

# Caractérisation de la présence des insectes ravageurs dans le contexte de changements climatiques au Québec

Projet pilote en forêt tempérée et boréale

Décembre 2024



# Caractérisation de la présence des insectes ravageurs dans le contexte de changements climatiques au Québec

## Gestionnaire responsable

Jean Girard, ing.f., M.Sc., Directeur du calcul et des analyses

## Coordination

Jean-François Carle, ing.f., M.Sc.

Lorena Balducci, Ph.D.

## Analyses et rédaction

Lorena Balducci, Ph.D.

Helin Dura., ing.f., M.Sc.

## Collaboration

Francesca Houde, ing.f.

Stephen Yamasaki, Ph.D.

Roxanne Tremblay, M.Sc.

Frédérique Saucier, ing.f., M.Sc.

## Révision

Jean Girard, ing.f., M.Sc.

Jean-François Carle, ing.f., M.Sc.

Lucie Bertrand, ing.f., Ph.D.

## Approbation

Louis Pelletier, ing.f., Forestier en chef

## Référence

Forestier en chef, 2024. Caractérisation de la présence des insectes ravageurs dans le contexte de changements climatiques au Québec – Projet pilote en forêt tempérée et boréale, Roberval, Québec, 36 pages.

**Crédit photo :** Service canadien des forêts et Agence canadienne d'inspection des aliments

Le 10 décembre 2024

## Forestier en chef

845, Boulevard Saint-Joseph

Roberval (Québec) G8H 2L6

Téléphone : 418 275 7770

Courriel : [bureau@fec.gouv.qc.ca](mailto:bureau@fec.gouv.qc.ca)

Internet : [www.forestierenchef.gouv.qc.ca](http://www.forestierenchef.gouv.qc.ca)





## Table des matières

Contexte .....	5
Matériel et méthode .....	5
Résultats.....	8
Préoccupations liées à la mortalité .....	8
Tordeuse des bourgeons de l'épinette .....	8
Spongieuse.....	9
Arpenteuse de la pruche .....	10
Cochenille du hêtre.....	11
Préoccupations liées à la perte de productivité.....	12
Livrée des forêts .....	12
Dendroctone de l'épinette .....	13
Perceur de l'érable.....	14
Tordeuse du tremble.....	15
Tordeuse du pin gris .....	16
Préoccupations liées aux insectes exotiques.....	17
Agrile du frêne .....	17
Dendroctone du pin ponderosa.....	18
Dendroctone méridional du pin .....	19
Longicorne asiatique.....	20
Fulgore tacheté.....	21
Puceron lanigère de la pruche .....	22
Diprion européen de l'épinette .....	23
Préoccupations liées aux plantations.....	24
Aphrophore du pin .....	24
Charançon du pin .....	25
Charançon du pin blanc .....	26
Diprion de Leconte.....	27
Nodulier du pin gris.....	28
Tenthrede à tête jaune.....	29
Constats .....	30
Limitations et mises en garde.....	31
Implications et étapes suivantes .....	31
Remerciements.....	31
Références .....	32
Annexe 1 .....	34



## Contexte

Les épidémies d'insectes ravageurs sont parmi les perturbations naturelles les plus importantes qui affectent les forêts du Québec, tant en forêt naturelle qu'en plantation. Les populations d'insectes ravageurs sont influencées par des conditions climatiques (température et précipitations) qui favorisent leur synchronie spatiale sur de grandes distances. Bien que la dispersion des insectes soit un facteur important, les conditions climatiques demeurent le facteur prédominant, expliquant en grande partie la dynamique de leurs populations. Un environnement favorable à un insecte inclut non seulement la présence d'une source adéquate d'arbres hôtes, mais aussi un climat propice à son cycle de vie (reproduction, survie, croissance). Il est donc essentiel d'identifier les conditions environnementales favorables aux insectes ravageurs afin d'anticiper les menaces potentielles sur la santé et la productivité des forêts du Québec.

Dans le même ordre d'idées, l'impact des conditions climatiques sur le comportement des populations d'insectes est déjà perceptible. De nouveaux insectes s'approchent des frontières forestières du Québec et pourraient devenir un problème majeur si leur capacité d'adaptation leur permet de dominer le paysage. Par ailleurs, les changements climatiques pourraient permettre à des insectes ravageurs indigènes aux forêts du Québec de coloniser des régions autrefois inaccessibles, en raison de conditions climatiques de plus en plus favorables.

Cette étude préliminaire vise principalement à acquérir des connaissances sur les insectes ravageurs présents au Québec ou susceptibles de s'y établir et de causer des dommages dans le futur. Les objectifs spécifiques sont de caractériser l'évolution de leur présence au fil du temps et, par conséquent, d'évaluer l'exposition et la vulnérabilité de la forêt dans le contexte des changements climatiques. Par ailleurs, les analyses présentées ne tiennent pas compte de l'évolution de la composition forestière. Elles sont plutôt basées sur une projection figée dans le temps de la carte écoforestière selon les conditions climatiques du climat historique de référence (1980-2010). Or, dans le cadre du scénario climatique choisi (RCP 4,5), cette composition pourrait également évoluer. Dans ce contexte, l'enveloppe climatique de l'insecte pourrait varier et de nouvelles conclusions pourraient en découler.

## Matériel et méthode

Une revue de la littérature sur les insectes ravageurs a été réalisée à partir de divers ouvrages, rapports et guides (par exemple, *Insectes des arbres du Québec*, *Le Guide sylvicole du Québec* et les rapports annuels sur les insectes et les maladies de la *Direction de la protection des forêts*), ainsi que les sites Internet d'institutions reconnues dans le domaine de l'entomologie forestière (*Agence canadienne d'inspection des aliments* et *Ressources Naturelles Canada*). Cette revue de la littérature inclut également plusieurs articles scientifiques pour assurer un suivi du renouvellement de l'information.

L'identification des insectes a été réalisée en deux étapes. La première sélection visait à classer la présence des insectes selon des critères géographiques :

1. Les insectes ayant le potentiel d'atteindre le Québec et considérés comme des ravageurs envahissants
2. Les insectes déjà présents au Québec et bien établis
3. Les insectes présents au Québec et dont la répartition et l'impact pourraient être amplifiés par les changements climatiques.

La seconde sélection a concerné les insectes présents au Québec en fonction au type de préoccupation associé à la nature de l'impact. Cette étape a permis de définir quatre catégories d'insectes ravageurs, selon le type de dommage causé :

1. Mortalité





2. Perte de productivité
3. Insectes exotiques envahisseurs
4. Perte de rendement en plantation

Les insectes sont présentés en les regroupant selon la nature de leur impact sur la forêt.

La distribution spatiale de l'enveloppe climatique de chaque insecte a été générée à l'aide du MaxEnt<sup>1</sup>, une méthode d'apprentissage profond (*machine learning*). Cette approche permet de cartographier les zones où les conditions sont favorables à l'établissement de chaque insecte. Les données utilisées pour effectuer les travaux de modélisation ont été fournies par le Service Canadien des Forêts de Sault St-Marie, en Ontario.

L'estimation de la probabilité d'occurrence des insectes ainsi que l'exposition et la vulnérabilité des forêts ont été réalisées en tenant compte du climat historique de référence (1971-2000) et d'un scénario modéré de réchauffement global de 2,5 °C d'ici 2100 (RCP 4.5). Cette analyse couvre trois périodes : 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100.

Dans le contexte des travaux effectués, certains termes techniques sont définis comme suit :

- ▶ **Probabilité d'occurrence MaxEnt** : représente la probabilité qu'un polygone forestier soit favorable à l'établissement d'un insecte en fonction des conditions climatiques. Elle varie entre 0 (climat non favorable) et 1 (conditions idéales).
- ▶ **Exposition** : désigne la coïncidence spatiale entre les zones favorables aux insectes et la présence d'essences d'arbres hôtes susceptibles d'être affectés.
- ▶ **Vulnérabilité** : correspond à la sensibilité des essences d'arbres aux effets négatifs des insectes ravageurs, influencée par leurs caractéristiques spécifiques. Par exemple, certaines essences d'arbres sont vulnérables lorsqu'ils sont présents dans une plantation, mais pas lorsqu'ils se trouvent en forêt naturelle.

Deux seuils de probabilités ont été utilisés :

- ▶ **MaxEnt > 0,2** : correspond à une probabilité minimale de 20 %, au-delà de laquelle l'insecte est connu pour être présent.
- ▶ **MaxEnt > 0,5** : indique au moins 50 % de probabilité d'un climat de haute qualité.

L'analyse spatiale, le calcul des superficies et la création des cartes ont été réalisés avec ArcGIS Pro à partir de la carte écoforestière du Québec méridional mise à jour en juin 2024 par la Direction des inventaires forestiers.

Une représentation graphique de la superficie (Mha) de la forêt exposée à l'insecte a également été effectuée. Les niveaux de probabilités d'occurrence sont définis comme suit :

- ▶ Probabilité d'occurrence faible :  $0 < \text{MaxEnt} < 0,5$
- ▶ Probabilité d'occurrence moyenne :  $0,5 \leq \text{MaxEnt} \leq 0,7$
- ▶ Probabilité d'occurrence forte :  $\text{MaxEnt} > 0,7$

Il est important de noter que le niveau de probabilité d'occurrence d'un insecte, mesuré par la probabilité d'habitat favorable, n'est pas nécessairement lié à l'intensité du ravage causé. Le degré de dommage dépend plutôt du comportement spécifique de chaque insecte ainsi que de la réponse des arbres hôtes face à cet impact. Par conséquent, même si une zone présente une probabilité élevée d'occurrence de l'insecte, cela ne garantit pas que le ravage sera proportionnellement important, car d'autres facteurs, comme la résistance des arbres ou la dynamique des populations d'insectes, peuvent influencer l'ampleur des dommages.

<sup>1</sup>Phillips, S. J., and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161–175.



Un calcul du taux d'évolution de la probabilité d'occurrence selon les catégories faible, moyenne et forte, ainsi que selon la probabilité d'avoir au moins 50 % de probabilité d'un climat de haute qualité (moyenne et forte) a permis d'estimer la tendance des superficies forestières à être exposées aux insectes ravageurs présentés dans ce rapport. Ce calcul se fait relativement à la valeur initiale, par niveau de probabilité d'occurrence (faible, moyenne, forte).

$$\frac{\text{Probabilité d'occurrence (2071 – 2100)} - \text{Probabilité d'occurrence (2011 – 2040)}}{\text{Probabilité d'occurrence (2011 – 2040)}} \times 100$$



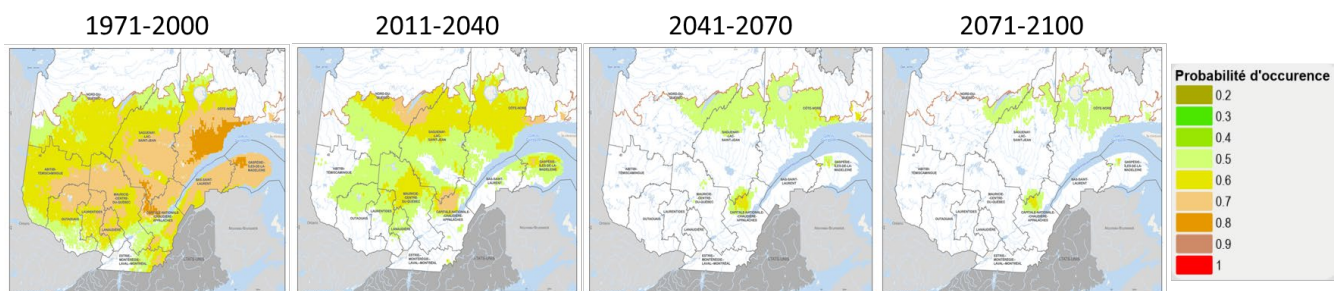
## Résultats

Cette section présente les résultats sur l'évolution de la présence des insectes ravageurs au sud de la limite territoriale des forêts attribuables au Québec. Pour chaque insecte, les résultats sont décrits par une figure et un graphique. La figure illustre les variations de la probabilité d'occurrence des insectes, dépassant 0,5, pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100. Le graphique, quant à lui, présente une synthèse des changements en termes de superficie en fonction de catégories plus larges du niveau d'occurrence : faible probabilité (MaxEnt < 0,5), moyenne probabilité ( $0,5 \leq \text{MaxEnt} \leq 0,7$ ) et grande probabilité (MaxEnt > 0,7).

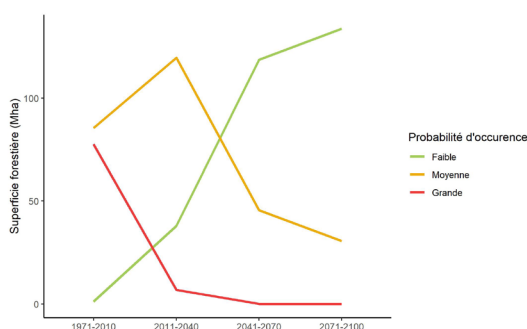
### Préoccupations liées à la mortalité

#### Tordeuse des bourgeons de l'épinette

La tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) est un insecte indigène de l'Amérique du Nord qui cause des ravages importants dans les forêts du Québec. Ses principaux hôtes sont le sapin baumier, l'épinette blanche, l'épinette rouge et l'épinette noire. Les résultats indiquent une diminution des superficies favorables à l'occurrence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, dont la présence sera de plus en plus concentrée dans le nord des régions du Saguenay-Lac-Saint-Jean, de la Côte-Nord, de la Capitale-Nationale-Chaudière-Appalaches, et, à un degré moindre, de la Gaspésie. Les projections montrent également une diminution de la présence de cet insecte, marquée par une réduction de la probabilité d'occurrence élevée, de plus de 75 % (MaxEnt > 0,7) dès la période 2041-2070. De façon générale, les superficies présentant une probabilité d'au moins 50 % d'un climat de haute qualité pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourraient diminuer de plus de 75 %.



**Figure 1.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence en fonction de son enveloppe climatique pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



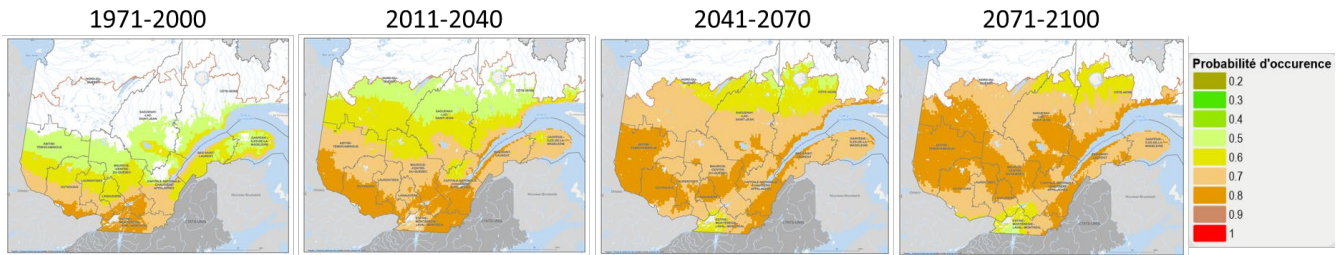
**Figure 2.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à la tordeuse des bourgeons de l'épinette selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne ( $0,5 \leq \text{MaxEnt} \leq 0,7$ ) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



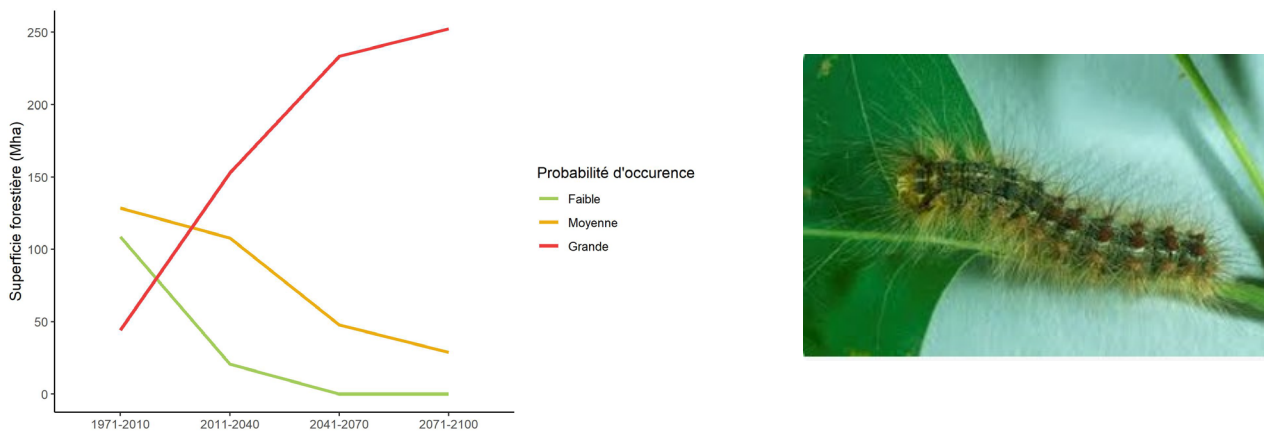


## Spongieuse

La spongieuse (*Lymantria dispar dispar*) est un insecte originaire d'Europe, mais observé au Québec depuis 1924. Cet insecte a été classé dans la catégorie des préoccupations liées à la mortalité plutôt que dans celle des insectes exotiques, car l'insecte fréquente le territoire nord-américain depuis plus d'un siècle et les connaissances à son sujet sont comparables à celles des insectes indigènes. La spongieuse est responsable d'épidémies causant des défoliations massives dans les forêts feuillues et mixtes du Québec. Ses principaux hôtes sont les peupliers, les chênes, les érables et les bouleaux. Il lui arrive également de se nourrir d'épinettes et de sapins baumiers. Les résultats montrent une légère diminution de la probabilité d'occurrence de la spongieuse en Estrie, mais une augmentation globale importante de sa probabilité d'occurrence dans le reste de la province, particulièrement dans les régions de l'Abitibi-Témiscamingue, du Saguenay-Lac-Saint-Jean et de la Capitale-Nationale. De manière générale, les projections indiquent une augmentation des superficies pour les probabilités d'occurrence élevées (MaxEnt > 0,7) pour le prochain siècle qui pourraient dépasser 470 %, par rapport à la période de référence. La probabilité d'avoir des superficies présentant une probabilité d'au moins 50 % d'un climat de haute qualité pourrait atteindre une augmentation de 63 % dans le prochain siècle, par rapport à la valeur de 2011-2040.



**Figure 3.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence en fonction de son enveloppe climatique pour la spongieuse selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

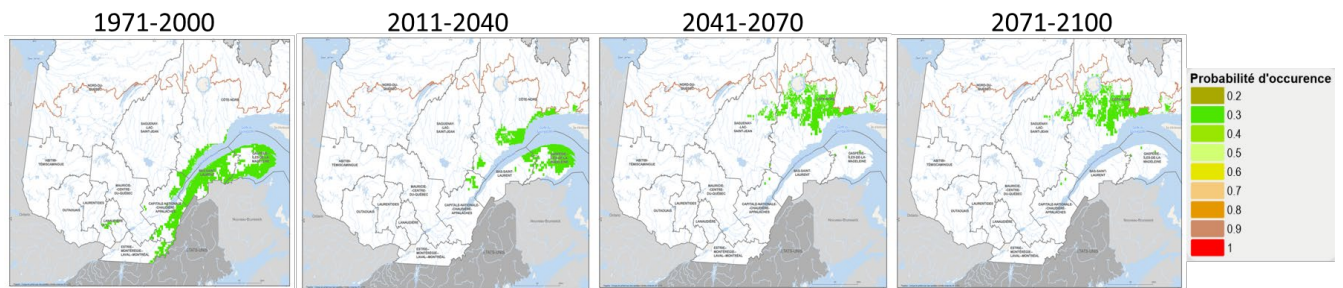


**Figure 4.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à la spongieuse selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

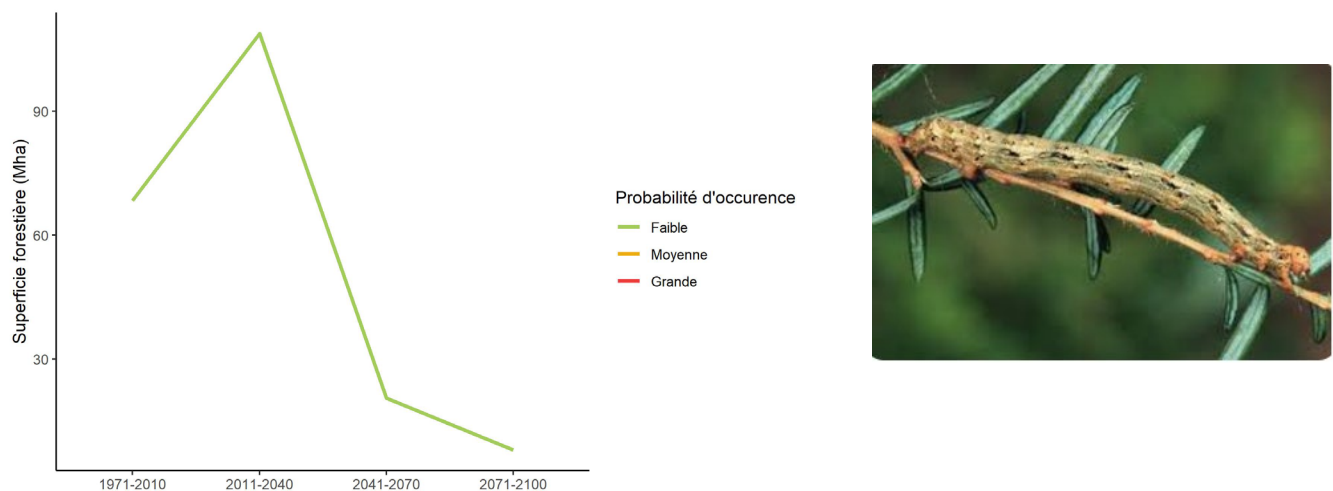


## Arpenteuse de la pruche

L'arpenteuse de la pruche (*Lambdina fuscicornis fuscicornis*) est un insecte indigène d'Amérique du Nord. Elle s'attaque principalement au sapin baumier et à la pruche du Canada. Historiquement, les épidémies causées par cet insecte se sont surtout concentrées dans les sapinières des régions de la Gaspésie, du Bas-Saint-Laurent et de la Côte-Nord. Les analyses menées prévoient un changement dans de la répartition de l'insecte, la Haute-Côte-Nord semblant offrir des conditions climatiques futures plus favorables à l'arpenteuse de la pruche. Selon ces projections, la probabilité d'occurrence de l'insecte demeurerait faible (MaxEnt < 0,5) pour les trois périodes étudiées. Cela dit, elle pourrait diminuer de près de 90 % au cours du prochain siècle.



**Figure 5.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence en fonction de son enveloppe climatique pour l'arpenteuse de la pruche selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

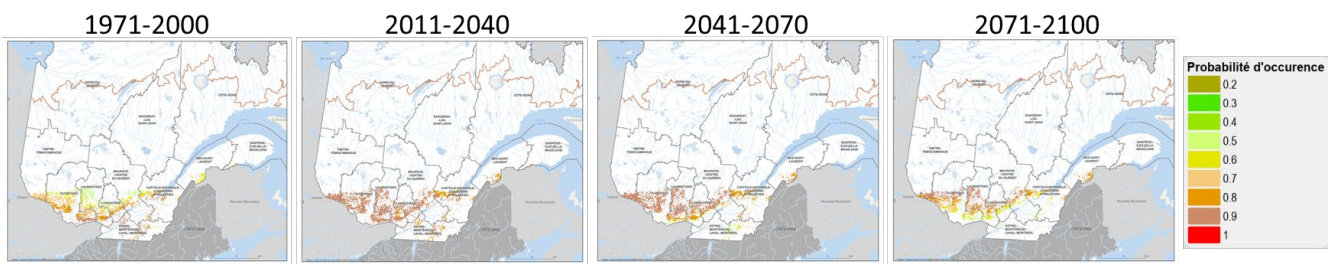


**Figure 6.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à l'arpenteuse de la pruche selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

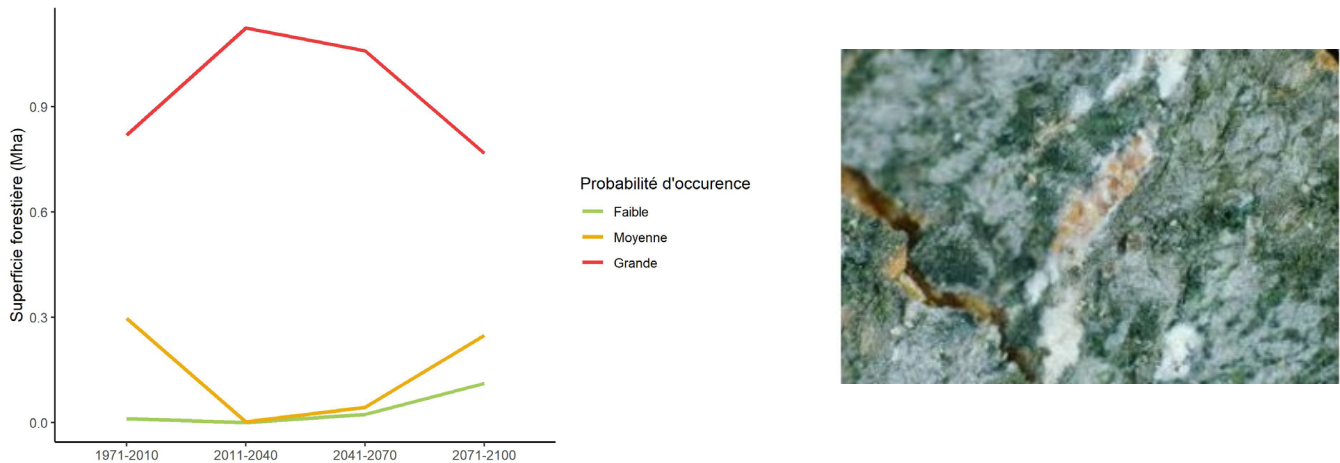


## Cochenille du hêtre

La cochenille du hêtre (*Cryptococcus fagisuga* Lindinger) est un insecte originaire d'Europe, répertorié pour la première fois au Québec en 1965. Cet insecte est le principal responsable de la maladie corticale du hêtre, en transportant deux types de champignons pathogènes, *Neonectria faginata* et *Neonectria ditissima*, responsables de l'affaiblissement et de la mortalité des peuplements de hêtres. Les analyses effectuées projettent une augmentation de la probabilité d'occurrence dans le sud-ouest de la province pour la période 2011-2040, suivie d'une diminution au cours des périodes suivantes. De manière globale, les probabilités d'occurrence moyenne (-16 %) et forte (-6 %) subirait une diminution modérée au cours du prochain siècle. La probabilité d'avoir des superficies présentant une probabilité d'au moins 50 % d'un climat de haute qualité pour la cochenille du hêtre pourrait diminuer de 9 % dans le prochain siècle, par rapport à la valeur de 2011-2040.



**Figure 7.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour la cochenille du hêtre en fonction de son enveloppe climatique pour le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 8.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à la cochenille du hêtre selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

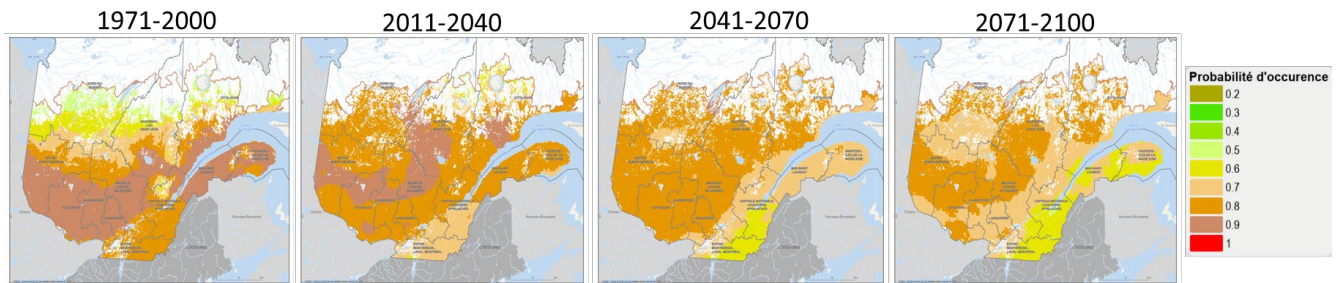




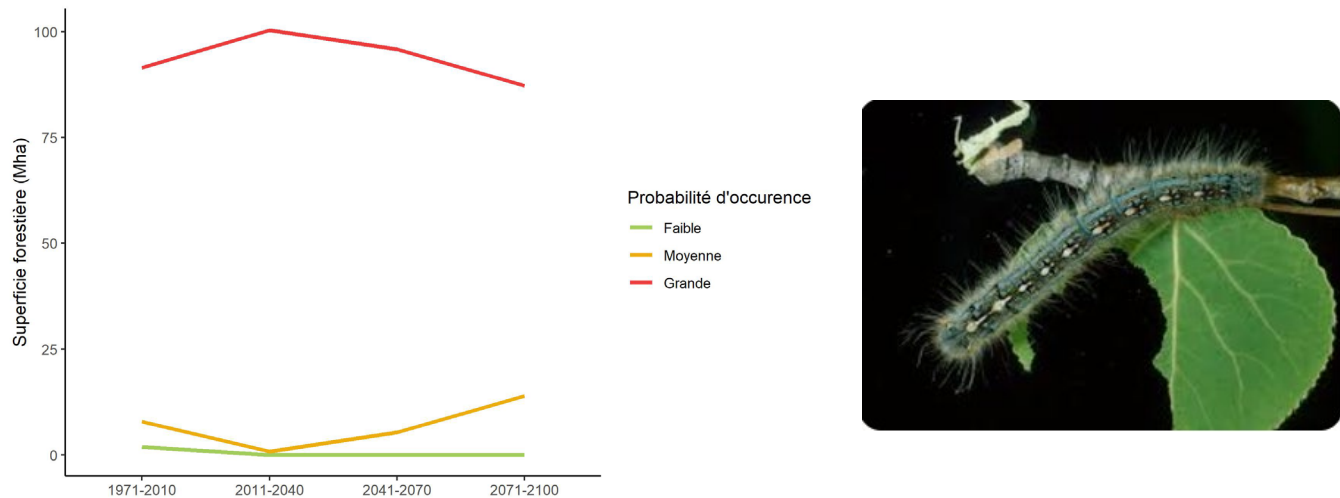
## Préoccupations liées à la perte de productivité

### Livrée des forêts

La livrée des forêts (*Malacosoma disstria*) est un insecte indigène d'Amérique du Nord observé sur plus d'une vingtaine d'essences feuillues, ses hôtes favoris étant le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier, l'érable à sucre, les saules et le chêne rouge. Au Québec, les épidémies de cet insecte surviennent tous les 10 à 12 ans et durent généralement de 3 à 4 ans. Les analyses révèlent une progression de l'insecte vers le nord de la province. La probabilité d'occurrence élevée pourrait augmenter dans la province pour la période 2011-2040 avant de diminuer graduellement de 13 % d'ici 2100. Cependant, il est possible que les probabilités d'occurrence forte ( $\text{MaxEnt} > 0,7$ ) deviennent des probabilités d'occurrence moyenne ( $0,5 \leq \text{MaxEnt} \leq 0,7$ ) puisque la superficie associée à ces dernières augmenterait de 17 % pour la même période. De façon générale, les superficies présentant une probabilité d'au moins 50 % d'un climat de haute qualité pour la livrée des forêts devraient rester stables à long terme.



**Figure 9.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour la livrée des forêts en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

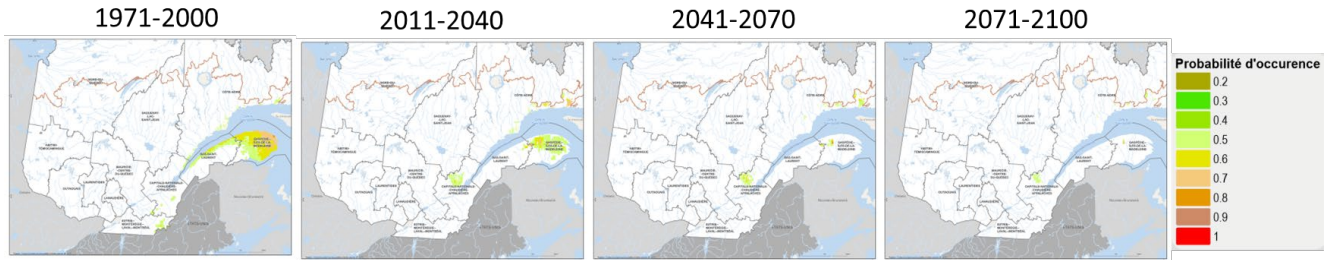


**Figure 10.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à la livrée des forêts selon des probabilités d'occurrence faible ( $\text{MaxEnt} < 0,5$ ), moyenne ( $0,5 \leq \text{MaxEnt} \leq 0,7$ ) et grande ( $\text{MaxEnt} > 0,7$ ) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

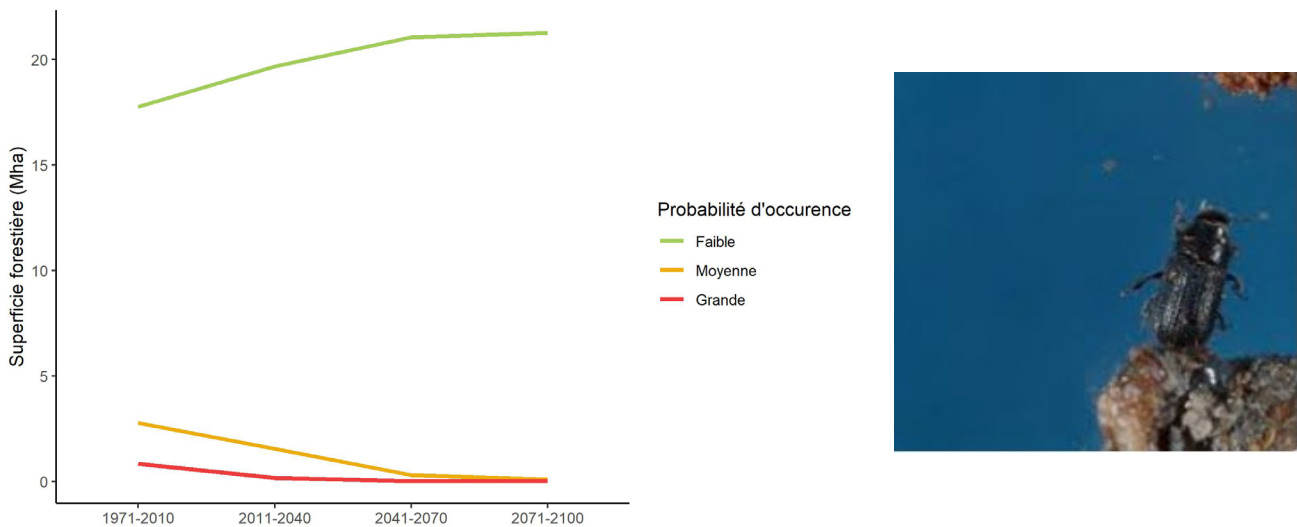


## Dendroctone de l'épinette

Le dendroctone de l'épinette (*Dendroctonus rufipennis*) est un insecte indigène présent en Colombie-Britannique, notamment dans les forêts matures d'épinettes. La dernière apparition de cet insecte dans la province remonte aux années 1980-1990, période durant laquelle son foyer est illustré dans la figure 11 pour le climat historique (1971-2000). De manière générale, les résultats prévoient une diminution de la probabilité d'occurrence de l'insecte au cours des trois périodes analysées. Les superficies avec une probabilité d'au moins 50 % d'un climat de haute qualité pour la livrée des forêts devraient diminuer d'environ 93 %.



**Figure 11.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le dendroctone de l'épinette en fonction de son enveloppe climatique selon scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



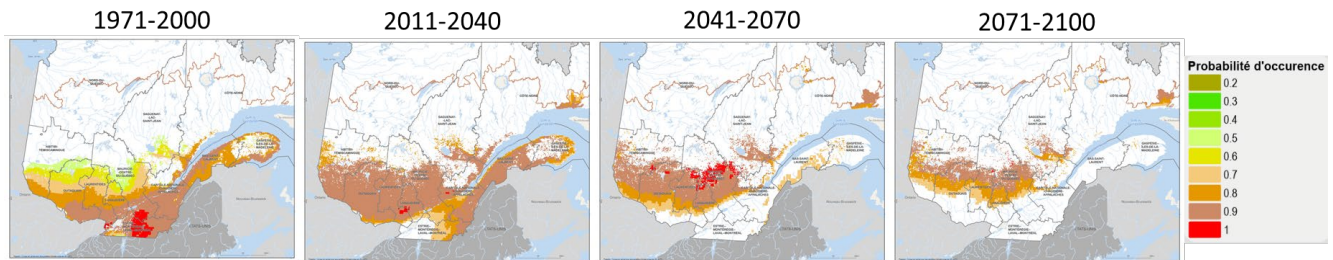
**Figure 12.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée au dendroctone de l'épinette selon des probabilités d'occurrence faible ( $MaxEnt < 0,5$ ), moyenne ( $0,5 \leq MaxEnt \leq 0,7$ ) et grande ( $MaxEnt > 0,7$ ) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



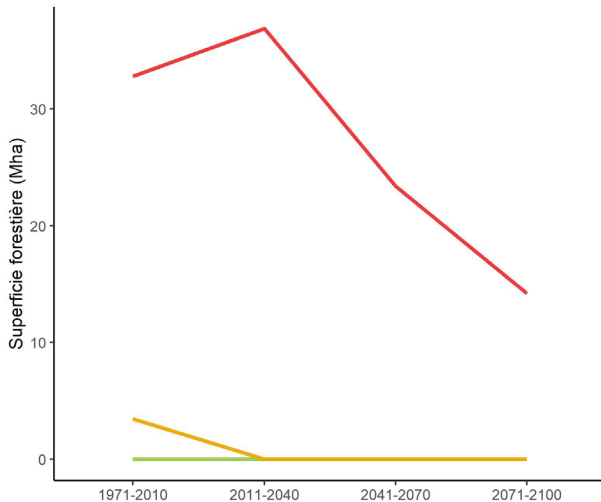


## Perceur de l'érable

Le perceur de l'érable (*Glycobius speciosus*) est un insecte indigène d'Amérique du Nord, connu pour les ravages qu'il peut causer dans les érablières. Il s'attaque particulièrement à l'érable à sucre et à l'érable rouge, nuisant de façon importante à leur croissance et pouvant même en accélérer la mortalité. Selon les analyses effectuées, la couverture climatique favorable à cet insecte pourrait se déplacer de plus en plus vers le nord de la province, bien que les probabilités d'occurrence supérieures à 0,70 subiraient une forte diminution, au-delà de la période 2011-2040. Cela indique une réduction globale des superficies vulnérables avec le temps, représentant une diminution de 62 % des zones présentant des conditions adéquates à la survie du perceur de l'érable.



**Figure 13.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le perceur de l'érable en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

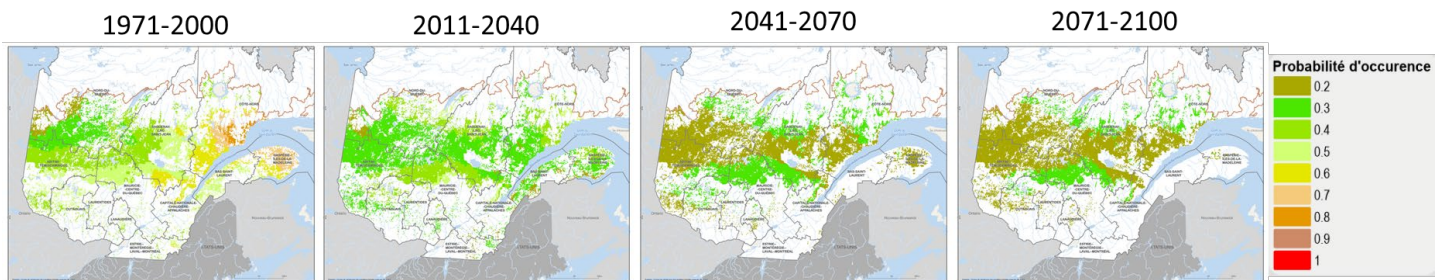


**Figure 14.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée au perceur de l'érable selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

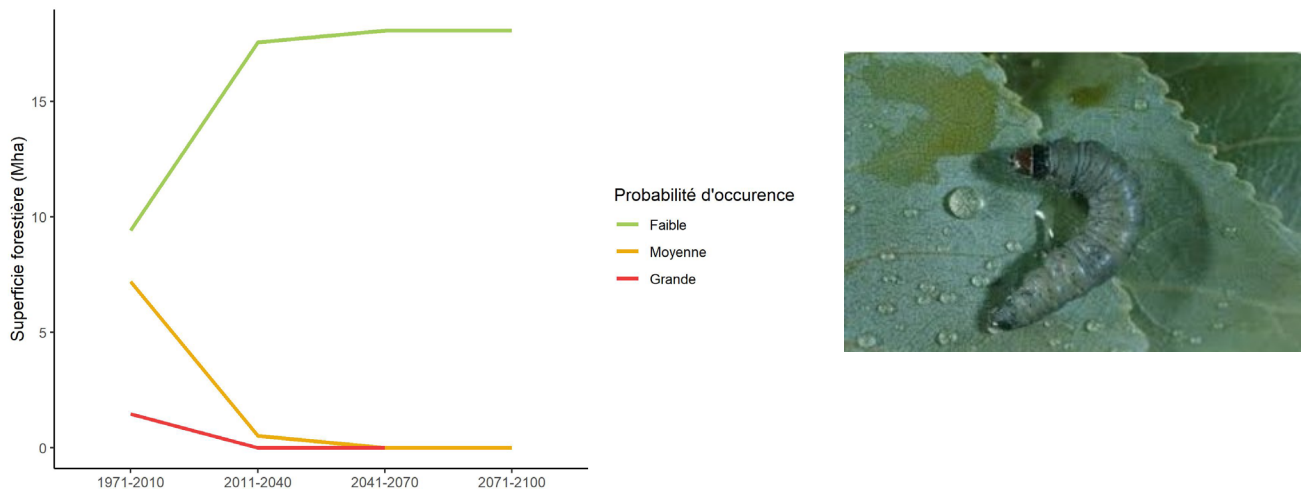


## Tordeuse du tremble

La tordeuse du tremble (*Choristoneura conflictana*) est un insecte indigène des forêts du Québec qui affecte principalement le peuplier faux-tremble, mais aussi les autres peupliers. Les épidémies sont généralement de courte durée, d'environ 2 à 3 ans suivant l'aire de distribution de son hôte principal. La préoccupation liée à cet insecte réside dans l'augmentation de la récurrence des feux de forêt qui pourrait favoriser la succession pionnière et entraîner un retour du couvert forestier en peupliers, augmentant les superficies potentiellement exposées à l'insecte. La tordeuse du tremble cause une perte généralisée dans la productivité du peuplement. Malgré leur résistance, les arbres sévèrement affaiblis peuvent en mourir. Les résultats indiquent une probabilité d'occurrence plus grande, de plus en plus vers le nord à partir de la période 2041-2070 (figure 15). De façon générale, il y aura une augmentation des superficies avec une probabilité d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5) à partir de 2041-2070.



**Figure 15.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour la tordeuse du tremble en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

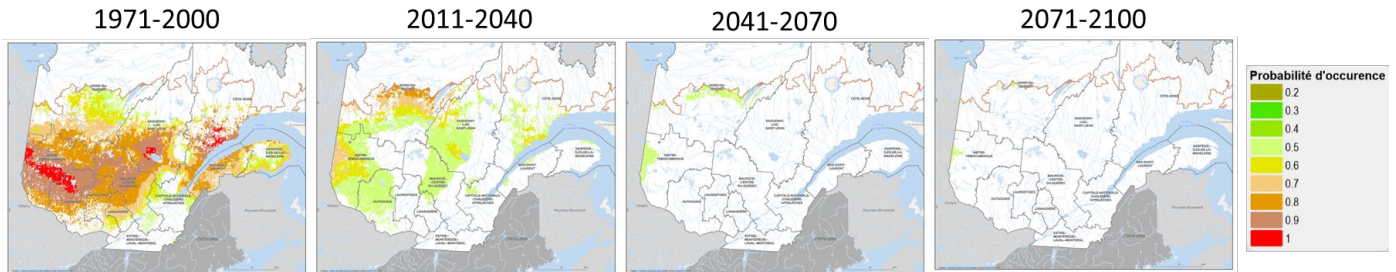


**Figure 16.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à la tordeuse du tremble selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

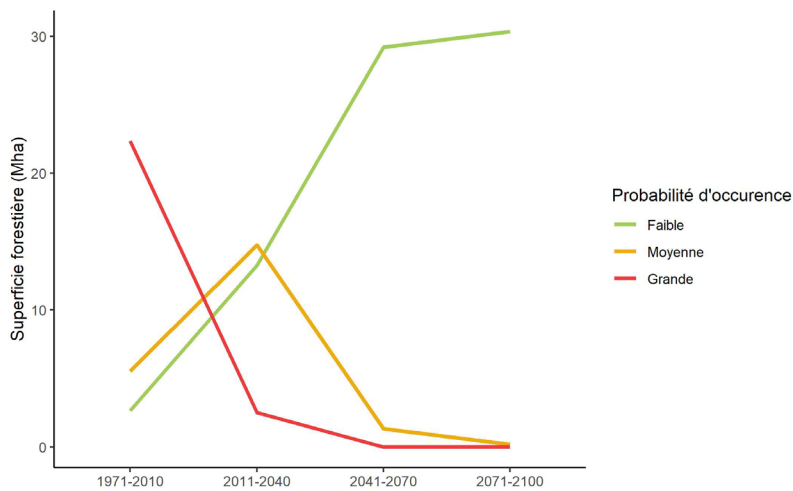


## Tordeuse du pin gris

La tordeuse du pin gris (*Choristoneura pinus*) est un insecte indigène d'Amérique du Nord qui s'attaque principalement à la cime supérieure du pin gris, entraînant une diminution de la productivité des peuplements. Selon les analyses, les changements climatiques pourraient réduire la probabilité d'occurrence de la tordeuse du pin gris. Une probabilité d'occurrence de plus en plus faible pourrait ainsi être observée tout au long de l'horizon de temps analysé.



**Figure 17.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour la tordeuse du pin gris en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 18.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à la tordeuse du pin gris, selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

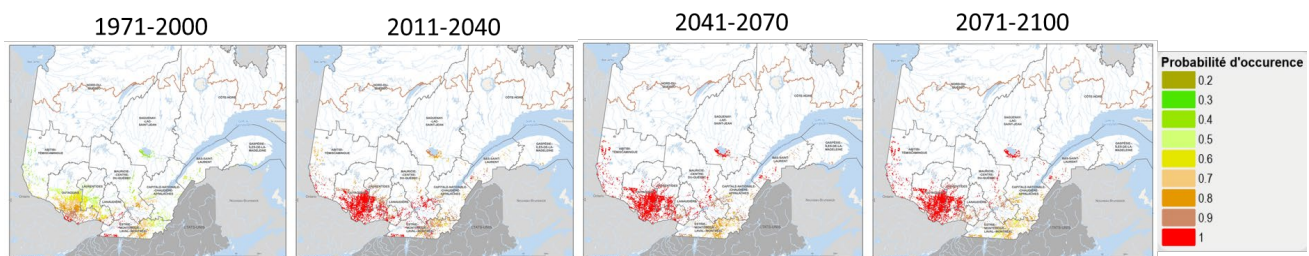




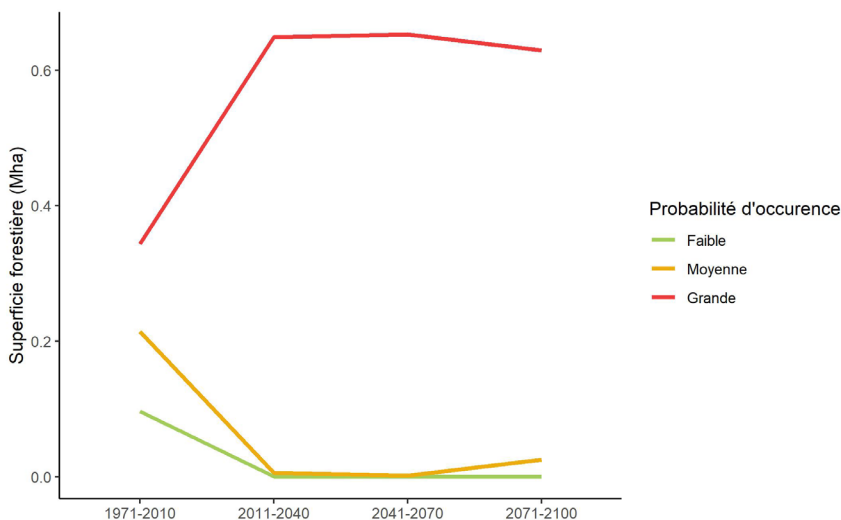
## Préoccupations liées aux insectes exotiques

### Agrile du frêne

L'agrile du frêne (*Agrilus planipennis*) est un insecte exotique originaire d'Asie, responsable d'une forte mortalité chez les frênes dans l'est de l'Amérique du Nord. L'insecte a été répertorié pour la première fois au Québec en 2008. Bien que le frêne d'Amérique ne soit pas explicitement modélisé dans le calcul des possibilités forestières, son inclusion dans l'analyse a été jugée pertinente en raison de son importance culturelle, notamment pour certaines nations autochtones. De plus, vu l'ampleur des ravages causés par l'agrile du frêne, il est nécessaire d'en surveiller la propagation pour détecter un éventuel comportement polyphage. Les projections indiquent une augmentation de la probabilité d'occurrence en raison d'un climat potentiellement favorable à l'insecte, avec des probabilités élevées jusqu'au sud du Lac-Saint-Jean. D'ici 2011-2040, une probabilité d'occurrence élevée pourrait se concentrer dans le sud de la province, suivie d'une diminution des zones propices dans la seconde moitié du siècle. De façon générale, les superficies vulnérables à une forte occurrence de l'insecte risquent d'augmenter considérablement pour la période 2011-2040, pour demeurer stables au cours du prochain siècle.



**Figure 19.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour l'agrile du frêne selon le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

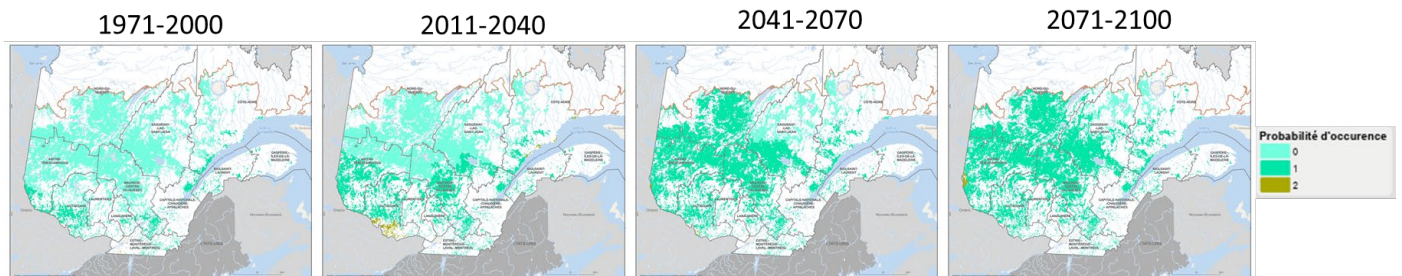


**Figure 20.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée à l'agrile du frêne selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

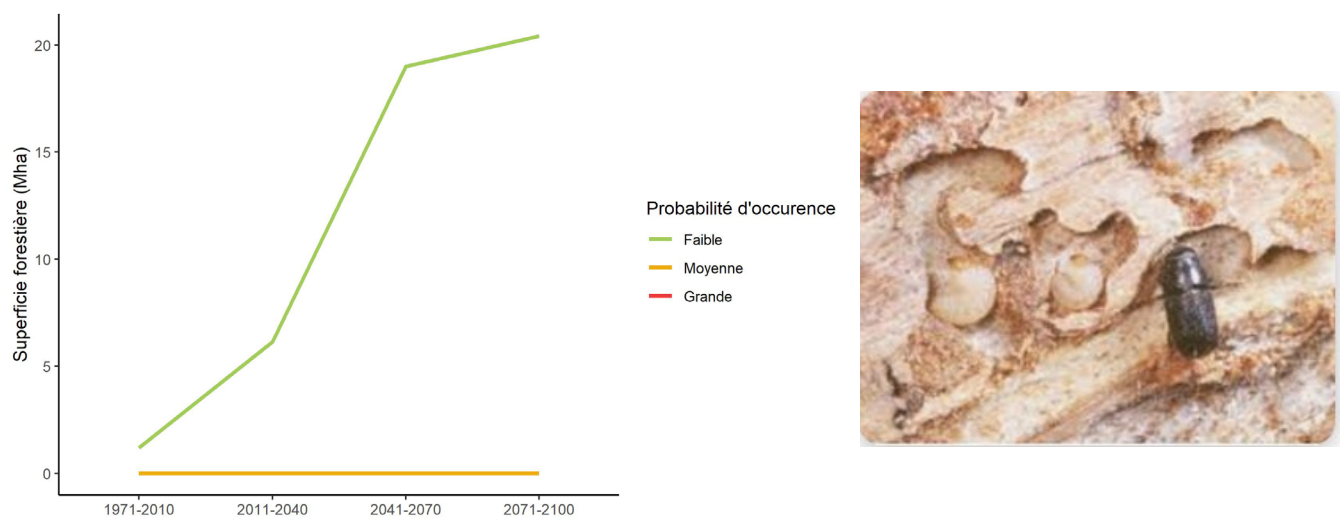


## Dendroctone du pin ponderosa

Le Dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*) est un insecte indigène à l'ouest de l'Amérique du Nord. Il s'attaque à la grande majorité des pins présents au Canada. Les résultats des analyses montrent peu de probabilité d'occurrence de l'insecte pour les territoires forestiers québécois. Une probabilité de présence faible pourrait être possible en 2011-2040.



**Figure 21.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le dendroctone du pin ponderosa selon le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 22.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée au dendroctone du pin ponderosa selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

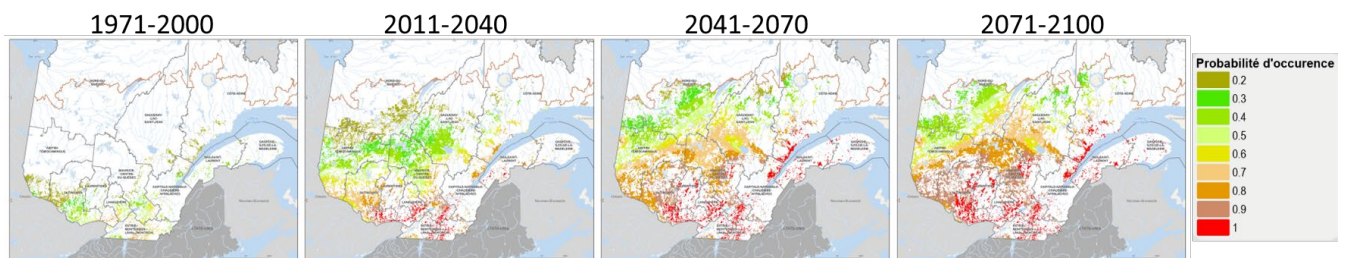




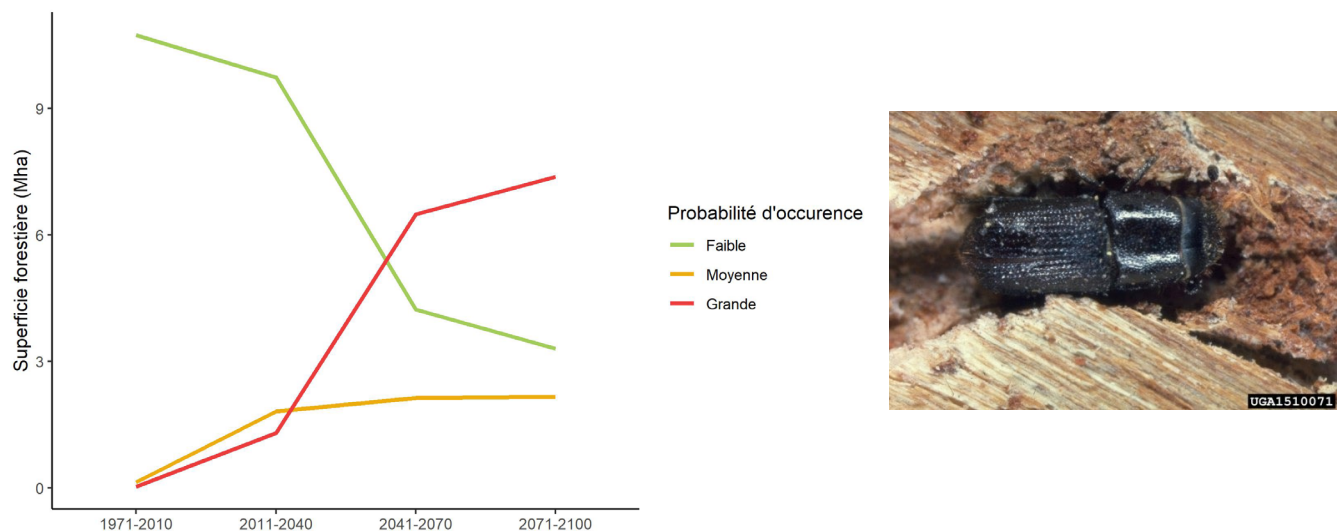
## Dendroctone méridional du pin

Le dendroctone méridional du pin est l'insecte ravageur le plus nuisible sur le plan économique au sud des États-Unis, causant des pertes estimées à 1,5 milliard de dollars depuis quelques décennies. Les essences hôtes incluent une grande variété de pins, mais il pourrait cibler aussi les épinettes et la pruche. Cet insecte est bien établi de la Floride jusqu'à l'Arizona. Cependant, un déplacement notable en dehors de son aire de répartition historique a été observé aux États-Unis, avec une avancée de 85 kilomètres par décennie depuis 2002, atteignant ainsi les États du New Jersey, de New York et du Connecticut.

Les analyses prévoient un contexte favorable à l'établissement du dendroctone méridional du pin, vers la limite territoriale des forêts attribuables. De manière générale, les superficies à forte probabilité d'occurrence (MaxEnt  $\geq 0,7$ ) pourraient augmenter.



**Figure 23.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le dendroctone méridional du pin<sup>2</sup>, en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5, pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



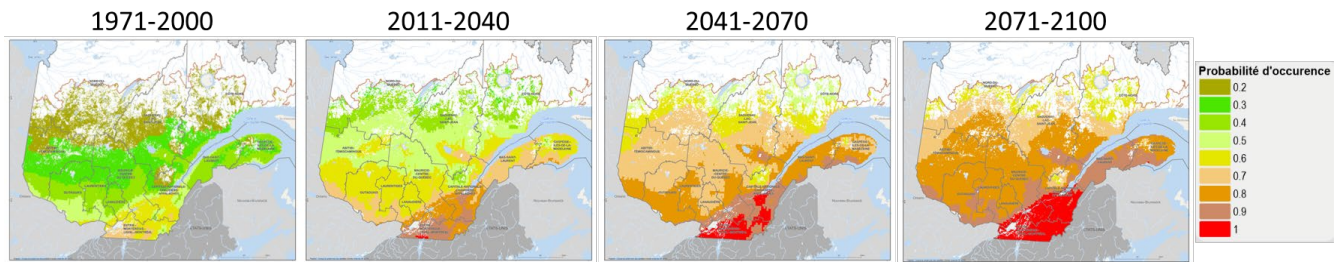
**Figure 24.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée du dendroctone méridional du pin, selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt ≥ 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

<sup>2</sup> Crédit photo : USDA Forest Service – Region 8 – Southern , USDA Forest Service, Bugwood.org [Southern Pine Beetle – Invasive Species Centre](https://www.bugwood.org/Southern_Pine_Beetle_-_Invasive_Species_Centre)

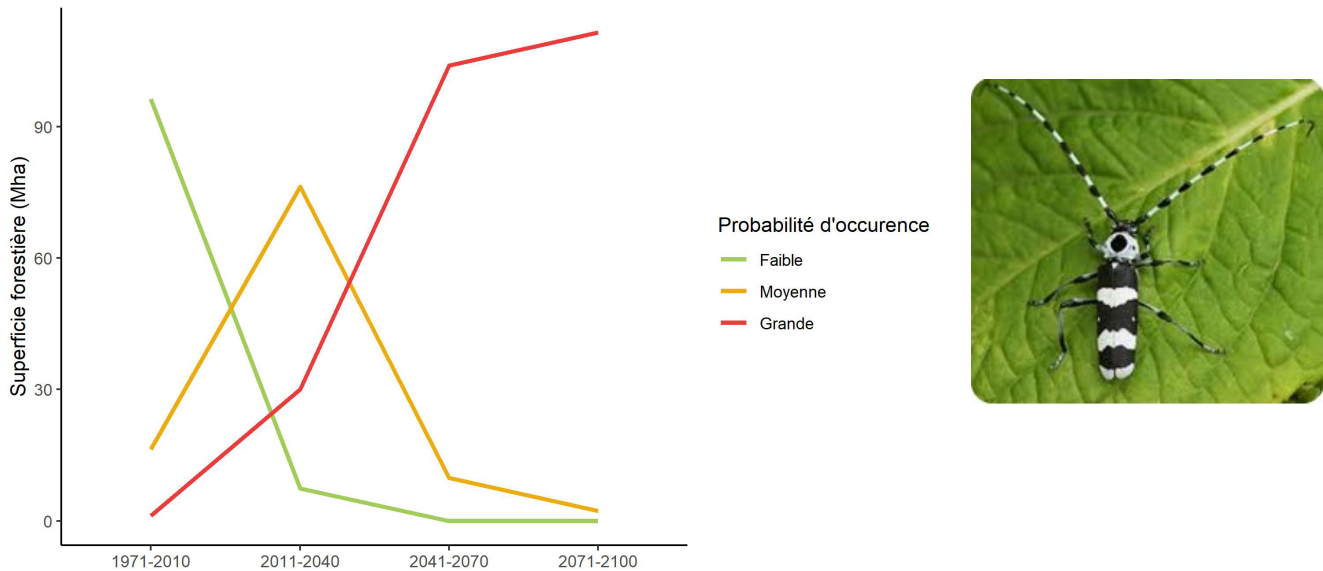


## Longicorne asiatique

Le longicorne asiatique (*Anoplophora glabripennis*) est un insecte exotique originaire d'Asie qui constitue une menace importante pour les forêts en raison de son caractère extrêmement destructeur. Il peut s'attaquer à une vaste gamme d'arbres feuillus avec une préférence pour les érables et les peupliers. Il n'a aucun prédateur naturel. Sa présence au Canada a été observée uniquement en Ontario, où il a été éliminé en 2013. Les résultats de l'analyse indiquent des conditions environnementales de plus en plus favorables à cet insecte qui pourrait s'installer dans le sud de la province en cas de réintroduction. Globalement, la probabilité d'une forte occurrence ( $MaxEnt > 0,7$ ) des superficies vulnérables à l'insecte est prédite à augmenter au cours des trois prochaines périodes du scénario climatique RCP 4,5.



**Figure 25.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le longicorne asiatique en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

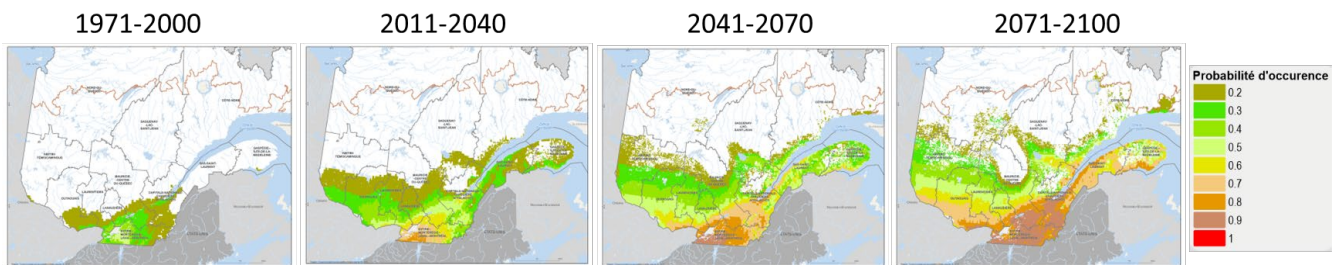


**Figure 26.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée au longicorne asiatique, selon des probabilités d'occurrence faible ( $MaxEnt < 0,5$ ), moyenne ( $0,5 \leq MaxEnt \leq 0,7$ ) et grande ( $MaxEnt > 0,7$ ), pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

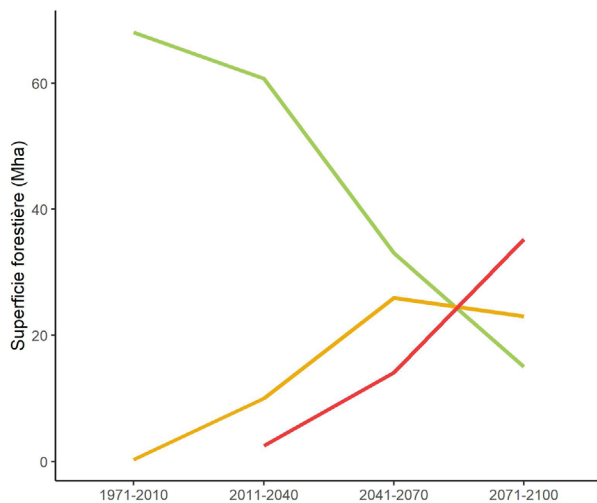


## Fulgore tacheté

Le fulgore tacheté (*Lycorma delicatula*) est un insecte exotique originaire d'Asie présentant un fort potentiel de nuisibilité. Cet insecte se nourrit d'une large variété de végétaux incluant des espèces forestières, agricoles et ornementales. À ce jour, aucun spécimen n'a été observé au Canada, mais les autorités sanitaires le considèrent à fort risque d'introduction, surtout en raison de sa présence observée dans l'État de New York. Les résultats de l'analyse indiquent des conditions de plus en plus favorables pour cet insecte, qui pourrait s'installer dans le sud de la province et élargir sa probabilité d'occurrence au fil du temps. De façon générale, les projections montrent une augmentation de la superficie vulnérable totale dont la probabilité d'occurrence est forte (MaxEnt > 0,7) au cours du prochain siècle.



**Figure 27.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le fulgore tacheté en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



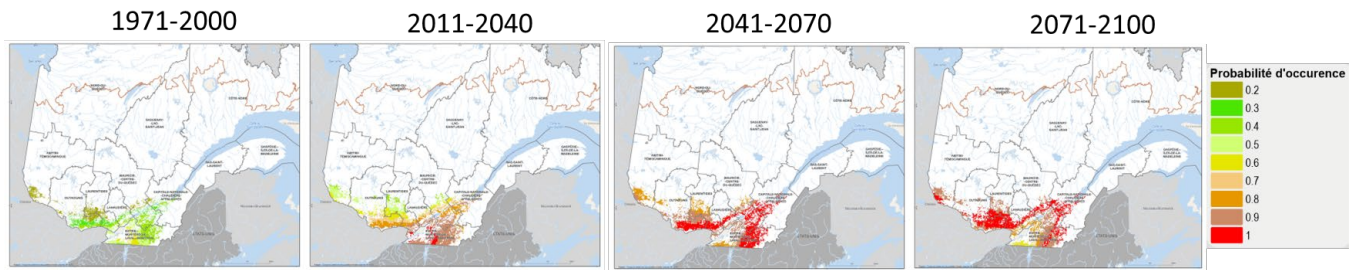
**Figure 28.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée au fulgore tacheté selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



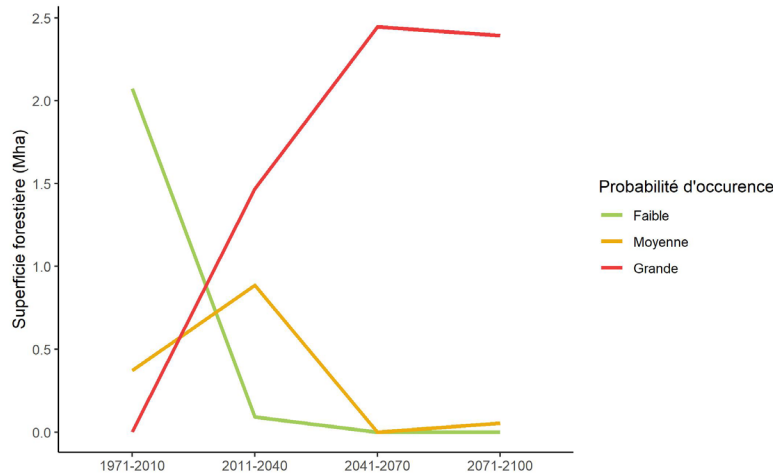


## Puceron lanigère de la pruche

Le puceron lanigère de la pruche (*Adelges tsugae*) est un insecte originaire du Japon qui cause la mortalité des pruches. À ce jour, les dommages causés par cet insecte au Canada, notamment sur la pruche de l'Ouest (*Tsuga heterophylla*), restent relativement mineurs en raison de la faible densité de ses populations, de la résistance de l'espèce hôte et de la présence de prédateurs et de parasitoïdes naturels qui limitent sa propagation. Il n'y a pas de présence notable du puceron lanigère de la pruche au Québec. Les impacts sur la pruche de l'Est (*Tsuga canadensis*) sont pour le moment inconnus. Cependant, cet insecte cause des ravages considérables chez plusieurs espèces de pruches. Les résultats de l'analyse suggèrent que le sud du Québec pourrait devenir un territoire de plus en plus favorable à la survie du puceron lanigère de la pruche. En général, la superficie à forte probabilité d'occurrence pourrait augmenter avec le temps.



**Figure 29.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le puceron lanigère de la pruche en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 30.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée au puceron lanigère de la pruche selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

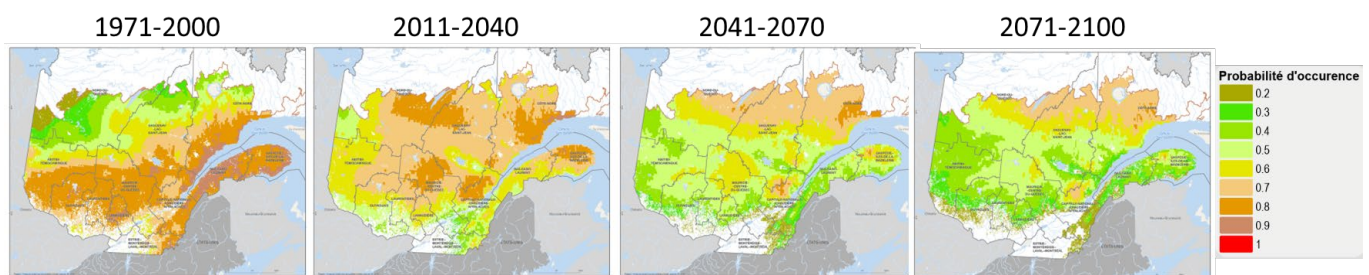


## Diprion européen de l'épinette

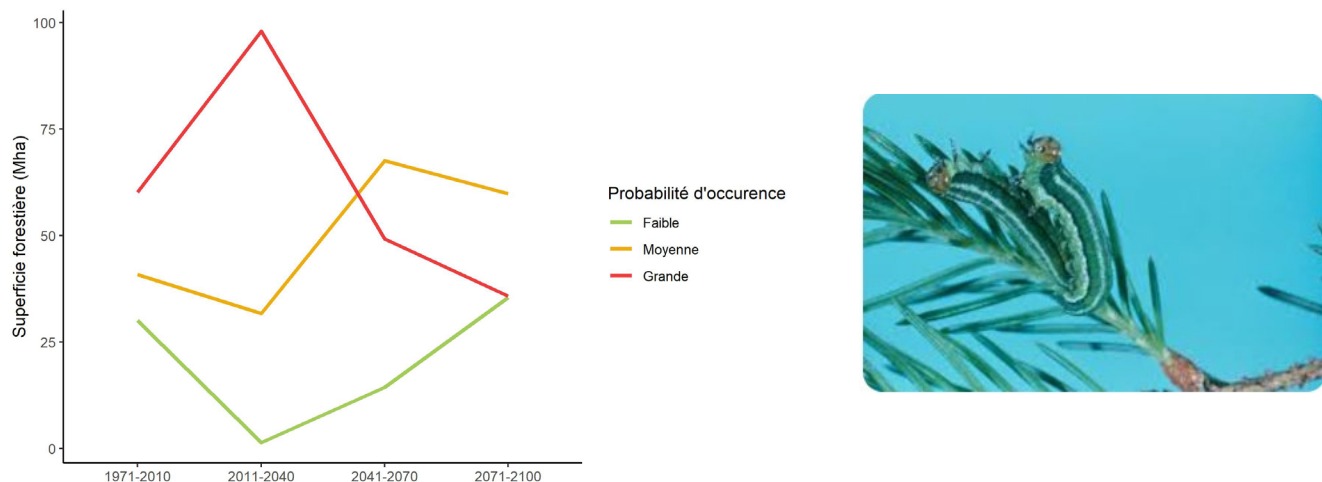
Le diprion européen de l'épinette (*Gilpinia hercyniae*) est un insecte exotique originaire d'Europe. Bien qu'il cause actuellement peu de dommages, cet insecte a été à l'origine d'une importante épidémie survenue entre 1930 et 1945, entraînant la perte de 36 millions de mètres cubes de bois dans l'est de l'Amérique du Nord. À ce jour, la méthode de lutte contre le diprion européen de l'épinette repose sur des moyens naturels, notamment l'utilisation de micro-organismes pathogènes européens permettant de maintenir ses populations à des niveaux acceptables.

Les analyses montrent une possible présence de l'insecte sur l'ensemble du territoire forestier de la province. Toutefois, la probabilité d'occurrence pourrait diminuer au cours des prochaines périodes d'analyse avec une concentration potentielle des populations vers le nord-est de la province.

En général, les superficies vulnérables présentant une forte probabilité d'occurrence (MaxEnt > 0,7) pourraient diminuer de manière importante à partir de la période 2041-2070. Cependant, le cumul des superficies à probabilité d'occurrence moyenne et forte dépasserait celui des superficies à faible probabilité, ce qui suggère une présence persistante de l'insecte.



**Figure 31.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le diprion européen de l'épinette en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 32.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt exposée au diprion européen de l'épinette selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

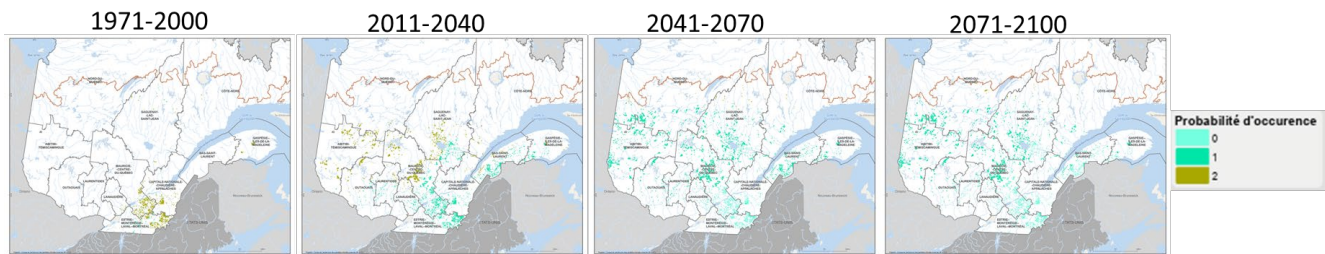




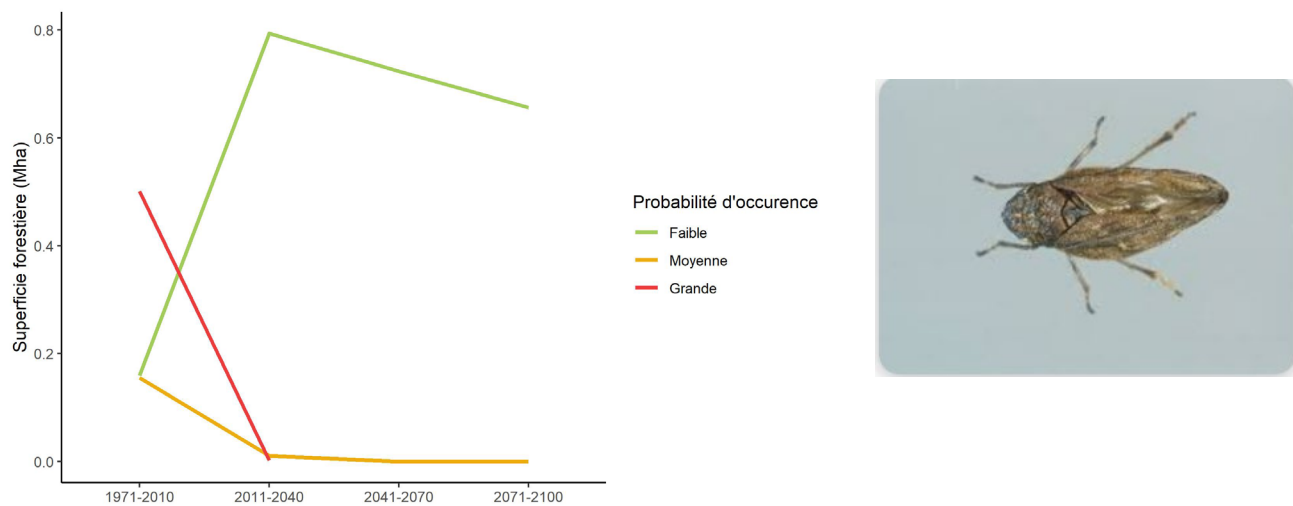
## Préoccupations liées aux plantations

### Aphrophore du pin

L'aphrophore du pin (*Aphrophora cribrata*) est un insecte indigène d'Amérique du Nord qui s'attaque principalement à l'épinette blanche et l'épinette noire. Il a été observé principalement en Ontario et est très commun dans les plantations de pin blanc. Toutefois, les analyses menées chez les plantations de classe d'âge de 10 ans (en excluant les plantations de moins de 5 ans) prévoient une faible, voire absente, probabilité de retrouver un habitat favorable à la prolifération de l'insecte dans le territoire forestier québécois. Une probabilité de présence faible pourrait être possible en 2011-2040.



**Figure 33.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour l'aphrophore du pin en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



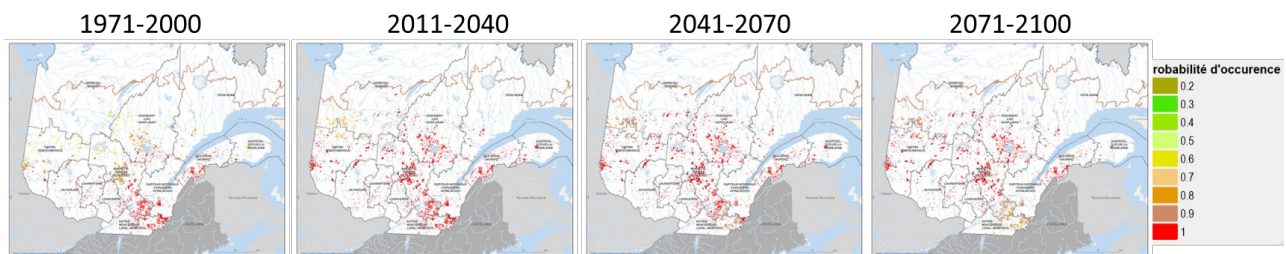
**Figure 34.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt vulnérable à l'aphrophore du pin selon des probabilités d'occurrence faible ( $\text{MaxEnt} < 0,5$ ), moyenne ( $0,5 \leq \text{MaxEnt} \leq 0,7$ ) et grande ( $\text{MaxEnt} > 0,7$ ) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



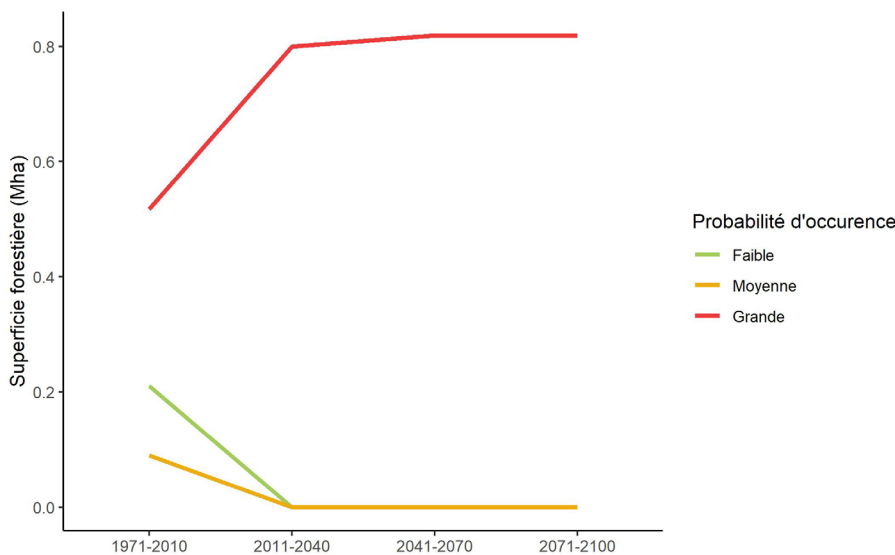
## Charançon du pin

Le charançon du pin (*Hylobius pales*) est un insecte indigène d'Amérique du Nord, très commun en Ontario, qui attaque principalement l'épinette blanche et l'épinette noire, mais qui peut aussi endommager les pins. Les dommages sont causés par les larves (écorce du collet) et par les adultes (écorce, rameaux, aiguilles). Les dommages peuvent être observés principalement sur les plantations nouvellement établies.

Les analyses réalisées chez les plantations de classe d'âge de 10 ans (en excluant les plantations de moins de 5 ans) prévoient une augmentation des superficies vulnérables des plantations jusqu'à la période 2071-2100, en particulier lorsque la probabilité d'occurrence est élevée. Ces augmentations semblent se répartir de manière diffuse dans le territoire forestier du Québec. Les superficies associées à une probabilité d'occurrence faible ou moyenne comptent une importance négligeable.



**Figure 35.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le charançon du pin<sup>3</sup> en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 36.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt vulnérable du charançon du pin selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

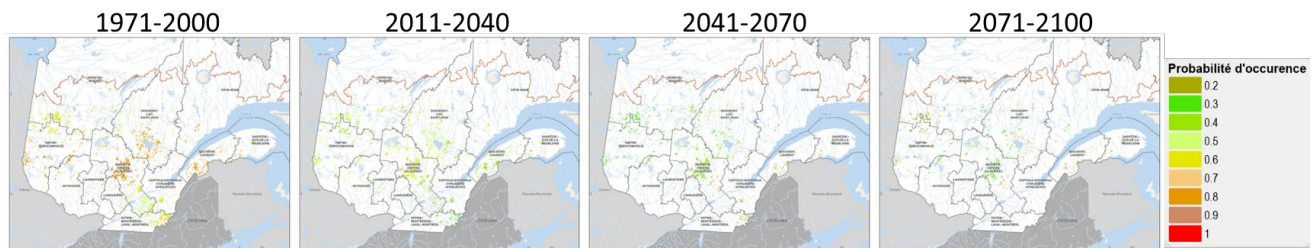
<sup>3</sup> Crédit photo : [Hylobius cf. pales - Hylobius pales - BugGuide.Net](http://Hylobius.cf.pales-Hylobius.pales-BugGuide.Net)



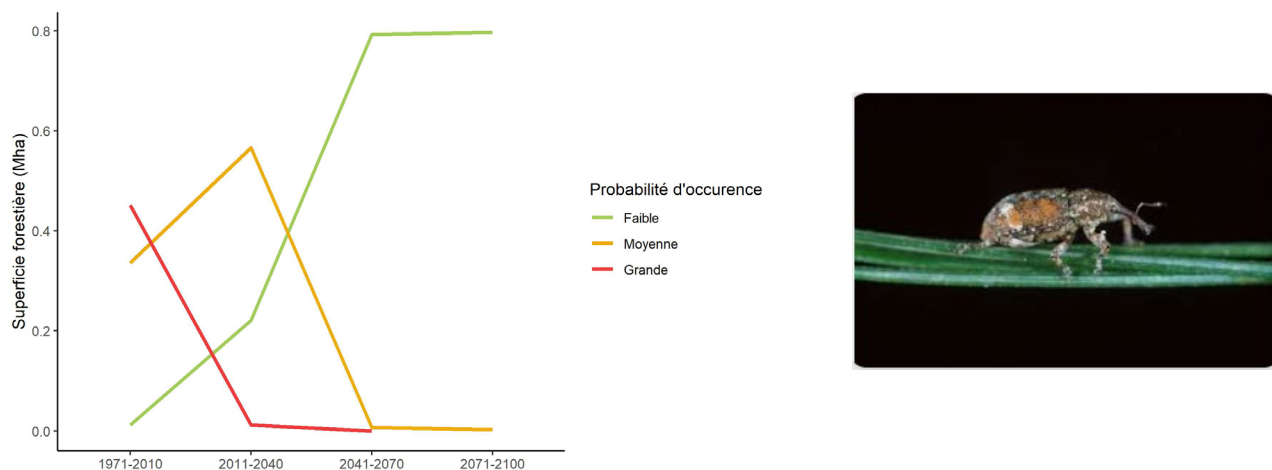
## Charançon du pin blanc

Le charançon du pin blanc (*Pissodes strobi*) est un insecte indigène d'Amérique du Nord qui s'attaque principalement à l'épinette de Norvège et au pin blanc, mais peut aussi endommager d'autres essences d'épinettes et de pins. Les dommages sont causés par les larves qui se nourrissent du cambium de la flèche terminale, compromettant ainsi la croissance et la survie de la flèche apicale des jeunes arbres. Bien que les arbres ne meurent pas nécessairement, les attaques peuvent engendrer une perte de valeur commerciale ou esthétique en raison des déformations, des courbures ou du flétrissement des rameaux. Certains travaux suggèrent que l'application de certaines pratiques sylvicoles peut réduire les dommages : par exemple, planter les arbres sous couvert forestier offrant environ 50 % d'ombrage, afin de rendre les flèches moins attractives. En plantation, l'utilisation des essences feuillues de grande dimension est également recommandée. Le choix du site joue aussi un rôle crucial, les sites mal drainés semblent favoriser des infestations plus sévères.

Les analyses menées chez les plantations de classe d'âge de 10 ans (en excluant les plantations de moins de 5 ans) prévoient une légère augmentation des superficies vulnérables en plantation lorsque la probabilité d'occurrence est moyenne, et ce, jusqu'à la période 2011-2040. En revanche, une tendance à la baisse de superficies vulnérables est observée pour les superficies vulnérables où la probabilité d'occurrence est grande. Toutefois, au fil du temps, il est constaté une augmentation marquée des superficies présentant une probabilité d'occurrence faible, ce qui indique une présence occasionnelle et de moindre importance.



**Figure 37.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le charançon du pin blanc en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 38.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt vulnérable du charançon du pin blanc selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070, et 2071-2100

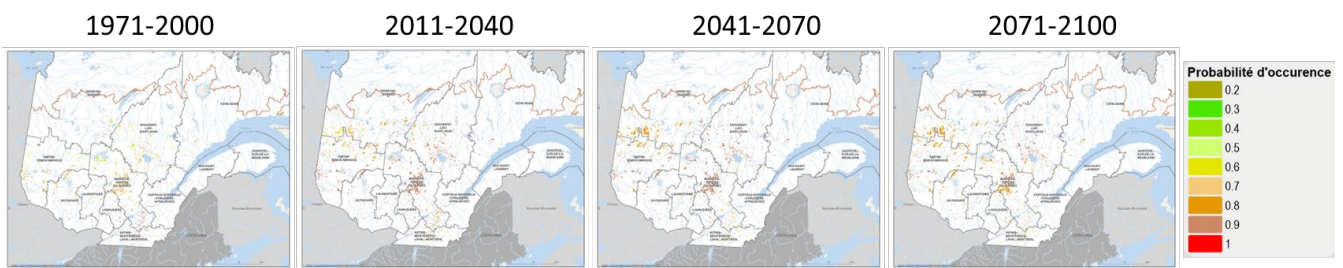




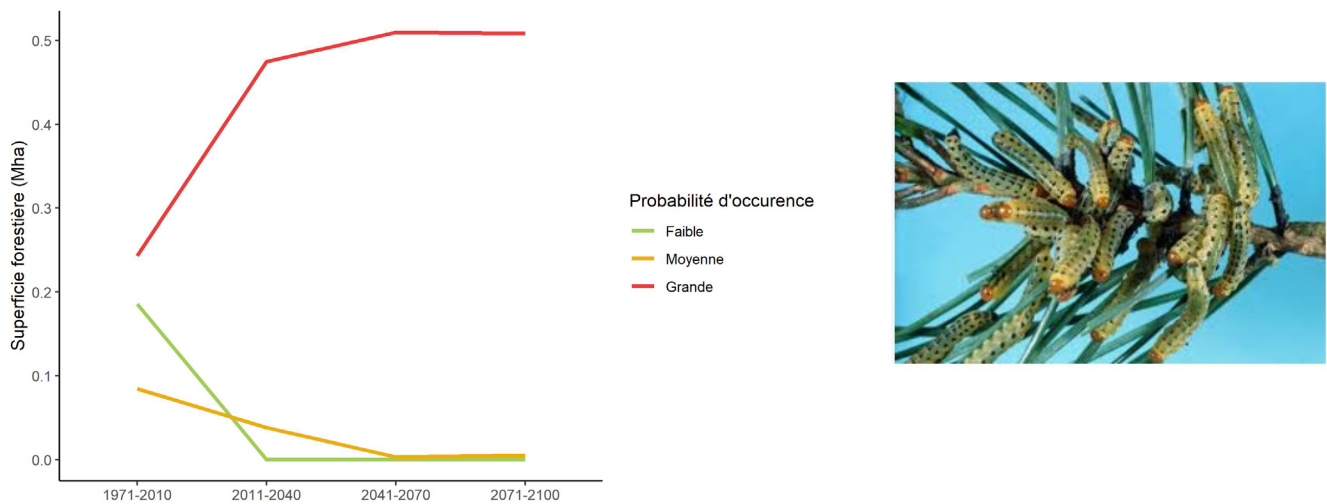
## Diprion de Leconte

Le diprion de Leconte (*Neodiprion lecontei*) est un insecte qui s'attaque principalement au pin rouge, mais peut également endommager le pin sylvestre et le pin gris. Au Québec, il a principalement été observé dans les jeunes plantations de pin rouge. Les chenilles se nourrissent du feuillage de l'année précédente dès le mois de juin jusqu'à septembre. En cas d'invasions importantes, elles peuvent aussi s'attaquer au nouveau feuillage et à l'écorce des jeunes rameaux. La sévérité des dommages peut varier selon le degré de l'infestation, allant de la réduction de la croissance à la mort des arbres affectés.

Les analyses menées chez les plantations de classe d'âge de 10 ans (en excluant les plantations de moins de 5 ans) prévoient une tendance à la hausse des superficies vulnérables des plantations jusqu'à la période 2071-2100, en particulier lorsque la probabilité d'occurrence est élevée. Ces hausses semblent se concentrer dans le centre ouest du Québec. Une diminution marquée des superficies présentant une probabilité d'occurrence faible et moyenne est constatée.



**Figure 39.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le diprion de Leconte en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



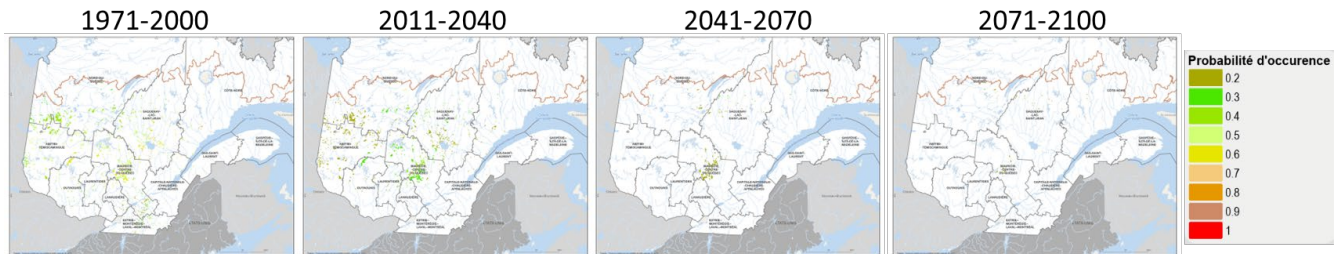
**Figure 40.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt vulnérable du diprion de Leconte selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



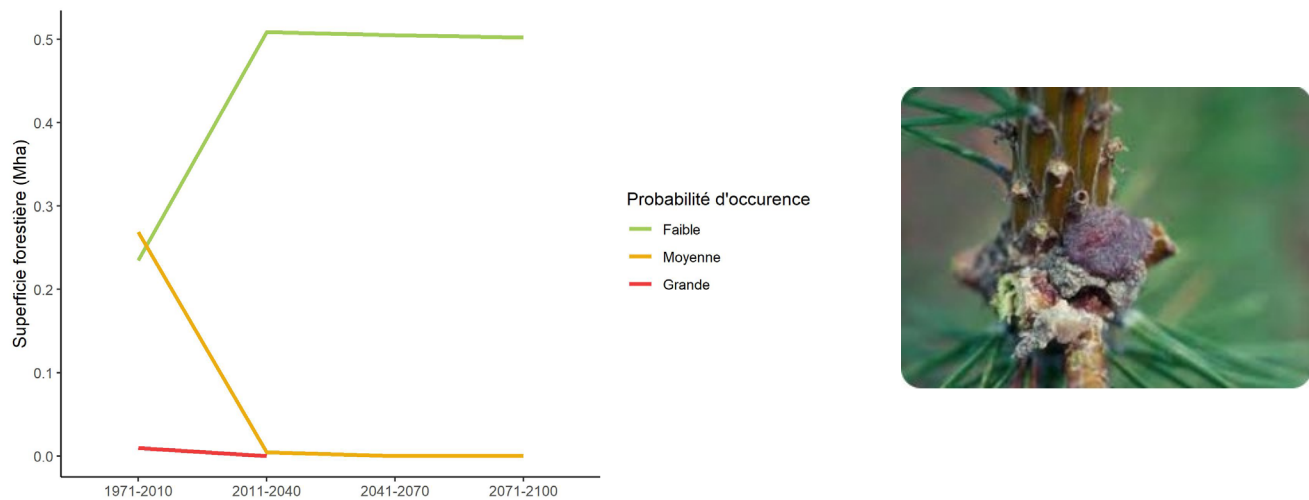
## Nodulier du pin gris

Le nodulier du pin gris (*Petrova albicapitana*) est un insecte qui s'attaque principalement au pin gris, mais peut aussi faire des ravages chez le pin sylvestre et le pin rouge. Au Québec, les dommages ont principalement été observés en plantation et sont dus à l'alimentation des larves. Les chenilles complètent leur cycle de vie sur deux ans. D'abord, pendant la première année, elles se nourrissent de rameaux et au cours de la deuxième année, elles se déplacent à la fourche des branches. Les rameaux endommagés finissent par se dessécher et briser sous l'effet du vent ou de la neige.

Les analyses menées chez les plantations de classe d'âge de 10 ans (en excluant les plantations de moins de 5 ans) prévoient une augmentation des superficies vulnérables des plantations lorsque la probabilité d'occurrence est faible, ce qui demeure stable entre 2011 et 2100. Une diminution, voire une absence, des superficies présentant une probabilité d'occurrence moyenne et élevée sont observées au fil du temps, indiquant une présence réduite de l'insecte.



**Figure 41.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour le nodulier du pin gris en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5, pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 42.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt vulnérable du nodulier du pin gris selon des probabilités d'occurrence faible (MaxEnt < 0,5), moyenne (0,5 ≤ MaxEnt ≤ 0,7) et grande (MaxEnt > 0,7) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100

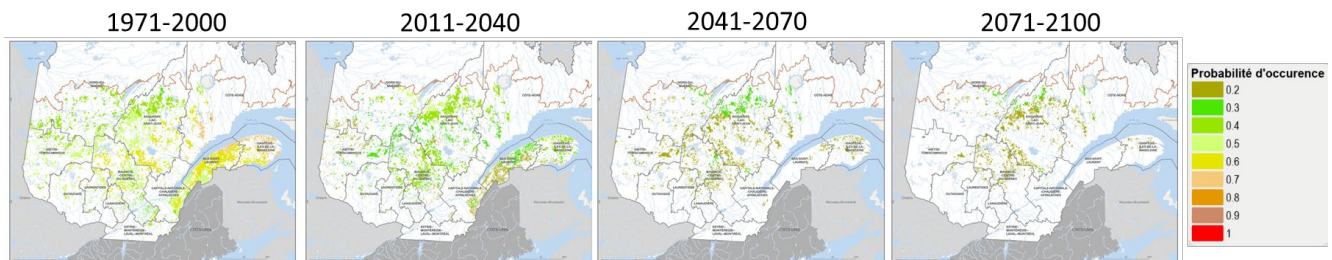




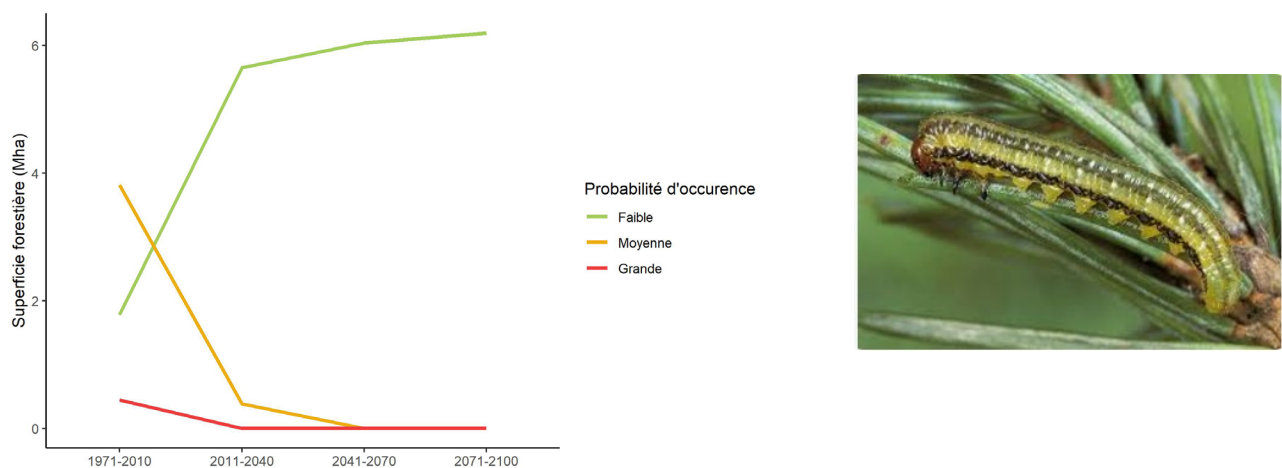
## Tenthrede à tête jaune

La tenthrede à tête jaune (*Pikonema alaskensis*) est un insecte indigène qui s'attaque principalement à l'épinette blanche et à l'épinette noire, mais également à d'autres épinettes. Les dommages ont principalement été observés en jeune plantation de six à 10 ans. Les forêts matures sont rarement affectées. L'insecte a un cycle de vie annuel, les chenilles se nourrissent de nouvelles aiguilles sur un tiers de la canopée. Les jeunes arbres sévèrement endommagés pendant trois ou quatre ans peuvent mourir rapidement, tandis qu'une défoliation légère peut entraîner un dépérissement des branches. Actuellement, le seul moyen de lutte contre une infestation est une intervention manuelle ou chimique à l'aide d'insecticides. Au Québec, l'utilisation d'insecticide chimique est interdite en milieu forestier naturel.

Les analyses réalisées chez les plantations de classe d'âge de 10 ans (en excluant les plantations de moins de 5 ans) anticipent une augmentation des superficies vulnérables des plantations lorsque la probabilité d'occurrence est faible, une tendance qui reste stable à partir de 2011 au fil du temps. En revanche, une diminution, voire une disparition, des superficies associées à une probabilité d'occurrence moyenne ou élevée sont observées, ce qui suggère une présence réduite de l'insecte. Ce dernier pourrait néanmoins demeurer présent de manière occasionnelle dans les plantations et de façon endémique.



**Figure 43.** Représentation cartographique de l'évolution de la probabilité d'occurrence pour la tenthrede à tête jaune en fonction de son enveloppe climatique selon le scénario climatique RCP 4,5 pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



**Figure 44.** Représentation graphique de la superficie (Mha) de forêt vulnérable pour la tenthrede à tête jaune selon des probabilités d'occurrence faible ( $MaxEnt < 0,5$ ), moyenne ( $0,5 \leq MaxEnt \leq 0,7$ ) et grande ( $MaxEnt > 0,7$ ) pour le scénario climatique RCP 4,5 et pour les périodes 1971-2000, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100



## Constats

L'intégration des phénomènes liés aux changements climatiques dans les modèles forestiers augmente la complexité de l'évaluation du risque associé aux perturbations naturelles. Cette étude préliminaire permet de dégager plusieurs pistes de réflexion concernant les insectes ravageurs préoccupants pour les forêts québécoises. L'annexe 1 résume les principaux constats de manière spécifique à chaque insecte.

Les tendances relatives à la présence des insectes ravageurs révèlent des évolutions diversifiées. Quelques constats peuvent être tirés de l'analyse. De manière générale, les changements climatiques pourraient rendre l'environnement de plus en plus défavorable pour certaines espèces d'insectes, notamment la tordeuse des bourgeons de l'épinette et la tordeuse du pin gris au sud et au centre de la province, respectivement. En effet, l'augmentation des températures limiterait la répartition de l'enveloppe climatique de certains insectes au sud du Québec et dans l'est du Canada, ce qui est cohérent avec les études scientifiques existantes (Régnière et coll., 2012a, Moise et coll., 2024).

Cependant, un climat plus doux au nord de certaines latitudes pourrait favoriser la survie hivernale et accroître le taux de reproduction et la croissance d'un insecte. Ceci entraînerait une persistance de son occurrence dans les forêts hôtes plus au nord et potentiellement une intensification des infestations. Certaines études récentes ont démontré ce phénomène pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette, entre l'épidémie des années '70-'80 et l'épidémie actuelle (Boulangier et coll., 2024), ainsi que pour la spongieuse en Ontario (Latifovic et Arain, 2024, Régnière et coll., 2009). Il est important de noter que l'analyse des insectes préoccupants pour la mortalité des arbres n'a pas été réalisée en tenant compte des différentes classes d'âge. Une analyse différenciée par classe d'âge pourrait fournir des résultats plus précis quant à la vulnérabilité de la forêt.

Les analyses présentées soulèvent des préoccupations croissantes concernant certains insectes envahissants exotiques, notamment le dendroctone méridional du pin, le longicorne asiatique, le puceron lanigère de la pruche et le fulgore tacheté. Dans un scénario climatique modéré prévoyant un réchauffement mondial de 2,4°C d'ici 2100, plusieurs de ces insectes exotiques pourraient étendre leur territoire d'impact à l'intérieur des forêts québécoises. Parmi les insectes exotiques étudiés, le longicorne asiatique, le dendroctone méridional du pin et le fulgore tacheté n'ont pas encore été répertoriés au Québec. Leurs enveloppes climatiques couvrent toutefois les régions au sud du Québec, ce qui rend les forêts de ces régions potentiellement vulnérables à ces insectes. En raison de leur caractère polyphage, voire généraliste, les insectes exotiques présentent un risque élevé de se répandre à une plus grande variété d'essences d'arbres, touchant tant les feuillus que les résineux, ce qui leur permet de se propager rapidement dans différents types de forêts (par exemple, feuillues et mixtes). Cette diversité alimentaire les rend particulièrement adaptables. Ainsi, certaines populations pourraient devenir plus spécialisées, notamment dans les régions ou les forêts géographiquement isolées (exemple, les plantations, les massifs forestiers isolés), ce qui accentuerait leur potentiel de nuisance et compromettrait la santé, la productivité des plantations et la régénération naturelle des peuplements. En ce qui concerne les plantations, l'application de pratiques sylvicoles appropriées pourrait diminuer les dommages observés comme, choisir des sites bien drainés, effectuer des plantations sous couvert (50 %) et utiliser des essences feuillues de grandes dimensions.

Cette analyse sur les insectes ravageurs met en évidence un constat important. À l'aube des réflexions sur les stratégies d'aménagement forestier adaptées aux changements climatiques, il est crucial d'intégrer l'effet de ces changements sur la probabilité d'occurrence des insectes ravageurs et de lier ce risque aux variations de composition forestière, comme l'indiquent plusieurs études récentes (Boisvert-Marsh et coll., 2022, Barrette et coll., 2024). Ces études révèlent que des espèces d'arbres en provenance de forêts tempérées, telles que l'érable rouge, l'érable à sucre, le chêne rouge et le peuplier faux-tremble peuvent s'implanter dans des sites typiquement occupés par des espèces boréales, même dans des conditions environnementales difficiles.



Le réchauffement climatique et les perturbations associées pourraient faciliter le recrutement d'espèces tempérées dans la forêt boréale, ouvrant la voie à de nouvelles trajectoires migratoires de la composition forestière. Dans cette même optique, et en raison du caractère polyphage des insectes exotiques, de nouvelles associations hôte-insecte pourraient émerger, engendrant des enjeux potentiels pour les forêts dans le contexte des changements climatiques. Une approche globale est indispensable pour aborder les préoccupations liées à la vulnérabilité des forêts face aux conséquences des changements climatiques. Toutefois, il est essentiel de considérer chaque contexte forestier en tenant compte de la composition des essences, de la qualité des sites et de la vulnérabilité des peuplements à d'autres menaces, comme le broutage par les cervidés.

## Limitations et mises en garde

Il est important de préciser que les analyses présentées dans ce rapport ne tiennent pas compte de l'évolution de la composition forestière. Elles sont plutôt basées sur une projection figée dans le temps de la carte écoforestière (MRNF, 2024) selon les conditions climatiques du climat historique de référence (1980-2010). Or, dans le cadre du scénario climatique choisi (RCP 4,5), cette composition pourrait également évoluer. Dans ce contexte, l'enveloppe climatique de l'insecte pourrait varier et de nouvelles conclusions pourraient en découler. L'utilisation de l'enveloppe MaxEnt n'implique pas non plus la prise en compte de la dynamique populationnelle de l'insecte et des relations insecte-prédateurs qui pourraient contrecarrer la présence accrue d'un insecte dans son territoire favorable.

## Implications et étapes suivantes

La caractérisation des insectes ravageurs sous changements climatiques s'inscrit dans le cadre du projet pilote en forêt tempérée et boréale qui vise à identifier les principaux insectes susceptibles de présenter de nouveaux enjeux dans les forêts du Québec. Les prochaines étapes du projet consisteront à affiner l'analyse du concept de risque en tenant compte de la vulnérabilité des forêts et de l'aléa apporté par les insectes identifiés dans ce rapport. De plus, les développements futurs du projet sur les changements climatiques permettront d'entreprendre des analyses intégrant une probabilité d'occurrence évolutive des insectes ravageurs en fonction d'une carte écoforestière dont l'exposition aux aléas pourrait varier dans le temps.

## Remerciements

Pierre Therrien, Direction de la protection des forêts (MRNF)

John Pedlar, Gouvernement du Canada (RNCAN, Centre de foresterie des Grands Lacs)



## Références

- Agence Canadienne d'inspection des aliments. (2024, 20 mai). *Insectes*. Gouvernement du Canada. [Insectes - inspection.canada.ca](https://inspection.canada.ca)
- Barrette, M., Dumais, D., Auger, I., & Boucher, Y. (2024). Clear-cutting of temperate forests in late successional stages triggers successional setbacks extending compositional recovery by an additional century. *Forest Ecology and Management*, 566, 122084.
- Boisvert-Marsh, L., Pedlar, J. H., de Blois, S., Le Squin, A., Lawrence, K., McKenney, D. W., ... & Aubin, I. (2022). Migration-based simulations for Canadian trees show limited tracking of suitable climate under climate change. *Diversity and Distributions*, 28(11), 2330-2348.
- Boulanger, Y., Desaint, A., Martel, V., Marchand, M., Massoda Tonye, S., Saint-Amant, R., & Regniere, J. (2024). Recent climate change strongly impacted the population dynamic of a North American insect pest species. *bioRxiv*, 2024-08.
- Gouvernement du Québec (2014). Le guide sylvicole du Québec. *Publications Québec, Québec*.
- GIEC, 2021, Annexe VII, (2024, 11 septembre). [Glossaire](#)
- Haack, R.A. 2023 (2024, 20 mai). EPPO datasheet: *Gilpinia hercyniae*. 7 p. <https://gd.eppo.int/taxon/GILPPO/datasheet>
- Hébert, C., Comtois, B., Lazure, R. et Morneau, L. (2017). *Insectes des arbres du Québec*. Les publications du Québec. <https://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/feuilleter/978-2-551-26011-9/mobile/index.html>
- ISO 14091: 2021 Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques. Première édition, 2021-02.
- Larouche, C., Guillemette, F., Raymond, P., & Saucier, J. P. (2013). Le guide sylvicole du Québec: les concepts et l'application de la sylviculture. *Gouvernement du Québec*
- Latifovic, L., & Arain, M. A. (2024). The impact of spongy moth (*Lymantria dispar dispar*) defoliation on carbon balance of a temperate deciduous forest in North America. *Agricultural and Forest Meteorology*, 354, 110076.
- Moise, E. R., Warren, J., & Bowden, J. J. (2024). Impacts of winter warming events on spruce budworm: the importance of timing. *Journal of Insect Science*, 24(2), 17.
- Pedlar, J. H., McKenney, D. W., Yemshanov, D., & Hope, E. S. (2020). Potential economic impacts of the Asian longhorned beetle (Coleoptera: Cerambycidae) in Eastern Canada. *Journal of Economic Entomology*, 113(2), 839-850.
- Perbet, P., Guindon, L., Côté, J. F., & Béland, M. (2024). Evaluating deep learning methods applied to Landsat time series subsequences to detect and classify boreal forest disturbances events: The challenge of partial and progressive disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 306, 114107.
- Phillips, S. J., and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161–175.
- Reeve, J. D. (2018). Synchrony, weather, and cycles in southern pine beetle (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental entomology*, 47(1), 19-25.





Régnière, J., Nealis, V., & Porter, K. (2009). Climate suitability and management of the gypsy moth invasion into Canada. *Ecological impacts of non-native invertebrates and fungi on terrestrial ecosystems*, 135-148.

Régnière, J., Powell, J., Bentz, B., & Nealis, V. (2012a). Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: experimental design, data analysis and modeling. *Journal of insect physiology*, 58(5), 634-647.

Régnière, J., St-Amant, R., & Duval, P. (2012b). Predicting insect distributions under climate change from physiological responses: spruce budworm as an example. *Biological Invasions*, 14, 1571-1586.

Ressources naturelles Canada. (2024, 08 novembre). *Insectes*. Gouvernement du Canada. <https://aimfc.rncan.gc.ca/fr/insectes>

U.S. Forest Service. (n.d.). *Southern pine beetle maps overview* (PDF). U.S. Department of Agriculture. [https://www.fs.usda.gov/foresthealth/technology/pdfs/spb\\_maps\\_Overview.pdf](https://www.fs.usda.gov/foresthealth/technology/pdfs/spb_maps_Overview.pdf)



## Annexe 1

Résumé des principaux constats pour chaque insecte analysé. Les tendances de probabilité d'occurrence ont été effectuées en considérant la variation de probabilité entre la période 2011-2040 et la période 2071-2100

Insectes	Type de préoccupation	Superficie potentielle totale (ha)	Tendance de la probabilité d'occurrence	Variabilité de la probabilité d'occurrence	Projection des régions touchées
Tordeuse des bourgeons de l'épinette	Mortalité	16 456 300	↓	Faible : + 253 % Moyenne : - 74 % Forte : - 99 % Moy et forte : - 75 %	Nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean, de la Côte-Nord, de la Capitale-Nationale-Chaudière-Appalaches et de la Gaspésie
Spongieuse	Mortalité	28 145 300	↑	Faible : - 100 % Moyenne : - 77 % Forte : + 473 % Moy et forte : + 63 %	Diminution en Estrie, mais augmentation en Abitibi-Témiscamingue, au Saguenay-Lac-Saint-Jean et dans la Capitale-Nationale
Arpenteuse de la pruche	Mortalité	11 406 400	↓	Faible : - 93 %	Bas-Saint-Laurent et Côte-Nord
Cochenille du hêtre	Mortalité	112 600	↓	Faible : + 926 % Moyenne : - 16 % Forte : - 6 % Moy et forte : - 9 %	Sud-Ouest de la province
Livrée des forêts	Perte de productivité	10 122 900	▬	Faible : - 100 % Moyenne : + 1 744 % Forte : - 13 % Moy et forte : - 0,01 %	Centre et Ouest de la province
Dendroctone de l'épinette	Perte de productivité	2 144 100	↓	Faible : + 8 % Moyenne : - 94 % Forte : - 87 % Moy et forte : - 93 %	Gaspésie
Perceur de l'érable	Perte de productivité	4 066 900	↓	Forte : - 62 %	Région du sud de la province
Tordeuse du tremble	Perte de productivité	1 807 000	↓	Faible : + 92 % Moyenne : - 100 % Forte : - 100 % Moy et forte : - 100 %	Centre et Nord de la province
Tordeuse du pin gris	Perte de productivité	3 054 700	↓	Faible : + 129 % Moyenne : - 99 % Forte : - 100 % Moy et forte : - 99 %	Ouest de la province
Agrile du frêne	Insecte exotique	65 400	▬	Faible : - 100 % Moyenne : + 362 % Forte : - 3 % Moy et forte : - 0,1 %	Sud du Québec, Abitibi-Témiscamingue et Capitale-Nationale
Dendroctone du pin ponderosa	Insecte exotique (Ouest Canadien)	2 228 300	▬	-	Probabilité très faible (moins de 20 %) d'avoir des conditions favorables à l'insecte au cours du prochain siècle



Dendroctone méridional du pin	Insecte exotique (Sud des É-U)	1 285 200	↑	Faible : - 69 % Moyenne : + 1 520 % Forte : - 21 573 % Moy et forte : + 5 589 %	Ensemble de la province
Longicorne asiatique	Insecte exotique	11 383 500	↑	Faible : - 100 % Moyenne : + 97 % Forte : + 271 % Moy et forte : + 7 %	Ensemble de la province
Fulгоре tacheté	Insecte exotique	7 339 200	↑	Faible : - 75 % Moyenne : + 130 % Forte : + 1329 % Moy et forte : + 367 %	Sud et Est de la province
Puceron lanigère de la pruche	Insecte exotique	1 074 000	↑	Faible : - 69 % Moyenne : + 1 520 % Forte : + 21 574 % Moy et forte : + 5 589 %	Sud de la province
Diprion européen de l'épinette	Insecte exotique	13 109 100	↓	Faible : + 18 % Moyenne : + 47 % Forte : - 41 % Moy et forte : - 5 %	Ensemble de la province
Aphrophore du pin	Plantation	81 500	↓	Faible : - 100 % Moyenne : - 100 % Forte : - 100 % Moy et forte : - 100 %	Présence historique dans le sud de la province, mais probabilité très faible (moins de 20 %) d'avoir des conditions favorables à l'insecte au cours du prochain siècle
Charançon du pin	Plantation	81 800	=	Forte : + 2 %	Dispersé dans la province pour les plantations de classe d'âge de 10 ans
Charançon du pin blanc	Plantation	79 900	↓	Faible : + 6 688 % Moyenne : - 99 % Forte : - 100 % Moy et forte : - 99 %	Probabilité de présence de moindre importance, avec une diminution dans le temps
Diprion LeConte	Plantation	51 300	=	Moyenne : - 88 % Forte : + 7 % Moy et forte : - 0,001 %	Plantation de classe d'âge de 10 ans
Nodulier du pin gris	Plantation	51 300	↓	Faible : - 1 % Moyenne : - 100 %	Plantation de classe d'âge de 10 ans
Tenthredo à tête jaune	Plantation	604 400	↓	Faible : + 248 % Moyenne : - 100 % Forte : - 100 % Moy et forte : - 100 %	Probabilité de présence de moindre importance

