

La gestion intelligente des lots boisés sur le plan climatique



Préface

Nos forêts sont en première ligne dans le combat que nous menons face au changement climatique. Certes, elles agissent comme de véritables éponges à carbone et nous aident dans cette lutte, mais elles sont également vulnérables aux variations du climat qui affectent leurs super-pouvoirs. Il est donc urgent de prendre des mesures en vue d'améliorer leur résilience et de les aider à mieux s'adapter.

Ce guide a été élaboré dans le but de sensibiliser les propriétaires de lots boisés aux enjeux climatiques et de leur fournir des informations et des conseils pour les accompagner dans la gestion intelligente de leur(s) lot(s) boisé(s) sur le plan climatique.

À propos de la Fédération

La Fédération des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick (FPLBNB) est une organisation à but non lucratif dédiée à la défense des droits des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick et à la promotion de leurs intérêts économiques et sociaux. Elle organise également des événements éducatifs afin de fournir des ressources et des outils pour une gestion efficace des lots boisés. La FPLBNB soutient donc les propriétaires de lots boisés dans leur démarche.

Remerciements

Ce guide a été créé dans le cadre du projet « *La gestion intelligente des lots boisés sur le plan climatique* » financé par le Fonds en fiducie pour l'environnement (FFE). La FPLBNB remercie le FFE pour son soutien.



La FPLBNB tient aussi à remercier ses collaborateurs, sans qui ce projet n'aurait pas abouti, ainsi que les professionnels qualifiés qui ont consacré du temps pour passer en revue ce guide et valider son contenu.

Table des matières

Préface.....	2
À propos de la Fédération	2
Remerciements	2
Table des matières	3
Introduction.....	5
La forêt Wabanaki-Acadienne	6
Informations générales	6
Evolution de la forêt Wabanaki-Acadienne.....	7
Impact de l'Homme.....	8
Le changement climatique	9
Définition.....	9
Climat de la Terre	9
Effet de serre	11
Changement climatique anthropique	12
Projections futures	13
Impacts du réchauffement climatique	15
Changement climatique au Canada	17
Les forêts dans un climat changeant.....	19
La gestion intelligente des lots boisés sur le plan climatique	21
Définition.....	21
La diversité, le facteur clé.....	22
Le processus	23
La forêt Wabanaki-Acadienne : comprendre le changement	24
L'évaluation du lot boisé	26

La gestion à long terme	31
L'outil de décision de prescription de sylviculture adaptative au changement climatique.....	32
Qui contacter.....	34
Conclusion	35
Références.....	36

Introduction

« Changement climatique » ! Deux mots qui résonnent dans le monde entier depuis de nombreuses années. Des ouragans d'une intensité inégalée, des sécheresses extrêmes, des incendies ravageurs et bien d'autres ; le coupable : le « changement climatique » ; et qui dit changement climatique, dit activités humaines. Depuis la révolution industrielle, l'Homme émet d'importantes quantités de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui a pour conséquence d'augmenter la température globale de la Terre. Ce réchauffement climatique a un impact significatif sur l'ensemble des écosystèmes de la planète, et tout particulièrement sur les forêts qui constituent des puits de carbone et jouent un rôle crucial dans la régulation du climat.

Le Canada comprend des écosystèmes forestiers indispensables au maintien de l'équilibre climatique, parmi lesquels la forêt Wabanaki-Acadienne qui couvre les provinces maritimes. Riche et diversifiée, cette forêt abrite un patrimoine écologique unique. Cependant, elle est vulnérable aux variations du climat. Des impacts du réchauffement climatique ont d'ailleurs déjà été observés. Il est donc important d'agir pour aider la forêt Wabanaki-Acadienne à s'adapter au climat changeant. Avec une résilience renforcée, elle continuera à offrir des services écologiques qui contribuent, entre autres, au bien-être des collectivités.

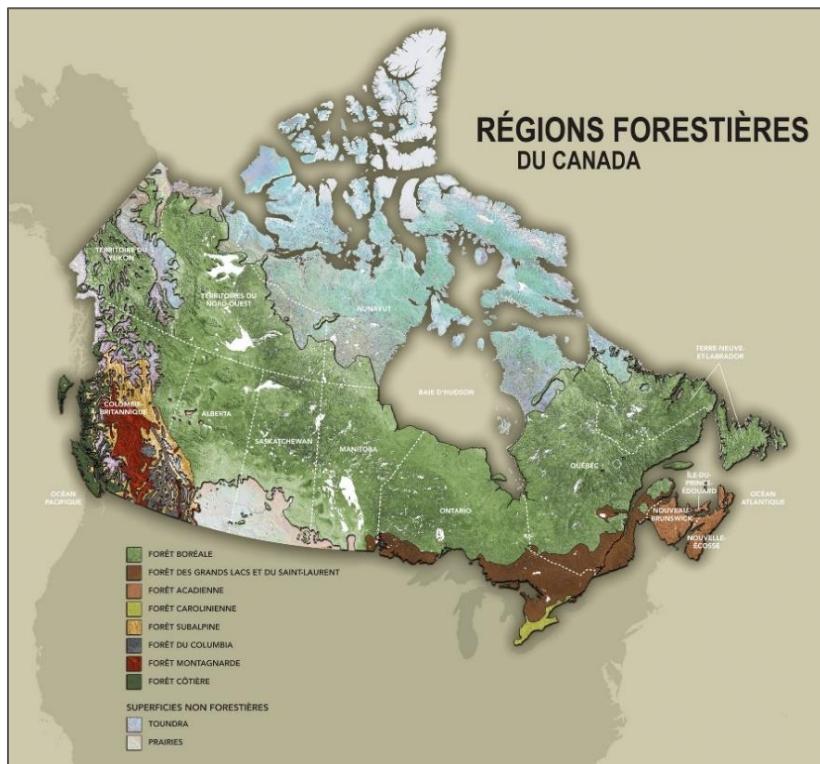
Au Nouveau-Brunswick, plus de 40 000 propriétaires de lots boisés possèdent collectivement environ 1,74 million d'hectares de terres. La province ayant une superficie d'environ 7,344 million d'hectares, la gestion de ces terrains privés a donc un impact significatif sur la résilience de l'écosystème. Dans ce contexte, il est essentiel que les propriétaires privés soient bien informés et comprennent davantage les enjeux climatiques.

Ce guide se présente comme un outil dont les propriétaires de lots boisés pourront se servir, afin de mieux appréhender ces enjeux et d'opérer progressivement une transition vers une gestion plus adaptée à un climat changeant. La première partie de ce guide introduit la forêt Wabanaki-Acadienne, l'écosystème qu'elle représente, ainsi que son évolution. La deuxième partie est consacrée au changement climatique, et la dernière, à la gestion intelligente sur le plan climatique.

La forêt Wabanaki-Acadienne

Informations générales

La forêt Acadienne est l'une des régions forestières du Canada [1]. Elle porte le nom « Acadienne » en référence aux acadiens, descendants des colons français établis en Acadie, et « Wabanaki » en hommage aux peuples Wolastoqiyik et Mi'kmaw [2,3]. Elle est également connue sous le nom de forêt de la Nouvelle-Angleterre aux États-Unis.

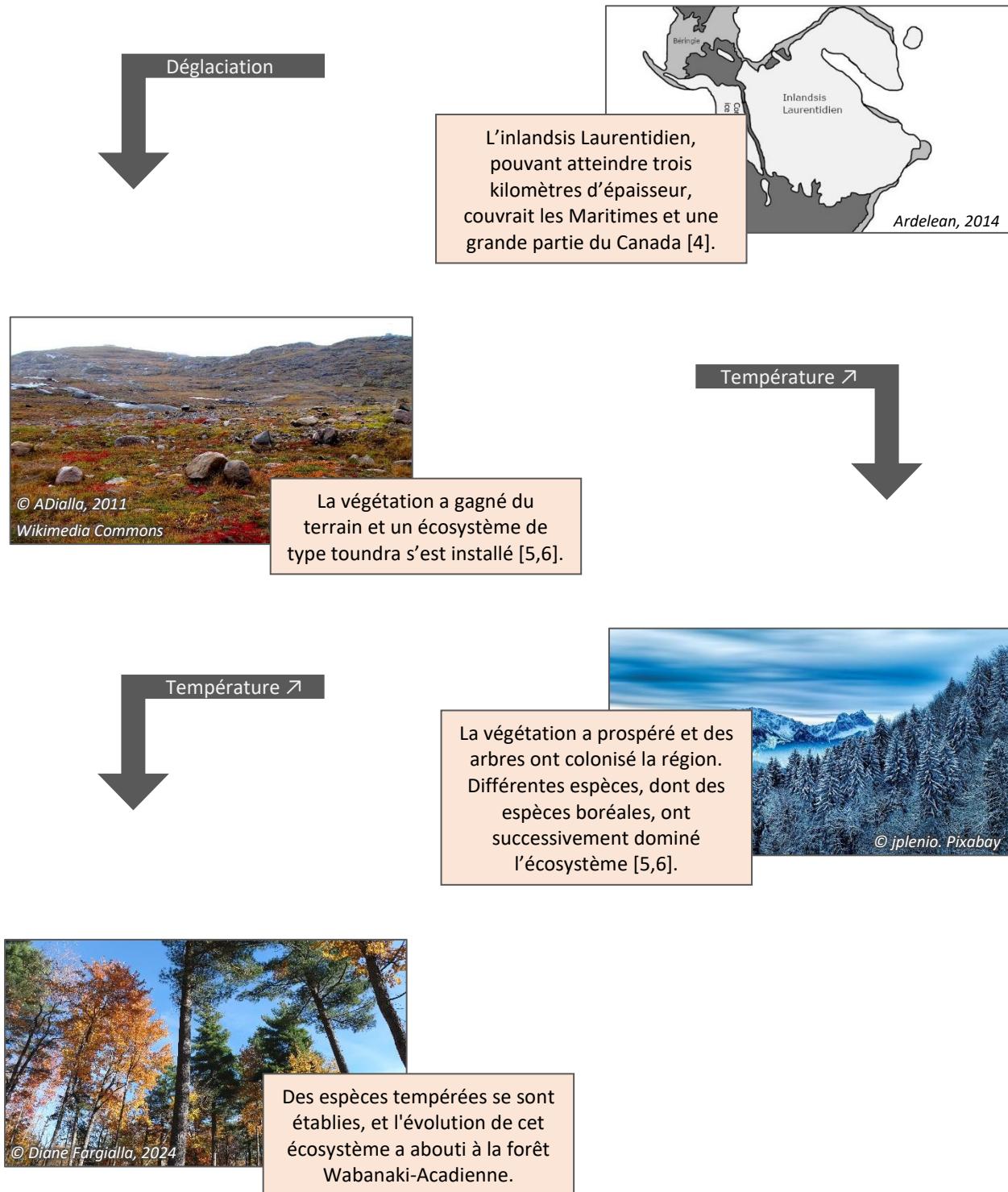


Régions forestières du Canada [1]

La forêt Wabanaki-Acadienne couvre les provinces maritimes, la Nouvelle-Écosse, l'Île-du-Prince-Édouard et la majeure partie du Nouveau-Brunswick, et s'étend jusqu'au nord-est des États-Unis. Elle se situe entre la forêt boréale au nord et la forêt de feuillus au sud. Les caractéristiques géographiques, topographiques et géologiques de cette région lui confèrent un large éventail de conditions écologiques. La forêt Wabanaki-Acadienne est donc un écosystème complexe et riche en biodiversité, comprenant plus de trente essences d'arbres dont des espèces boréales qui se trouvent à la limite sud de leur aire de répartition, ainsi que des espèces tempérées qui sont à la limite nord de leur aire de répartition [2,3].

Evolution de la forêt Wabanaki-Acadienne

Avant de devenir la forêt que nous connaissons, la forêt Wabanaki-Acadienne est passée par divers stades depuis la dernière ère glaciaire.

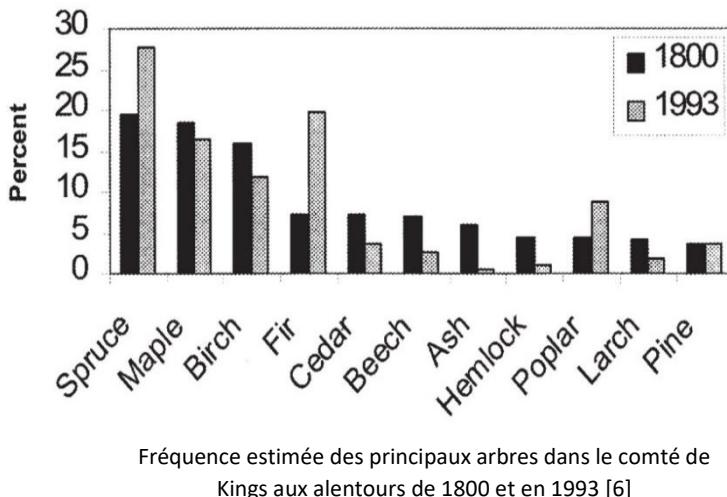


Impact de l'Homme

Depuis l'arrivée des premiers colons européens dans les Maritimes, l'évolution de la forêt Wabanaki-Acadienne a pris une nouvelle trajectoire, marquée par l'activité humaine. Le bois étant une ressource importante pour le chauffage, la construction et autres activités commerciales, et les terrains utiles pour l'agriculture, la forêt Wabanaki-Acadienne a été considérablement exploitée pour subvenir aux besoins de l'Homme. L'écosystème que nous observons aujourd'hui n'est donc pas exactement le même que celui dont ont été témoins les premiers colons.

Des archives historiques et des études scientifiques nous ont permis d'en savoir davantage sur la forêt Wabanaki-Acadienne avant la colonisation. Elle était dominée par des espèces tempérées telles que l'épinette rouge, la pruche de l'Est, l'érable à sucre, le cèdre blanc du Canada, le bouleau jaune et le hêtre d'Amérique [7]. Le pin blanc, le frêne blanc et le chêne rouge, étaient également des espèces importantes dans cet écosystème [7].

Aujourd'hui, la composition de la forêt Wabanaki-Acadienne n'est plus ce qu'elle était. On y retrouve les mêmes espèces, mais dans des proportions différentes. Le graphe ci-contre, issu d'une étude menée au comté de Kings au sud du Nouveau-Brunswick, présente la fréquence estimée des principaux arbres aux alentours de 1800 et en 1993.



Ce graphe illustre une diminution de la fréquence de la plupart des espèces et une prédominance du genre épinette et du sapin baumier à la fin du 20^{ème} siècle. En 1993, ces derniers représentaient 50 % de la forêt, contre environ 25 % il y a plus de 200 ans [6]. Certains scientifiques parlent de « boréalisat^{ion} » de la forêt Wabanaki-Acadienne, une tendance à lui conférer un caractère de plus en plus boréal. Compte tenu du changement climatique, une telle évolution pourrait fragiliser l'écosystème d'ici la fin du 21^{ème} siècle.

Le changement climatique

Définition

Dans le sixième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)*, publié entre 2021 et 2023, le changement climatique est défini comme suit :

« Variation de l'état du climat que l'on peut déceler (au moyen de tests statistiques, etc.) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, notamment les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques ou des changements anthropiques* persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'usage des terres. » [8]

* Organisme des Nations Unies chargé d'évaluer la science relative au changement climatique.

* Anthropique : dû aux activités humaines.

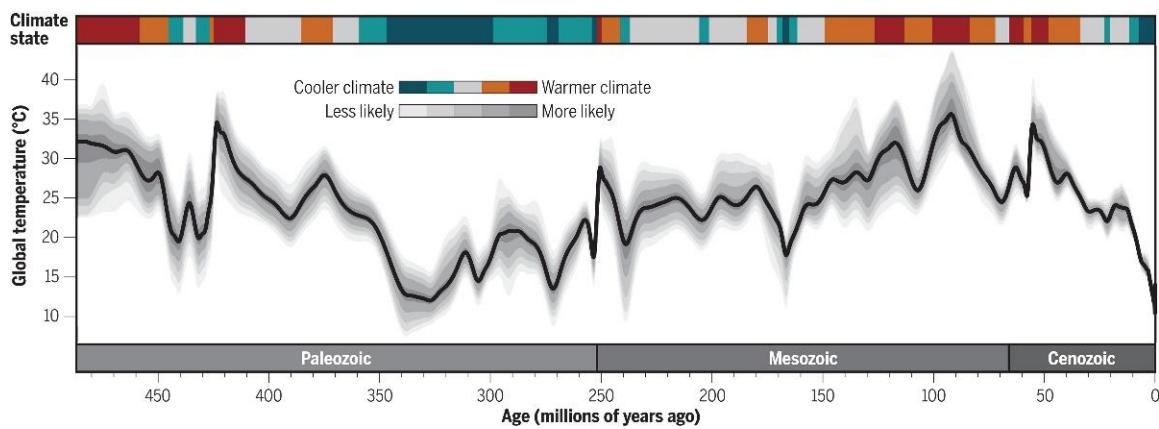
Climat de la Terre

Pendant des millions d'années, le climat de la Terre a fortement varié, alternant périodes très chaudes et ères glaciaires. Divers facteurs naturels sont à l'origine de ces variations, parmi lesquels :

- L'orbite terrestre, l'inclinaison terrestre et la direction de l'axe de rotation de la Terre [9-11] : connus sous le nom de cycles de Milankovitch, ces paramètres varient sur le long terme et ont un impact sur l'énergie solaire que reçoit la Terre, entraînant ainsi des variations de son climat.
- L'activité solaire [10-12] : le Soleil produit une énergie qui réchauffe la Terre. La quantité d'énergie qu'il émet varie tous les onze ans environ, ce qui joue un rôle dans l'évolution du climat terrestre.
- L'activité volcanique [10,11] : les éruptions volcaniques émettent des gaz, tels que le dioxyde de carbone et le dioxyde de soufre, ainsi que des particules. Selon leur ampleur, ces émissions pourraient avoir un impact sur le climat de la Terre.

De nombreux scientifiques étudient l'histoire du climat de la Terre en se basant sur des indicateurs climatiques appelés proxys, tels que les carottes de sédiments ou de glace, ou les cernes de croissance des arbres [13]. Cette discipline scientifique, appelée paléoclimatologie, permet de retracer l'évolution du climat terrestre au fil des différentes ères géologiques, mais également de mieux comprendre les dynamiques climatiques actuelles et futures.

La Smithsonian Institution et l'université de l'Arizona ont codirigé une étude sur l'évolution du climat de la Terre au cours des 485 derniers millions d'années. Les chercheurs ont récemment publié le graphique ci-dessous, obtenu en combinant des données géologiques et des simulations informatiques.



Température moyenne à la surface du globe au cours des 485 derniers millions d'années [14]

Cette courbe montre que la température moyenne à la surface du globe a varié entre 11 °C et 36 °C (52 °F et 97 °F) au cours des 485 derniers millions d'années, avec une prédominance de périodes à climat chaud [14]. Les résultats de l'étude révèlent également que la température est fortement corrélée à la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ce gaz ainsi que d'autres, tels que le méthane, sont appelés gaz à effet de serre (GES) et sont responsables du phénomène portant le même nom : l'effet de serre.

Effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel qui se produit dans l'atmosphère terrestre où les gaz à effet de serre « piégent la chaleur » ; d'où l'appellation « effet de serre » faisant référence au mécanisme d'une serre.

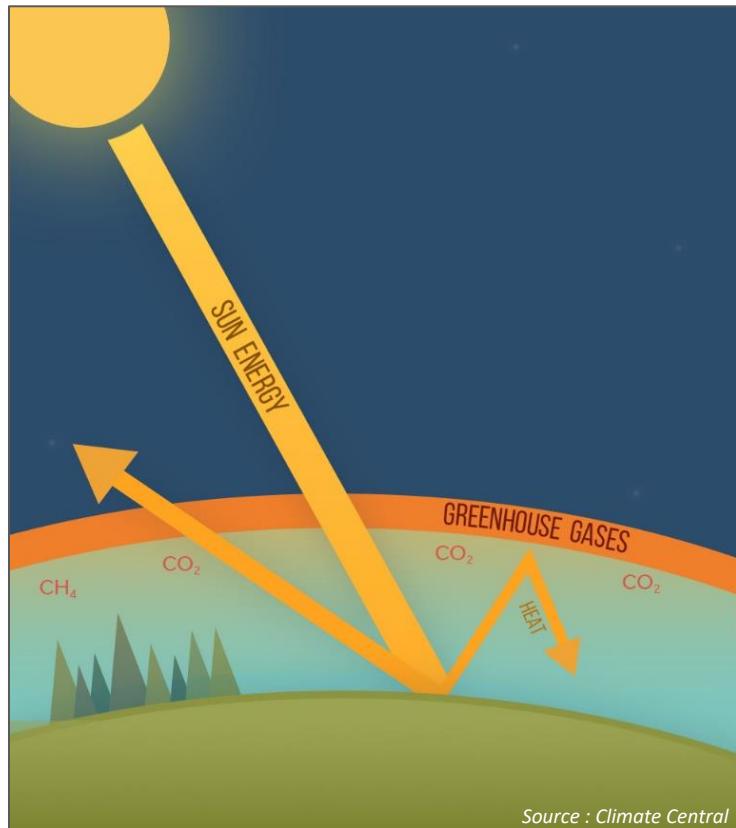


Schéma représentant l'effet de serre

Le rayonnement que la Terre reçoit du Soleil initie l'effet de serre. Environ 30 % de cette énergie solaire est réfléchie dans l'espace par des surfaces telles que la glace et les nuages [15]. Les 70 % restants sont principalement absorbés par la surface terrestre. Cette dernière restitue l'énergie absorbée sous forme de rayonnement infrarouge thermique qui sera en grande partie absorbé par les gaz à effet de serre, puis renvoyés dans toutes les directions. L'énergie renvoyée vers la Terre va réchauffer sa surface ainsi que la basse atmosphère.

L'effet de serre maintient la température moyenne à la surface de la Terre aux alentours de 15 °C [15,16]. Heureusement pour nous, car sans ce phénomène naturel, la température serait de -18 °C !

Changement climatique anthropique

Depuis les années 50, la température moyenne de la Terre suit une trajectoire ascendante. Certes, les facteurs naturels évoqués précédemment jouent un rôle-clé dans l'évolution du climat terrestre, mais ils ne sont pas responsables de ce réchauffement climatique récent. Combustion de combustibles fossiles, déforestation et autres activités anthropiques depuis l'ère industrielle en sont la cause principale. Ces activités libèrent de grandes quantités de dioxyde de carbone et autres gaz à effet de serre, intensifiant l'effet de serre et entraînant ainsi une augmentation de la température.

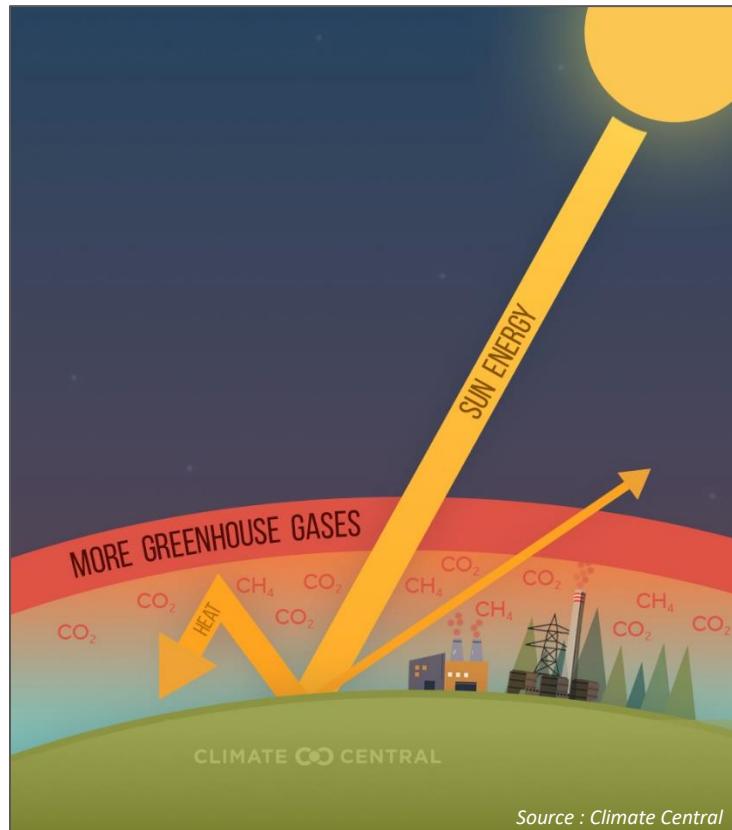
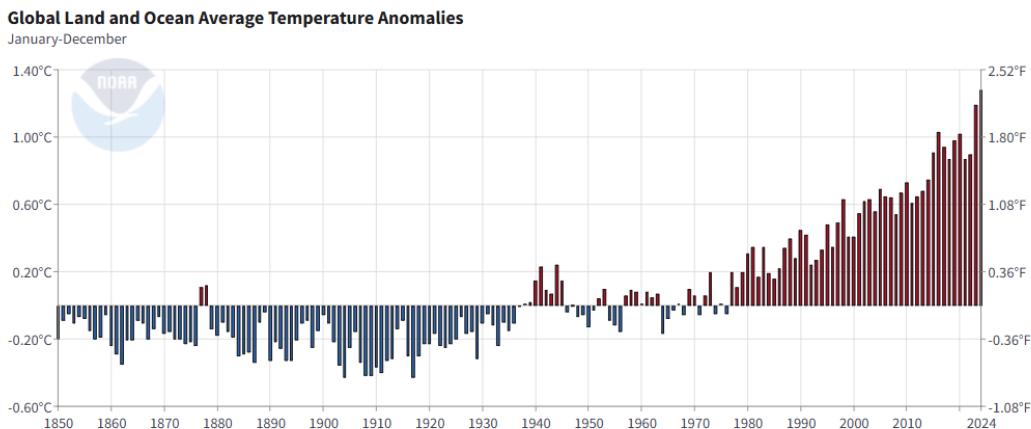


Schéma représentant l'effet de serre intensifié par les activités humaines

Le graphique ci-dessous illustre le réchauffement climatique actuel en présentant les anomalies de température depuis 1850. Il compare la température moyenne annuelle à la moyenne du 20^{ème} siècle qui est de 13,9 °C (57,0 °F).



Anomalies de température des terres et des océans à l'échelle mondiale [17]

La température de la Terre a augmenté de 0,06 °C (0,11 °F) en moyenne par décennie depuis 1850 [17]. Cependant, le réchauffement s'est accéléré depuis plusieurs décennies : il est désormais trois fois plus rapide (0,20 °C / 0,36 °F par décennie). Il est également intéressant de noter que les dix années les plus chaudes depuis 1850 sont les dix dernières, avec 2024 comme étant l'année la plus chaude jamais enregistrée. La température à la surface du globe en 2024 a été de 1,29 °C (2,32 °F) au-dessus de la moyenne du 20^{ème} siècle.

Projections futures

À l'instar de ses prédécesseurs, le sixième rapport d'évaluation du GIEC a pour objectif d'évaluer et de synthétiser les connaissances scientifiques sur le changement climatique : ses causes, ses impacts et les risques futurs [18]. Il fournit également des stratégies d'adaptation et d'atténuation visant à réduire ces risques, contribuant ainsi à orienter les actions mondiales face aux enjeux climatiques. Ce rapport présente cinq nouveaux scénarios potentiels quant à l'évolution du climat terrestre d'ici la fin du 21^{ème} siècle (se référer au tableau de la page suivante).

Les SSP, ou « trajectoires communes d'évolution socio-économique »* (de l'anglais Shared Socio-economic Pathways), représentent cinq trajectoires socio-économiques potentielles en l'absence de politique

climatique : SSP1 à SSP5 [19,20]. En d'autres termes, les SSP décrivent comment la société pourrait évoluer en fonction de facteurs tels que la croissance démographique, l'éducation et le développement économique. La trajectoire SSP1, par exemple, emprunte la route verte, privilégiant des pratiques durables. Cette trajectoire présente ainsi de faibles défis en matière d'atténuation et d'adaptation. SSP4, quant à elle, adopte une route divisée qui présente de faibles défis en matière d'atténuation en raison des avancées technologiques importantes, mais de grands défis d'adaptation dus à l'augmentation des inégalités.

Les SSP ont été élaborées pour compléter les trajectoires représentatives de concentration (RCP) introduites dans le précédent rapport et qui sont davantage axées sur les concentrations des gaz à effet de serre et le forçage radiatif* [8]. Cette combinaison SSP-RCP est donc à l'origine des cinq scénarios du sixième rapport d'évaluation du GIEC mentionnés précédemment. Il convient de préciser que la valeur figurant à droite dans les désignations des scénarios représente le niveau approximatif du forçage radiatif.

* Forçage radiatif : facteur qui influence l'équilibre entre l'énergie reçue et l'énergie émise par la Terre.

Le tableau qui suit présente les projections futures de la température à la surface du globe pour les différents scénarios. Plus précisément, il indique les écarts de températures par rapport à la température moyenne à la surface du globe pour la période 1850-1900. Les résultats sont donnés pour trois périodes de 20 ans. Pour chaque période, la meilleure estimation, ainsi qu'un intervalle considéré comme très probable, sont rapportés.

Scenario	Court terme, 2021-2040		Moyen terme, 2041-2060		Long terme, 2081-2100	
	Meilleure estimation (°C)	Intervalle très probable (°C)	Meilleure estimation (°C)	Intervalle très probable (°C)	Meilleure estimation (°C)	Intervalle très probable (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 à 1,7	1,6	1,2 à 2,0	1,4	1,0 à 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 à 1,8	1,7	1,3 à 2,2	1,8	1,3 à 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 à 1,8	2,0	1,6 à 2,5	2,7	2,1 à 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 à 1,8	2,1	1,7 à 2,6	3,6	2,8 à 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 à 1,9	2,4	1,9 à 3,0	4,4	3,3 à 5,7

Changements de la température à la surface du globe d'ici la fin du 21^{ème} siècle pour différents scénarios [8]

Le rapport précise que « la température à la surface du globe continuera d'augmenter au moins jusqu'au milieu du siècle dans tous les scénarios d'émissions envisagés. Le réchauffement planétaire dépassera les

seuils de 1,5 °C et de 2 °C au cours du 21^{ème} siècle, à moins que les émissions de CO₂ et autres gaz à effet de serre ne diminuent fortement dans les décennies à venir. » [8]

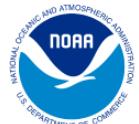
Par ailleurs, « le réchauffement planétaire dépassera, au cours du 21^{ème} siècle, les +2 °C par rapport à la période 1850-1900 dans les scénarios d'émissions de GES élevées et très élevées étudiés dans ce rapport (respectivement SSP3-7.0 et SSP5-8.5). Le réchauffement planétaire dépasserait très probablement les 2 °C dans le scénario d'émissions de GES intermédiaires (SSP2-4.5). Dans les scénarios d'émissions de GES très faibles et faibles, un réchauffement planétaire dépassant les 2 °C est extrêmement improbable (SSP1-1.9) ou peu probable (SSP1-2.6). Il est très probable que le réchauffement planétaire de 2 °C se produise à moyen terme (2041-2060) dans le scénario d'émissions de GES très élevées (SSP5-8.5), probable dans le scénario d'émissions de GES élevées (SSP3-7.0), et plus probable qu'improbable dans le scénario d'émissions de GES intermédiaires (SSP2-4.5). » [8]

Impacts du réchauffement climatique

Les impacts du changement climatique se manifestent sous différentes formes et affectent non seulement l'environnement et les écosystèmes, mais également les sociétés humaines et l'économie. Ces impacts sont déjà observés et devraient s'intensifier dans les prochaines décennies. Ci-dessous un aperçu des principaux phénomènes [21-23] :

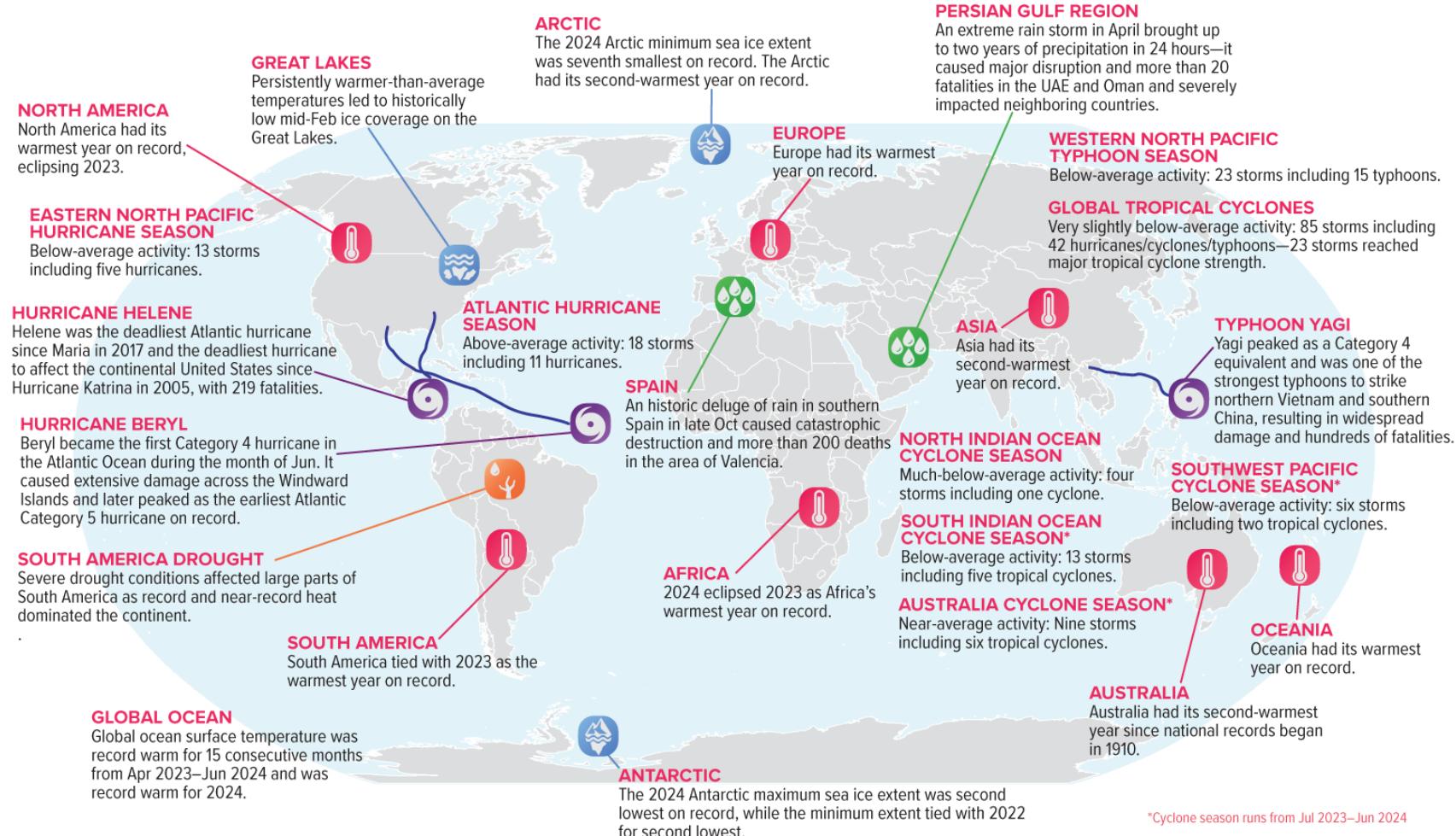
- Températures extrêmes plus fréquentes (ex. vagues de chaleur)
- Sécheresses et incendies plus intenses et fréquents
- Tempêtes et ouragans plus intenses et fréquents
- Inondations plus fréquentes dues à l'augmentation des précipitations
- Élévation du niveau des océans due à la fonte des glaces
- Acidification des océans
- Perte de biodiversité

Les impacts du réchauffement climatique sont répartis de manière inégale. Chaque région est touchée différemment en fonction de sa situation géographique et de sa vulnérabilité, comme le montre l'image ci-dessous (en anglais seulement).



GLOBAL AVERAGE TEMPERATURE

The Jan–Dec 2024 global surface temperature ranked warmest since global records began in 1850.



*Cyclone season runs from Jul 2023–Jun 2024

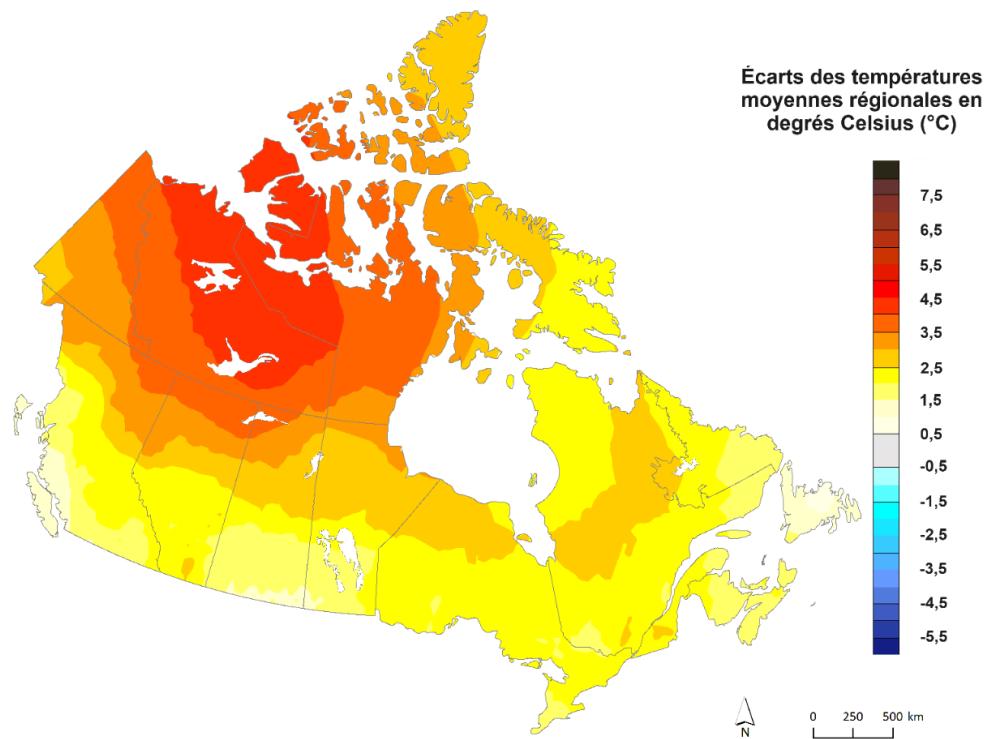
Please note: Material provided in this map was compiled from NOAA's State of the Climate Reports. For more information please visit: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/>

Anomalies et évènements climatiques significatifs en 2024 à travers le monde [17]

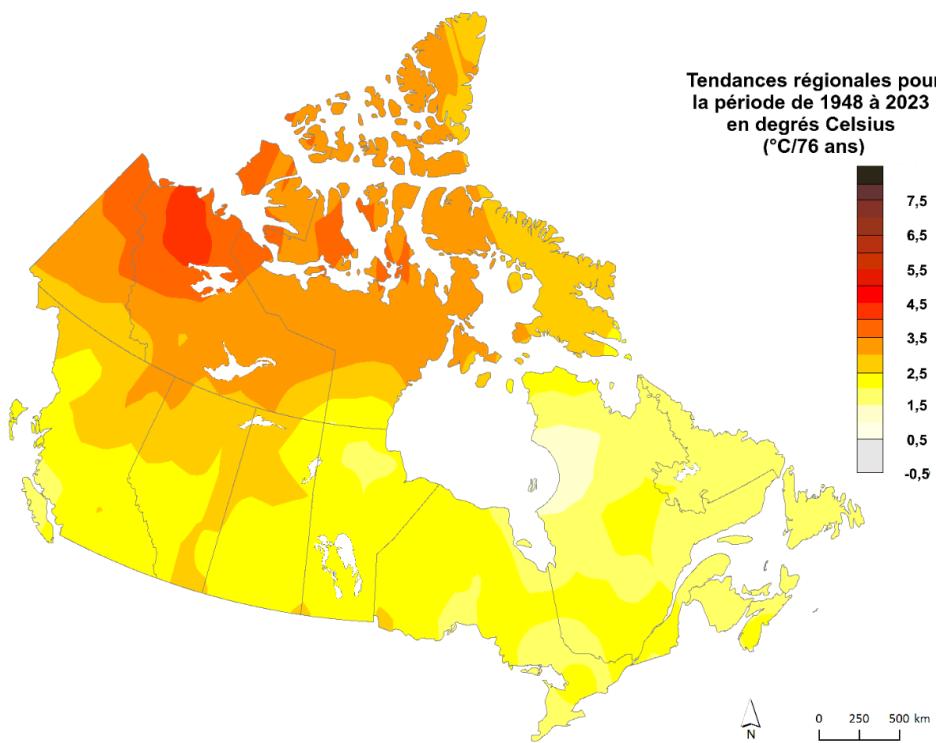
Changement climatique au Canada

À l'image de ce qui se produit à l'échelle mondiale, le climat au Canada se réchauffe. Les données montrent que la température moyenne annuelle du pays a augmenté presque deux fois plus vite que la moyenne mondiale [24]. Cette tendance va probablement se poursuivre : les prévisions indiquent une augmentation de quatre à huit degrés Celsius d'ici la fin du 21^{ème} siècle [25].

Toutefois, les variations de températures diffèrent d'une région à l'autre, le nord du Canada étant le plus touché, comme le montrent les deux cartes ci-dessous. La première carte présente à l'échelle régionale l'écart entre les températures enregistrées en 2023 et la valeur de référence (période de 1961 à 1990), et la deuxième les tendances régionales des changements de température sur une période de 76 ans (1948-2023). Cette deuxième carte illustre bien le fait que la quasi-totalité du territoire canadien a connu une augmentation de la température d'au-moins 1 °C sur la période de 1948 à 2023.



Écarts des températures moyennes régionales par rapport à la valeur de référence pour la période de 1961 à 1990, Canada, 2023 [24]



Tendance régionale des changements de température, Canada, 1948 à 2023 [24]

Le réchauffement climatique a également un impact sur les précipitations, la glace de mer et la neige au Canada :

- Une hausse des précipitations annuelles moyennes a été observée entre 1948 et 2012, le Nord canadien ayant connu l'augmentation relative la plus élevée [26]. Les inondations pourraient être plus fréquentes et plus intenses, ce qui pourrait endommager les infrastructures et perturber la vie quotidienne.
- La glace de mer* dans l'Arctique canadien a diminué en moyenne de près de 7 % par décennie entre 1968 et 2015 [27]. Cette perte expose le littoral à davantage de vagues et d'ondes de tempêtes*, augmentant ainsi les risques d'érosion et d'inondation. Les déplacements et les activités des peuples autochtones et des communautés du nord sont également affectés.

* Glace de mer : toute forme de glace présente en mer et provenant de la congélation de l'eau de mer (UNTERM).

* Onde de tempête : hausse inhabituelle du niveau de la mer, généralement lorsque des vents forts poussent l'eau vers les terres (Gouvernement du Canada).

- Dans la majeure partie du pays, le nombre de jours de couverture neigeuse par année a diminué de 5 à 10 % par décennie pendant la plupart des années entre 1981 et 2015 [28]. Cette tendance a un impact sur la disponibilité en eau et les infrastructures. Dans le Nord canadien, les déplacements et l'accès aux sources de nourriture pourraient être perturbés.

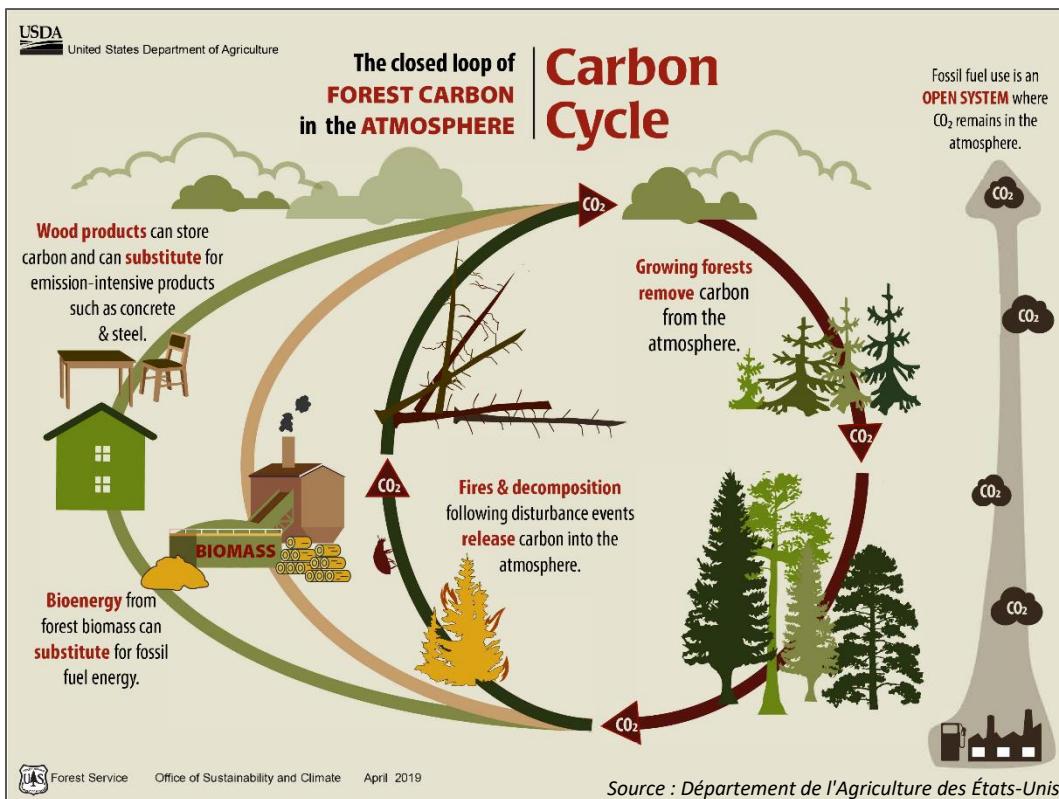
En termes de précipitations, les projections futures prévoient des variations positives ou négatives selon la région et la saison [26]. Quant à la glace de mer, elle va continuer à diminuer dans l'Arctique canadien [27], tout comme la couverture de neige dans la majeure partie du Canada [28].

Les forêts dans un climat changeant

Une forêt est un écosystème très complexe au sein duquel se déroulent de multiples interactions entre les espèces afin d'assurer son équilibre et sa dynamique. Avec le réchauffement climatique, couplé à l'utilisation des ressources forestières par l'Homme, cet équilibre est perturbé et fragilisé.

Les impacts du changement climatique sur les perturbations naturelles telles que les tempêtes, les sécheresses, les incendies ou les infestations d'insectes, constituent une menace croissante pour la santé des forêts [25,29,30]. Chacune de ces perturbations est un facteur de stress qui accroît la vulnérabilité de l'écosystème à des défis supplémentaires. Les interactions entre ces facteurs de stress peuvent amplifier leurs effets, entraînant ainsi des risques plus importants [29,30]. Les sécheresses, par exemple, peuvent rendre les forêts plus vulnérables aux incendies, lesquels, à leur tour, peuvent favoriser les infestations d'insectes qui attaquent les bois affaiblis par les flammes.

Le réchauffement climatique a des conséquences significatives sur les nombreux services que procurent les forêts : stockage du carbone, conservation des sols, protection de la ressource en eau, création d'habitats pour la biodiversité, contribution aux économies locale et mondiale, etc. Le stockage du carbone est l'un des services les plus importants puisque les arbres absorbent le dioxyde de carbone et le stockent. Cependant, la déstabilisation des écosystèmes forestiers pourrait compromettre cette fonction : au lieu de stocker du carbone, les forêts fragilisées pourraient, à l'inverse, émettre du dioxyde de carbone [29,30].



Cycle du carbone (en anglais seulement)

Les forêts ont la capacité de s'adapter à un changement climatique et de faire preuve de résilience. Néanmoins, compte tenu de la rapidité du changement climatique induit par l'homme, il n'est pas certain qu'elles puissent suivre le rythme et effectuer une transition vers des écosystèmes résilients, capables de maintenir leurs fonctions essentielles.

La gestion intelligente des lots boisés sur le plan climatique

Définition

Selon l’Institut européen des forêts, « la foresterie intelligente sur le plan climatique est une approche ou une stratégie ciblée visant à bénéficier de tous les avantages fournis par les forêts et du secteur forestier de manière à créer des synergies avec d’autres besoins liés aux forêts. L’approche est fondée sur trois piliers :

- La réduction et/ou la suppression des gaz à effet de serre pour atténuer le changement climatique ;
- L’adaptation de la gestion forestière pour mettre en place des forêts résilientes ;
- Une gestion forestière active visant à accroître la productivité de manière durable et à fournir tous les avantages que les forêts peuvent offrir. » [31]

En d’autres termes, la foresterie intelligente sur le plan climatique contribue au stockage du carbone, améliore la résilience des écosystèmes forestiers et soutient une productivité durable :



Piliers de la foresterie intelligente sur le plan climatique

La diversité, le facteur clé

Dans une approche forestière adaptée au climat, la diversité doit être au cœur de toute stratégie. Une forêt diversifiée, tant sur le plan des essences que des classes d'âge, est mieux équipée pour résister aux facteurs de stress environnementaux et s'adapter aux changements [32-34].



La diversité répartit les risques et protège le couvert forestier [32-34]. En cas de perturbations, tempêtes, maladies ou autres, une partie de la population d'arbres sera potentiellement touchée, tandis que l'autre demeurera préservée. Une variété d'essences forestières offre donc plus de chances de survie à l'écosystème, contribuant ainsi à sa résilience. À l'inverse, une forêt peu diversifiée est plus vulnérable. L'écosystème sera considérablement fragilisé si l'espèce dominante est exposée à un facteur de stress spécifique, comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette, insecte défoliateur qui cible principalement les sapins baumiers et les épinettes blanches, ou encore la maladie hollandaise de l'orme, qui nuit aux populations d'ormes et cause la mort des arbres touchés.

La diversité joue également un rôle crucial dans la valorisation de la biodiversité [32,33]. Une forêt diversifiée abrite une faune variée et une plus grande variété d'espèces fongiques. Cette richesse écologique est essentielle au maintien de l'équilibre de l'écosystème.

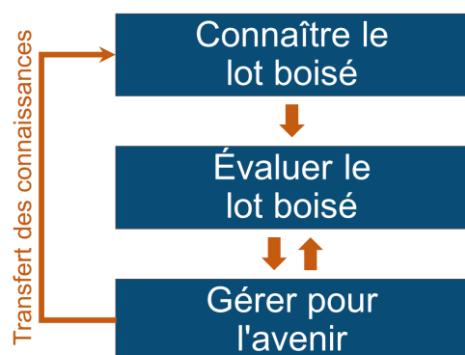
Quant au stockage du carbone, des études récentes suggèrent que la diversité présente des avantages considérables. Une étude publiée en 2023 souligne que « la conservation et la promotion de forêts abritant une diversité fonctionnelle pourraient favoriser le stockage du carbone et de l'azote dans le sol, améliorant à la fois la capacité des puits de carbone et la fertilité azotée du sol » [35]. Une autre étude, également

publiée en 2023, révèle que des forêts plantées de façon diversifiée stockent plus de carbone que des monocultures [36].

D'un point de vue économique, la diversité réduit les pertes en cas d'événements climatiques majeurs [33]. Elle offre également une certaine marge de manœuvre commerciale étant donné que les essences prisées aujourd'hui pourraient ne plus l'être d'ici la fin du siècle. Les espèces résilientes pourraient être de plus en plus recherchées, alors que les espèces vulnérables verraient peut-être leur valeur diminuer à mesure que les conditions climatiques évoluent.

Pour conclure, la diversité est un facteur clé qui contribue à la résilience des écosystèmes forestiers, tant sur le plan écologique qu'économique.

Le processus



Connaître le lot boisé est le point de départ d'un processus de gestion intelligente sur le plan climatique. Il est important que tout propriétaire prenne le temps d'identifier le type de forêt et de site ainsi que les essences présentes dans le lot boisé et de comprendre comment ce dernier va évoluer en réponse au changement climatique. Cette phase du processus aidera dans le choix d'un ou plusieurs objectifs de gestion pour le lot boisé. Une fois ces éléments identifiés, une évaluation du site pourra être effectuée afin de déterminer le potentiel du lot boisé et les risques qui lui sont associés. Cette étape permet aussi de fixer des priorités de gestion adaptées. Un plan de gestion intelligente sur le plan climatique peut ensuite être défini pour gérer le lot boisé pour l'avenir, améliorant ainsi sa résilience au changement climatique et valorisant une utilisation durable des ressources.

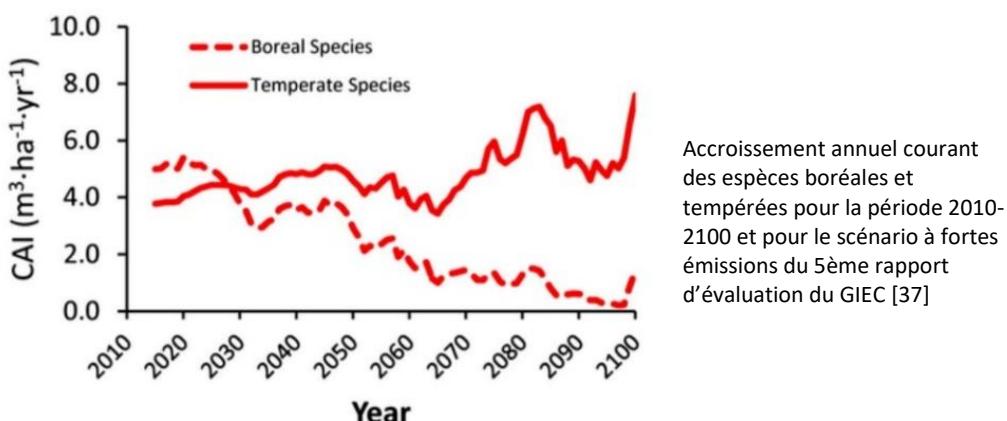
Les deux dernières étapes de ce processus doivent se faire de manière continue. Au bout de quelques années, tout propriétaire se doit de réévaluer son lot boisé et d'adapter le plan de gestion en fonction de l'évolution du site et de ses objectifs de gestion, ainsi que des nouveaux défis environnementaux.

Quand vient le temps de céder le lot boisé à la nouvelle génération, il est essentiel de transférer l'ensemble des connaissances pour garantir une continuité du processus et donc une durabilité à long terme du lot boisé.

La forêt Wabanaki-Acadienne : comprendre le changement

Bien que la diversité soit le facteur clé dans le cadre d'une gestion intelligente sur le plan climatique, savoir quelles espèces conserver et lesquelles enlever est important étant donné que certaines d'entre elles vont mieux s'adapter au changement climatique que d'autres. Une connaissance des espèces d'arbres de la forêt Wabanaki-Acadienne et de leur capacité à prospérer dans un climat changeant s'impose donc, afin que soient prises des décisions appropriées.

De manière générale, les espèces boréales adaptées aux climats froids, comme le sapin baumier, devraient perdre en compétitivité et en abondance, contrairement aux espèces tempérées, comme le chêne rouge, qui devraient bénéficier des températures croissantes. Le graphique ci-dessous, présentant l'accroissement annuel courant* (croissance) projeté des espèces boréales et tempérées d'ici la fin du 21^{ème} siècle, illustre cette tendance :



* Accroissement annuel courant : augmentation en volume d'une année à l'autre (Office québécois de la langue française).

Selon une analyse documentaire qui permet de mieux appréhender les impacts potentiels sur la forêt Wabanaki-Acadienne, « il se dégage un certain consensus des résultats de trois études récentes ayant pour objet la résilience de ce type de forêt, et des espèces qui la constituent, aux effets du changement climatique : on prévoit que neuf espèces seulement survivront à long terme (2011-2100) : la pruche de l'Est, le thuya occidental, l'érable rouge, le chêne rouge, l'épinette rouge, l'érable à sucre, le frêne blanc, le pin blanc et le bouleau jaune. Parmi ces espèces, quatre seulement connaîtront probablement une augmentation de leur nombre et de leur distribution, soit l'érable rouge, le chêne rouge, le frêne blanc et le pin blanc. » [38]



« Quatorze autres espèces ont été retenues par un ou deux des projets de recherche (mais pas les trois) comme ayant une résilience moyenne à élevée au changement climatique : le hêtre à grandes feuilles, le sorbier d'Amérique, le peuplier baumier, le cerisier tardif, le chêne à gros fruits, le noyer cendré, l'ostryer de Virginie, l'érable à épis, le bouleau à feuilles cordées, le cerisier de Pennsylvanie, l'amélanchier, l'érable argenté, le bois barré et l'orme d'Amérique. » [38]

Il est important de noter que la forêt Wabanaki-Acadienne s'étale sur plus de 100 000 km² dans l'est du Canada. Les conditions environnementales n'étant pas les mêmes d'une région à l'autre, la faculté d'adaptation d'une essence aux futures variations climatiques dépend de sa localisation. Il convient aussi

de mentionner l'impact d'insectes et de pathogènes. Des espèces capables de prospérer dans un climat changeant pourraient voir leur capacité réduite en raison d'insectes ravageurs ou de maladies, à l'instar du noyer cendré affecté par le chancre du noyer cendré, ou du frêne blanc touché par l'agrile du frêne. Pour finir, n'oublions pas la compétition entre les espèces au sein d'un écosystème. L'une des études suggère qu'une forte compétition du hêtre à grandes feuilles et de l'érable rouge pourrait expliquer la plus faible résilience de l'érable à sucre [37].

L'évaluation du lot boisé

Une évaluation approfondie d'un lot boisé par un forestier est une étape indispensable dans un processus de gestion intelligente sur le plan climatique. D'une part, cela permet d'estimer la valeur du lot boisé et, d'autre part, d'anticiper son évolution face aux défis environnementaux à venir. Cette évaluation guidera les stratégies à adopter, en vue d'améliorer la résilience de l'écosystème et de minimiser les risques liés au changement climatique, tout en optimisant sa valeur économique.

Au cours de l'évaluation d'un lot boisé, il est prioritaire d'examiner la composition forestière du peuplement. Les espèces présentes doivent être recensées et le volume de bois estimé. Cette étape permettra de déterminer le type du peuplement forestier et d'évaluer son potentiel face aux enjeux du changement climatique. À titre d'exemple, un peuplement dominé par des sapins baumiers présenterait à long terme des défis plus importants, comparé à un peuplement mixte de feuillus.

Il est ensuite important d'évaluer le sol forestier étant donné qu'il soutient l'activité biologique de l'écosystème et est déterminant pour la croissance des arbres. L'analyse de ses caractéristiques (ex. texture, structure, épaisseur) fournira des informations sur ses propriétés, telles que sa fertilité ou sa capacité de rétention de l'eau. Qu'il soit pauvre ou riche en nutriments, argileux ou sableux, le sol forestier va témoigner du potentiel et des fragilités de l'écosystème forestier et donner une indication sur sa productivité.

Une forêt étant exposée à diverses perturbations le long de sa vie, l'évaluation d'un lot boisé doit également inclure une évaluation des risques. Ces facteurs, tant abiotiques* (ex. vent, feux de forêts) que biotiques* (ex. insectes ravageurs), jouent un rôle important dans la dynamique d'une forêt. Cependant, dans un contexte de réchauffement climatique, chacun représente un risque croissant pouvant perturber

de manière significative l'équilibre de l'écosystème. Évaluer ces risques est donc crucial pour appréhender la vulnérabilité du lot boisé et définir un plan de gestion adapté.

* Abiotique : relatif à un écosystème dont la vie est absente (UNTERM).

* Biotique : relatif aux éléments vivants d'un écosystème en opposition aux éléments physiques et chimiques abiotiques (UNTERM).

Ci-dessous, les principaux risques qui ont un impact sur les écosystèmes forestiers :

- Vents violents [39-42]

Au fur et à mesure de sa croissance, un arbre s'adapte et développe une résistance aux vents dominants. Toutefois, cette résistance n'est pas sans limites. Lorsqu'il est exposé à des rafales violentes, il peut être déraciné ou cassé. Ce type de dommage, appelé chablis, constitue une menace pour la stabilité des écosystèmes forestiers.



La vulnérabilité aux chablis dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- Le contexte géographique et topographique : les rafales varient en fonction de la position géographique et de la topographie du site. Les vents étant généralement plus intenses en montagne ou près des côtes, les forêts sont exposées à des risques plus élevés dans de tels milieux.

- Le sol forestier : le type de sol, sa profondeur et son drainage ont un impact sur la stabilité des arbres. Par exemple, un peuplement sur un sol gorgé d'eau ou sablonneux est plus vulnérable aux chablis.
- L'espèce d'arbre : l'ancrage racinaire d'une essence joue un rôle dans sa capacité à résister aux vents. Les espèces avec un enracinement superficiel sont plus à risque que celles dont les racines sont profondément ancrées.
- Les éclaircies : toute intervention qui crée des ouvertures dans un lot boisé fragilise temporairement le peuplement, augmentant les risques de dommages en cas de vents violents.
- Tassement du sol forestier [43-47]

Exposé à des contraintes mécaniques dues à des engins lourds par exemple, un sol forestier est soumis à des pressions qui entraînent une perte de porosité. Ce phénomène, connu sous le nom de tassement (ou compaction), en entravant la bonne pénétration de l'eau et de l'air, nuit au bon développement des racines et réduit la disponibilité des nutriments.

La sensibilité d'un sol au tassement dépend de ses caractéristiques. Les sols sableux, par exemple, sont moins sensibles au tassement que les sols limoneux. La présence de cailloux ou d'éléments grossiers permet aussi d'absorber une partie des contraintes et de minimiser le risque. L'humidité est un autre facteur important. Les sols humides se déforment plus facilement que les sols secs, ce qui les rend plus vulnérables au tassement.



© Diane Fargialla, 2024

Il convient de noter que la régénération naturelle d'un sol tassé est un processus lent, et une intervention humaine pour réduire le tassemement peut être coûteuse. Par conséquent, prévenir les dommages supplémentaires grâce aux meilleures pratiques de gestion est une approche plus efficace.

- Feux de forêts [48-52]



Bien que les feux de forêts soient essentiels à la régénération de certains écosystèmes forestiers, ils constituent une menace croissante liée au réchauffement climatique. Alimentés par des températures plus élevées et des périodes de sécheresse plus sévères, les feux de forêts sont de plus en plus

fréquents, intenses et étendus, et leur saison est plus longue. Ils sont plus difficiles à maîtriser et les dégâts causés se multiplient. Une étude publiée en 2024 révèle que la fréquence mondiale des feux de forêts extrêmes a plus que doublé sur une période de 21 ans (2003-2023) [49].

Cette tendance se confirme au Canada, où la température augmente deux fois plus vite que la moyenne mondiale. La saison 2023 a été l'une des plus destructrices jamais enregistrées, avec plus de 7000 incendies qui ont ravagé plus de 17 millions d'hectares [50]. Au Nouveau-Brunswick, la superficie brûlée cette année (854 hectares) a presque doublé par rapport à la moyenne sur dix ans de 454 hectares [50].

Certains écosystèmes forestiers sont plus vulnérables que d'autres aux feux de forêts et la composition forestière du peuplement en est le facteur déterminant. Les résineux, ou conifères, sont en effet plus sensibles aux feux que les feuillus. Ils sont plus inflammables en raison de leur bois moins dense et de la présence d'aiguilles. Leur combustion est donc plus rapide, ce qui peut entraîner des feux intenses et plus violents. En revanche, les feuillus, au bois plus dense et aux feuilles humides, résistent mieux aux incendies. Ils ont la capacité de ralentir la propagation du feu.

- Insectes et maladies [53-55]



Source : Gouvernement de l'Ontario

Maladie corticale du hêtre



© D.B. Lyons, RNCAN

Arbres urbains infestés par l'agrile du frêne

Insectes et pathogènes jouent un rôle important dans l'équilibre d'un écosystème forestier en contribuant, entre autres, à la dynamique des populations d'arbres et à la décomposition des végétaux morts. Cependant, le changement climatique fait basculer cet équilibre écologique et transforme ces organismes en éléments perturbateurs. La situation est d'autant plus préoccupante si elle implique des insectes ou des pathogènes exotiques. Les nouvelles conditions climatiques pourraient rendre les forêts canadiennes plus favorables à un plus grand nombre d'espèces envahissantes.

Les insectes et les maladies n'affectent pas les essences hôtes de la même manière. Les conséquences peuvent varier, allant d'une altération légère de l'apparence de l'arbre à sa mort. Les peuplements forestiers où dominent des espèces à risque, susceptibles de subir des dommages graves et irréversibles, sont les plus vulnérables.

Le tableau suivant présente les principaux insectes ravageurs et maladies présents dans la forêt Wabanaki-Acadienne.

Insecte / Maladie	Origine	Espèces d'arbres affectées
Tordeuse des bourgeons de l'épinette 	Indigène	Sapin baumier et espèces d'épinettes * D'autres conifères peuvent être affectés en cas de graves infestations
Agrile du frêne 	Exotique	Espèces de frênes
Puceron lanigère de la pruche 	Exotique	Pruche du Canada
Maladie corticale du hêtre 	Exotique	Hêtre à grandes feuilles
Chancre du noyer cendré 	Inconnu	Noyer cendré
Maladie hollandaise de l'orme 	Exotique	Orme d'Amérique

Pour conclure, l'évaluation d'un lot boisé nécessite une approche globale prenant en compte une série de facteurs. La tâche est certes complexe mais importante pour établir un plan de gestion adapté comprenant une description du peuplement ainsi que des recommandations. Dans le cadre d'une gestion intelligente sur le plan climatique, ces recommandations visent à préserver la résilience de l'écosystème forestier sur le long terme.

La gestion à long terme

Après avoir établi un plan de gestion, tout propriétaire de lot boisé peut confier l'exécution des actions sur le terrain à des entrepreneurs qualifiés. Ces experts mettront en œuvre les interventions nécessaires, tout en respectant les bonnes pratiques forestières. Une fois le travail terminé, le propriétaire doit procéder à un contrôle régulier du lot boisé, afin de s'assurer que la santé de l'écosystème est préservée. En cas de signes préoccupants, il est conseillé de contacter un professionnel pour identifier le problème et déterminer les mesures appropriées à prendre.

Une réévaluation du lot boisé au bout de quelques années doit par la suite être intégrée au processus de gestion. Cette étape est requise pour évaluer l'évolution du lot boisé et adapter le plan de gestion en fonction des nouvelles observations. Cette phase d'adaptation doit également prendre en compte les objectifs du propriétaire, qui auront potentiellement changé, ainsi que les dernières informations scientifiques en matière de gestion forestière adaptée au climat. Il est d'ailleurs vivement recommandé que tout propriétaire se tienne informé en prenant régulièrement connaissance des préoccupations forestières du moment.

En résumé, le maintien d'un lot boisé résilient au changement climatique repose sur un suivi et une capacité d'adaptation continu. La gestion doit être tant proactive que réactive pour répondre efficacement aux défis environnementaux.

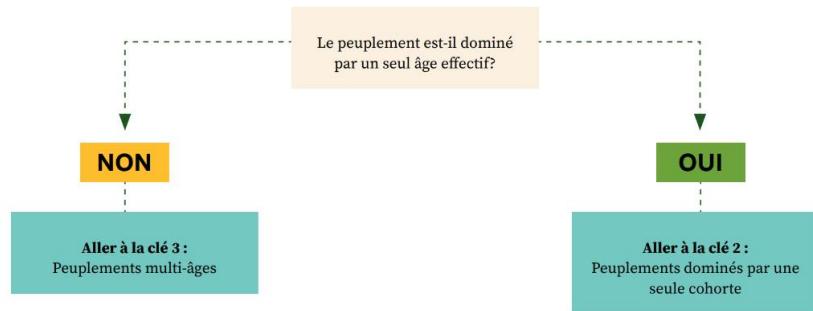
[**L'outil de décision de prescription de sylviculture adaptative au changement climatique**](#)

L'outil de décision de prescription de sylviculture adaptative au changement climatique permet à son utilisateur d'évaluer globalement un lot boisé au sein de la forêt Wabanaki-Acadienne et d'obtenir une suggestion de traitement sylvicole dans le but de favoriser la résilience de l'écosystème forestier au changement climatique, ainsi que le stockage du carbone. Cet outil a été développé par Gareth Davies (FT, CLP, écologue forestier, sylviculteur) avec la contribution de Megan de Graaf (MScF, Community Forests International) dans le cadre du projet *Votre forêt dans un climat changeant* (BRACE), mené par la Fédération des Propriétaires de Lots Boisés du Nouveau-Brunswick.

Cet outil se présente sous la forme d'un arbre de décision, un diagramme visuel qui guide l'utilisateur à travers une série de choix. Plus précisément, il pose une suite de questions auxquelles il faut répondre par « oui » ou par « non ». En fonction de la réponse, il oriente l'utilisateur vers la question suivante et ainsi de suite. À la fin du processus, un traitement sylvicole est suggéré.

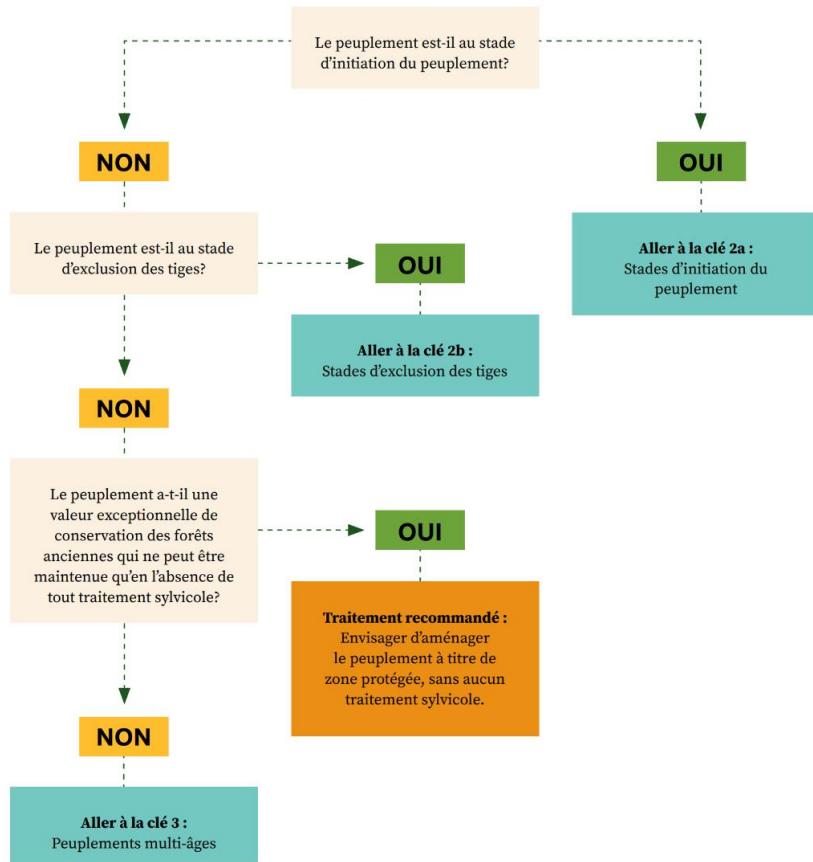
CLÉ 1

Structure de l'âge du peuplement



CLÉ 2

Peuplements dominés par une seule cohorte



Clés 1 et 2 de l'outil de décision de prescription de sylviculture adaptative au changement climatique [56]

L'outil de décision de prescription de sylviculture adaptative au changement climatique incite son utilisateur à observer un lot boisé sous différents angles et à mieux appréhender certains facteurs à prendre en compte pour définir un plan de gestion. Cela dit, cet outil ne remplace pas une évaluation approfondie effectuée par un professionnel. Il a été conçu pour guider les propriétaires de lots boisés et les aider dans leur démarche de gestion intelligente sur le plan climatique.

Qui contacter

Vous n'êtes pas tout seul ! Les professionnels dans le secteur forestier sont nombreux et ils sont prêts à vous accompagner dans votre démarche. Pour savoir à qui s'adresser, n'hésitez pas à contacter la Fédération des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick (FPLBNB).

La FPLBNB collabore avec les ministères, les offices de commercialisation des produits forestiers, ainsi que d'autres organisations. La Fédération peut donc vous guider. Un coup de fil ou un courriel électronique vous suffit pour établir un contact.



506-459-2990



info@nbwoodlotowners.ca

Conclusion

Il est crucial de prendre conscience que le climat de la Terre suit une trajectoire préoccupante. La température à la surface du globe augmente et les événements climatiques extrêmes se multiplient. Cette évolution rapide vers un climat plus chaud représente un danger majeur, tant pour l'humanité que pour la biodiversité et l'ensemble des écosystèmes de la planète.

Les forêts sont des écosystèmes essentiels qui offrent de nombreux services et jouent un rôle capital dans la lutte contre le changement climatique. Cependant, leur capacité à remplir ces fonctions est fortement compromise. Le temps dont elles disposent pour s'adapter naturellement à ce climat changeant est très court, et il n'est pas certain qu'elles soient suffisamment résilientes pour maintenir leur équilibre écologique dans les années à venir.

Nous devons donc agir. Nous devons minimiser les impacts négatifs du réchauffement climatique sur les forêts, notamment sur la forêt Wabanaki-Acadienne dans les Maritimes. Cet écosystème forestier, très riche en biodiversité, est d'une valeur inestimable pour les communautés humaines qui en dépendent. Il est par conséquent essentiel d'anticiper et d'atténuer les risques à venir. Pour ce faire, promouvoir un écosystème mixte avec des classes d'âges variées est une priorité. En mettant en place des stratégies appropriées et en utilisant les connaissances et les outils dont nous disposons, nous pouvons renforcer la résilience de cet écosystème et assurer sa stabilité écologique.

Le changement climatique est certes une réalité à laquelle nous n'échapperons pas, mais nous avons les clés pour aider la forêt Wabanaki-Acadienne à faire face aux défis environnementaux. Le mot d'ordre : diversité !

Références

1. [Classification des forêts.](#) *Ressources Naturelles Canada.*
2. [What is the Wabanaki Forest?](#). *The Nashwaak Watershed Association.*
3. Amirault J., 2021. [Wabanaki-Acadian Forest: History, Species, and Biodiversity](#). *Woodland Woman.*
4. Ardelean C., 2014. The Early Prehistory of the Americas and the Human Peopling of the Western Hemisphere. An Overview of Archaeological Data, Hypotheses and Models. En *Studii de Preistorie*, 11: 33-95.
5. R. J. Mott, 1975. Palynological Studies of Lake Sediment Profiles from Southwestern New Brunswick. *Canadian Journal of Earth Sciences.* 12(2): 273-288. <https://doi.org/10.1139/e75-024>
6. Loo J. et Ives N., 2003. The Acadian forest: historical condition and human impacts. *For. Chron.* 79(3): 462–474. <https://doi.org/10.5558/tfc79462-3>
7. Noseworthy J. et Beckley TM., 2020. Borealization of the New England – Acadian Forest: a review of the evidence. *Environmental Reviews.* 28(3): 284-293. <https://doi.org/10.1139/er-2019-0068>
8. GIEC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, et B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, USA, 2391 pp. DOI : [10.1017/9781009157896](https://doi.org/10.1017/9781009157896).
9. [The Milankovitch Cycles.](#) *Climate Change & Nature: New Zealand.*
10. [What causes the Earth's climate to change?](#). *British Geological Survey.*

11. [Causes of Climate Change](#). *U.S. Environmental Protection Agency*.
12. Vinós J., 2024. [How we know that the sun changes the Climate. Part I: The past](#). *Climate Etc.*
13. [What Are Proxy Data?](#). *National Oceanic and Atmospheric Administration*.
14. Judd E.J. et al., 2024. A 485-million-year history of Earth's surface temperature. *Science* 385, eadk3705. DOI : [10.1126/science.adk3705](https://doi.org/10.1126/science.adk3705)
15. [Global warming](#). *NASA*.
16. [L'effet de serre : un phénomène naturel](#). *Climat.be*.
17. [Global Climate Report](#). *National Oceanic and Atmospheric Administration*.
18. [About the IPCC](#). *IPCC*.
19. [Aperçu du CMIP6 et des profils socioéconomiques partagés](#). *Gouvernement du Canada*.
20. Hausfather Z., 2018. [Explainer: How 'Shared Socioeconomic Pathways' explore future climate change](#). *Carbon Brief*.
21. [Climate change impacts](#). *National Oceanic and Atmospheric Administration*.
22. [Causes du changement climatique](#). *Nation Unies*.
23. [Conséquences du changement climatique](#). *Commission européenne*.
24. [Changements de la température au Canada](#). *Gouvernement du Canada*.
25. [Effets des changements climatiques sur les forêts](#). *Ressources Naturelles Canada*.

26. [Changements dans les précipitations](#). *Gouvernement du Canada*.
27. [Changements dans la glace de mer](#). *Gouvernement du Canada*.
28. [Changements dans la neige](#). *Gouvernement du Canada*.
29. [Climate Change Impacts on Forests](#). *U.S. Environmental Protection Agency*.
30. [Forest-Based Climate Solutions](#). *The Forest Center of Northwest Massachusetts*.
31. [Climate-Smart Forestry](#). *Institut européen des forêts*.
32. [Célébrer la Diversité : Quatre Aspects qui font que les Forêts sont Naturellement Diverses. Arbres Canada](#).
33. Creimer D., 2023. [Encourager la diversité en forêt, c'est encourager sa résilience!](#). *Société pour la nature et les parcs*.
34. [Call for a diverse national forest](#). *Auckland University of Technology*.
35. Chen X. L., Taylor A. R., Reich P. B., Hisano M., Chen H. Y. H. et Chang S. X., 2023. Tree diversity increases decadal forest soil carbon and nitrogen accrual. *Nature*, 618, 94–101. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05941-9>
36. Warner E., Cook-Patton S.C., Lewis O.T., Brown N., Koricheva J., Eisenhauer N., Ferlian O., Gravel D., Hall J.S., Jactel H., Mayoral C., Meredieu C., Messier C., Paquette A., Parker W.C., Potvin C., Reich P.B. et Hector A., 2023. Young mixed planted forests store more carbon than monocultures—a meta-analysis. *Front. For. Glob. Change* 6, 1226514. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1226514>
37. Taylor A.R., Boulanger Y., Price D.T., Cyr D., McGarrigle E., Rammer W. et Kershaw J.A., 2017. Rapid 21st century climate change projected to shift composition and growth of Canada's Acadian Forest Region. *Forest Ecology & Management*. 405: 284–294. DOI : [10.1016/j.foreco.2017.07.033](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.033)

38. De Graaf M., 2018. [Résilience au changement climatique dans la forêt acadienne : analyse documentaire](#). *Community Forests International*.
39. Bunce A., 2017. [Wind and Trees 101: To Touch a Tree](#). *Université du Connecticut*.
40. [Fiche technique N°140 : La forêt face au vent](#). *Centre Régional de la Propriété Forestière de Normandie*.
41. [Windthrow](#). *Forest Research*.
42. [Managing wind risk in forests](#). *Scion*.
43. Helgerson O.T. et Miller R.E., 2008. Keeping your forest soils healthy and productive. Washington State University Extension. EB2019. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/30437>
44. [Le sol forestier : élément clé pour le choix des essences et la gestion durable](#). *Centre National de la Propriété Forestière*.
45. [Les sols forestiers : mieux les connaître pour mieux les préserver](#). *Zimmer : l'expertise forestière*.
46. [Fiche technique N°141 : Le tassemement des sols](#). *Centre Régional de la Propriété Forestière de Normandie*.
47. [Préserver les sols forestiers lors des récoltes de bois](#). *Centre Régional de la Propriété Forestière Nord-Pas-de-Calais Picardie*.
48. [Wildfires and Climate Change](#). *NASA*.
49. Cunningham C. X., Williamson G. J. et Bowman D. M. J. S., 2024. Increasing frequency and intensity of the most extreme wildfires on Earth. *Nature Ecology & Evolution*, 8(8), 1420–1425. <https://www.nature.com/articles/s41559-024-02452-2>

50. [Canada Report: 2023 Fire Season](#). *Centre Interservices des Feux de Forêts du Canada*.
51. [Feux de forêt et biodiversité](#). *France Nature Environnement Bretagne*.
52. [Effects of weather, topography and fuels on fire behavior](#). *Government of Nova Scotia*.
53. [Les ravageurs forestiers et changements climatiques](#). *Climate Atlas of Canada*.
54. [Répercussions sur les écosystèmes forestiers](#). *Ressources Naturelles Canada*.
55. [Compte rendu de la situation relative aux ravageurs forestiers en 2023](#). *Gouvernement du Nouveau-Brunswick*.
56. Davies G. avec l'apport de De Graaf M., 2022. [L'aménagement forestier en face des changements climatiques](#). *Fédération des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick*.