

DU RÉCHAUFFEMENT AUX CONSÉQUENCES ÉCOLOGIQUES : S'ADAPTER, MIGRER OU DISPARAÎTRE

Limoilou-Amélie Renaud

Département de biologie
Université de Sherbrooke

Mark Vellend

Professeur au Département
de biologie
Université de Sherbrooke

Fanie Pelletier

Professeure au Département
de biologie
Université de Sherbrooke

Nous sommes en 1930, et un homme, agenouillé au sol, ajoute méticuleusement une date à son calepin. Il note la date de floraison d'une plante (le tussilage) qu'il observe (voir la Figure 1A). Sans le savoir, cet homme amorce une étude à long terme sur les réponses des plantes au réchauffement climatique. Près d'un siècle plus tard, des chercheur.euse.s scrutent les informations contenues dans les herbiers du Frère Marie-Victorin, un des botanistes les plus actifs au Québec avant la Seconde Guerre mondiale. Cette méthode originale a permis à une équipe de scientifiques de l'Université Laval, menée par Claude Lavoie, de montrer que le tussilage fleurit aujourd'hui environ 19 jours plus tôt que dans les années 1920, ce qui coïncide avec un devancement de l'arrivée du printemps.

Comme tous et toutes les botanistes depuis plusieurs siècles, le Frère Marie-Victorin conservait ses spécimens de plantes en les pressant entre deux planches rigides. Avec ces spécimens, des informations étaient systématiquement notées : le nom de l'espèce, la présence de fleurs, la date et le lieu de collecte. Aujourd'hui, ces informations forment l'essentiel d'une base de données impressionnante. Des centaines de millions de spécimens ont ainsi été collectés ici

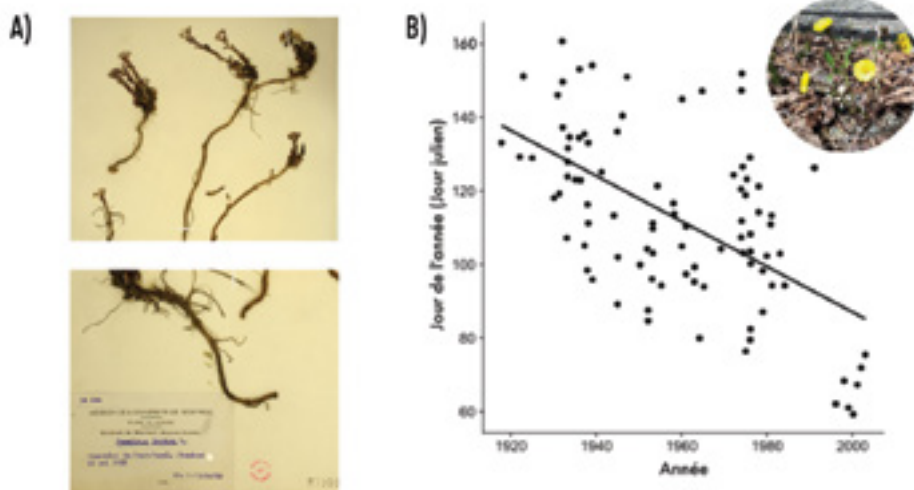


Figure 1A. Devancement des dates de floraison du tussilage au Québec entre les années 1920 et 2000. En A), l'image d'un spécimen de tussilage en fleur récolté en 1922 par le Frère Marie-Victorin lui-même, offert gracieusement par l'Herbier Marie-Victorin (Université de Montréal). L'image du bas est agrandie.

Figure 1B. Les dates de floraison du tussilage en fonction des années au Québec. Les données de tussilage sont extraites de Lavoie et Lachance (2006). Un spécimen de tussilage en floraison de la région de l'Estrie est montré en haut à droite du graphique (photo de Mark Vellend).

et là sur la planète, puis conservés dans des herbiers, permettant aux scientifiques d'étudier des tendances à long terme dans les dates de floraison. À l'aide des données météorologiques historiques, les chercheurs peuvent associer la température à la date de floraison du spécimen. Il a également été possible de montrer qu'entre l'époque du Frère Marie-Victorin et la nôtre, les températures hivernales ont augmenté de 2,3 °C, et les températures printanières, de 0,8 °C. En apparence anodine, un réchauffement des températures de 2,5 °C correspond à la différence de température estivale entre l'Abitibi et Montréal. Il s'agit d'un réchauffement suffisant pour influencer les réponses écologiques de milliers d'espèces de plantes et d'animaux à l'échelle de la planète.

Le tussilage a donc devancé ses dates de floraison pour qu'elles coïncident avec des conditions toujours optimales. L'exemple du tussilage n'en est qu'un parmi tant d'autres qui illustre la diversité des stratégies adoptées par les organismes vivants pour s'adapter au réchauffement climatique. Cet article est un aperçu des connaissances scientifiques sur les stratégies et réponses écologiques que les organismes vivants utilisent pour faire face, notamment, à l'augmentation des températures à l'échelle globale. Toutefois, pour certaines espèces, le réchauffement survient à une vitesse trop rapide, menant à leur disparition, et laissant parfois place à de nouvelles espèces.

S'adapter

Le réchauffement modifie les séquences saisonnières d'événements biologiques que les scientifiques nomment phénologie. Les variations de température sont souvent perçues comme un signal pour démarrer une nouvelle activité du calendrier saisonnier : se reproduire, produire des bourgeons, fleurir, pondre, etc. Les augmentations de température, peu importe la saison, sont donc souvent associées à des bouleversements de l'histoire de vie des plantes et des animaux. La Figure 1B illustre comment le tussilage observé par le Frère Marie-Victorin a devancé sa date de floraison en près de cent ans. Ce devancement est d'autant plus prononcé dans les régions urbaines, car ce sont de véritables îlots de chaleur qui amplifient les effets des variations de température sur la faune et la flore.

Chez les animaux, les dates importantes, comme le moment de la reproduction, varient aussi avec les températures. En milieu nordique, chaque printemps, les mammifères donnent naissance à des nouveaux-nés qui sont vulnérables pendant les premiers jours de leur existence. Ce moment est critique, puisque l'été est court. S'ils naissent trop tard, ces jeunes

n'auront pas suffisamment de temps pour croître et survivre à leur premier hiver. Or, pour se développer, un jeune herbivore a besoin de nourriture fraîche et sa naissance doit coïncider avec le moment où la végétation abonde. Les conditions météorologiques importantes pour les végétaux seront donc aussi déterminantes pour le moment de la mise bas. Par exemple, dans les Rocheuses canadiennes, une population de mouflons d'Amérique a devancé sa date de mise bas de près de 16 jours entre les années 1992 et 2017 (Renaud, Pigeon, Festa-Bianchet et Pelletier, 2019). Devancer la période des naissances permet de toujours maintenir celle-ci dans les conditions optimales – tant pour les brebis qui allaitent que pour les agneaux – puisque le réchauffement se fait aussi sentir dans cette région. Sa phénologie est donc une façon de s'adapter au réchauffement climatique, car on peut ainsi modifier son calendrier pour s'ajuster aux variations de l'environnement.

Toutefois, ce ne sont pas toutes les espèces qui peuvent ajuster leur phénologie. De plus, le lien de cause à effet n'est pas toujours facilement interprétable lorsqu'un changement dans le temps est détecté dans les données scientifiques. Par exemple, il a longtemps été cru que la pneumonie, qui causait des épisodes de mortalité massive du mouflon d'Amérique, se développait lorsqu'un animal était parasité par les vers du poumon, un parasite commun. Or, après analyse approfondie de données scientifiques, il s'est avéré qu'une bactérie transmise par le mouton domestique était responsable de la pneumonie du mouflon. Ce lien de cause à effet était difficile à détecter puisque les moutons domestiques sont des porteurs sains de cette bactérie. Les scientifiques doivent donc faire preuve d'une grande prudence dans l'interprétation d'associations dans les données. Des mécanismes de réponses au réchauffement climatique qui ont été validés par les scientifiques sont présentés ci-dessous.

Le lien entre les augmentations de température et la croissance des plantes est souvent direct. Les températures chaudes déclenchent le début de la croissance végétale. Si ces conditions surviennent plus tôt, de nombreuses plantes poussent et fleurissent plus hâtivement. Cependant, des interactions complexes relient souvent les espèces entre elles. La chaîne alimentaire, qui relie les plantes aux herbivores, ou encore les proies aux prédateurs, comporte plusieurs exemples d'interactions complexes entre les espèces. Les conséquences du réchauffement climatique sur une espèce particulière dépendent non seulement de réponses directes à la température – comme pour les végétaux – mais aussi d'effets indirects générés par le biais d'une autre espèce. La synchronie entre la date de ponte des oiseaux et la disponibilité de leurs proies au printemps est un exemple de ces effets indirects.

Dans l'hémisphère Nord, la quantité de nourriture est souvent très grande pendant certaines périodes de l'année. Par exemple, des oiseaux comme la mésange bleue nourrissent presque exclusivement leurs oisillons avec des chenilles qui sont surtout abondantes au printemps. Les parents ont peu de temps pour produire des petits et les nourrir. Il est donc extrêmement important d'avoir suffisamment de ressources disponibles dans ce court laps de temps. Avec les hivers qui sont de plus en plus doux, les chenilles émergent plus tôt qu'auparavant. Des scientifiques ont montré que, de nos jours, les oiseaux devancent leur période d'accouplement et, par le fait même, leur période d'éclosion et de nourrissage, en fonction non seulement de la température et de la lumière, mais aussi de la nourriture disponible. Leur physiologie et leur système hormonal peuvent donc se modifier très finement si l'environnement change (Figure 2). Ces individus ont un meilleur succès reproducteur que les oiseaux qui ne perçoivent pas les augmentations de température ou encore qui sont incapables d'ajuster leur calendrier d'activités.

Dans l'exemple précédent, les chenilles et les oiseaux semblent avoir ajusté leurs activités annuelles pour que la demande et la disponibilité en nourriture restent en synchronie. Mais qu'arrive-t-il si les proies et les prédateurs ne répondent pas de la même façon au réchauffement climatique ? Une asynchronie entre la date de ponte et l'abondance de chenilles serait certainement néfaste à la croissance des oisillons. Une asynchronie entre deux espèces est d'autant

plus susceptible de survenir lorsque le métabolisme diffère entre les organismes qui interagissent, comme des arthropodes (dont la température corporelle est déterminée par l'environnement) et des oiseaux (dont la température corporelle est produite grâce à leur métabolisme interne).

Plusieurs exemples de décalage temporel entre la date d'émergence des pollinisateurs et la date de floraison ont ainsi été documentés. Ces décalages ont des conséquences démographiques importantes pour les plantes et les services écologiques tels que la production de fruits, qui dépendent de la pollinisation. Par exemple, lors de conditions particulièrement chaudes et sèches qui touchent l'Ouest de l'Amérique du Nord, le cycle de vie des papillons, qui sont des insectes pollinisateurs, est altéré plus fortement que celui des plantes. Les papillons adultes ne migrant pas vers des conditions plus optimales, ce sont les larves qui subissent les conséquences d'une sécheresse : elles meurent, ou alors elles entrent à répétition en diapause, retardant donc l'émergence des papillons. L'asynchronie entre l'émergence des papillons et la floraison de leurs hôtes, tant les plantes qui fournissent le nectar aux papillons adultes que celles qui hébergent les larves plus tôt dans la saison, a mené au déclin, voire à l'extinction locale de populations de papillons pendant les périodes de sécheresse sévère. L'augmentation de la fréquence et de l'importance des sécheresses dans l'Ouest est probablement une conséquence des changements climatiques.

Les mésanges et le réchauffement climatique

Le printemps est hâtif

Les températures hivernales et printanières plus chaudes devancent l'arrivée du printemps. Les chenilles émergent plus tôt.



La ponte est devancée

Les mésanges devancent leurs activités de reproduction. La naissance des oisillons coïncide avec le pic d'abondance des chenilles.

Les oisillons s'envolent

Les adultes nourrissent les oisillons avec les chenilles. Les oisillons ont un bon succès d'envol et il y a peu de mortalité.

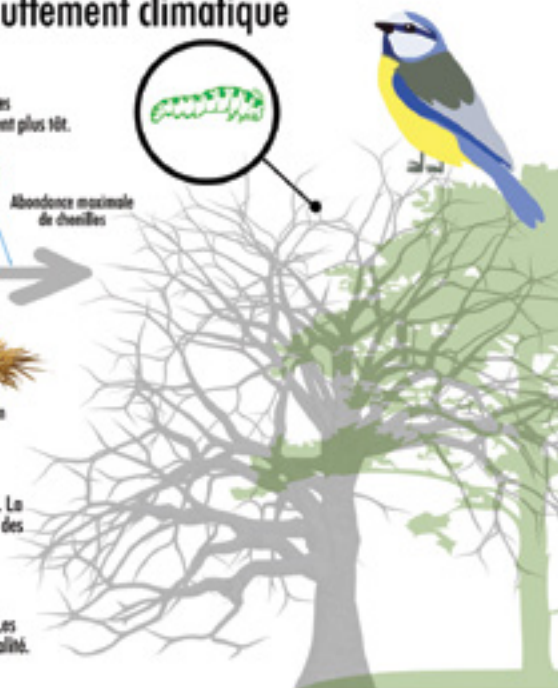


Figure 2. Devancement de la date de ponte chez la mésange bleue en réponse à l'abondance de chenilles. En réponse à l'augmentation des températures printanières, les chenilles émergent de plus en plus tôt. Les mésanges ont ajusté leur reproduction en devançant elles aussi leurs dates de ponte. Ainsi, l'éclosion des oisillons coïncide à nouveau avec le pic d'abondance de chenilles, leur source principale de nourriture. La figure a été réalisée par L.-A. Renaud. Crédits image (mésange et oisillon): shutterstock et depositphotos.

Migrer

En combinant observations et modélisation, le chercheur Murray Humphries, de l'Université McGill, et ses collaborateurs ont prédit que d'ici 2080, les limites de l'aire d'hibernation de la petite chauve-souris brune se déplaceraient de 6 km par année vers le nord dans les provinces canadiennes. En effet, les modèles prédisent un réchauffement allant jusqu'à 6 à 8 °C dans les zones tempérées et subarctiques d'ici 80 ans. Pour continuer d'hiberner dans des conditions optimales, l'espèce n'aurait d'autre choix que d'étendre sa distribution plus au nord. Par ses besoins énergétiques particuliers pendant l'hibernation, la petite chauve-souris brune est donc particulièrement sensible au réchauffement climatique.

Les montées vers les pôles de nombreuses espèces d'oiseaux et de papillons figurent parmi les exemples les plus connus de réponses au réchauffement climatique. En effet, ce ne sont pas toutes les espèces qui peuvent ajuster leur calendrier comme celui de la mésange bleue. D'autres mécanismes sont donc nécessaires pour s'ajuster aux changements climatiques. Des études rapportent que près des deux tiers de 35 espèces de papillons européens ont déplacé les limites de leur distribution vers le nord, et ce, jusqu'à 35 à 240 kilomètres de leurs anciennes limites. Grâce à leur mobilité, ces animaux étendent leur distribution aux endroits qui leur étaient jusque-là trop peu cléments. Bien que le phénomène soit plus lent que chez les animaux, les plantes migrent aussi. Au Parc national du Mont-Mégantic, au Québec, la flore semble curieusement s'être déplacée vers les sommets depuis 40 ans. Les températures minimales quotidiennes y ont augmenté d'environ 2 °C entre 1970 et 2012. En conséquence, les espèces d'arbres adaptées aux températures chaudes, comme l'érable à sucre, ont progressivement remplacé les espèces adaptées aux températures plus froides des sommets montagneux, telles les épinettes et les sapins. Cette migration – précisons que les individus ne se déplacent pas, ce sont les graines qui se disséminent et qui germent plus haut en altitude – s'est effectuée à raison d'environ 9 mètres par décennie, rapprochant du sommet les espèces de basse altitude d'environ 36 m en 40 ans (voir la Figure 3). En comparaison, une différence de 2 °C correspond à un déplacement en altitude d'environ 300 m; le climat migre du bas vers le haut 10 fois plus rapidement que les arbres. En somme, ces derniers ne migrent pas suffisamment rapidement pour suivre le rythme du réchauffement climatique.

Disparaître

Lorsque les réponses biologiques sont insuffisantes pour traquer le réchauffement, les espèces sont exposées à un risque élevé d'extinction. Récemment, des extinctions ont notamment été observées à la suite d'évènements climatiques extrêmes, lesquels sont une conséquence moins bien connue du réchauffement climatique. L'extinction d'une espèce de rongeur endémique d'une petite île de la Grande Barrière de Corail, en Australie, est un exemple des conséquences écologiques que peuvent engendrer de tels évènements. De nombreuses inondations et la raréfaction de la végétation, combinées à l'augmentation des niveaux des mers, auraient causé l'ensevelissement de l'île où vivait le rongeur, causant la perte de son habitat et la mortalité directe d'individus. À ce jour, peu de cas de disparition liés directement au réchauffement climatique ont été documentés, mais selon les expert.e.s de la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques, celui-ci devrait être un facteur déterminant de l'extinction des espèces.

Le réchauffement et le fonctionnement des écosystèmes terrestres

L'hypothèse d'effets du réchauffement climatique sur la faune et la flore repose sur un nombre croissant de preuves scientifiquement bien établies. Jusqu'à présent, nous avons expliqué comment certaines espèces répondaient au changement de leur environnement. On sait aussi que le réchauffement climatique affecte des écosystèmes entiers, et certains d'entre eux sont particulièrement sensibles au réchauffement. C'est le cas de l'écosystème arctique. Les arbustes sont les arbres de l'Arctique. En effet, au nord du 66° parallèle, les arbres sont absents. Si on se déplace encore plus au nord, on trouve la toundra, une zone végétale constituée principalement de lichens, de mousses, de graminées et de quelques arbustes. Le réchauffement climatique favorise la croissance et l'expansion des arbustes dans la toundra. Depuis quelques décennies, des études sur le terrain ainsi que des analyses d'images satellitaires ont permis de documenter le verdissement de la toundra arctique. L'absorption de plus grandes quantités de CO₂ par les arbustes a le potentiel de réduire l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et donc de réduire le réchauffement climatique. Cependant, les tiges foncées

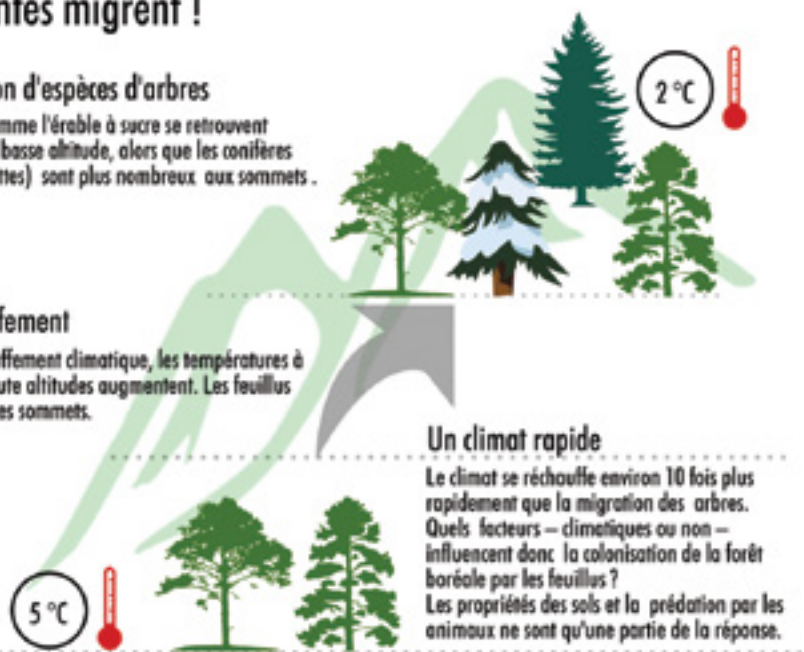
Les plantes migrent !

Composition d'espèces d'arbres

Les feuillus comme l'érable à sucre se retrouvent davantage à basse altitude, alors que les conifères (sapins, épinettes) sont plus nombreux aux sommets.

Le réchauffement

Avec le réchauffement climatique, les températures à basse et à haute altitudes augmentent. Les feuillus migrent vers les sommets.



Un climat rapide

Le climat se réchauffe environ 10 fois plus rapidement que la migration des arbres. Quels facteurs – climatiques ou non – influencent donc la colonisation de la forêt boréale par les feuillus ? Les propriétés des sols et la prédation par les animaux ne sont qu'une partie de la réponse.

Figure 3. Migrations des arbres au Mont-Mégantic en réponse au réchauffement climatique. Les espèces de feuillus dominent le paysage à basse altitude, tandis que les conifères (sapins, épinettes) sont plus nombreux au sommet, car la température y est plus basse. Avec le réchauffement, la composition des espèces d'arbres s'est modifiée. Les espèces de feuillus remplacent peu à peu les espèces de conifères des sommets. D'autres facteurs sont toutefois importants dans la migration des espèces d'arbres, comme le pH du sol et sa composition en microorganismes et la prédation sur les graines. La figure a été réalisée par L.-A. Renaud.

des arbustes dépassent la neige et diminuent le reflet de la radiation solaire (albédo). De plus, les arbustes transpirent plus d'eau, ce qui, en retour, augmente l'effet de serre. En combinaison, ces changements ont tendance à amplifier le réchauffement de la terre. Ainsi, le réchauffement cause des changements dans la végétation, lesquels, en retour, vont influencer le réchauffement. On connaît encore peu de choses sur ce type de rétroaction. De nombreuses incertitudes demeurent dans les prédictions des modèles climatiques, car plusieurs de ces phénomènes sont complexes, mais dans l'état des connaissances actuelles, les chercheurs spécialistes de l'Arctique s'attendent à ce que la rétroaction nette soit positive : le verdissement de la toundra, causé par le réchauffement du climat, devrait accélérer la hausse des températures.

Regard vers le futur : que pouvons-nous faire ?

Les écosystèmes terrestres répondent déjà au réchauffement climatique. Les flux d'énergie et d'éléments nutritifs ont été modifiés et entraînent dans des boucles de rétroaction d'autres effets sur le réchauffement climatique. Des questions préoccupent toutefois les scientifiques plus que jamais : comment les choses se dérouleront-elles à l'avenir ? Que pouvons-nous faire ?

Des actions concrètes au quotidien peuvent bien sûr atténuer l'effet des humains sur le réchauffement climatique. Mais devrait-on encourager les scientifiques

à intervenir dans cette dynamique complexe ? Par exemple, pourrait-on faciliter les migrations et la dispersion des gènes ? Les disciplines de la foresterie, de la restauration écologique et de l'agriculture devraient-elles ajuster leur pratique pour cibler, dans leurs interventions, les espèces les mieux adaptées au réchauffement climatique ? Toutes ces questions sont importantes. Certaines sont même très controversées au sein de la communauté scientifique. Beaucoup d'efforts sont déployés afin de trouver des réponses et des solutions concrètes aux problèmes qui surgissent. Le Frère Marie-Victorin ne se doutait sûrement pas de toutes les implications que ses notes et sa grande curiosité pour les phénomènes naturels autour de lui auraient une centaine d'années plus tard. Cela illustre bien la valeur, souvent sous-estimée, des données à long terme pour notre compréhension des phénomènes naturels et de leurs effets sur les espèces. Bien qu'on commence à accumuler des connaissances sur l'effet du réchauffement sur les écosystèmes, celles-ci ne sont que la pointe de l'iceberg.

Lavoie, C., et Lachance, D. (2006). A new herbarium-based method for reconstructing the phenology of plant species across large areas. *American Journal of Botany*, 93(4), 512-516. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.4.512>

Renaud, L.-A., Pigeon, G., Festa-Bianchet, M. et Pelletier, F. (2019). Phenotypic plasticity in bighorn sheep reproductive phenology: from individual to population. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 73(4), 50. <https://doi.org/10.1007/s00265-019-2656-1>