

Interactions écologiques et distribution des espèces

Des modèles théoriques à développer

Dans son appel pour un renouvellement de la théorie de la biogéographie des îles, Mark Lomolino soulignait le besoin d'intégrer davantage de processus écologiques et évolutifs autour des trois processus fondamentaux de la biogéographie : colonisation, extinction et évolution [?]. Au chapitre ??, je me suis confronté frontalement à ce problème en proposant une démarche pour incorporer les interactions et les contraintes abiotique dans la TIB. J'ai proposé d'utiliser une approche générale reliant ces facteur aux probabilité d'extinction et de colonisation. Il me semble que cette approche est simple et prometteuse, elle est finalement une extension de la TIB qui devient un cas particulier pour lesquelles les interactions et les contraintes abiotiques n'ont pas d'influence.

Le modèle proposé au chapitre ?? suggère aussi le potentiel de réfléchir en terme de probabilité d'assemblage [?]. A la lecture de du livre de 1972 de Robert MacArthur, j'ai ressenti que l'idée était présente mais pas formuler de manière explicite [?]. Bien que je pense que ce type d'approche soit important, il y a une limite en terme de nombre de communautés à envisager (pour n espèces, ce sont 2^n espèces) qui restreint l'application de telle approche. Cela limite l'application directe du modèle à des données. Cela étant dit, il est possible que des moyens émergent pour réduire la complexité.

En me confrontant à l'incorporation des interactions écologiques dans la TIB (chapitre ??), je me suis aperçu à quel point il est hardu de construire des modèles simples, élégant et qui expliquent à un grand nombre de faits. En conséquences, je ne suis pas étonné que la TIB soit toujours utilisée pour un grand nombre d'étude comme point de départ malgré ces défaut reconnu dans la ré-édition de 2001 de *The Theory of Island Biogeography* par Edward O. Wilson lui même :

“The flaws of the book lie in its oversimplification and incompleteness, which are endemic to most efforts at theory and synthesis.”

La nature même de l'objet *interactions* n'est pas quelque chose de simple, à l'échelle de la communauté, les interactions ne peuvent pas être traitées isolément, elles forment des réseaux. Il y a un champ de la mathématique entier dédié à l'étude de tels objets : la théorie des graphes. L'écologie n'est pas la seule à utiliser ces objets, d'autres disciplines, comme les neurosciences, pointent également la difficulté des systèmes caractérisé par l'interdépendence de ses unités. La théorie des réseaux à amener des mathématiciens et des physiciens à nourrir à l'écologie de leurs outils auxquels les écologues se familiarisent, doublant la complexités des systèmes d'une complexité technique.

En parallèle des questionnements pointus que soulève différents champs de l'écologie, il me semble également important que des réflexions soient menées pour aller vers des modèles plus intégratifs. Une part importante de l'effort doit être dédiée à des approches plus simplifiées mais davantage intégratives. Si je force le trait, d'un côté avec très peu de population, les dynamiques engendrées peuvent être très complexe voir chaotique (ce qui est appuyé par des expérience [??]) et de l'autre avec une équation différentielle très simple on peut donner une vision de la biogéographie [?]. Il me semble qu'il est tout pertinent d'essayer de partir de l'échelle la plus large et ôir aller vers des échelles plus petite

que la démarche inverse. Il est par ailleurs tout aussi possible que les deux objets finaux à prédire : abondance relative de populations en interaction, et composition en espèces ne puissent être prédit de la même façon [ce qui serait une forme de *rupture de symétrie* ?]. Quoi qu'il en soit, c'est en essayant d'utiliser la première approche que j'ai mieux cerné quelles pouvaient être les traces laissées par les interactions écologiques sur les distributions d'espèces.

Des théories pour mieux appréhender les données de co-occurrence

Le chapitre ?? bien que théorique, est un pas significatif vers des approches plus appliquées. Il est question de données de co-occurrence. Les données d'occurrence (ou de présence et d'absence) sont les plus utilisées en biogéographie et qui font l'objet de développement méthodologique [??]. L'information donnée par la co-occurrence est finalement une information donnée par un ensemble de données d'occurrence qui permet, par exemple d'envisager la structure des assemblages de demain [?]. En proposant une réflexion de l'impact des interactions écologiques sur ces réseaux, j'ai donc essayé de mieux comprendre ce que ces données pouvaient contenir [ce qui est un travail capital comme le souligne ?]. En repartant sur un modèle de probabilité simple doublé de l'utilisation de la version trophique de la TIB [?] comme support, j'ai montré comment la théorie permettait de jeter une lumière nouvelle pour regarder les données de co-occurrence.

Le message central de ma thèse, livré au chapitre ??, s'appuie sur cette théorie et la confirme. En regardant des données de co-occurrence pour des systèmes pour lesquelles les interactions étaient connues, j'ai montré que les interactions laissaient des traces visibles dans les données statiques de co-occurrence sous certaines conditions. La détection de ce signal n'est, en effet possible que lorsque les espèces interagissent directement et lorsque le nombre d'interaction n'est pas trop important. De manière cohérente, prédire la distribution d'un prédateur spécialiste est difficile sans comprendre où sera sa proie. Par contre pour des généralistes ou pour des paires d'espèces qui ne sont pas en interactions directes il semble que leur co-occurrence ne puissent pas être distinguée de rencontres aléatoires. Du chapitre ?? au chapitre ??, j'ai souligné l'intérêt des développements théoriques pour mieux comprendre des données empiriques.

En partant initialement de la question "Est-ce que les espèces qui interagissent co-occurent différemment que celles qui n'interagissent pas", j'ai compris qu'il n'y avait pas de réponse tranchée, mais plutôt une réponse qui dépendait de la nature du réseau. Ce résultat sera, je pense, très utile pour amener une lumière nouvelle sur le débat qui anime la communauté des biogéographes, celui de savoir si oui ou non les interactions sont importantes à larges échelles. Je suis convaincu qu'il n'est pas seulement question d'un problème d'échelles spatiales [??], mais c'est aussi une question qui concerne la nature du système étudié. Mes résultats indiquent qu'il faut étudier le système pour conclure la nature des facteurs qui sont à prendre en compte. Pour aller plus loin dans ma réflexion il faudrait, je pense que nous arrivions à une caractérisation des systèmes pour lesquels les interactions sont ou ne sont pas importantes afin que l'on puisse avoir des règles efficaces pour savoir quels types d'approches est pertinent pour quel type de système. C'est une étape importante et longue pour aller vers des prédictions robustes qui sont très aujourd'hui plus que nécessaires.

Vers une écologie prédictive?

Les défis à relever dans un monde en changement

Érosion de la biodiversité, extinctions de masses, perte de service écosystémiques, les activités anthropiques ont fortement bouleversé les écosystèmes. On peut espérer que la facilité des données de co-occurrence la marche des migrations en cours prédictions parfois exactes parfois juste la migration northward réexaminer est semble indiqué qu'il n'y a pas de migration plus vers le nord. mais besoin de plus sur l'homogénéité ++ mais avec les espèces invasive le signal est fortement brouillé aussi ! Je pense qu'on est à un tournant de la biologie vers un changement de paradigme communautaire centré qui ne nait pas les travaux précédant mais les suit.

Nous assistons à une recombinaison des communautés. Lorsque l'on parle de sixième extinction c'est que nous avons des taux record d'extinction [?]. Bien sûr cela pose des grandes questions sur comment savoir quel partie du vivant est davantage touché [?], mais d'un point de vue on est dans une période de fonctionnement particulier qu'on peut voir comme une grande expérience mais aussi comme un moment où des théories solides seraient la bienvenue. Dans son article 'Don't judge a species on their origin' Mark Davis prend à revers un certain nombre d'idées reçues et souligne que les effets des envahisseurs peuvent être positifs ?.

Et si on faisait rien pour le frelon asiatique ? Peut être que qu'une partie de l'entomofaune disparaîtrait, peut être que les abeilles domestiques deviendraient plus efficaces et finiraient par stabiliser sa population. Dans tous les cas, au moins au point de vue [?]. Récemment une surprenante étude sur le Diamant mandarin (*Taeniopygia guttata*), un oiseau commun du centre de l'Australie, qu'au dessus de 26°C un champ particulier du mâle pour aller qui induit une différence à des oiseaux plus petit et à une meilleure fertilité [?]. Complexité des systèmes biologiques à prendre et c'est surprise sont finalement plutôt la règle et l'exception et donc une modestie dans la tâche de modéliser la biodiversité mondiale [?].

Des règles en écologie et évolution?

Il est plus facile de s'appuyer que sur des corrélations d'autant plus que si des corrélations fortes il existent une explication peut alors voir le jour.

Bien sûr il y a un certain nombre de choses comment ne pas oser que le lègue de la TIB n'est pas quelque chose mais et l'ensemble des théories est souvent resreint à un schéma à une catégorie et comme moi j'ai montré que des systèmes pour lesquels les interactions sont plus ou moins importantes, je pense qu'il y a un premier travail de catégorisation.

De manière tout à fait probante, l'étude de la nature a été un travail de groupement pour essayer de classer les êtres vivants par des critères plus ou moins cohérents. La classification que nous connaissons maintenant se base sur le lien de parenté entre les êtres vivants. En plus de cette catégorisation globale, nous regroupons les animaux de manière fonctionnelle en écologie et nous parlons ainsi de producteur primaires, de proie, de prédateur, de généraliste, de

spécialiste... Cette terminologie soulève bien des différences majeures mais de manière paradoxale les SDMs dont j'ai souvent parlé dans mon travail de thèse semblent être valables pour toutes les espèces. Bien entendu dans les faits les chercheurs connaissent le plus souvent les différences des grands groupes et les approches les plus appropriées pour tel ou tel groupe. Néanmoins quand on ne reconnaît pas dans une forme de systématisation ces différences. Ainsi, si par exemple, la plupart des SDMs sont efficaces pour traiter des arbres mais plutôt problématiques pour traiter des oiseaux, il me semble qu'il faut expliquer pourquoi et ne pas essayer d'affirmer que les interactions sont importantes ou pas basé sur un ensemble particulier d'exemple bien choisi. En disant cela je pense qu'il serait souhaitable d'avoir des arguments théoriques solides pour dire quel ou quel type d'espèce il faut prendre en compte tel ou tel facteur pour bien comprendre. Cette idée peut être basée sur les traits fonctionnels. En 2006, McGill proposait de rebâtir l'écologie des communautés des traits fonctionnelle, ces traits qui mesurent différentes propriétés des espèces [?]. Au lieu de se référer à une catégorisation de l'espèce par son no taxonomie un ensemble plus objectif sur la base desquelles des règles sont à trouver notamment sur les stratégies de modélisation des ranges. Et mieux en composition sur des prédictions sur les sets de traits sont possibles.

De même peut-être que des hypothèses ambivalentes, dans des cas où le temps tend à aller vers des systèmes énergétiques. Aller vers des contraintes énergétiques mais il est dur qu'on trouve des règles fiables sur un système qui bien que régi par des règles physiques assez bien comprises est un moteur de stochastisation.

Quelles hypothèses pouvons-nous faire sur les produits de l'évolution? Si on peut supposer qu'il y a des compétitions ou la règle est le changement cette même propriété a-t-elle des propriétés sur le long terme. Peut-on affirmer que les produits de l'évolution dans un environnement stable amènent à des entités qui optimisent l'utilisation de l'énergie. Si oui, que dire des produits de l'évolution dans un environnement avec variation. Si on peut faire des hypothèses comment les tester. Dans l'article de

Si l'évolution est imprévisible si au-delà d'un certain temps on ne peut presque rien dire... Si la chance de des abeilles européennes changeait comment prédire cela changement de comportement mais que nous sommes dans l'incapacité de le prédire que pensent du status de l'écologie et de l'évolution en tant que science. Si la composante historique domine le royaume de la biologie devons-nous nous contenter de le décrire. L'espoir mais la publication de Ian Hutton peut faire douter de l'absence de l'absence de règles. Comment croire qu'il n'y a pas des principes d'ordre énergétique là-dessous. Convergence...

2014, Hurlbert et Stegen propose une série d'hypothèses pour mettre en évidence l'impact de l'énergie sur l'évolution la troisième hypothèse est temps suffisant pour l'équilibre. Une telle hypothèse une forme de maximisation de la production de la biomasse et l'utilisation qui est peut-être. Peut-être que les différents mécanismes en jeu dans les processus évolutifs amènent probablement à une forme de stationnarité...

avoir des erreurs quantifiables mieux dessiner ce qui est sûrement plus déterministe de ceux qui l'ai moins

Vers une théorie en intégrative de la biogéographie

En s'appuyant sur un champ bien dessiné il faut être précis en biogéographie

En me confrontant à l'incorporation des interactions écologiques dans la TIB (chapitre ??), je me suis aperçu à quel point il est difficile de construire des modèles simples, élégants et qui expliquent à un grand nombre de faits. Je ne suis pas étonné que la TIB soit toujours utilisée pour un grand nombre d'études comme point de départ malgré ces défauts reconnus dans la ré-édition de 2001 de *The Theory of Island Biogeography* par Edward O. Wilson lui-même :

“The flaws of the book lie in its oversimplification and incompleteness, which are endemic to most efforts at theory and synthesis.”

L'effort théorique en biogéographie est important et l'intégration ordonnée de concepts clés issus de différents champs de l'écologie ? est une clef essentielle pour aller vers des prédictions. Ainsi, alors que les conditions climatiques et plus généralement la géographie physique sont classiquement évoquées pour expliquer la répartition des espèces ?, les interactions entre espèces sont quant à elles souvent occultées. De même, bien que les processus évolutifs soient souvent évoqués comme déterminants majeurs de la diversité des espèces ?, leurs effets à court terme sont souvent ignorés ? dans les scénarios décrivant la biodiversité de demain ?. La difficulté principale est alors de produire des modèles (théoriques en première instance) qui intègrent l'ensemble des processus et les relations qu'ils entretiennent ? tout en gardant une relative simplicité. Une théorie intégrative en biogéographie pourrait être le meilleur point d'ancrage pour construire de nouvelles approches appliquées. Avec une telle théorie en main, nous pourrions aller vers l'enjeu majeur de ces dernières années en biogéographie : relâcher les hypothèses que les modèles classiques de répartition des espèces d'aujourd'hui utilisent (notamment en occultant les interactions) pour prédire la biodiversité de demain ?.

Comme un premier pas plus loin que mes travaux le chapitre ?? vient apporter un pas vers le développement d'une théorie métabolique vers laquelle je veux apporter ma contribution dans les prochaines années.

!- Dans une théorie intégrative de la biogéographie, les traits fonctionnels peuvent être un pivot très intéressant pour rassembler les différents concepts que nous avons développés dans les paragraphes précédents. Les traits peuvent tout d'abord être mis en relation avec le milieu abiotique. Le taux métabolique ou encore la sensibilité à la sécheresse sont des indices performants pour décrire la survie dans un milieu donné ?? que l'on peut capturer sous forme de traits. Kearney *et al.* 2010 propose une approche prometteuse dans laquelle, l'environnement physique, la disponibilité des ressources et la dynamique énergétique sont reliées par les traits fonctionnelles le tout aboutissant à un modèle de distribution très mécaniste. La structure d'un réseau peut également être dérivée à partir de l'espace des traits. Dans leur méthode proposée cette année, Gravel *et al.* infèrent les paramètres du modèle de niche de Williams et Martinez ? à partir des relations de masse du corps entre proie et prédateurs ?. Ils sont alors en mesure de dériver un réseau global pour un ensemble d'espèces donné. Enfin, en tant qu'expression phénotypique, les traits fonctionnels sont soumis aux processus évolutifs. Sur les temps longs, l'expression de l'évolution résulte en la modification progressive des traits qui se répercute sur l'ensemble des propriétés qui en découle. Ainsi la considération d'une modification des traits est une approche simple et réaliste pour introduire les processus évolutifs et leurs conséquences ??.