

Implications de l'évolution des phénologies pour l'émergence et le maintien de la diversité

Thomas Cortier et Nicolas Lœuille



Institut d'écologie et des sciences et de l'environnement de Paris



C'est l'étude de l'apparition et de la durée d'évènements du cycle de vie annuel d'organismes vivants

Parus major Leclercq 1977



Quelques exemples de phénologies



L'occupation saisonnière d'un lieu

Le temps de la phase de reproduction

Feuillaison, floraison, fructification







Points communs :

- Utilisation d'une ressource (spatiale, nutritive...)
- Variation des interactions entre espèces

La variation des phénologies comme réponse au changement global



→ Implication pour la communauté



Déterminisme abiotique des phénologies

Photopériode (Hand et al. 2016)
Température (Fantinou et al. 2004)

Food (Ridsdill-Smith et al. 2005)





Déterminisme biotique des phénologies

Co-occurrence temporelle \rightarrow interactions possibles

- 🖲 Mutualisme
- 🖲 Compétition
- Relations trophiques





Comment expliquer la diversité des phénologies

Variation des conditions environnementales au cours de l'année

L'espace de niche écologique varie au cours de l'année et les espèces sont adaptées à un moment précis.

Le partitionnement de la niche temporelle

U

K3

R

Dans un contexte d'allocation énergétique limitée, les espèces se partitionnent une niche écologique (McArthur et Levins 1967)

Les espèces de Shorea sont en competition pour les pollinisateurs



Appanah, S. (1985)





Mututalisme \rightarrow Partitionnement

Durée de la phénologie, évolution et compromis : exemple de la floraison



VISITATION RATE (v/flw/hr)

Floraison brève/grande quantité de nectar \rightarrow visite fréquente

Floraison longue/ production lente et journalière → visite rare

→ Compromis durée et efficacité de l'exploitation des ressources



- Montée des températures
- Redistribution des précipitations
- Modification de la distribution des nutriments

Changement plastique ou évolutif?

Hétérogénéité des indices \rightarrow hétérogénéité des réponses ?



La dépendance de la phénologie à l'environnement (bio et abio) est héritable









Avance de la période de floraison (Brassica rapa) héritable après stress de sécheresse en été (Franks 2007)

Évolution de la plasticité de la date de ponte en réponse à la stochasticité du débourrement (Nussey 2005)

Le sauvetage évolutif à - travers l'évolution de la phénologie



Gomulkiewicz 1995



 Le sauvetage évolutif de l'une altère celui de l'autre par compétition (Johansson 2008)



Recouvrement des – phénologies et compétition chez les amphibiens

- → Le recouvrement de la phénologie augmente pour 75% des paires d'espèces
- → Augmentation de la compétition
- → Altération du sauvetage évolutif



Comment la compétition pour les ressources affecte la diversité dans le contexte du changement global ?





Le modèle de niche et ses limites

Dispersion et colonisation

- Suivi de la niche climatique
- Déplacement vers le nord (Parmesan 2003)
- Difficultés d'estimation de la niche
- La vitesse de migration des espèces
- Nouvelles interactions interspécifiques
- Pas de prise en compte de la microévolution



Comment la micro-évolution se combine avec la dispersion et le suivi de la niche climatique?





Croissance logistique de la population :

$$\frac{dn_i}{dt} = n_i \left(\frac{R(\mu_i, \sigma_i)}{r} - \sum_{j=0}^k n_j C(\mu_i, \mu_j, \sigma_i, \sigma_j) - m \right)$$

Taux de croissance par aquisition de ressources :

$$R(\mu,\sigma) = \int min(P(x),g(x))dx$$









Compétition similarité dépendante

 Aire de recouvrement des deux phénologies (MacArthur & Levins 1964)



- 1. Intégration du système d'équations différentielles (BDF_solve)
- 2. Suppression des morphes aux densités sous le seuil d'introduction des mutants
- 3. Tirage d'un nombre de mutants par morphes
- Introductions de mutants avec des traits tirés dans une loi gaussienne autour de la valeur du trait d'origine





- Conditions de diversification à travers la date μ
- $igodoldsymbol{eta}$ Adaptation à l'abondance de ressources à travers l'étalement σ
- Coévolution de la date et de l'étalement en environnement fixé
- Comparaisons des patterns des modèles aux phénologies observées
- L'évolution dans le contexte du changement global
- Les lignées fondatrices de l'évolution post-changement
- L'interaction entre micro-évolution et dispersion

Conditions de diversification des phénologies

Fitness invasive :
$$s(\mu, \mu', \sigma, \sigma) = R(\mu', \sigma) - m - \frac{(R(\mu, \sigma) - m) * C(\mu, \mu', \sigma, \sigma)}{C(\mu, \mu, \sigma, \sigma)}$$

 $\sigma = 100$

300 -Mutant trait μ' 200 -100 -0 200 300 100 200 300 100 0 0 b) resident trait μ resident trait μ Branchement évolutif CSS

 $\sigma = 30$



→ Diversification possible si un partitionnement de la niche est possible





- \bigcirc Conditions de diversification à travers la date μ
- Adaptation à l'abondance de ressources à travers l'étalement σ
- Coévolution de la date et de l'étalement en environnement fixé
- Comparaisons des patterns des modèles aux phénologies observées
- L'évolution dans le contexte du changement global
- Les lignées fondatrices de l'évolution post-changement
- L'interaction entre micro-évolution et dispersion



0

Fitness invasive :

$$s(\mu,\sigma,\sigma') = R(\mu,\sigma') - m - \frac{(R(\mu,\sigma) - m) * C(\mu,\mu,\sigma,\sigma')}{C(\mu,\mu,\sigma,\sigma)}$$
$$= R(\mu,\sigma') - R(\mu,\sigma)$$

- \rightarrow Le taux de croissance est maximal quand les pertes liées à la sur-spécialisation sont minimales
- \rightarrow Pas de diversification possible

Singularité pour l'étalement :

$$\sigma^*(\mu) = \frac{G}{2\pi P(\mu)}$$
 Qualité de l'environnement



- \bigcirc Conditions de diversification à travers la date μ
- ullet Adaptation à l'abondance de ressources à travers l'étalement σ
- Coévolution de la date et de l'étalement en environnement fixé
- Comparaisons des patterns des modèles aux phénologies observées
- L'évolution dans le contexte du changement global
- Les lignées fondatrices de l'évolution post-changement
- L'interaction entre micro-évolution et dispersion

La coévolution de la date et de l'étalement



• Phénologies plus étalées en bordure de niche

 La richesse des stratégies dépend de la richesse de l'environnement







- \bigcirc Conditions de diversification à travers la date μ
- $igodoldsymbol{eta}$ Adaptation à l'abondance de ressources à travers l'étalement σ
- Coévolution de la date et de l'étalement en environnement fixé
- Comparaisons des patterns des modèles aux phénologies observées
- L'évolution dans le contexte du changement global
- Les lignées fondatrices de l'évolution post-changement
- L'interaction entre micro-évolution et dispersion



- → Étalement dépendant de la fenêtre environnementale ?
- → Étalement dépendant de la compétition ?



- → Étalement dépendant de la fenêtre environnementale ?
- → Étalement dépendant de la compétition ?



- \bigcirc Conditions de diversification à travers la date μ
- $igodoldsymbol{eta}$ Adaptation à l'abondance de ressources à travers l'étalement σ
- Coévolution de la date et de l'étalement en environnement fixé
- Comparaisons des patterns des modèles aux phénologies observées
- L'évolution dans le contexte du changement global
- Les lignées fondatrices de l'évolution post-changement
- L'interaction entre micro-évolution et dispersion

Perturbation environnementale et évolution



33



Contribution de la date et de l'étalement au sauvetage de la biodiversité



 \rightarrow L'évolution de σ augmente la compétition entre les morphes.

→ Effet interactif de l'évolution de μ et de σ en environnement riche et effet majoritaire de μ



- \bigcirc Conditions de diversification à travers la date μ
- $igodoldsymbol{eta}$ Adaptation à l'abondance de ressources à travers l'étalement σ
- Coévolution de la date et de l'étalement en environnement fixé
- Comparaisons des patterns des modèles aux phénologies observées
- L'évolution dans le contexte du changement global
- Les lignées fondatrices de l'évolution post-changement
- L'interaction entre micro-évolution et dispersion

Quels sont les morphes fondateurs ?





Plus le système est diversifié initialement, plus la part de morphes fondateurs est faible



- Conditions de diversification à travers la date μ
- $igodoldsymbol{eta}$ Adaptation à l'abondance de ressources à travers l'étalement σ
- Coévolution de la date et de l'étalement en environnement fixé
- Comparaisons des patterns des modèles aux phénologies observées
- L'évolution dans le contexte du changement global
- Les lignées fondatrices de l'évolution post-changement
- L'interaction entre micro-évolution et dispersion

La coévolution des phénologies dans un espace hétérogène

patch 3





- → Les morphes pré-adaptés gagnent la compétition contre les mutants pour des fortes dispersions
- → Pour les faibles latitudes, le maintien dépend de l'adaptation des morphes existants







Emergence de la diversité de stratégies

- L'étalement de la phénologie reflète l'adaptation à l'abondance d'une ressource
- La partitionnement de niche permet de limiter la compétition dans le contexte d'un investissement énergétique limité
- Modéliser explicitement les processus physiologiques (croissance des fleurs, temps minimal de reproduction...) nuancerait la prédiction de partitionnement (Johansson & Bolmgreen, 2019)



- Deux mécanismes adaptatifs : la date pour suivre les évolutions, l'étalement pour couvrir plus de conditions
- Le changement des dates de foliation, floraison, frutaison est déjà largement rapporté (Sherry et al., 2007)
- L'étalement augmente la compétition ce qui peut réduire la diversité d'une communauté (Johansson, 2007)

Suivre sa niche climatique plutôt que s'adapter ?

- Pour une bonne connectivité, la dispersion joue un rôle dominant dans le sauvetage de la biodiversité
- L'évolution est prépondérante dans les zones sources (Norberg et al., 2012), seul certains extrémophiles pourraient survivre (Sinervo et al., 2010).
- Les habitats fragmentés (îles, montagnes...) ne peuvent compter que sur l'évolution adaptative pour faire face au changements

Merci pour votre attention !