

Impact des changements climatiques sur les interactions multi-trophiques

Objectifs : réponses à 5 questions :

1. Les espèces remontent-elles vers le nord ?
2. Les espèces souffrent-elles directement de l'augmentation de la température ?
3. Peut-on prédire les effets de l'augmentation de la température ?
4. Impacts pour l'Homme ?
5. Que peut-on faire ?

Introduction

A-Prévisions climatiques

On s'attend à ce que les températures augmentent particulièrement aux hautes latitudes. L'augmentation des températures est donc inégale sur la surface de la Terre (réchauffement moins important au niveau des zones tropicales malgré quelques exceptions).

Il existe des modifications importantes des précipitations, estivales ou hivernales, qui varient positivement (augmentation) ou négativement (diminution) en fonction des zones du globe (exemple : assèchement du bassin méditerranéen → diminution des précipitations) et des perturbations climatiques autant d'un point de vue de la quantité que de la variabilité et de l'intensité :

⇒ augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements de type « catastrophiques » imprévisibles (événements courts/intenses).

B-Présentation du problème

⇒ Les espèces remontent-elles vers le nord ?

Réchauffement climatique et aires de répartition

⇒ Approche par « enveloppe climatique », un modèle qui prédit la répartition d'une espèce dans un espace géographique, en fonction d'une représentation mathématique de sa répartition connue dans une zone délimitée par les données climatiques (telles que la température et les précipitations) ?

⇒ méthode inefficace / pas fiable / trop simpliste car ne prend pas en compte un certain nombre de facteurs (déplacements, adaptations...)

Exemples :

En France, le changement climatique déplace les températures vers le Nord de 10 km/an en moyenne. Tandis que la moyenne de remontée vers le nord des oiseaux est de 4,6 km/an.

⇒ Les oiseaux ne peuvent pas se déplacer en ne suivant que le déplacement de température

→ Pourquoi ?

1-Les réseaux trophiques

Les espèces sont toutes reliées entre elles pour former un réseau trophique plus ou moins complexe :

⇒ Il existe des relations de compétition, parasitisme, symbiose, etc ...

2-Le thermopreferendum

Le thermopreferendum ou preferendum thermique correspond à la gamme de températures favorisée par une espèce donnée où sa performance (reproduction et survie) est la plus importante.

⇒ Il existe des variations de la performance (reproduction) d'une espèce en fonction de la température (présence d'une gamme de survie et d'une gamme de reproduction)

⇒ L'enveloppe climatique ne tient compte que de ce paramètre mais n'inclue pas les relations entre les différentes interactions au sein des réseaux trophiques.

3-Thermopreferendum et interactions

⇒ Théorie de la reine rouge : les pressions de sélection liées aux autres espèces sont importantes. Et il existe un certain équilibre de ces pressions, des changements constants qui sont liés à l'environnement et aux espèces elles-même.

Exemple : résistance aux insecticides due à une forte pression de sélection chez le moustique anophèle (l'utilisation massive d'insecticide a favorisé la prédominance de moustiques résistant à ceux-ci grâce à un fort taux d'enzyme estérase qui a ensuite été transmis à la descendance pour étendre la résistance à l'ensemble de la population)

Exemple pour la température : variation de l'optimum thermique pour chaque composante du système tri-trophique. Dans cet exemple, les conditions thermiques actuelles, résultant d'un long processus de coévolution sont plus optimales pour la plante et l'ennemi naturel que pour le phytophage, mais une augmentation moyenne de la température peut inverser la donne.

Étude des changements climatiques au niveau de :

- chaque niveau trophique : action directe de la température sur les individus

I-Divergence dans les préférences thermiques des différents éléments du système tri-trophique

A-Durée de développement et taux de croissance

Chez les poïkilothermes, l'augmentation de température va diminuer la durée de développement. Cela augmente alors le taux de croissance.

⇒ Il existe donc des variations du taux de reproduction et du taux de consommation de l'espèce par un prédateur en fonction de la température.

Exemple : interaction proie-prédateur entre le puceron et la coccinelle, son ennemi naturelle

+ Taux de reproduction puceron > Taux de consommation des pucerons par la coccinelle

11°C-----

- Taux de reproduction puceron < Taux de consommation des pucerons par la coccinelle

Autre exemple : les ennemis naturels de la tordeuse des bourgeons de l'épinette *Choristoneura fumiferana* sont moins efficaces quand la température augmente

Prédictions globales / Schéma général :

Le temps de génération des ravageurs (phytophages) diminuera plus que celui de leurs ennemis naturels (en général mais pas toujours vrai).

⇒ 2 Conséquences :

- Augmentation des pullulations de ravageurs
- Adaptation plus rapide des ravageurs (car temps de génération court)

⇒ Les ravageurs vont être doublement favorisés.

B-Longévité et fécondité

Histoire de vie : ensemble de stratégies incluant des adaptations comportementales, physiologiques et anatomiques liées à la survie et au succès reproducteur (Ricklefs & Wikelski, 2002).

Traits d'histoire de vie :

- Fécondité
- Longévité
- Âge de première reproduction

⇒ chaque trait de vie peut être affecté par la température

⇒ Au sein d'une population les traits sont liés ensemble par des compromis évolutifs

Compromis évolutif (ou trade-off) : Répartition de l'énergie entre les différents traits/stratégies évolutives en faisant des compromis pour une efficacité optimale (Roff, 1992 ; Stearns, 1992).

Exemples de compromis évolutif : compromis Longévité / Fécondité

- chez *Asobara tabida* :
 - ⇒ Augmentation de la température → Augmentation du taux du métabolisme → Développement plus rapide → Baisse de la longévité → Investissement dans la reproduction précoce

- chez Leptopilina :
 ⇒ Augmentation de la température → Augmentation de métabolisme → Activité plus importante → Taux de parasitisme instantané plus important → Mais : longévité réduite → Taux de parasitisme total réduit

C-Diapause

Diapause : arrêt total de développement induit par des conditions précises

Exemple : *Trichogramma cordubensis* : diapause induite en laboratoire par une température de 10,4°C appliquée pendant 30 jours consécutifs

Dans les systèmes hôtes-parasitoïdes, le parasitoïde passe souvent l'hiver en diapause dans son hôte lui même diapausant.

Exemple : En Bretagne, le puceron des céréales passe l'hiver à l'état adulte actif ou sous forme d'œufs diapausants. Ses parasitoïdes aussi.

Depuis 1980, disparition de la reproduction sexuée chez les pucerons.

Depuis 2010, disparition de la diapause chez plusieurs espèces de parasitoïdes ennemis naturels du puceron.

⇒ Le « simple » arrêt de diapause d'une espèce de parasitoïde pendant l'hiver à cause de la modification des températures, provoque d'importantes modification du réseau trophique (disparition d'espèces, prolifération des plus compétitives)

Illustration : Présence d'*Aphidius avenae* en Hiver : liée aux changements climatiques ?

⇒ Oui car *Aphidius avenae* est l'espèce la plus sensible au froid.

D-Endosymbiontes et système immunitaire

Exemple chez le puceron : Présence de nombreuses Bactéries *Buchnera* permettant de dégrader la cellulose.

⇒ élimination de la bactérie (courte exposition à 30°C) = mort rapide du puceron

Chez les insectes, la défense immunitaire principale contre les parasitoïdes est la réaction cellulaire d'encapsulation (recouvrement par une couche de mélanine).

⇒ Le taux d'encapsulation dépend de la température ⇒ il est supérieur l'été, quand la température est élevée, il y a donc une variation saisonnière de l'efficacité du parasitoïde (ex : *Metaphycus* sur cochenille)

E-Comportement

Les animaux utilisent différentes odeurs pour trouver leurs hôtes, ou leurs proies :

- Phéromones : Substances chimiques comparables aux hormones, émise par certains animaux et végétaux.
 ⇒ Phéromones sexuelles chez certains animaux par exemple

- **Kairomones** : Substances sémiochimiques volatiles ou mobiles, produites dans l'air, l'eau ou le sol par un être vivant (émetteur, qui peut être une plante, un animal (aquatique y compris), un champignon ou une colonie bactérienne), libérées dans l'environnement, qui déclenchent une réponse comportementale chez une autre espèce (via récepteurs olfactifs, gustatifs ...).
⇒ Exemple : Terpène, glucoside, composés phénoliques... / La salive d'une chenille déclenche une réponse de la plante quand son phloème entre en contact avec cette salive
- **Synomones** : Substances sémiochimiques produites par un être vivant, libérées dans l'environnement, qui déclenchent une réponse comportementale chez une autre espèce et dont l'effet est positif pour l'émetteur et le receveur.
⇒ Exemples : Processus de pollinisation, Attirance de parasitoïde pour se défendre contre un agresseur.

Les émissions d'odeurs par les plantes ou les animaux, ainsi que la perception des odeurs par les animaux dépend de la température.

→ Exemples :

- *Trichogramma chilonis*, meilleure perception : 25-35°C
- Maïs, meilleure émission : 22-27°C
- *Cotesia plutellae*, perception : 30-35°C

Deux comportements de défense des pucerons :

- Chute
- Sécrétions corniculaires : permettent de coller/immobiliser le parasitoïde
→ Si la température augmente, il y a moins de chutes car trop de risque de déshydratation.
→ Si on élève le puceron du pois plusieurs générations à haute température, il se défend moins et devient plus sensible au parasitoïde.

II-Rupture de la synchronisation entre les niveaux trophiques

A-Synchronisation phénologique

Pour la plupart des poïkilothermes, il y a présence de périodes plus favorables et de périodes moins favorables au cours de l'année. Ainsi, par exemple, le phytophage ne pourra se développer que lorsque la plante va commencer son développement...

Exemples :

- Les pédoncules floraux de la plante-hôte sont produits 2 à 3 semaines plus tôt qu'il y a 50 ans, et le papillon suit exactement cette avance, mais c'est l'exception.

⇒ En général, les plantes peuvent sortir plus tôt que les poïkilothermes ou inversement. Les espèces qui se modifient à la même vitesse que les plantes sont assez rares. (cf TD1-Phalène brumeuse)

- Le parasitoïde du puceron de céréales. Si les parasitoïdes se reproduisent au printemps en même temps que les pucerons, ils les contrôlent. S'ils arrivent 2 semaines plus tard, les pucerons seront très abondants.

⇒ Godfray (1994) modélise que les populations de parasitoïdes peuvent supporter d'être en avance une fois tous les 25 ans. Si c'est plus souvent, la population de parasitoïdes a de fortes chances de disparaître.

B-Modifications des aires de répartition

Au cours du 20^e siècle, la répartition géographique des espèces a évolué en conséquence avec le réchauffement climatique dans 75% (zone tropicale) et 81 % (zone tempérée/boréale) des cas (Parmesan, 2006).

⇒ On peut avoir une extension de l'aire de répartition mais également une rétraction ou un déplacement de celle-ci.

Exemples :

- Sphinx de l'épilobe : extension ⇒ espèce qui préfère les habitats chauds
- Processionnaire du pin : extension de l'aire de répartition ⇒ n'est plus contrôlée car plus de prédateurs
- Cornouiller (*Cornus svecica*) ⇒ espèce boréale, en voie de disparition au sud

Le phytophage ne peut s'étendre que si la plante s'est étendue, et le parasitoïde est contraint par le phytophage, il y a donc plus de risques en haut de la chaîne trophique :
→ Exemple : Tircis déplace son aire de répartition vers le Nord depuis 1940, car le sud n'est plus assez favorable.

Autre solution pour échapper au changement climatique : la sélection naturelle de génotypes rares et la résistance peut devenir un processus plus important que la migration.

⇒ Voir TD1 pour explication sur les adaptations

III-Impacts au niveau de la guildes ou de la communauté

A-Modification des patterns de saisonnalité

Exemples :

- La Fourmi d'Argentine est attaquée successivement au cours de la saison par plusieurs espèces de parasitoïdes du genre *Pseudacteon*, certaines actives en dessous de 14°C, d'autres entre 14 et 23°C et d'autres au dessus de 23°C.

- *Drosophila simulans* est un hôte adéquat pour le parasitoïde *Leptopilina* uniquement en dessous de 26°C (car au dessus encapsulation), alors que *Drosophila melanogaster* est adéquate quelle que soit la température.
⇒ risque de disparition de l'espèce la plus facilement parasitable (*Drosophila melanogaster*) du fait de l'augmentation de la température, l'autre espèce devient immunisée au parasitoïde qui doit alors se spécialiser vis à vis de l'espèce adéquate à toute température, entraînant ainsi sa disparition progressive et la prolifération de l'autre.

B-Impact sur les relations de type compétition

Exemples :

- *Drosophila melanogaster* peut se développer de 10 à 25°C, mais en compétition avec d'autres espèces de drosophiles, elle disparaît à 10°C.
Si on introduit des parasitoïdes dans le système, elle se maintient à 10°C, probablement car les parasitoïdes attaquent préférentiellement les autres espèces.
- *Necrobia rufipes* + *Dermestes maculatus*
→ à 20°C, *D. maculatus* élimine son compétiteur
→ à 32°C, les deux espèces coexistent

Conclusion

Parmesan (2006) montre que 59 % de 1598 espèces étudiées (représentatives de différents écosystèmes de zones tempérées et tropicales et appartenant à de nombreux taxons animaux et végétaux) présentent déjà des modifications dans leur phénologie et/ou leur aire de distribution suite aux changements climatiques.

Les phytophages seront moins affectés par le climat car ils s'y adapteront plus rapidement que leurs ennemis naturels.

Les changements climatiques sont en train de devenir une des causes majeures de la perte de la biodiversité.

⇒ Certaines espèces se déplacent, d'autres non. Les changements de température peuvent avoir des effets positifs ou négatifs en fonction des espèces :

- Changement d'aire de répartition
- Changement de phénologie
- Modifications des relations au sein du réseau trophique (compétition ...)