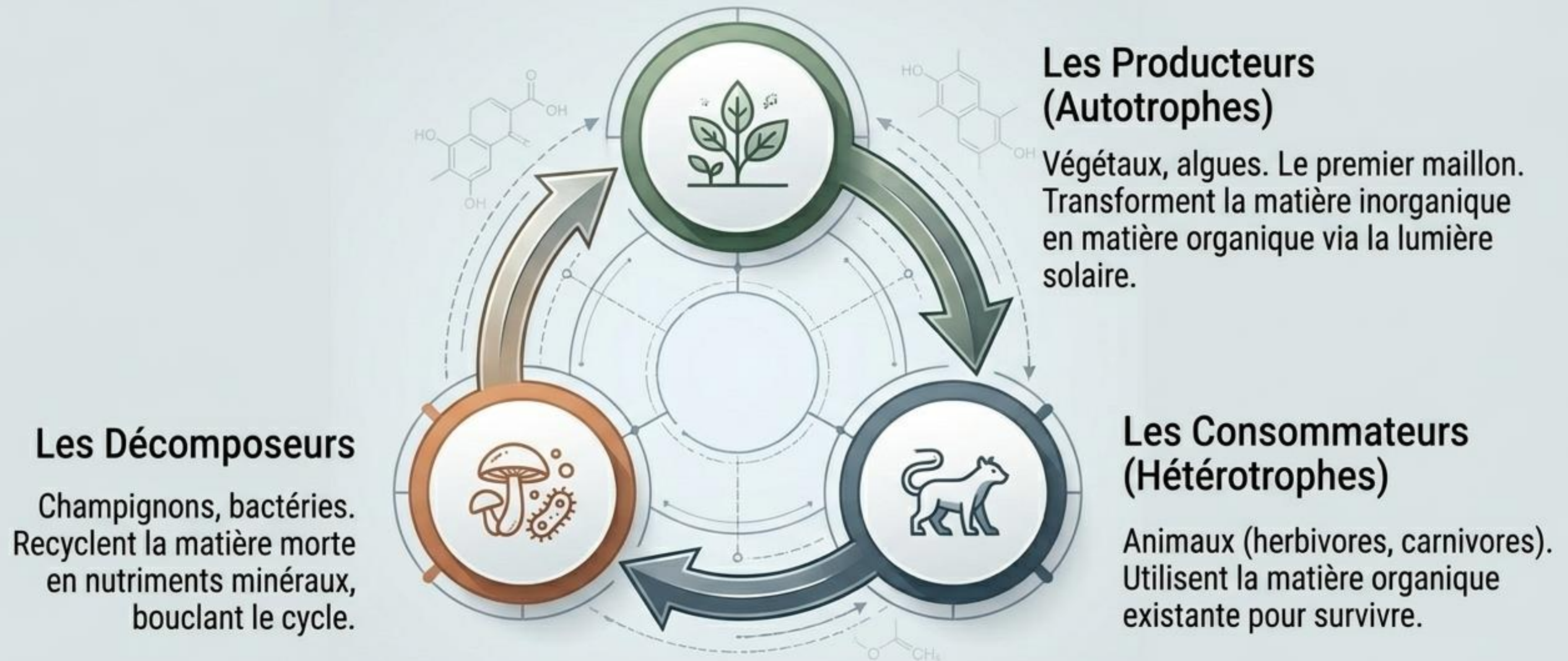
Salinité, oxygénation, courant, profondeur.  
(Déterminant majeur de l'osmorégulation).



## Facteurs Atmosphériques

Concentrations en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>, polluants.  
(Indispensable à la respiration et photosynthèse).

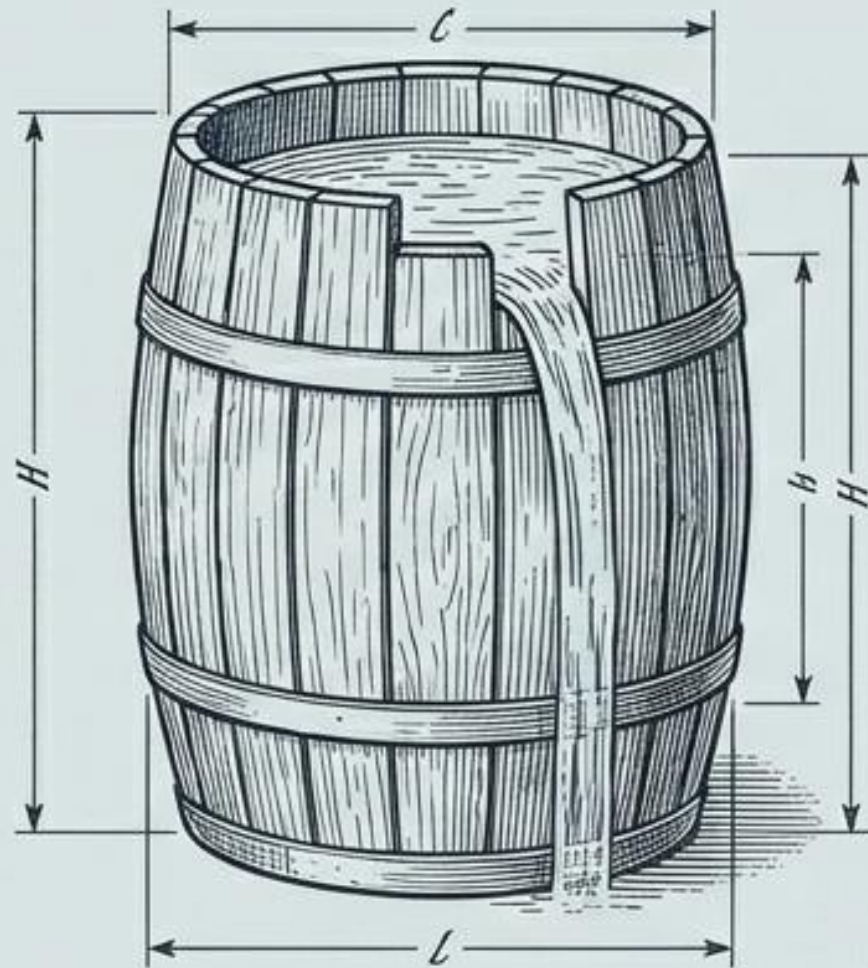
# La Biocénose : Organisation fonctionnelle du vivant



La biocénose n'est pas qu'un inventaire d'espèces ; c'est un réseau de rôles métaboliques assurant la circulation de l'énergie.

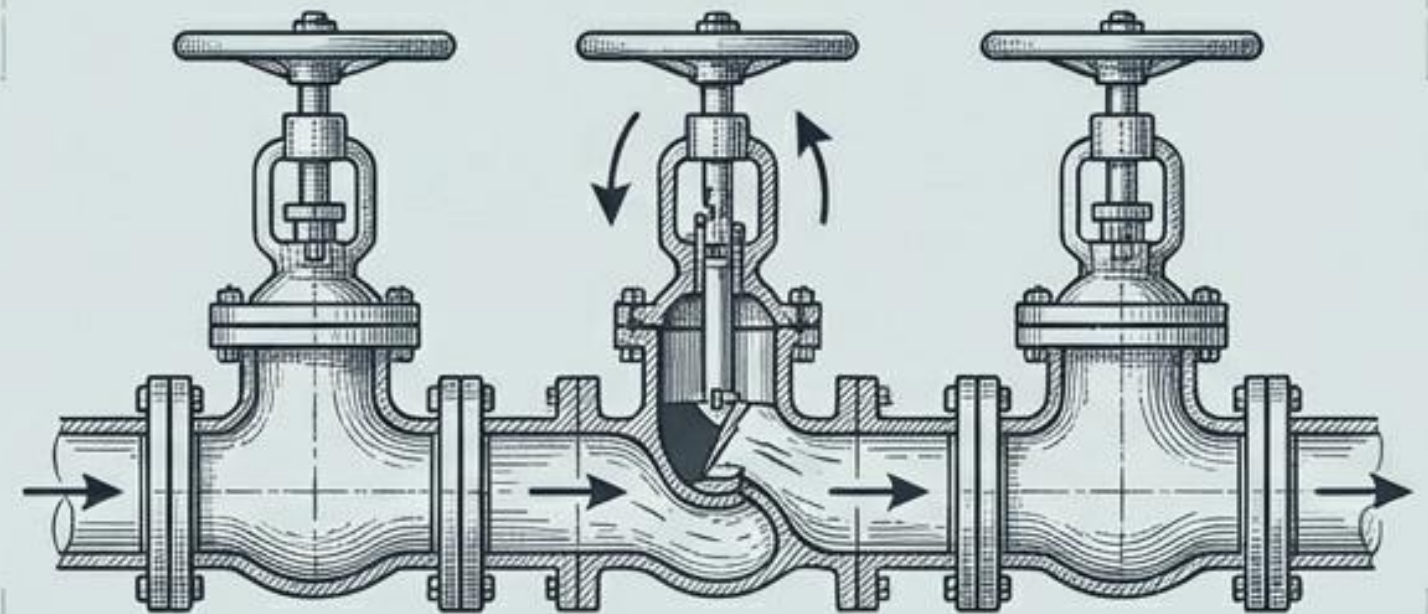
# Lois de Limitation : Ce qui freine le système

## Loi du Minimum (Liebig, 1840)



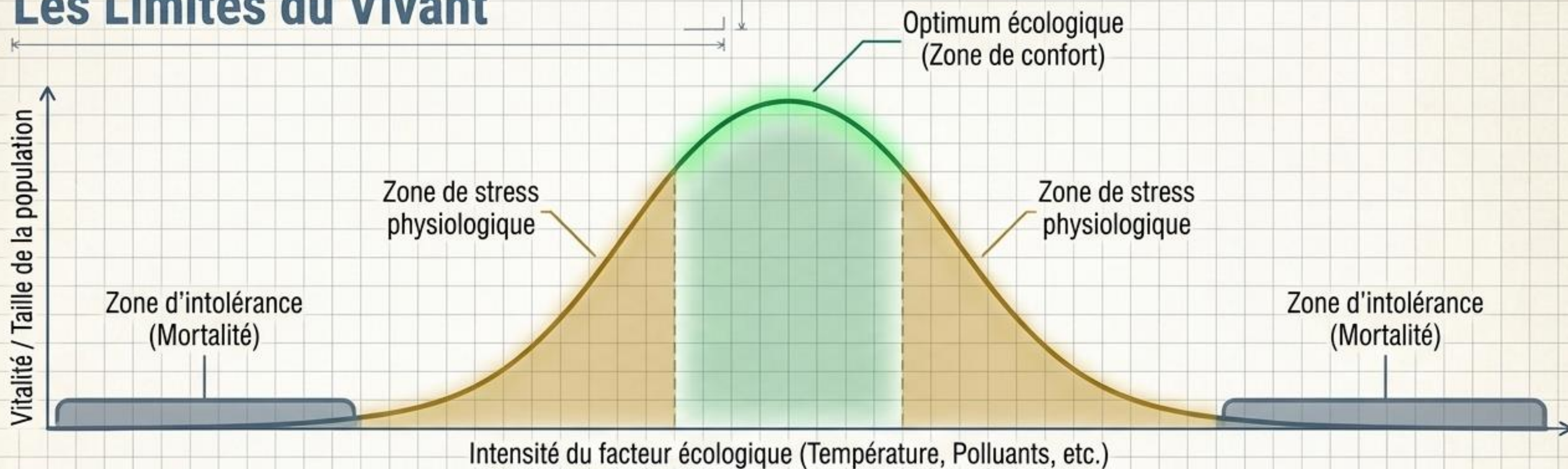
- La croissance dépend de la ressource présente en quantité minimale.
- Apporter des nutriments déjà abondants est inutile si la carence du nutriment le plus rare n'est pas comblée.

## Loi des Facteurs Limitants (Blackman, 1905)



- Lorsqu'un processus (ex: photosynthèse) dépend de plusieurs facteurs, sa vitesse globale est plafonnée par le facteur à l'intensité la plus faible.

# La Loi de Tolérance : Les Limites du Vivant



## Espèces Spécialistes (Stratégie K)

Très adaptées à un optimum étroit. Sont les premières à disparaître lors d'une dégradation anthropique.

## Espèces Généralistes (Opportunistes)

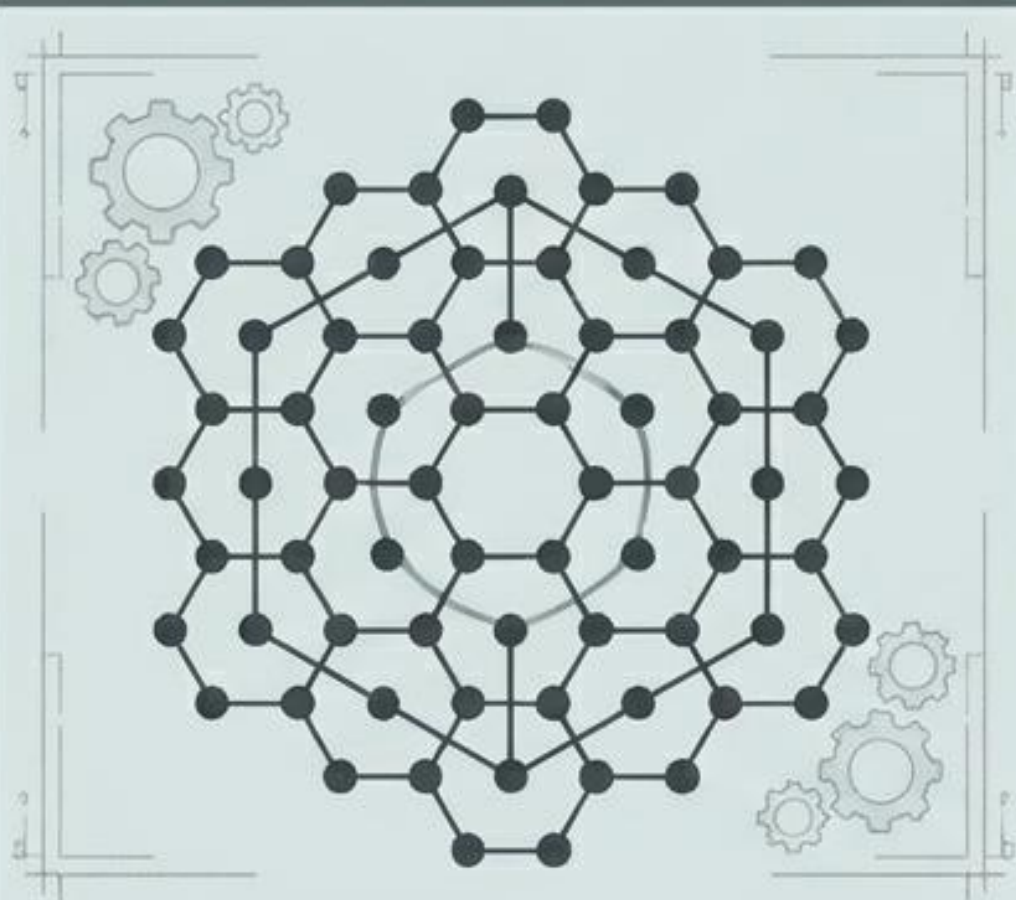
Large zone de tolérance. Colonisent rapidement les sites dégradés (ex: espèces invasives, rudérales).

*L'artificialisation déplace violemment les curseurs abiotiques.  
Sans intervention, les écosystèmes perdent leurs espèces structurantes.*

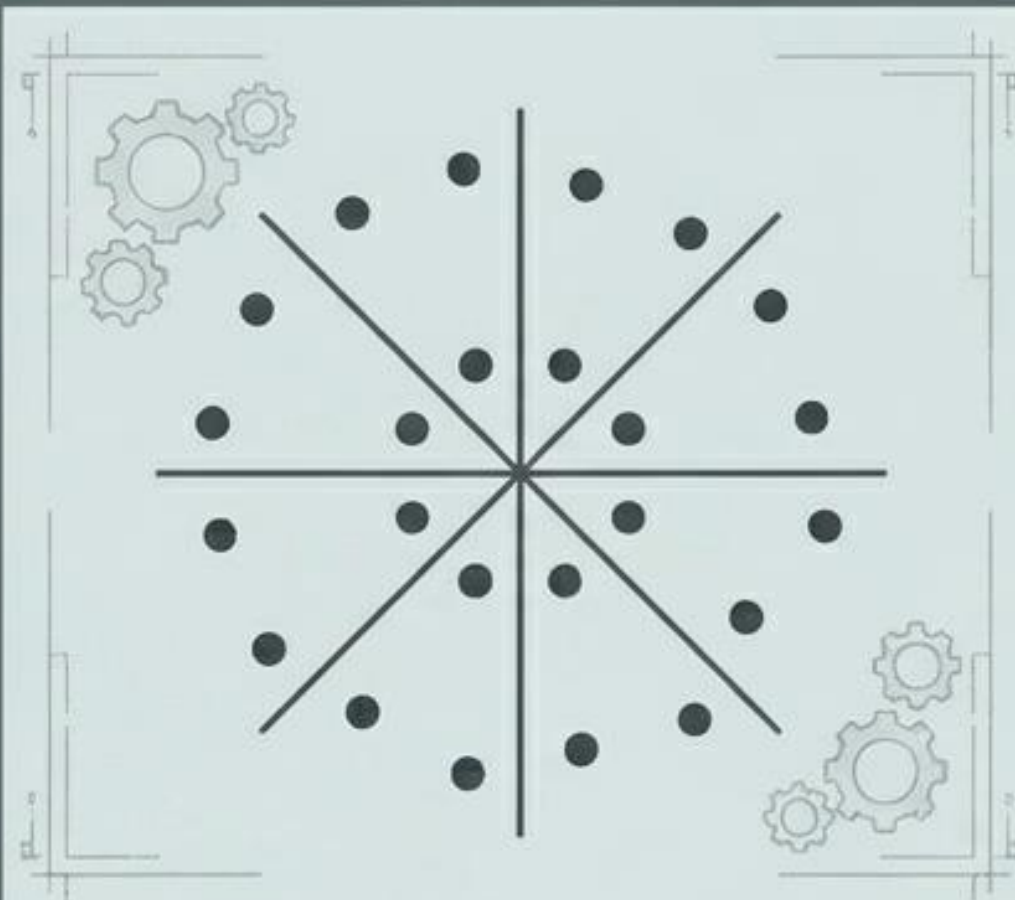
# Facteurs Biotiques : La dynamique intraspécifique

L'ensemble des actions que les organismes vivants exercent directement les uns sur les autres.

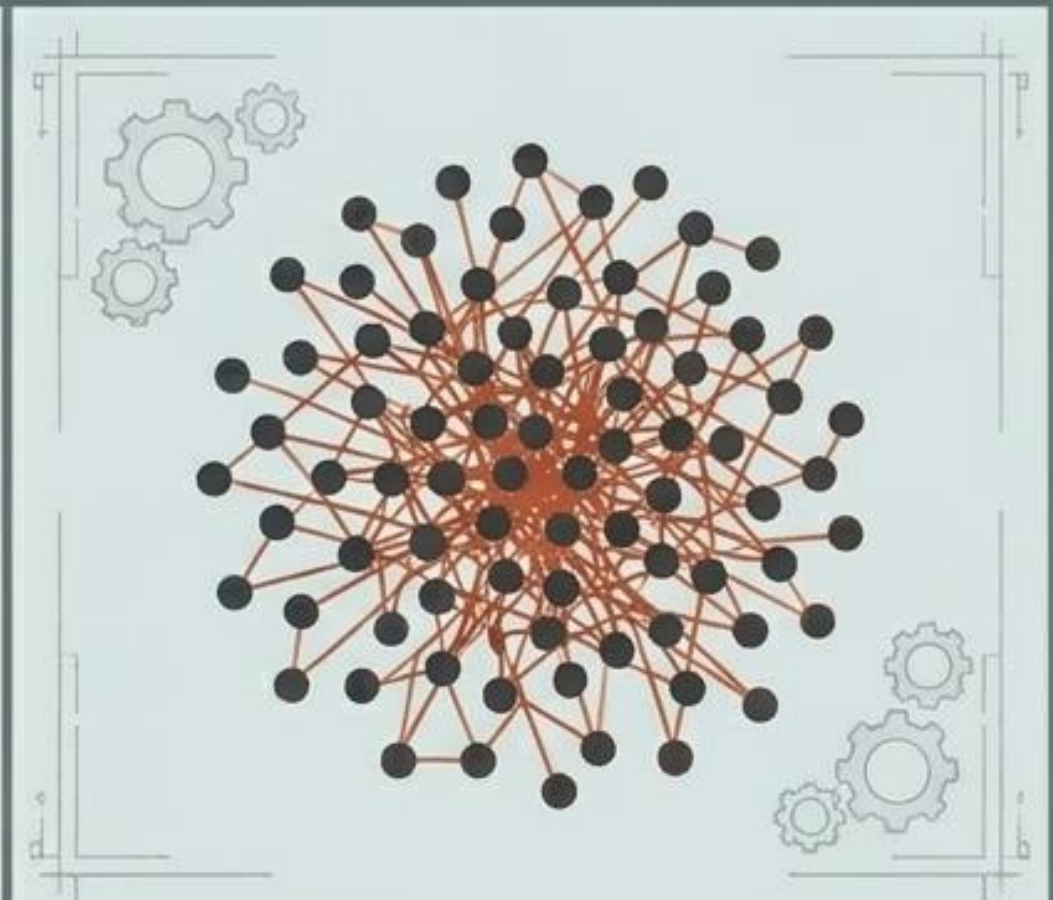
## La Coaction Intraspécifique (Même espèce)



**Collaboration** : Soins parentaux, vie en colonie (insectes sociaux).  
Améliore la survie.



**Compétition** : Lutte pour la nourriture, l'espace ou les partenaires.



**L'Effet de Masse** : Un point de bascule. Lorsqu'une densité trop élevée induit des effets physiologiques néfastes (réduction de la fécondité, auto-élimination, mortalité accrue).

# Le Spectre des Domaines d'Intervention



## 1. Conservation & Préservation

**Intervention minimale.**  
Protection stricte des milieux naturels peu altérés (ex: Parcs Nationaux).



## 2. Gestion Adaptative

**Maintien de l'équilibre.**  
Faire cohabiter usages humains et biodiversité via l'évolution des pratiques.



## 3. Restauration Écologique

**Réparation.**  
Assister le rétablissement d'un écosystème dégradé vers son état de référence historique.



## 4. Génie Écologique

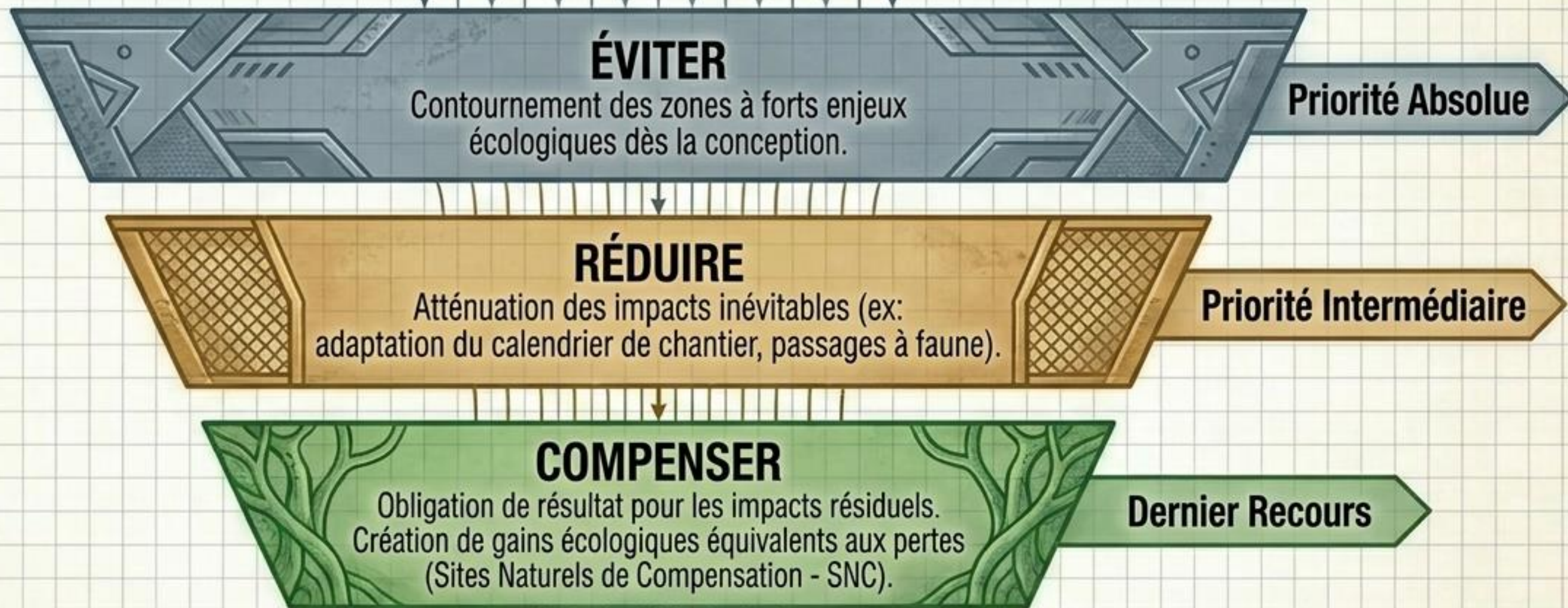
**Création & Pilotage.**  
Construire avec la nature pour créer de nouveaux écosystèmes rendant des services à l'homme.

*De l'observation de la nature à son intégration comme infrastructure technique.*

# Matrice Diagnostique : Restauration vs Génie Écologique

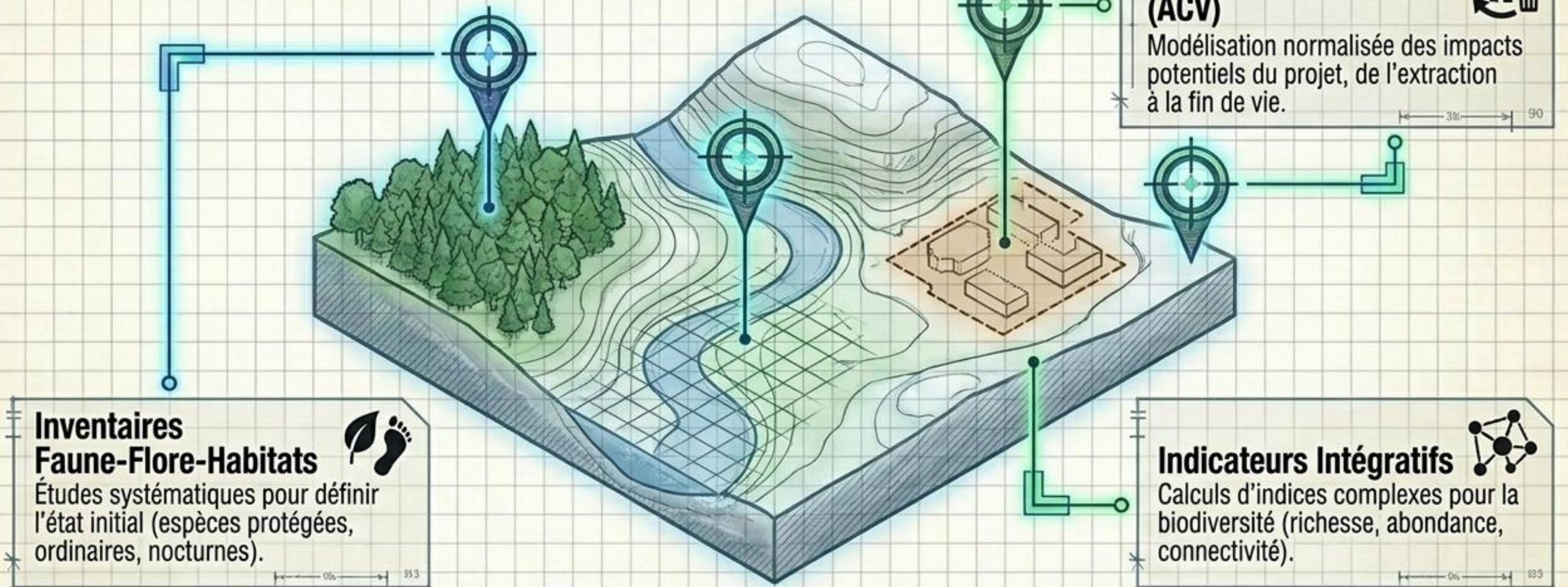
	Restauration Écologique	Génie Écologique
Objectif Principal	Retour à un état de référence historique (système mature préexistant).	Création de systèmes fonctionnels pour des services humains spécifiques.
Mécanisme d'Action	Assistance à la succession naturelle et résilience intrinsèque.	Manipulation du vivant et 'Design écologique' (technologie basée sur la nature).
Exemples Concrets	Restauration des mangroves en Indonésie (freiner l'érosion pour permettre le retour spontané).	Stabilisation de berges urbaines par génie végétal (systèmes racinaires remplaçant les murs de béton).

# Le Cadre Réglementaire : La Séquence E.R.C.



*La compensation exige une démonstration technique stricte de l'équivalence écologique.  
Elle n'est légale que si l'évitement et la réduction ont été épuisés.*

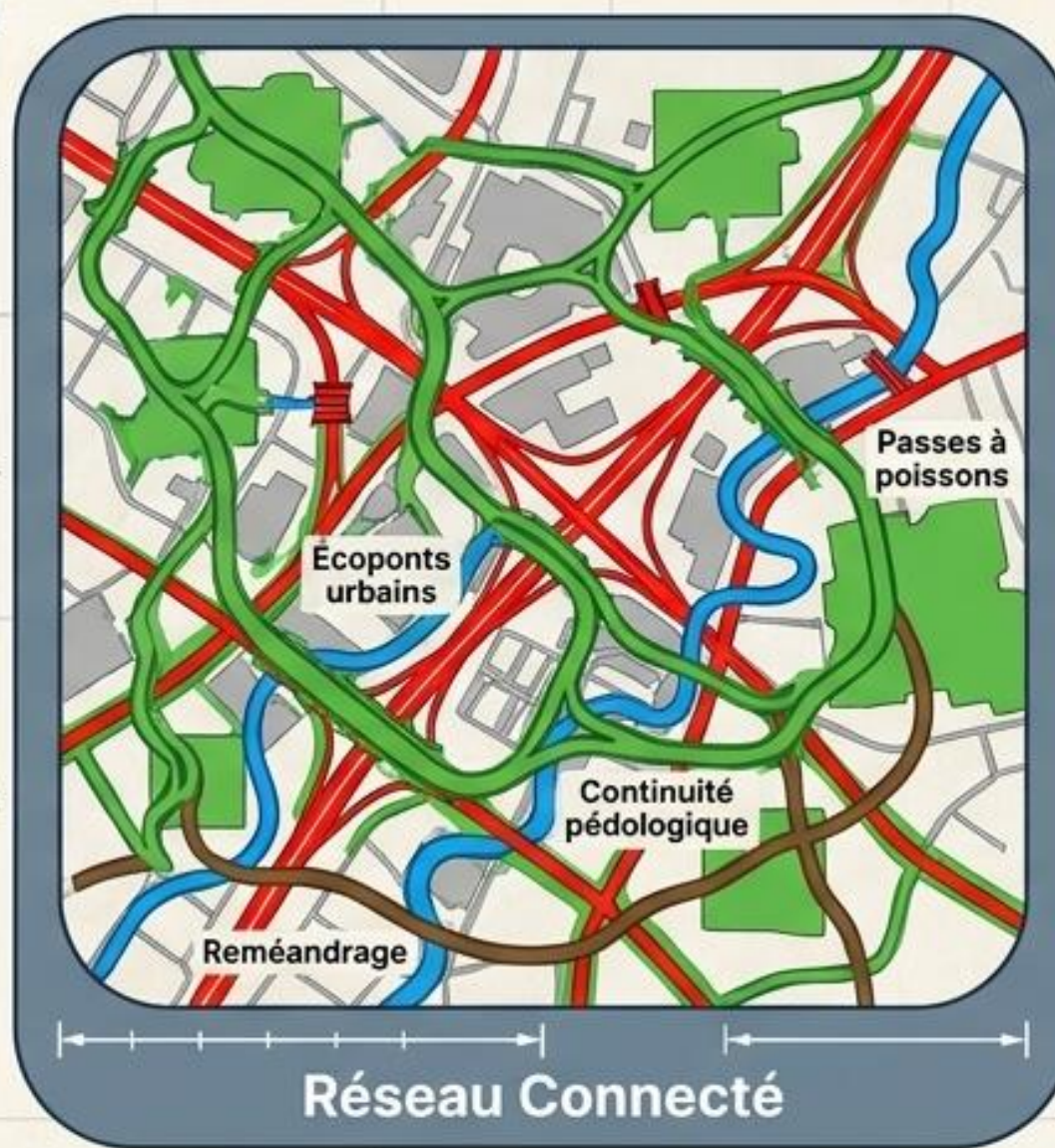
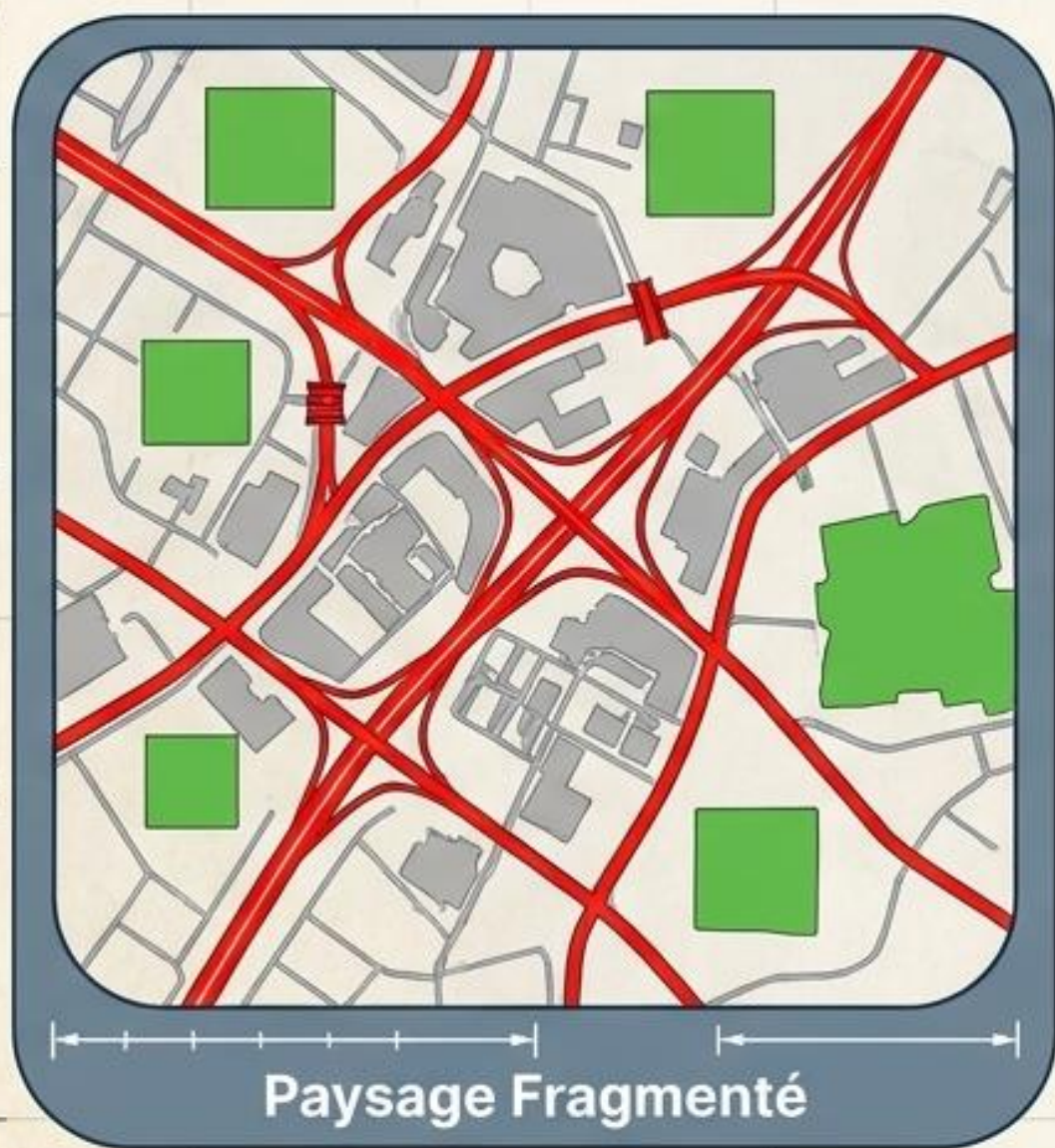
# Intervention 1 : Diagnostics et Ingénierie Préalable



L'évaluation environnementale est la boussole scientifique de toute intervention.

# Intervention 2 : Restauration des Continuités Écologiques

La fragmentation anthropique (routes, barrages, villes) isole les populations, réduisant le flux génétique et menaçant la survie des espèces.



## Les Trames Essentielles



**Verte (Terrestre) :**  
Écoponts urbains et autoroutiers, haies bocagères.



**Bleue (Aquatique) :**  
Reméandrage de cours d'eau, suppression d'ouvrages hydrauliques, passes à poissons.



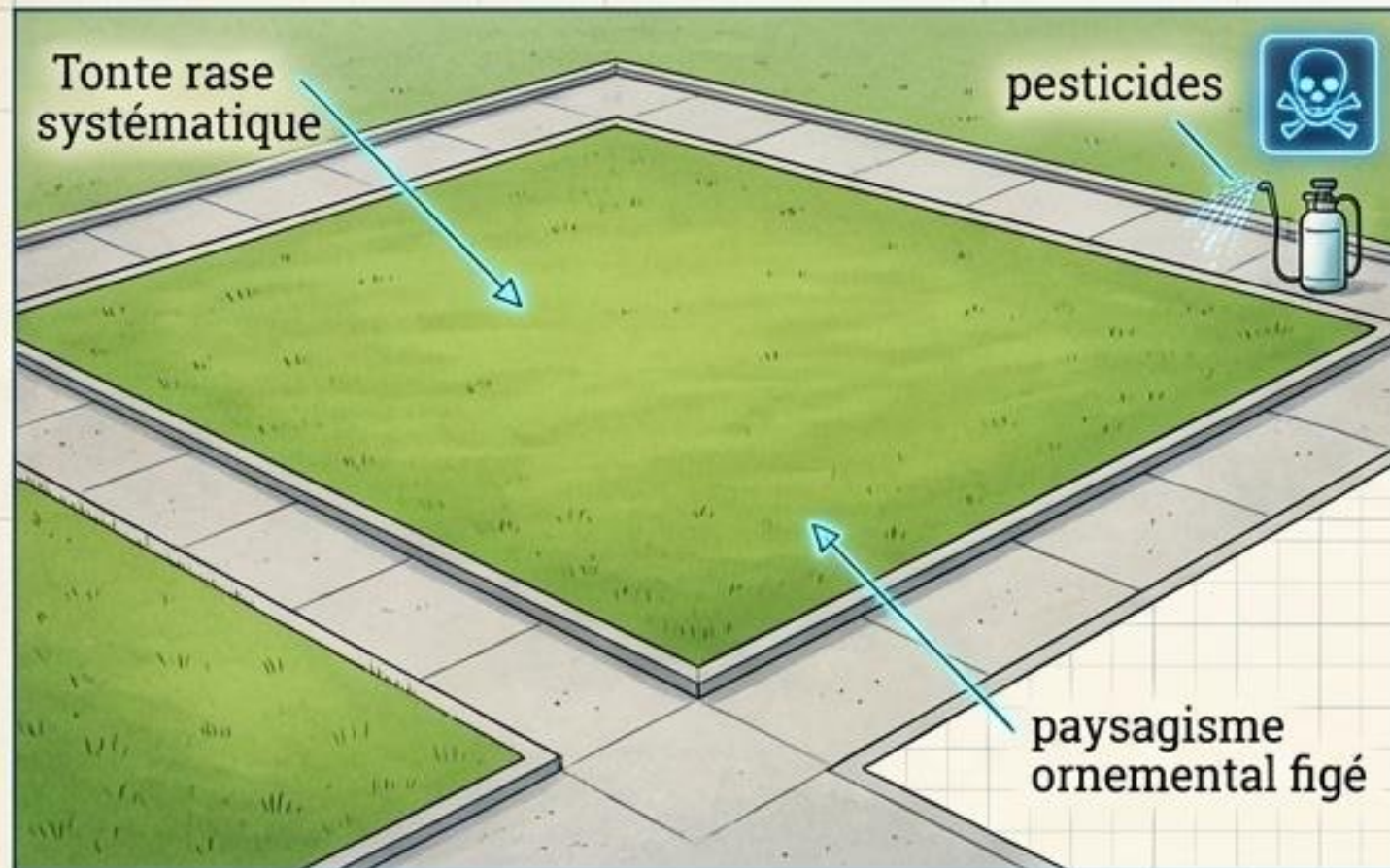
**Brune (Sols) :**  
Décompactation et restauration de la continuité pédologique.



**Noire (Nocturne) :**  
Réduction de la pollution lumineuse pour les espèces lucifuges.

# Intervention 3 : Gestion Différenciée et Entretien des Milieux

## Avant : Gestion Stérile

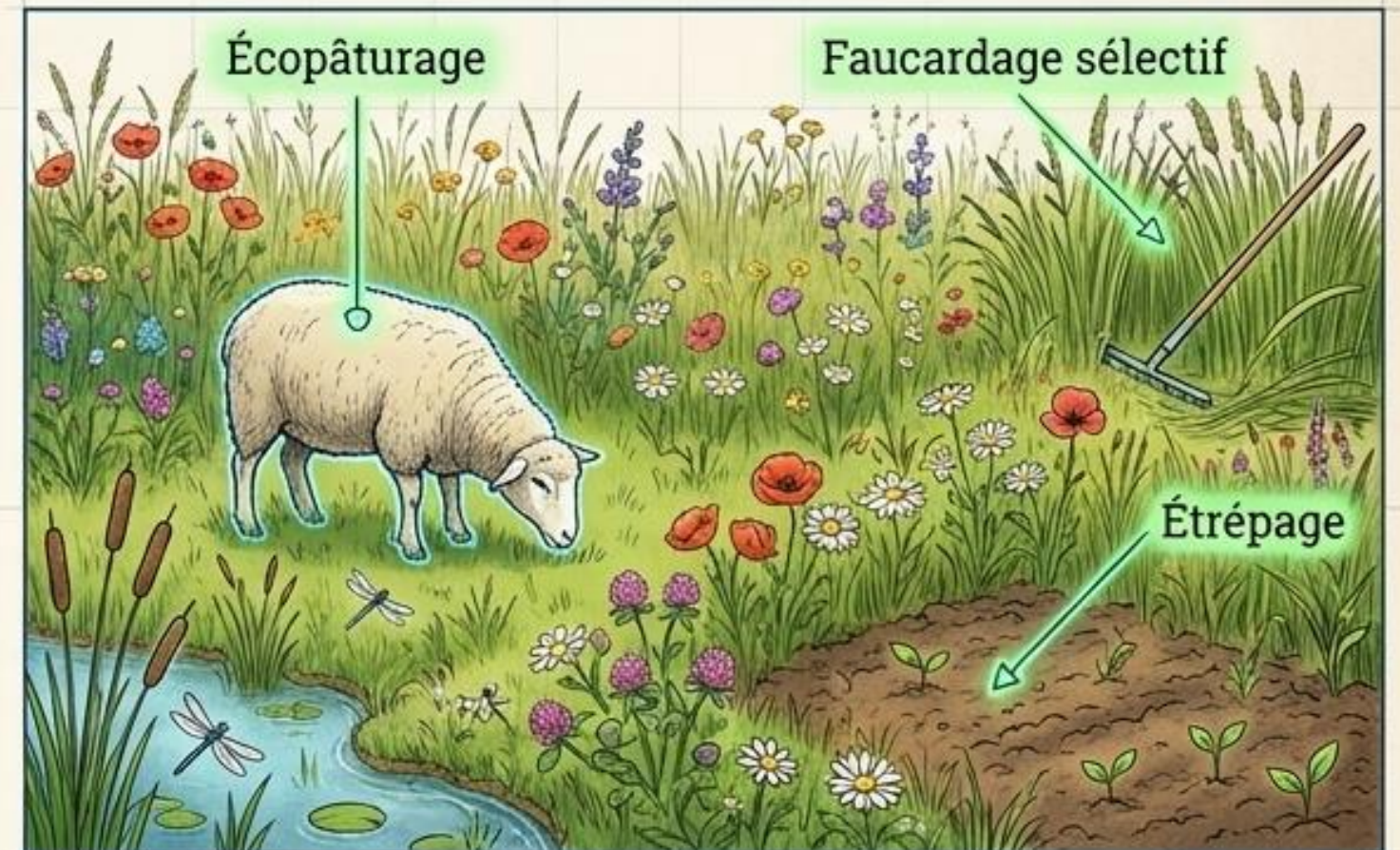


Tonte rase systématique, pesticides, paysagisme ornemental figé.

**Résultat** : Faible biodiversité, coût énergétique élevé.



## Après : Gestion Différenciée



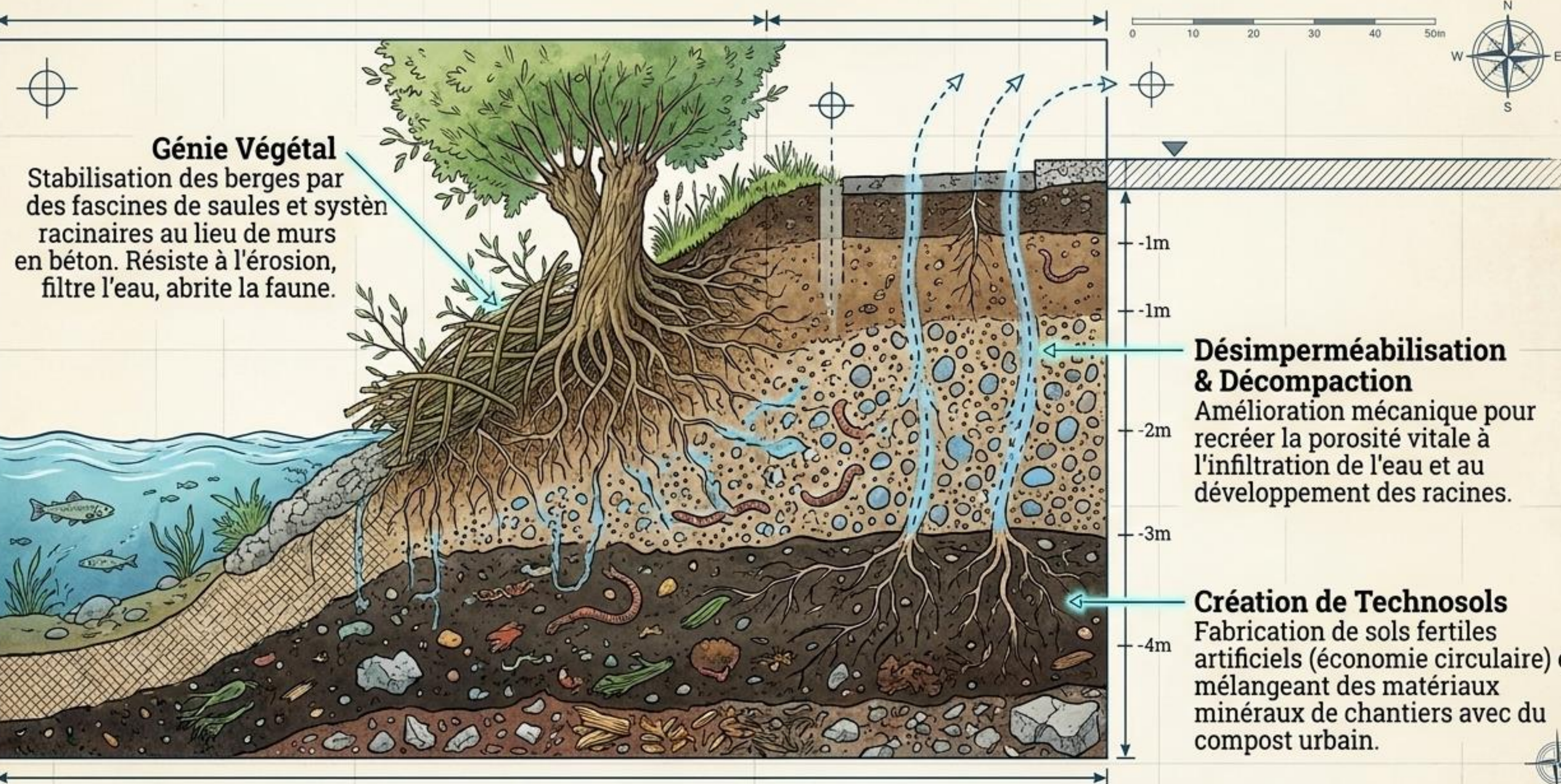
- **Écopâturage** : Utilisation d'herbivores (ovins, bovins) pour conserver l'ouverture des milieux prairiaux.
- **Faucardage sélectif** : Coupe ciblée pour limiter l'eutrophisation et contrôler les espèces envahissantes.
- **Étrépage** : Décapage superficiel du sol pour rajeunir le milieu et relancer la banque de graines.



La gestion différenciée s'appuie sur la dynamique naturelle, transformant un centre de coût en centre de biodiversité.



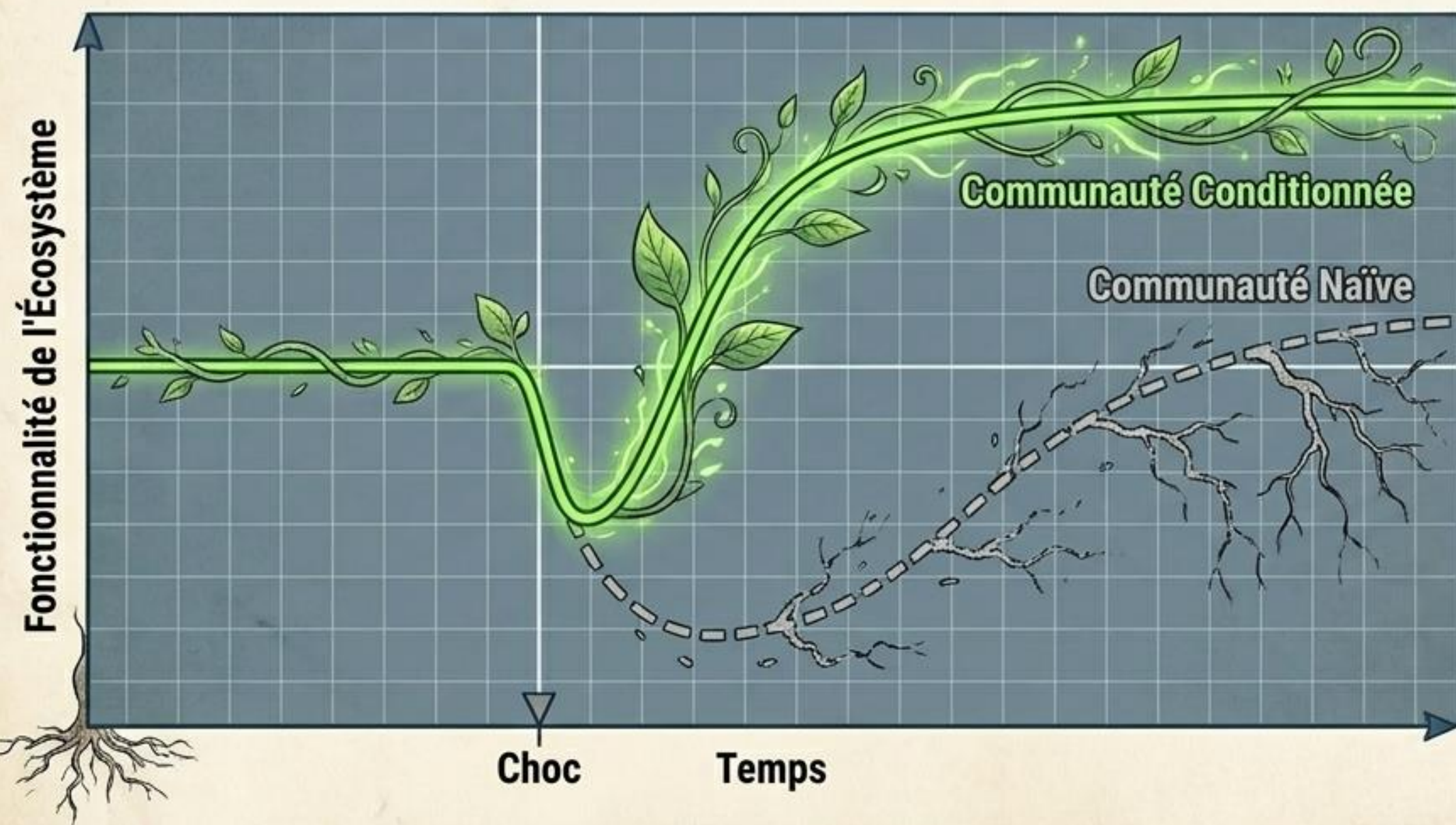
# Intervention 4 : Le Génie Végétal et les Sols Vivants (Le BTP Bio)



# Concept Avancé : La Mémoire Écologique

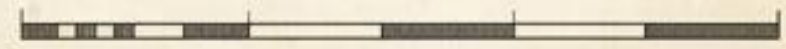


Un écosystème soumis à un **stress passé** (feu, pollution) garde une « **mémoire** » **adaptative**, permettant un **rebond** beaucoup plus **rapide** face à un nouveau choc.



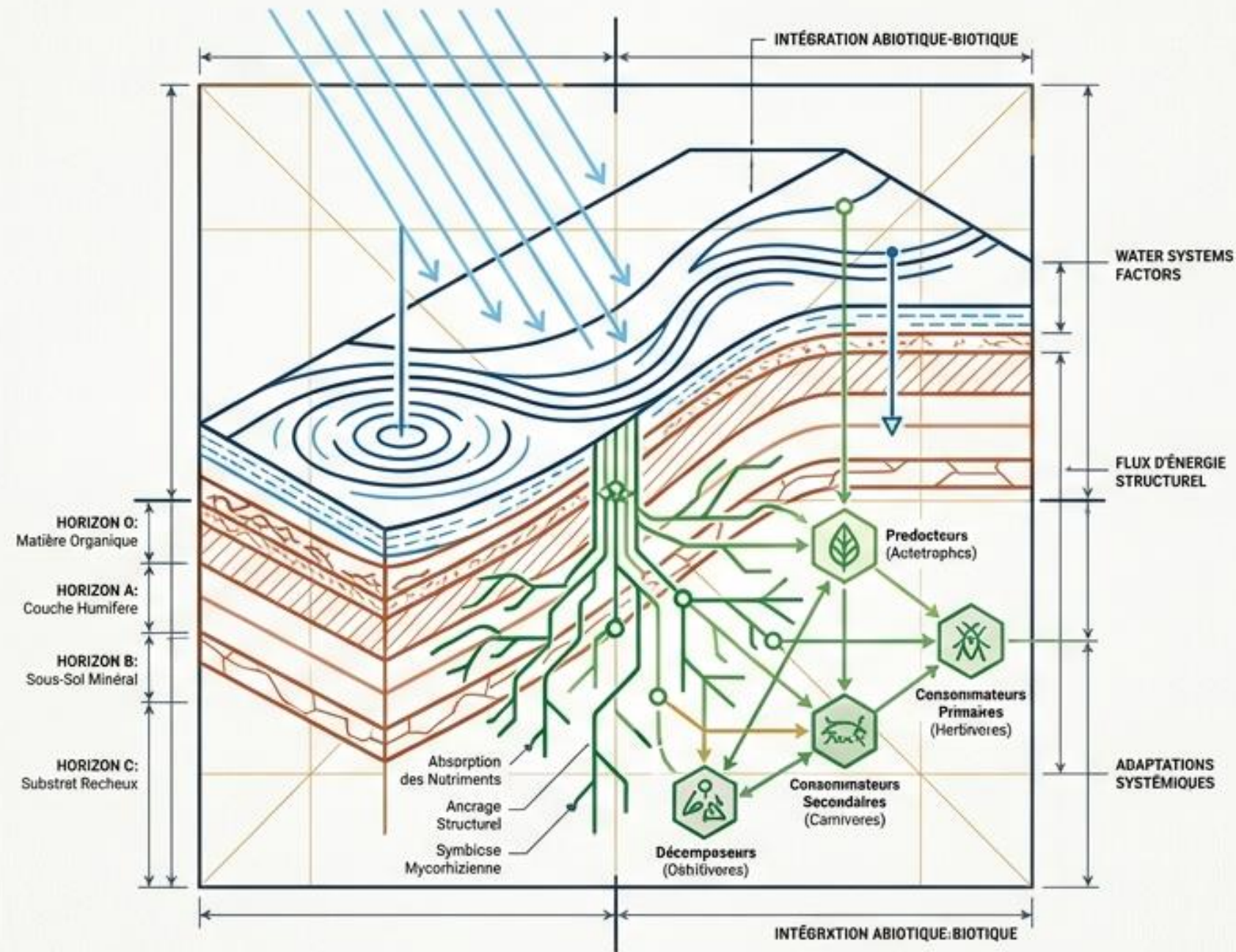
## Application en Ingénierie :

- **Calibration de l'effort** : Si la perturbation fait partie du cycle naturel (la mémoire fonctionne), une intervention lourde est inutile.
- **Seuil de rupture** : Si le choc a détruit la mémoire écologique, un effort de restauration active est indispensable.



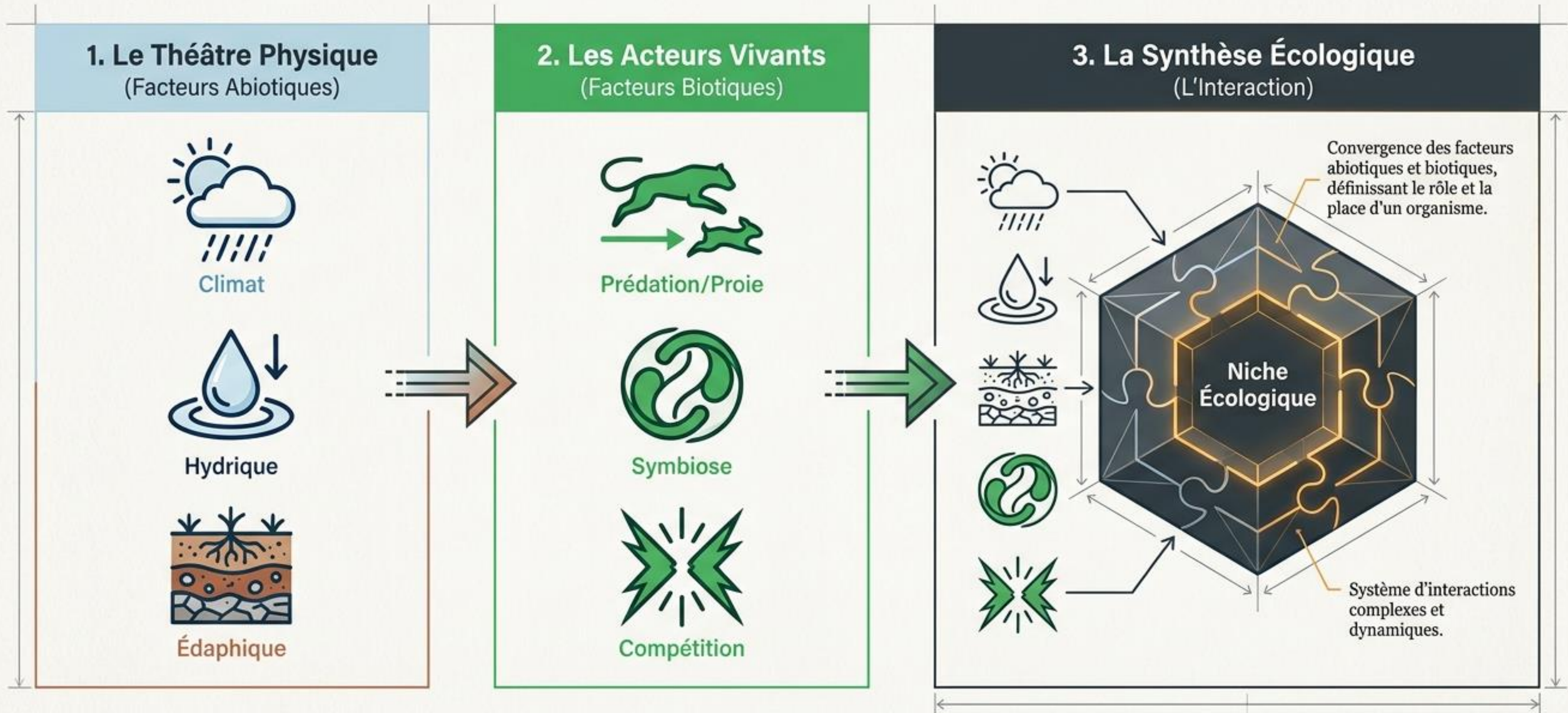
# L'Architecture des Écosystèmes : Les Facteurs du Milieu

Une cartographie visuelle des contraintes physiques et des stratégies biologiques.



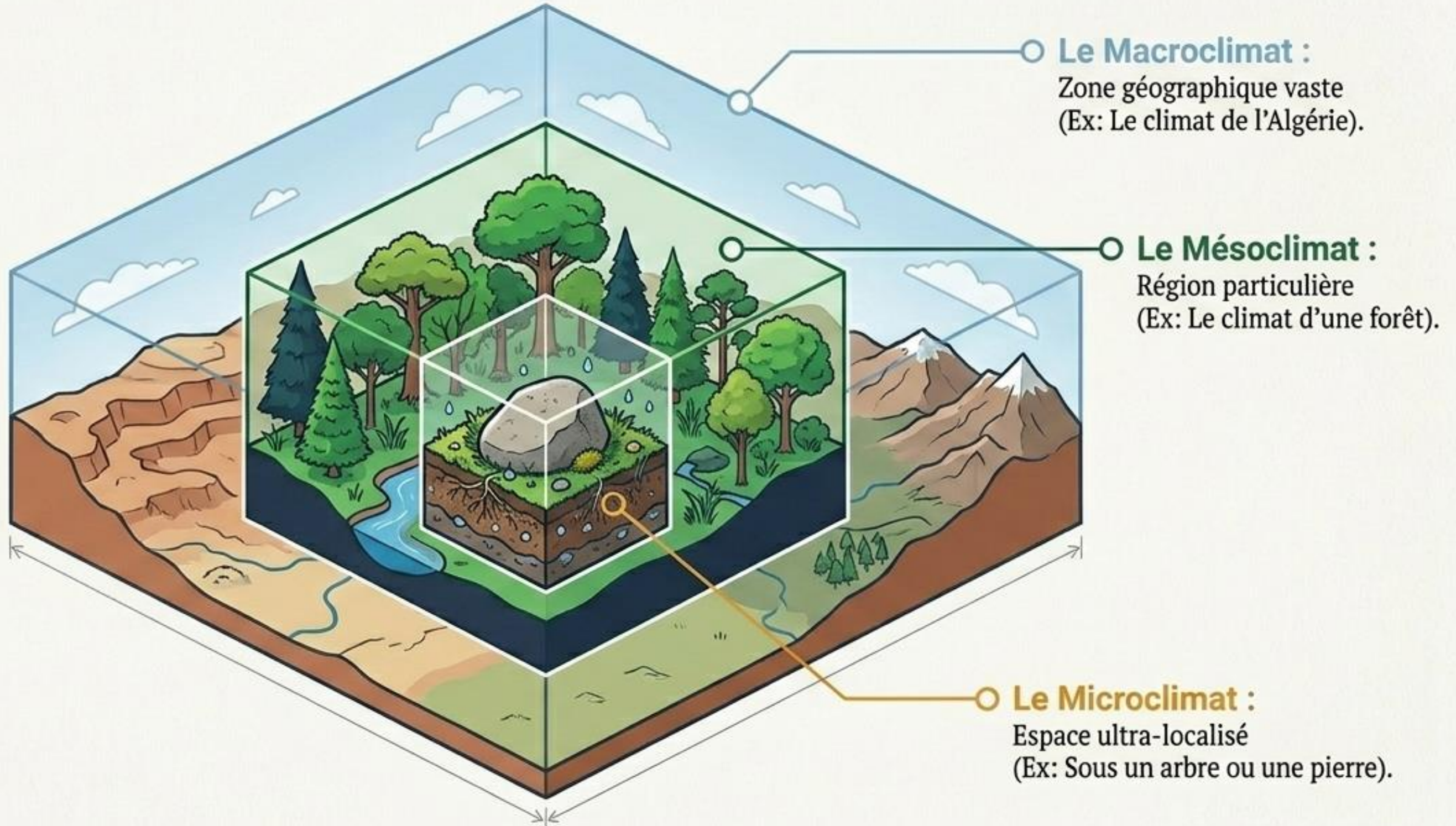
# L'Équation Fondamentale du Vivant

L'écologie repose sur trois dimensions fondamentales qui définissent la possibilité de la vie dans un milieu donné.



# L'Emboîtement Spatial des Climats

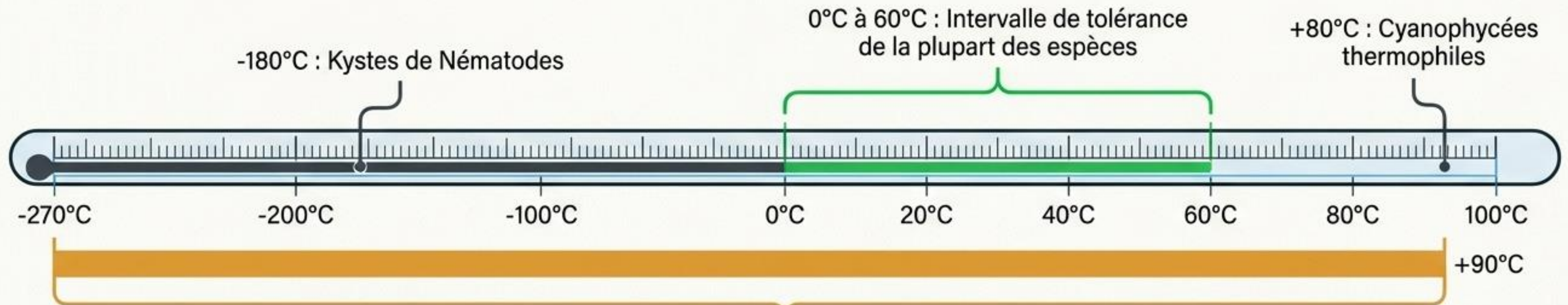
Les facteurs climatiques (température, pluviosité, lumière, vent) s'exercent sur des échelles géographiques imbriquées.



# La Température : Contrainte Physique Universelle

Loi de Q10 : La quantité de chaleur produite par les réactions biochimiques double chaque fois que la température s'élève de 10°C.

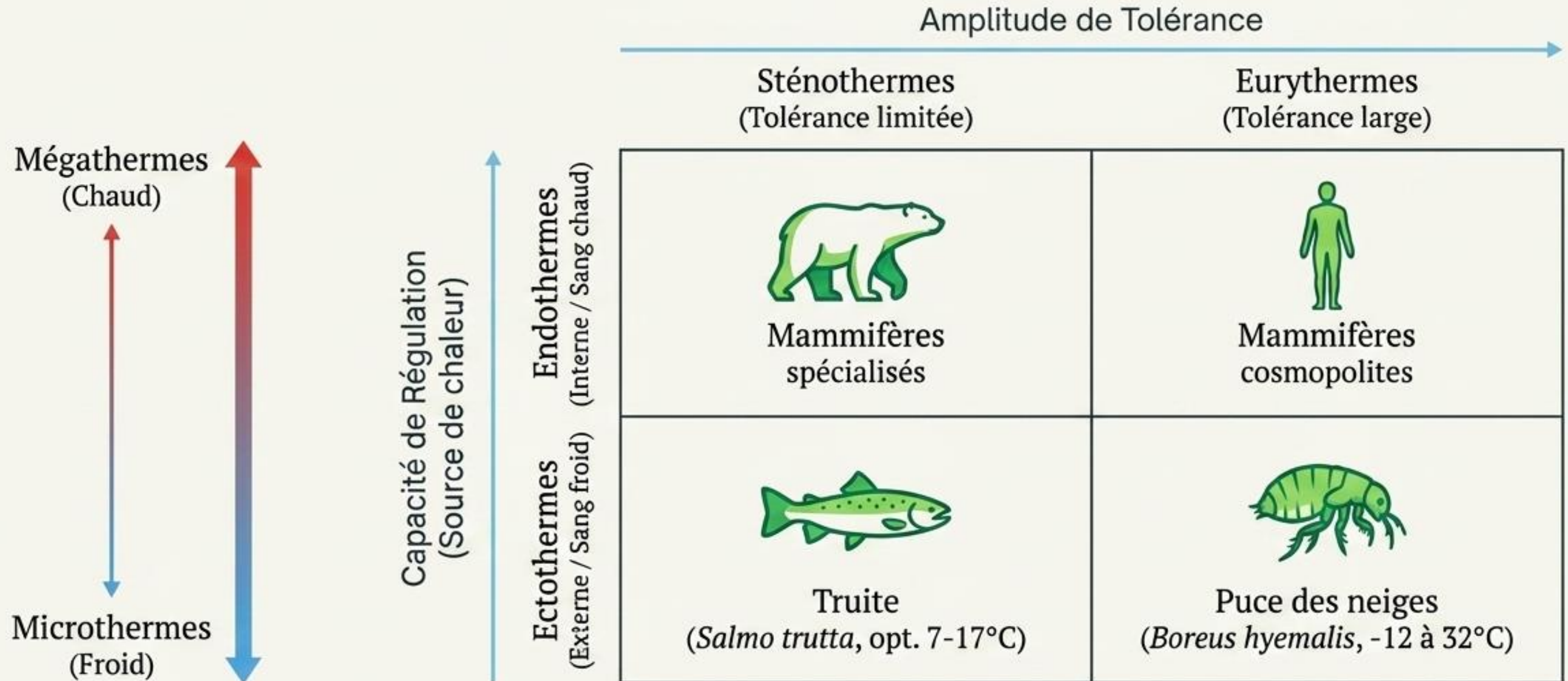
La température contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et la répartition des espèces. L'intervalle théorique de la vie s'étend de -200°C à +100°C.



**Résistance Extrême : L'Anhydrobiose**  
Organisme déshydraté, métabolisme arrêté.  
**Exemple :** La larve du *Brachycere polypedilum* réduit son eau à 97% pour survivre entre -270°C et +90°C.

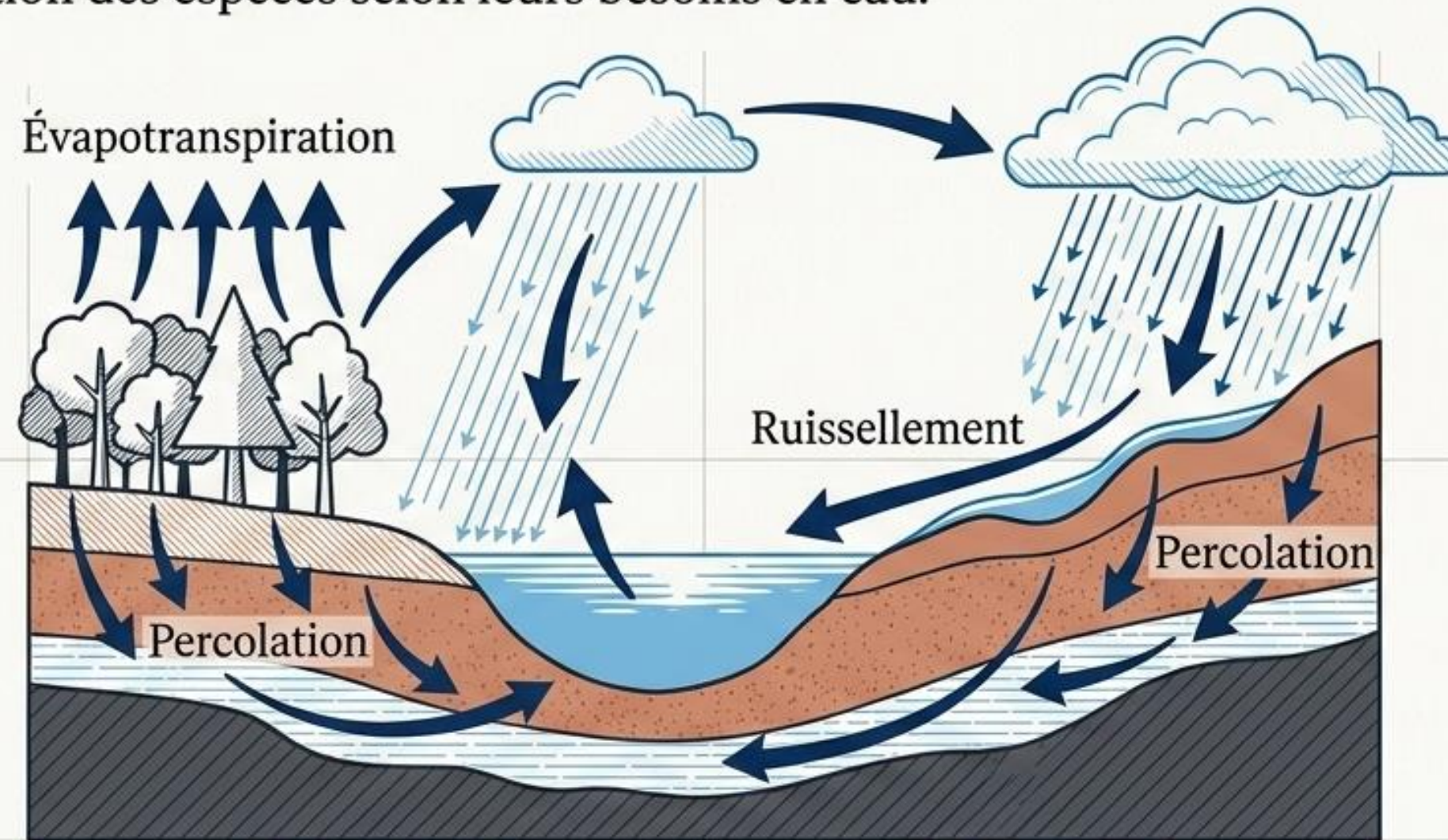
# Stratégies d'Adaptation Thermique

Les organismes adoptent des stratégies physiologiques distinctes pour survivre aux contraintes thermiques.



# L'Architecture Hydrique

L'eau structure l'écosystème terrestre à travers un cycle de flux constants et conditionne la répartition des espèces selon leurs besoins en eau.



Aquatiques



Aquatiques

Hygrophiles



Hygrophiles

Mésophiles



Mésophiles

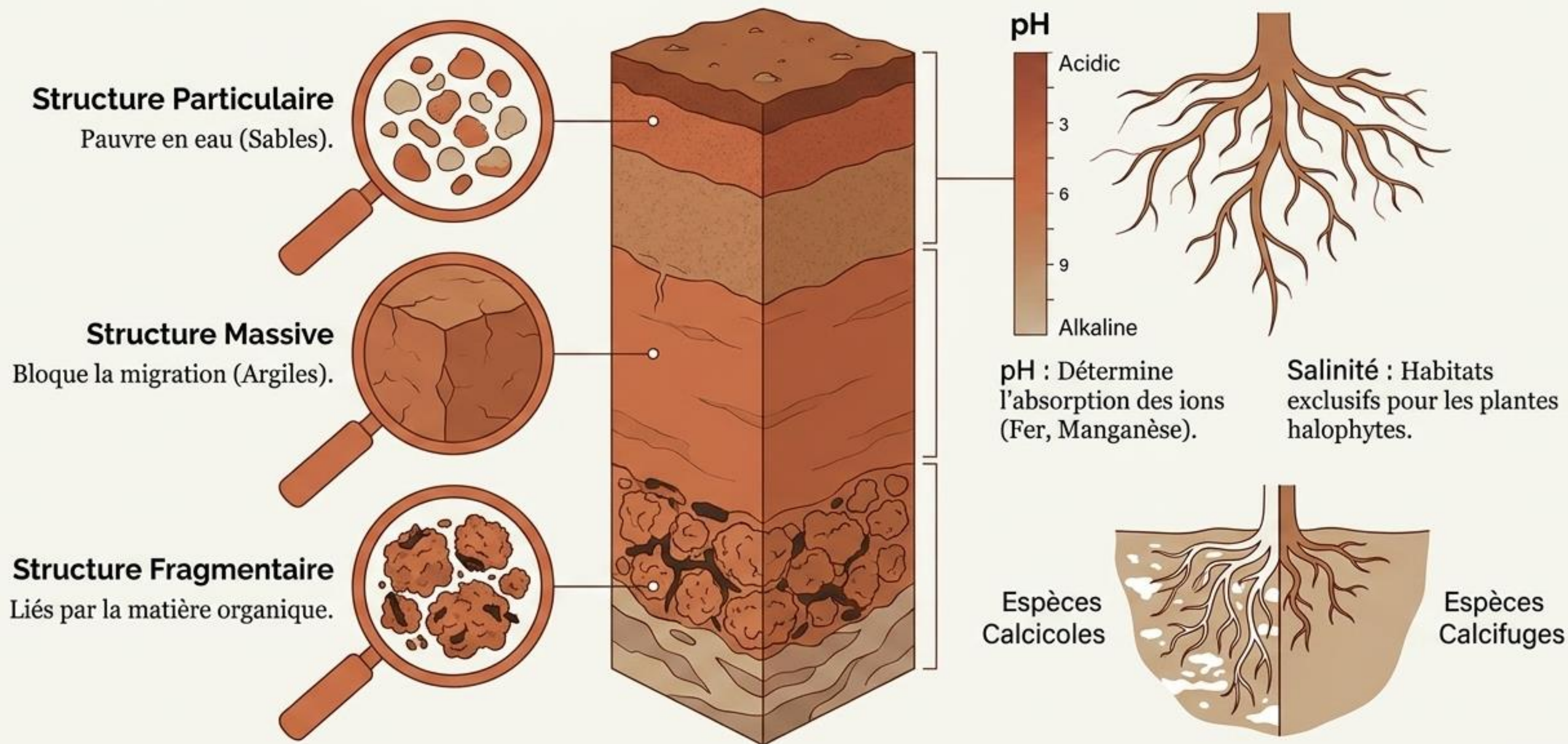
Xérophiles



Xérophiles

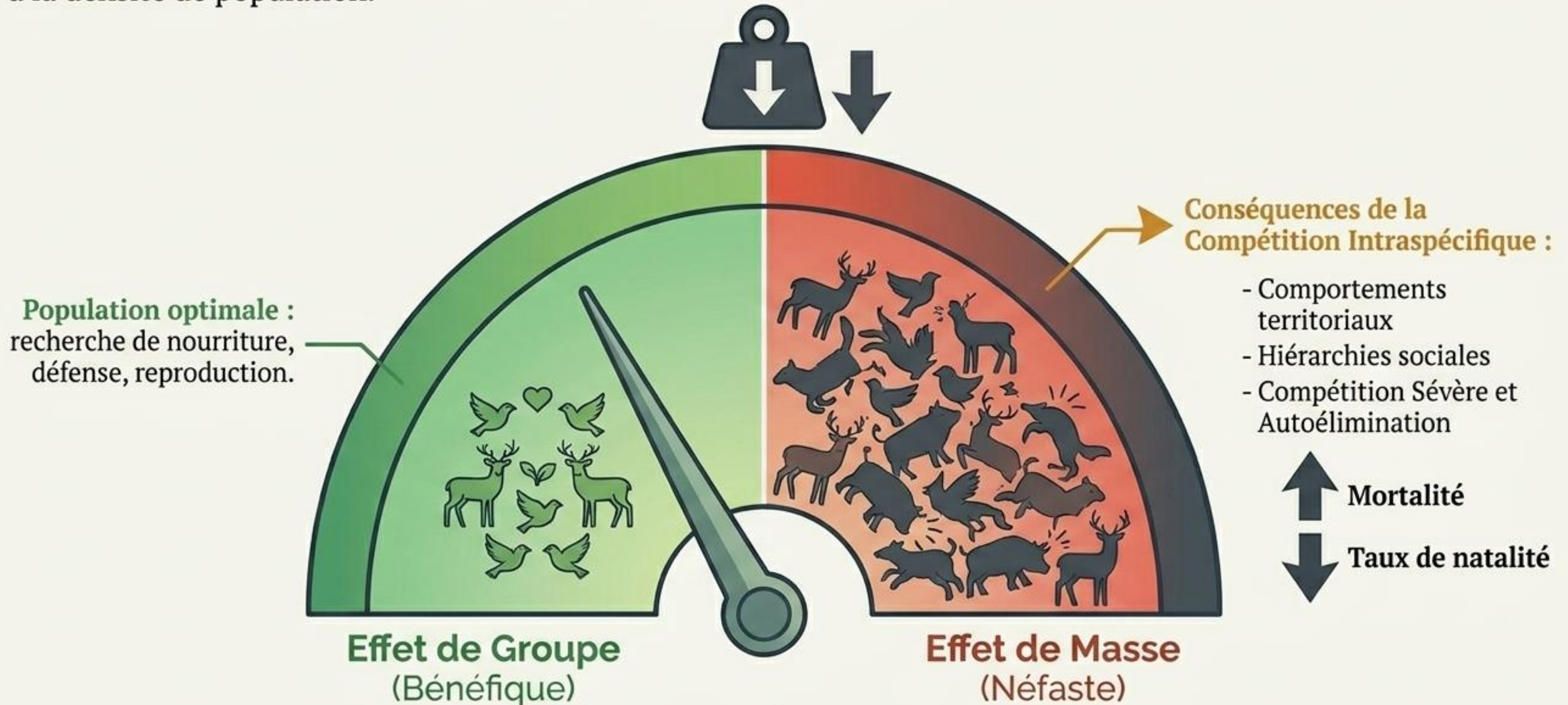
# Les Fondations Édaphiques

Le sol est un milieu vivant complexe résultant de la transformation de la roche mère. Sa structure physique et chimique détermine la vie qu'il peut abriter.



# La Pression du Semblable : Relations Intraspécifiques

Les interactions entre individus d'une même espèce sont fortement liées à la densité de population.



# La Matrice des Interactions Interspécifiques

Les coactions entre deux espèces distinctes se définissent par le bénéfice (+), le coût (-) ou la neutralité (0).

Interaction	Espèce A	Espèce B	Conséquence
<b>Mutualisme / Symbiose</b>	(+)	(+)	Avantage réciproque (obligatoire en symbiose)
<b>Coopération</b>	(+)	(+)	Avantage réciproque non indispensable
<b>Commensalisme</b>	(+)	(0)	A en tire profit, B est indifférent
<b>Prédation</b>	(+)	(-)	A tue B pour s'en nourrir
<b>Parasitisme</b>	(+)	(-)	A se nourrit de B sans le tuer immédiatement
<b>Amensalisme</b>	(0)	(-)	A élimine B par toxicité (Allélopathie)
<b>Compétition</b>	(-)	(-)	Concurrence mutuelle pour une ressource limitée
<b>Neutralisme</b>	(0)	(0)	Indépendance totale

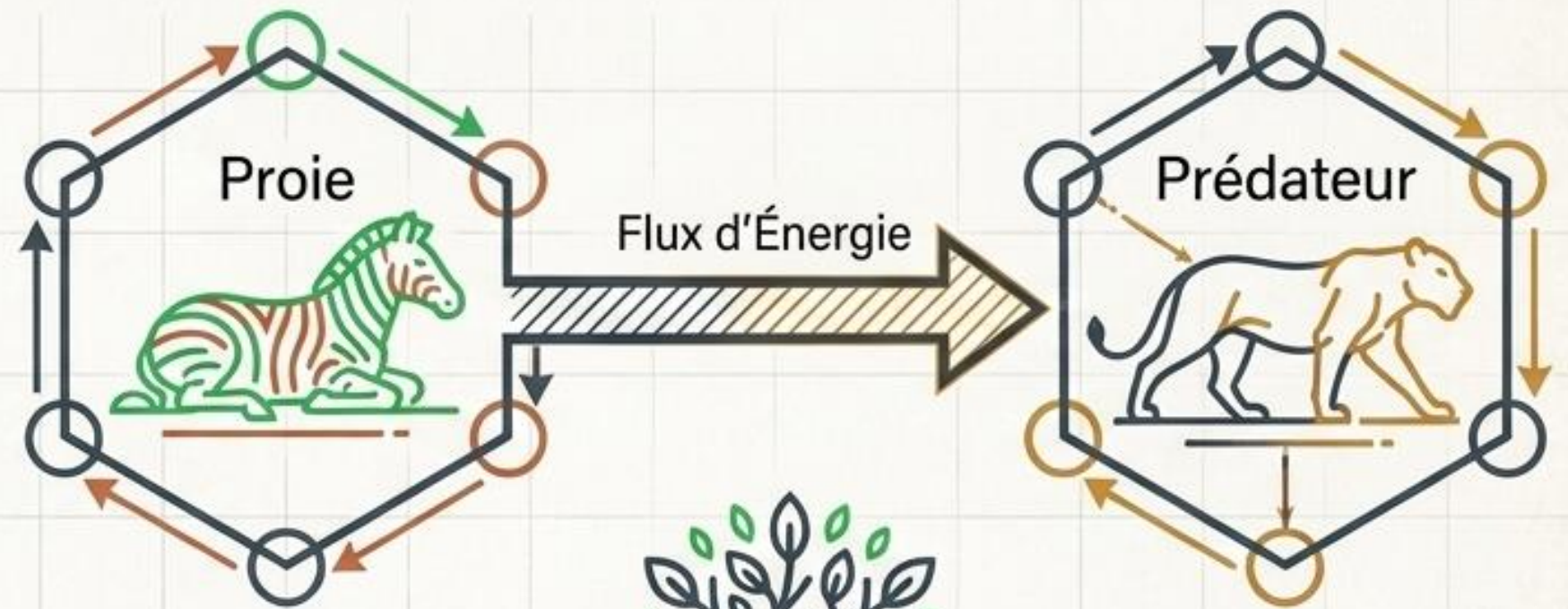
# Antagonisme et Extraction d'Énergie

Les relations asymétriques dictent le flux d'énergie et la survie dans la biocénose.

## Prédation (+/-)

Le prédateur tue la proie.

- Polyphage : Nombreuses espèces
- Oligophage : Quelques espèces
- Monophage : Une seule espèce

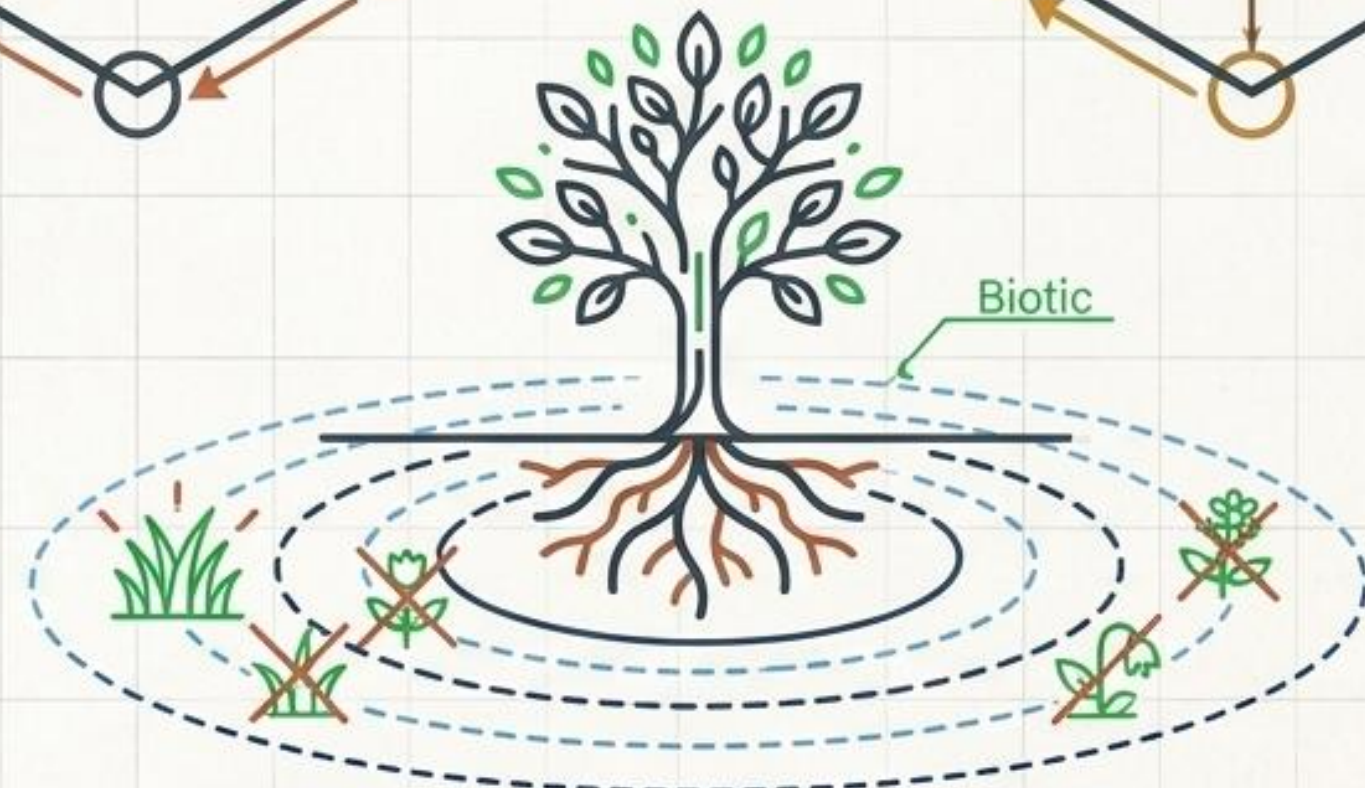


## Parasitisme (+/-)

L'hôte subit un préjudice sans mort immédiate.

## Amensalisme (0/-)

Interaction chimique (Allélopathie).



Amensalisme : Toxicité Racine du Noyer (Allélopathie)

# Synergies et Dépendances Mutuelles

Les relations à bénéfice positif façonnent des alliances évolutives complexes.

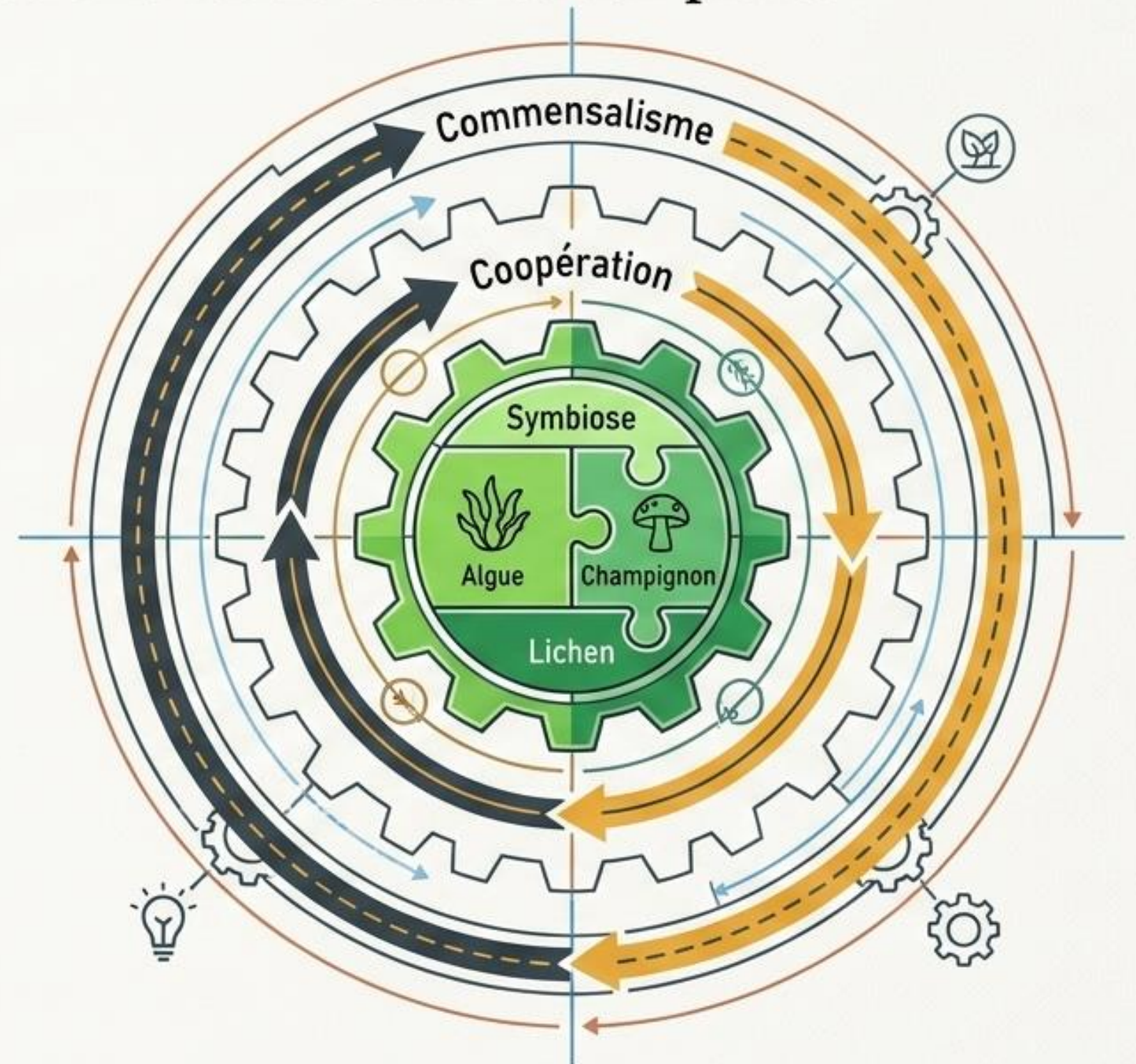
**Commensalisme (+/0)** : Tolérance réciproque.  
Ex: Épiphytes sur les troncs d'arbres.

**Coopération (+/+)** : Avantage réciproque, non indispensable.  
Ex: Arbres en forêt se régénérant ensemble.

**Mutualisme et Symbiose (+/+)** : Association obligatoire. Chaque espèce ne peut survivre qu'en présence de l'autre.

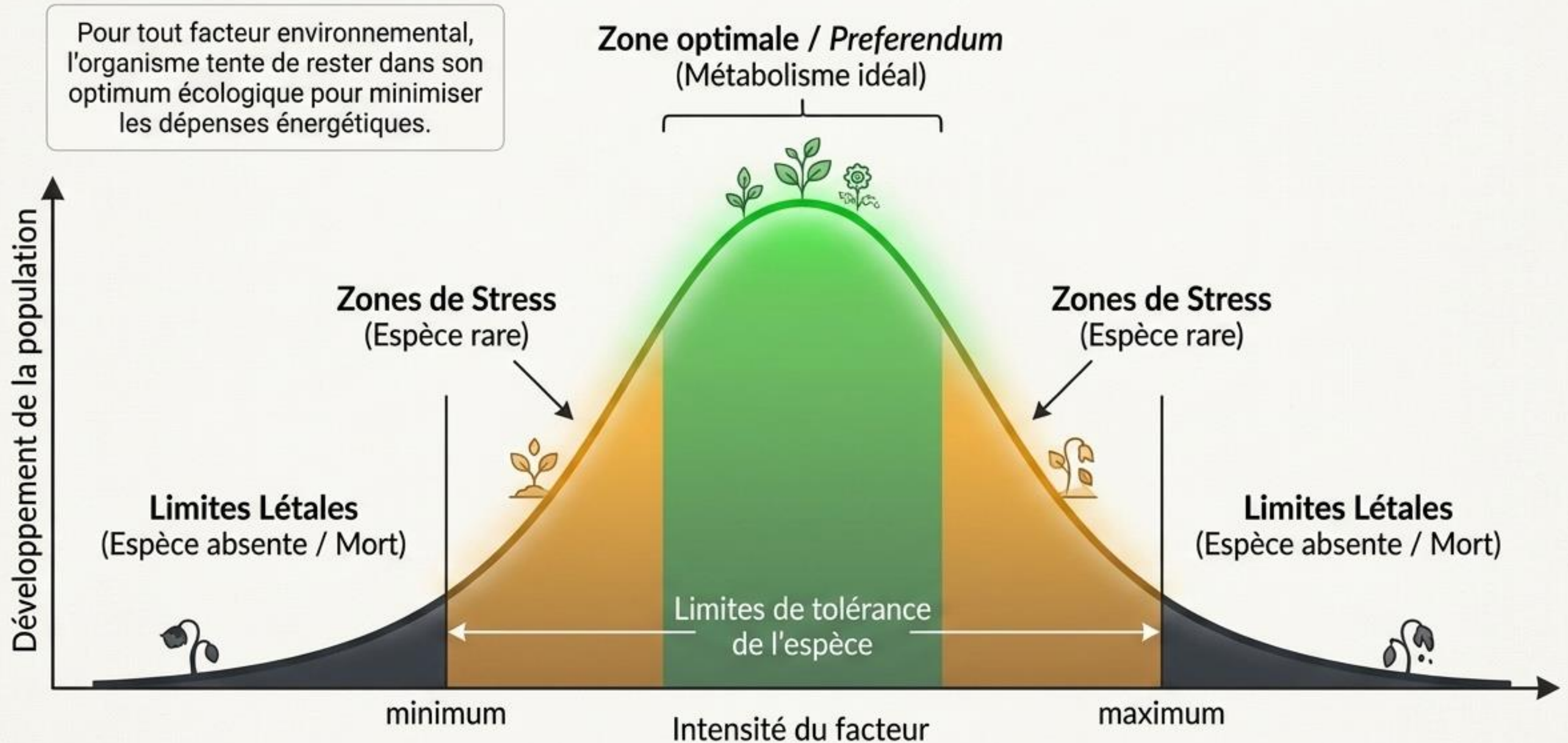
Ex: Les lichens (Algue + Champignon).

Ex: Les Mycorhizes (Champignon + Racines).



# La Synthèse des Contraintes : Loi de Tolérance

Énoncée par Shelford (1911), cette loi définit l'espace vital d'un organisme le long d'un gradient environnemental.



# Amplitude de Distribution : La Valence Écologique

La capacité d'une espèce à peupler des milieux caractérisés par des variations écologiques.



## Espèce Sténoèce

Faible valence. Ne supporte que des variations limitées.  
Distribution très restreinte.



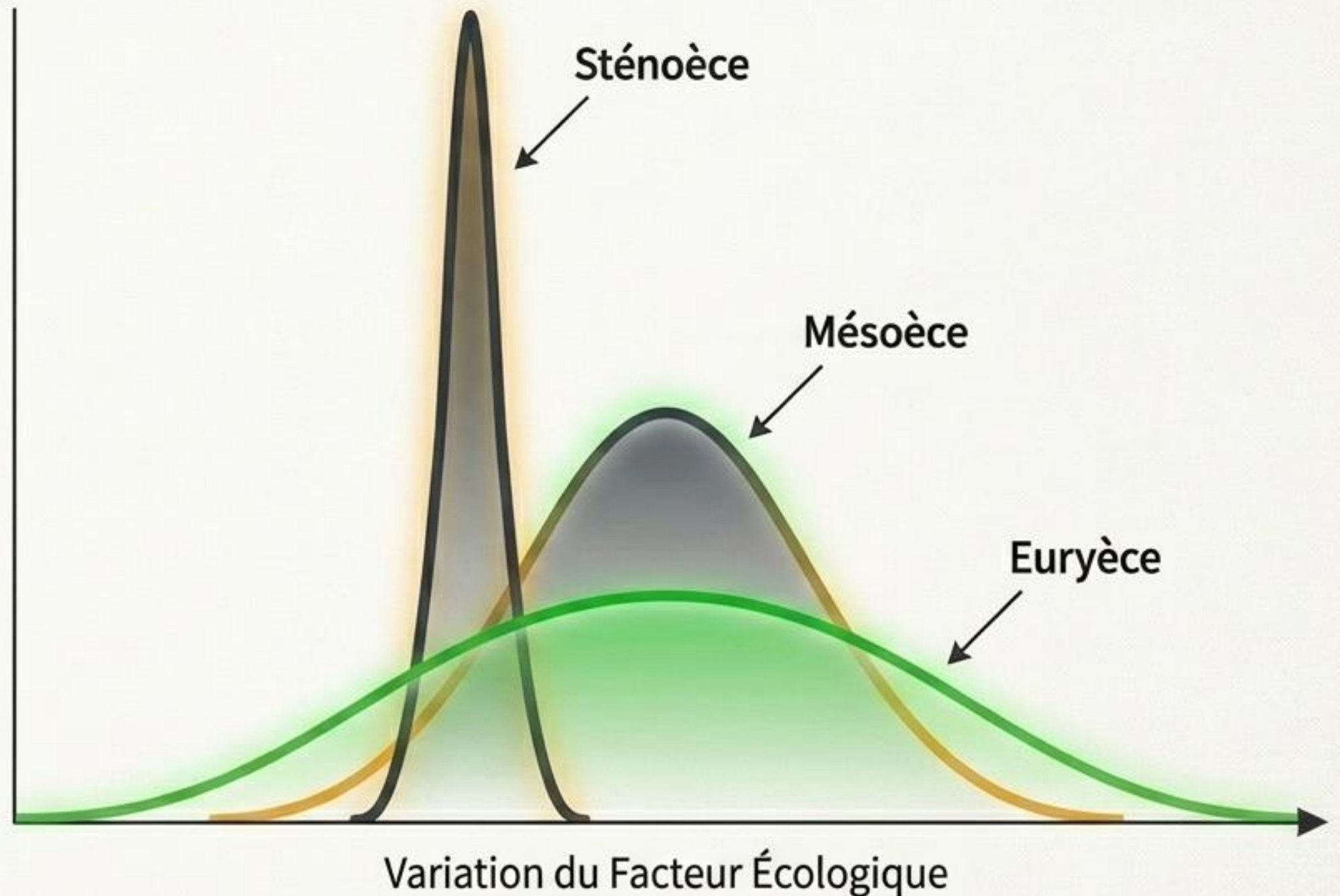
## Espèce Mésoèce

Valence moyenne.



## Espèce Euryèce

Forte valence. Supporte d'importantes variations environnementales.  
Espèces souvent cosmopolites à large distribution.





# L'Équation de la Niche Écologique

L'habitat est l'adresse physique. La niche écologique est la profession et le rôle de l'espèce.



Étude de cas : Le Crapaud commun (*Bufo bufo*) change de niche au cours de son développement.

Stade Jeune | Milieu Aquatique



Habitat



Alimentation



Stade Adulte | Milieu Terrestre



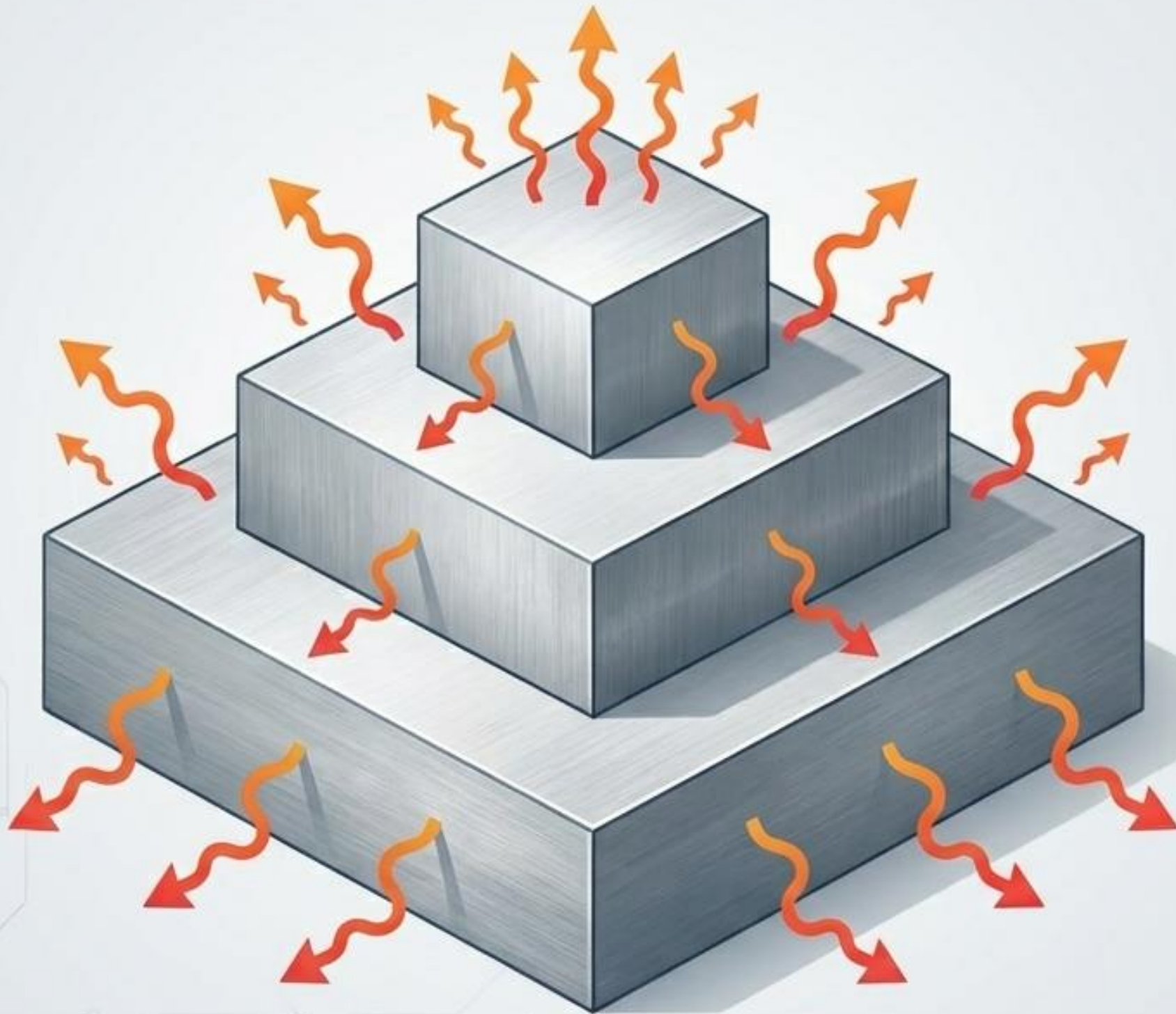
Habitat



Alimentation



# La Loi des 10% : Pyramide Écologique et Entropie



## **The Mechanic :**

À chaque passage d'un niveau trophique à l'autre, le rendement écologique est extrêmement faible.

## **The Loss :**

Environ 90 % de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur due aux processus métaboliques (respiration, digestion, mouvement).

## **The Consequence :**

Cette perte massive d'énergie explique la structure pyramidale de la biomasse : l'énergie disponible s'amenuise drastiquement vers le sommet, limitant le nombre de super-prédateurs.