

## Modélisation du futur des forêts et de l'habitat de l'orignal à l'interface de la forêt mixte et boréale avec LANDIS-II



**Clément Hardy**

Université Du Québec à Montréal

**Christian Messier**

Université Du Québec à Montréal

**Jesus Pascual Puigdevall**

Ressources Naturelles Canada

**Yan Boulanger**

Ressources Naturelles Canada

**Dominic Cyr**

Environnement et Changement climatique Canada

**Élise Filotas**

Téléuniversité du Québec



Vendredi 3 mai 2024 - 17eme Colloque du CEF

- Bonjour tout le monde; mon nom est Clément, récemment docteur qui travaille maintenant au sein du projet DIVERSE de Christian Messier.
- Aujourd'hui, je vais vous montrer des résultats concernant la modélisation de la qualité de l'habitat de l'orignal dans une zone à l'interface entre la forêt mixte et la forêt boréale.



Avant de commencer, je dois vous dire que je ne vous parlerais pas de foresterie autochtone aujourd'hui.

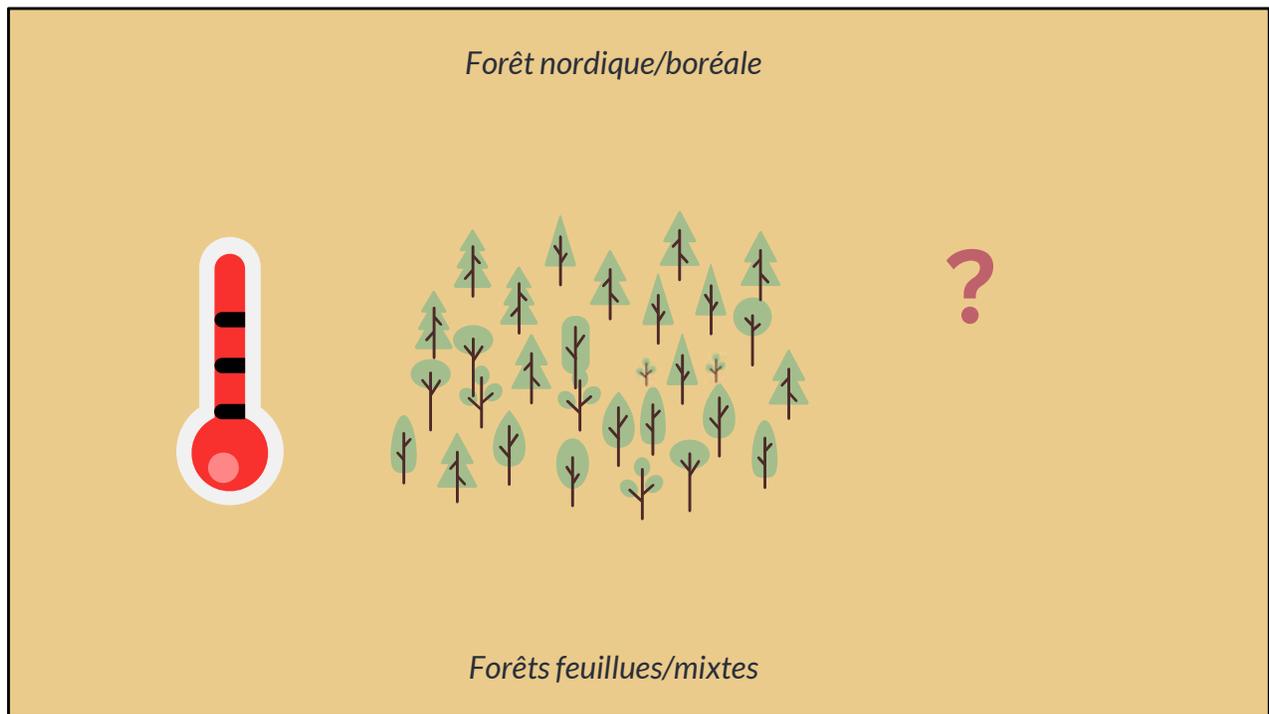
Cette étude a été faite pour répondre à des interrogations de la communauté Atikamekw de Manawan qui sont des partenaires du projet DIVERSE, et en particulier l'équipe Faune et Écosystème avec qui on travaille étroitement. À la base, j'allais donc vous parler des enjeux sociaux et culturels qui se trouvent autour de ce travail.

Mais on a vraiment mal géré notre timing; on a préparé cette présentation et soumis l'abstract avant qu'on ai eu le temps d'aller présenter ces résultats à la communauté, ce que l'on a pas pu faire entre temps, et ce qui a été reporté a Juin prochain.

Fait que par respect pour la communauté, pour ne pas parler de leur territoire - le nitaskinan -, leur culture ou de leurs enjeux sans qu'ils puissent voir ce qu'on allait montrer en premier lieu, on a décidé de vous présenter seulement l'aspect écologique de notre travail. C'est de notre faute, et on aurait du voir cette éventualité avant de mentionner ce projet au CEF. J'espère pouvoir vous présenter le tout une prochaine fois.

En attendant, pour celles et ceux qui s'attendaient à ce qu'on parle de foresterie autochtone, j'espère que vous verrez ce mea culpa comme une tentative d'un blanc - ou

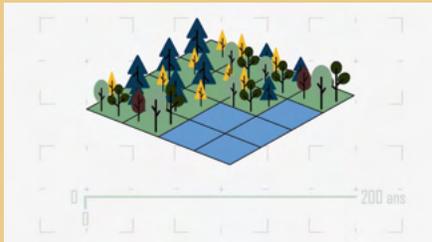
emitcikociwic (ai - mite - cique - quo - si - ouique) en Atikamekw - de ne pas reproduire un schéma de mention ou d'utilisation des communautés autochtone au sein de la science sans leur accord explicite; et de faire en sorte que ce travail, quand il sera présenté au complet, soit une véritable collaboration avec la communauté Atikamekw de Manawan.



- Comme on va le repeater environs 50 fois durrant ce colloque, la composition des forêts du Québec risque de changer profondément avec les changements climatiques.
- Mais ces changements de composition risquent d'être différents entre les forêts feuillues et mixtes plus au sud du Québec, et les forêts boréales plus nordiques.
- Ca pose beaucoup de questions sur comment certaines espèces fauniques importantes au Québec, comme l'original dont on va parler aujourd'hui, vont réagir a ces changements a l'interface entre ces différentes forêts.

## LANDIS-II

*Forest Landscape Model*



*Nourriture : forêts + jeunes, bourgeons riches en sucres*



*Couverture : Forêts plus âgées, conifères*

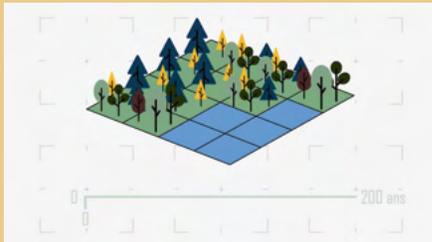


*Zones humides : sel, rafraichissement, protection contre insectes*

- Pour essayer de prédire ces changements, et anticiper ce qu'on pourrait faire pour minimiser leurs impacts négatifs, on peut modéliser l'évolution des forêts dans le futur.
- C'est ce qu'on a fait avec le modèle LANDIS-II, qui est un modèle qui simule l'évolution des forêts d'un paysage forestier sous formes de pixels, en prenant en compte les changements climatiques, les perturbations humaines et naturelles.
- On a utilisé LANDIS-II pour voir comment l'habitat de l'orignal va évoluer avec les changements climatiques et les activités humaines.
- Le souci, c'est que quantifier l'habitat de l'orignal n'est pas simple. C'est un animal très intelligent et complexe qui a des besoins particuliers. Dans son domaine vital, il a besoin de forêts où il trouve sa nourriture, souvent des forêts jeunes avec des feuillus aux bourgeons riches en sucre; mais aussi des forêts plus âgées qui vont lui servir de refuge l'hiver et l'été contre la météo et les prédateurs; mais aussi des zones humides, où il trouve le sel dont il a besoin, du rafraichissement, et un peu de répit face aux insectes l'été.

## LANDIS-II

*Forest Landscape Model*



Nuancé



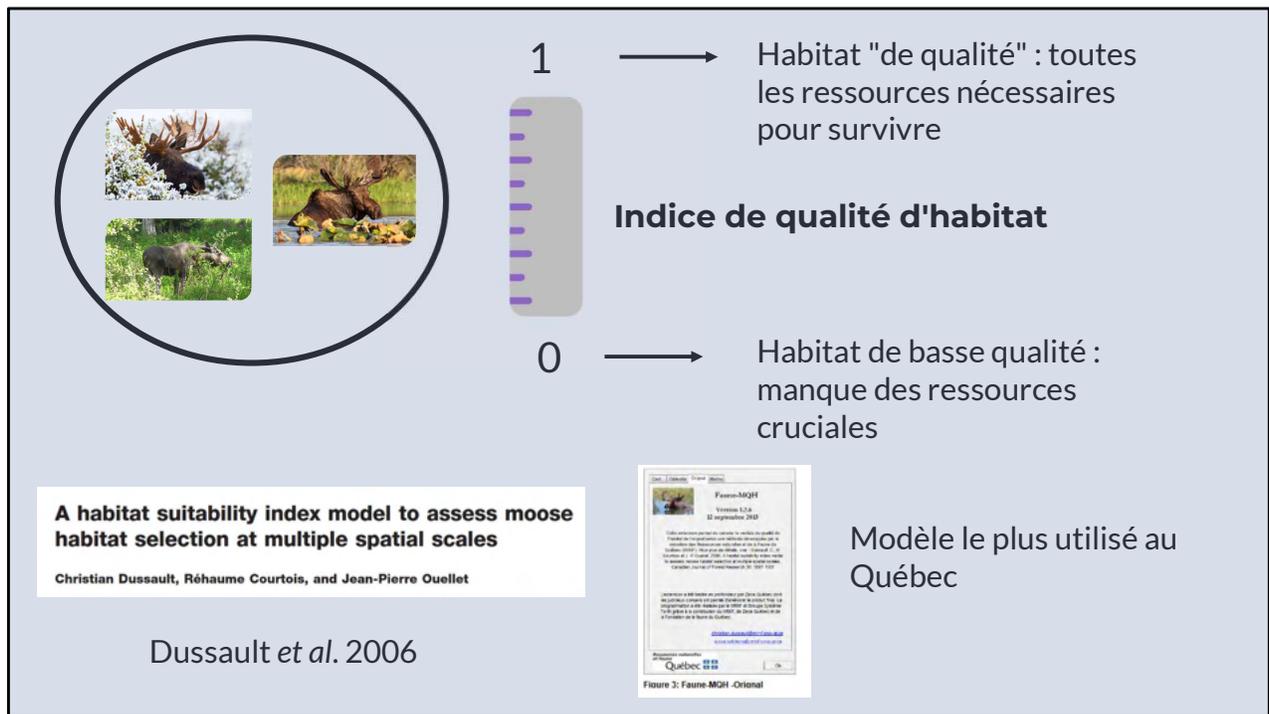
Haute résolution



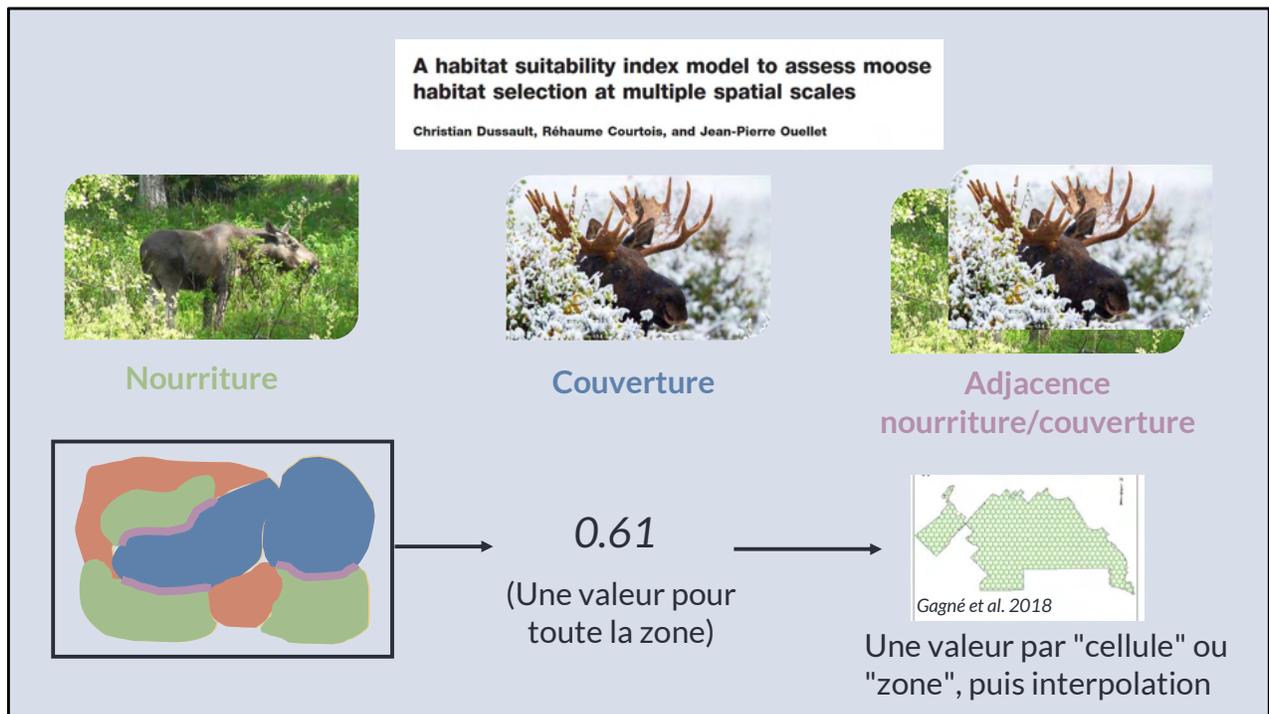
Compréhensible



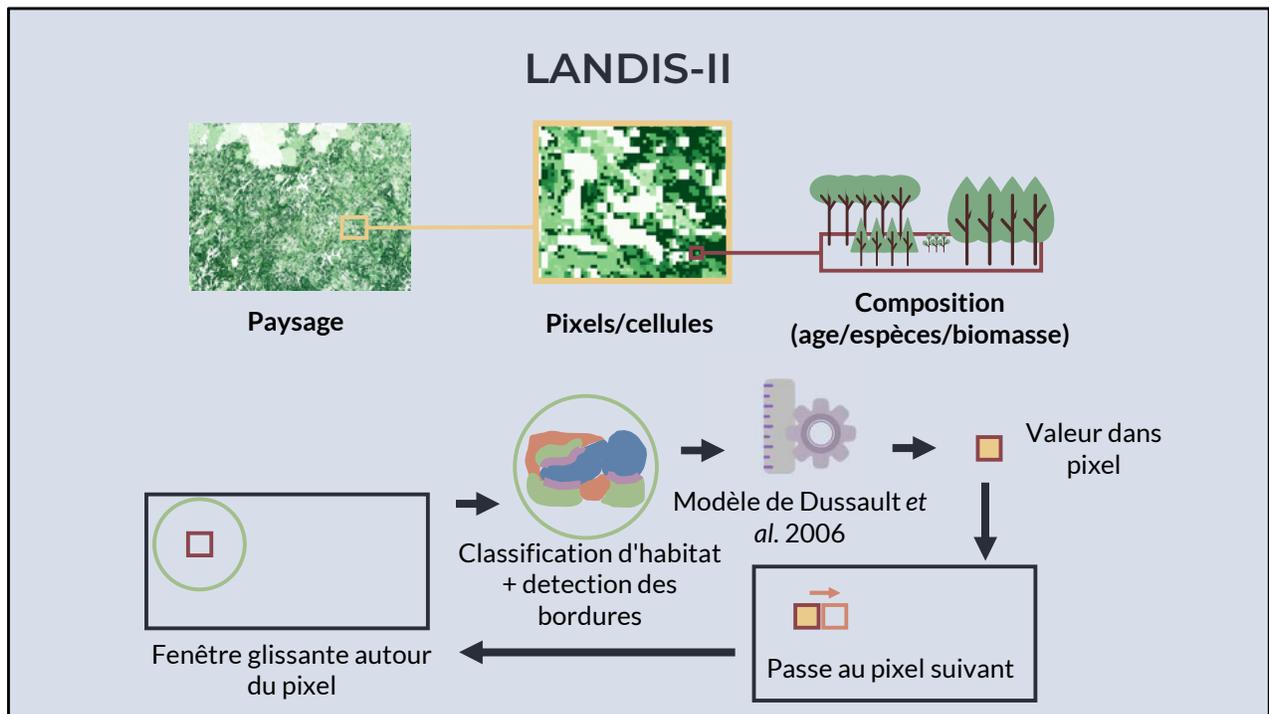
- Fait que notre objectif, c'était de pouvoir simuler et prédire l'évolution de l'habitat de l'original tout en prenant en compte les nuances de ses besoins; de faire en sorte de l'estimer a haute résolution pour voir sa variation spatiale dans les détails; et faire en sorte que ce soit compréhensible.
- Ce dernier point peut paraître étrange; mais quand on considère un modèle bien compliqué comme LANDIS-II et qu'on ajoute à ça des mesures de qualité d'habitat comme on va en voir, on peut vite se retrouver face à quelque chose dont on ne peut pas vraiment expliquer ou comprendre ce qui se passe au niveau des résultats.



- Fait que pour quantifier la qualité d'habitat pour l'original, on a utilisé un indice de qualité; ce sont des mesures qui changent généralement de 0 – pour un habitat de « mauvaise qualité » qui n'as pas les ressources nécessaires a la survie de l'espère que l'on considère – a 1, ou toute les ressources sont là.
- De notre coté, on a utilisé l'indice de Dussault et Collègues pour l'original, développé et testé au Quebec. C'est le modèle le plus utilisé au Québec aujourd'hui dans les études et les rapports qui s'interessent à la qualité d'habitat pour l'original.



- Cet indice là fonctionne de manière à la fois simple et compliquée : il se base sur la présence de 2 types de forêts dans la zone qu'on étudie. Les forêts "nourriture", et les forêts « couverture » similaires a ce dont j'ai parlé tantot.
  - Ces types de forêts sont identifiés via des codes de peuplements des cartes ecoforestières du ministères de forêts, ce qui rend ca simple a identifier dans ce contexte. Dans LANDIS-II, je les ai classifié de manière plus arbitraire, mais selon la meme logique que ce que l'indice utilise.
- Mais surtout, ce indice va se baser sur les adjacences entre les forêts nourriture et couverture, parceque l'original apprécie quand ces forêts sont cote à cote dans le paysage, et qu'il peut passer de l'une a l'autre rapidement.
- Pour le calcul, on prend donc une zone avec des peuplements forestier; on identifie les peuplements nourriture, les peuplements couverture, on regarde leur adjacences, et on ne s'occupe pas des autres qui sont considéré comme inintéressants pour l'original.
- On utilise l'équation du modèle qui nous donne une valeur pour toute notre zone, basé sur la surface des types de forêts et les adjacences.
  - Ca fait qu'on obtient une valeur par zone; et comme ca demande un peu de calcul spatial pour les adjacences, généralement, les études vont diviser le paysage étudié en cellules plutôt grossières, calculer une valeur par cellule, et faire de l'interpolation pour avoir un continuum de valeurs dans le paysage.



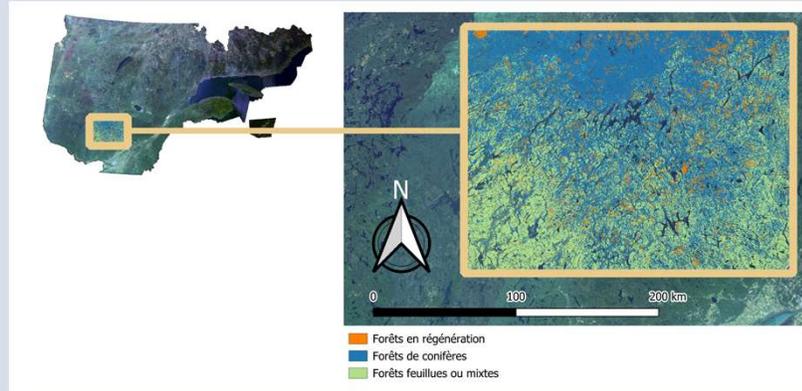
- De notre côté, on voulait profiter des données qu'on a dans LANDIS-II pour essayer d'avoir une résolution plus haute. LANDIS-II simule un paysage avec des pixels; et dans ces pixels, on a des données de végétations quand même précises, plus précises que les cartes du ministère des forêts.
- J'ai développé une méthodologie pour profiter de ça; on utilise une fenêtre glissante quand elle définit autour de chaque pixel de notre paysage, un par un.
  - Dans cette fenêtre, qui a une taille correspondant au domaine vital moyen d'un original, on regarde les forêts, on les reclassifie et on regarde les adjacences.
  - On calcule l'indice de Dussault, on met la valeur dans notre pixel, on passe au pixel suivant, et on fait ça pour tous les pixels de la carte.
  - Ça nous donne des cartes raster où la variation de l'indice n'est pas interpolée, et où elle varie précisément dans l'espace.

## LANDIS-II



1h de résolution  
100 ans

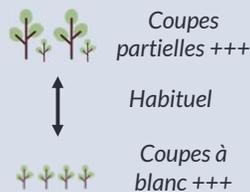
- Feu
- Tordeuse
- Récolte



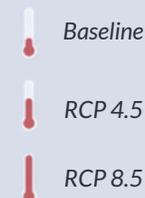
Volume marchand récolté/5 ans



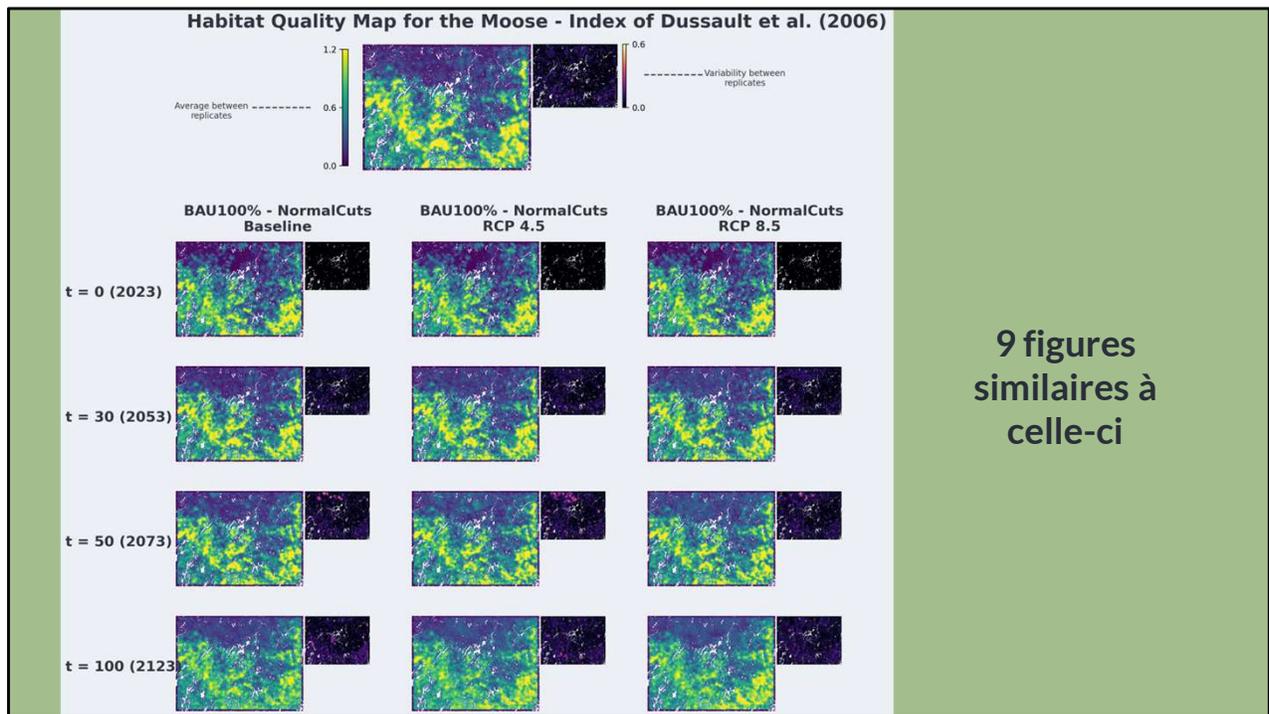
Régime de coupes



Changements climatiques

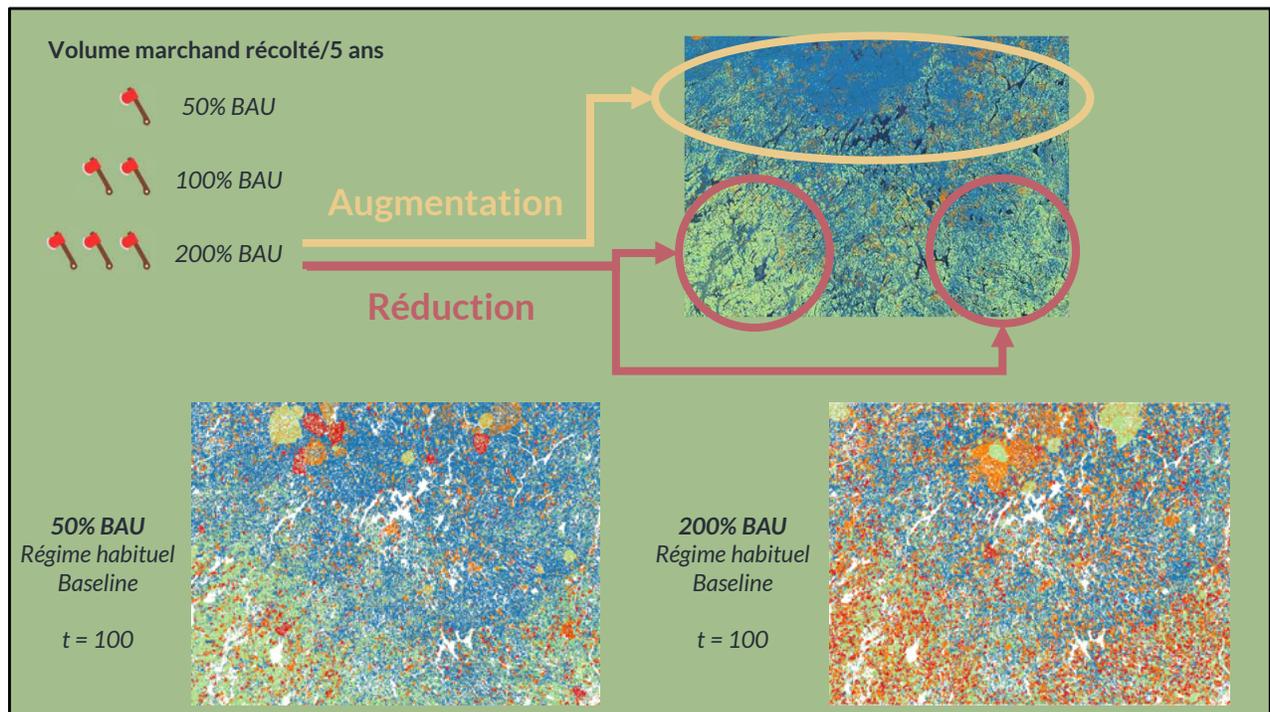


- Suite a ca, on a donc fait différentes simulations avec LANDIS-II pour voir comment l'indice allait changer.
- On a simulé une grande zone située en Mauricie, autour du village Atikamekw de Manawan, a l'interface entre la forêt boréale et mixte. On le vois sur la carte : en bleu, on a des forêts de conifères bien plus présente dans le nord; et en vert, des forêts feuillues ou mixtes que l'on vois dans le sud de la zone.
- On a utilisé une résolution de pixel de 1ha pour simuler ce paysage pendant 100 ans, avec des feux de forêts, les épidémies périodiques de tordeuse, et la récolte.
- On a fait différents scénarios de récolte et de changements climatiques en faisant varier 3 facteurs :
  - Le volume marchand récolté, qui pouvait être le niveau de récolte actuelle, le double ou la moitié.
  - Le régime de coupes, avec le régime actuel, ou bien plus de coupes partielles ou plus de coupes totales.
  - Et les changements climatiques, avant un scénario Baseline ou le climat ne change pas a partir d'aujourd'hui; RCP 4.5 et RCP 8.5.
- On a fait des simulations avec toutes les combinaisons possibles de ces 3 facteurs, plus 5 répliquas par simulation pour prendre en compte la stochasticité des certaines processus dans LANDIS-II comme les feux.

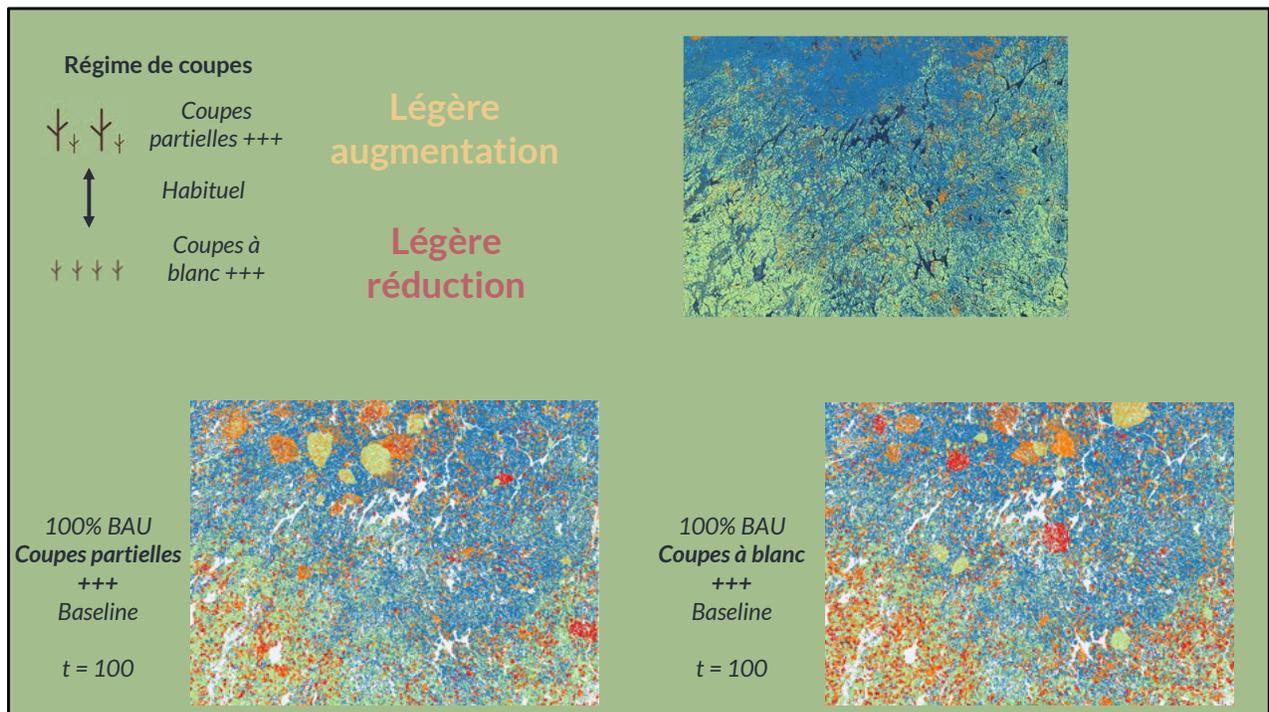


9 figures similaires à celle-ci

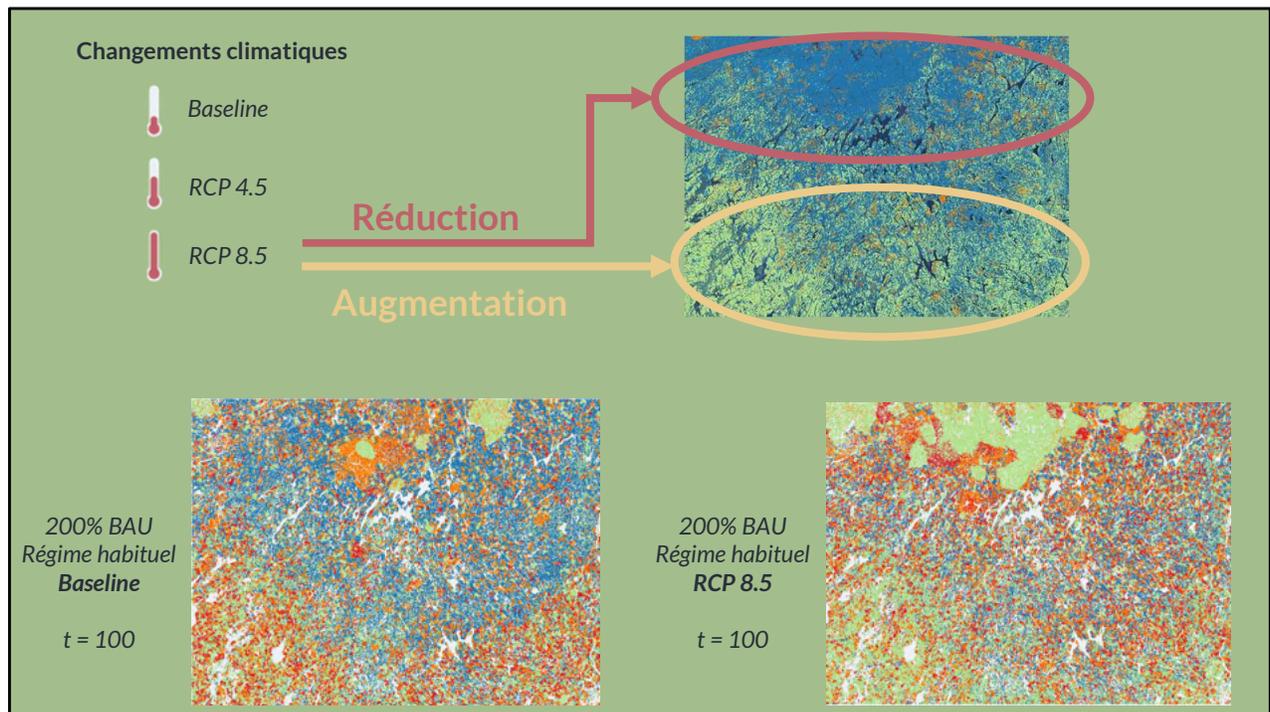
- Voilà a quoi ressemble les figures que l'on a produit.
  - Chacune figure montre des cartes pour une combinaison de niveau de récolte et de régime de coupes, et les 3 colonnes correspondent aux scénarios de changements climatiques.
  - Chaque grande carte montre les valeurs moyennes entre les 5 réplicats, avec des valeurs plus hautes en jaune, plus basses en bleu; et la petite carte qui accompagne a coté montre la variabilité entre réplicas.
- A cause de toutes nos combinaisons de facteurs, il y a 9 figures comme ca. Je ne vais pas toutes vous les montrer, et vais plutôt vous pointer ce qui en ressort, et comment on comprend ce qui en ressort.



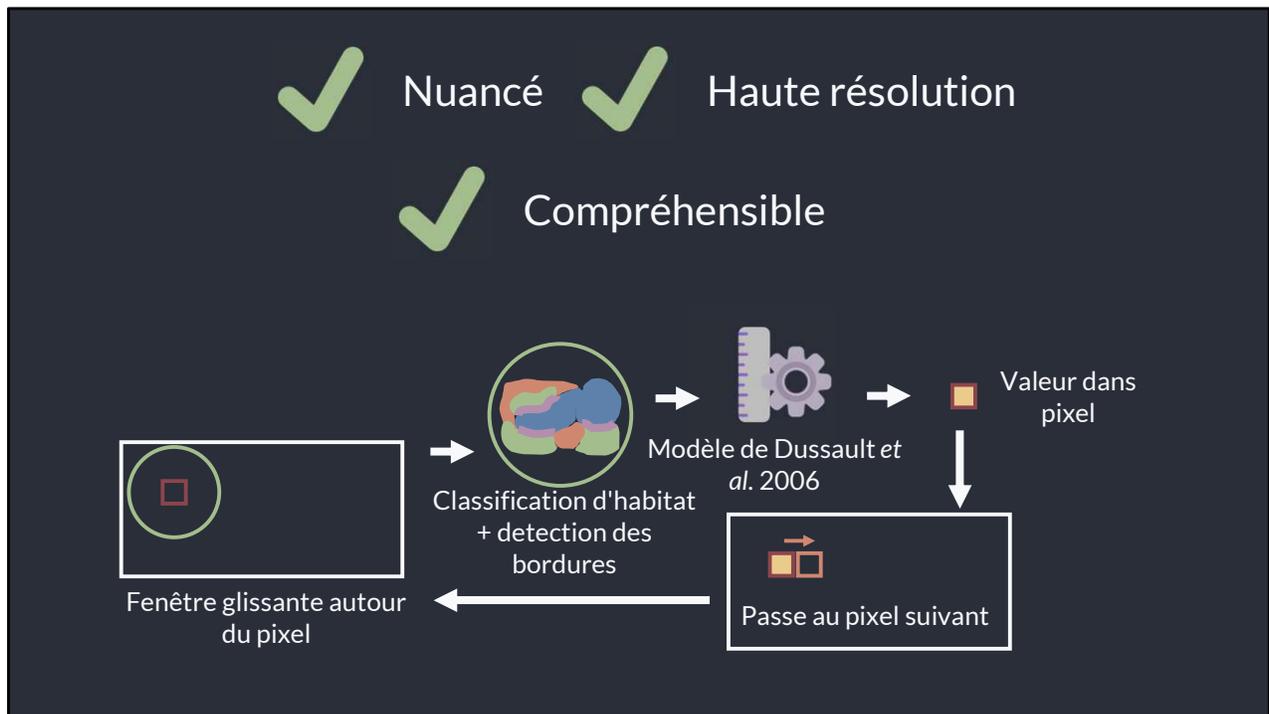
- Si on regarde l'effet du niveau de récolte pour commence, on peut voir qu'une récolte accrue a tendance a réduire la qualité d'habitat dans le sud de la zone, surtout les coins sud-est et sud-ouest ou on voit plus de forêts feuillues et mixtes; et d'augmenter légèrement la qualité d'habitat dans le nord, là où il y a plus de conifères.
- Pour comprendre pourquoi, je vous montre deux cartes qui montrent le point de vue de l'indice de Dussault et collègues; en vert sur ces cartes, ce sont les forêts « nourriture »; en bleu, ce sont les forêts « couverture »; et en orange et rouge, les forêts trop jeunes ou inintéressantes selon l'indice pour l'original. A gauche, c'est un scénario avec la moitié du niveau de récolte, en fin de simulation; a droite, c'est un scénario avec 2 fois plus de récolte.
  - On voit très bien que la récolte accrue a favorisé des peuplements pas intéressants pour l'original dans le sud, et a retiré les quelques rares et précieux peuplements de couverture; dans le nord, les coupes ont créé des peuplements inintéressants, mais ont aussi quelques peuplements de nourritures qui sont autrement plus rares au nord, ce qui a augmenté un peu l'IQH.



- Si on regarde les régimes de coupe, les coupes partielles ont tendance à légèrement augmenter l'HQI dans la zone; alors que les coupes totales tendent à légèrement le baisser.
- Si on regarde des cartes en fin de simulation pour deux scénarios avec des coupes partielles (à gauche) ou totales (à droite)
- On peut voir que les coupes totales ont tendance, pour un même niveau de récolte, à réduire les habitats « couverture » et à remplacer les habitats « nourriture » par des forêts trop jeunes ou inintéressantes, qui sont souvent des peuplements composés de feuillus intolérants à l'ombre. Les coupes partielles ont moins tendance à faire ça.

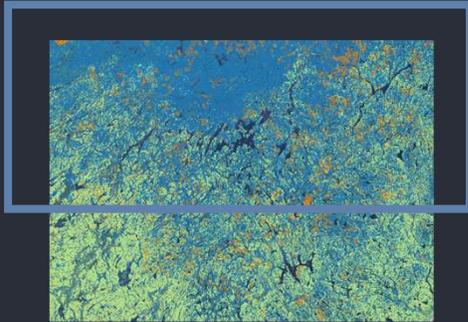


- Pour le climat, c'est l'inverse du niveau de récolte : les scénarios climatiques plus intenses ont une tendance à réduire l'IQH dans le nord, et à l'augmenter dans le sud.
- Quand on regarde les cartes, on voit que le scénario le plus intense – le RCP 8.5 avec le plus d'émission de CO<sub>2</sub> – tend à influencer les successions végétales en favorisant les feuillus tolérants à l'ombre comme l'érable ou le hêtre, ce que l'original apprécie. Ça fait plus de peuplements de nourriture. Par contre, on voit que la réduction en peuplements de couverture est vraiment forte dans le nord, tellement forte que cela mène à une réduction de l'IQH. Cette réduction est menée beaucoup par les perturbations naturelles comme le feu, mais aussi le climat qui favorise les espèces thermophiles au détriment des conifères.



- Au final, pour revenir a notre problématique, je dirais qu'on a réussi a produire une méthodologie qui prend bien en compte les nuances de l'habitat pour l'original; on a des cartes hautes résolutions pour l'IQH que l'on peut correctement interpreter grace aux cartes des types d'habitat.
- A ce que j'en sais, cette méthodologie de fenetre glissante que j'ai pu faire est une nouveauté, ce qui pourrait aider a améliorer les études basés sur cet indice dans le futur.

## Nord



### Opportunités

Forêts « couvert » se mélangent avec les « nourriture » créés par enfeuillage, feux, coupes et augmentent la qualité d'habitat.



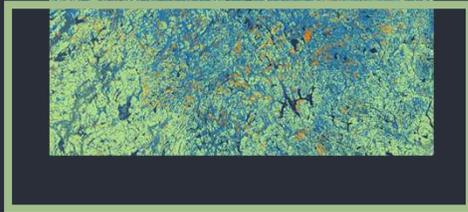
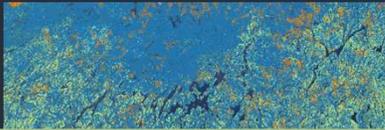
### Risques

Remplacement massif des peuplements « couverts » par des peuplements « inintéressants » ou « nourriture » à cause des CC et des coupes baisse la qualité d'habitat.

- Au final, nos résultats suggèrent que dans le nord de la zone, il y a des opportunités d'augmenter la qualité d'habitat dans le futur alors que le climat et les coupes pourraient augmenter la quantité de peuplement « nourriture ».
- Par contre, il y a un risque important que les changements climatiques et les coupes pourraient retirer trop de peuplements de couvertures, laissant seulement des peuplements « nourriture » ou des peuplements inintéressants. Il y a donc un seuil à partir duquel on risque d'avoir de grandes dégradations de la qualité d'habitat.

## Opportunités

CC et moins de coupes/coupes partielles préservent des peuplements « nourritures » et génèrent des peuplements « couvert » en favorisant des forêts plus matures avec conifères et feuillus tolérants à l'ombre.



Sud



## Risques

Trop couper génère des peuplements « inintéressants » (jeunes, feuillus intolérants à l'ombre) et réduit la quantité des rares peuplements « couvert ».

- Dans le sud, il sera sûrement possible d'augmenter la qualité d'habitat en réduisant les coupes et en faisant plus de coupes partielles; avec les changements climatiques, cela pourrait garder ou générer les peuplements nourriture et couverture nécessaires pour l'original, en favorisant surtout les forêts matures avec des feuillus tolérants à l'ombre.
- Mais les peuplements de couverture étant plus rares dans le sud, il est possible que trop couper les fasse disparaître en les remplaçant par des forêts trop jeunes ou avec des feuillus intolérants à l'ombre que l'original aime moins, ce qui mènerait à une dégradation forte de l'habitat pour l'original



## Recommandations

- Couper moins (surtout dans le sud)
- Plus de coupes partielles, moins de coupes à blanc
- Protéger les peuplements « couverture » au sud
- Transférer les coupes plus au nord si besoin
  - Favoriser les peuplements mixtes et matures



## Limites

- On ne parle que de l'habitat
  - Facteurs importants : chasse, prédation, collisions, maladies, connectivité, températures, etc.
- Limites de l'indice de Dussault et al. 2006
  - Prise en compte des zones humides
  - Catégorisation du MRNF
  - Validation ?
- Limites de LANDIS-II
- Autres espèces ?

- Si je peux en sortir quelques recommandations, je dirais que nos résultats suggèrent qu'il faudrait :
  - Couper moins, surtout dans le sud
  - Faire plus de coupes partielles que de coupes à blanc
  - Protéger les peuplements « couverture » au sud qui sont plus rares
  - Transférer les coupes plus au nord si besoin
  - Et faire un aménagement qui favorise les peuplements mixtes et matures
- Il faut cependant garder quelques limites importantes liées à notre étude
  - Déjà, la limite de tous les indices de qualité d'habitat, c'est qu'on ne prend pas en compte tous les autres facteurs qui influencent la présence et l'abondance de l'orignal : la chasse, la prédation, les collisions avec les voitures, les maladies, etc.
  - Ensuite, l'indice de Dussault et Collègues a ses limites : il ne prend pas en compte les zones humides, est très lié aux classifications du ministère des forêts, et il est difficile de le valider sur des données empiriques.
  - Il y a les limites liées à un modèle complexe comme LANDIS-II,
  - Mais aussi le fait que ce qui est bon pour l'orignal n'est pas forcément bon pour d'autres espèces. On ne voit donc ici qu'une facette des problèmes liés aux changements climatiques; mais c'est une facette importante, et je pense que notre méthodologie est quand même très puissante pour explorer l'évolution

d'une zone si grande dans le futur.

Merci pour votre attention !



**Clément Hardy**



*clem.hardy@pm.me*



*klemet.github.io*



Élise  
Filotas



Christian  
Messier



Jesus  
Pascual  
Puigdevall



Yan  
Boulanger



Dominic  
Cyr



- Voilà tout ! Je vous remercie de votre attention.
- Si vous avez des questions, vous pouvez me contacter a mon adresse mail a l'écran, ou bien passer sur ma page web pour en savoir plus sur mes recherches et autres travaux.
- Je tiens a remercier mes collaborateurices, Elise Filotas, Christian Messier, Jesus Pascual Puigdevall, Yan Boulanger et Dominic Cyr qui ont tous participé a construire cette méthodologie au fil des années.
- Mais aussi a mentionner que ces recherches ont été faites au sein du projet DIVERSE avec des fonds du CRSNG et des nombreux partenaires du projet – trop nombreux pour que je les cite ici -; et un grand merci a l'UQAM, la TELUQ et au CEF qui sont ma maison académique.