

Stress hydrique et croissance dans les forêts tempérées et boréales de l'Est de l'Amérique du Nord



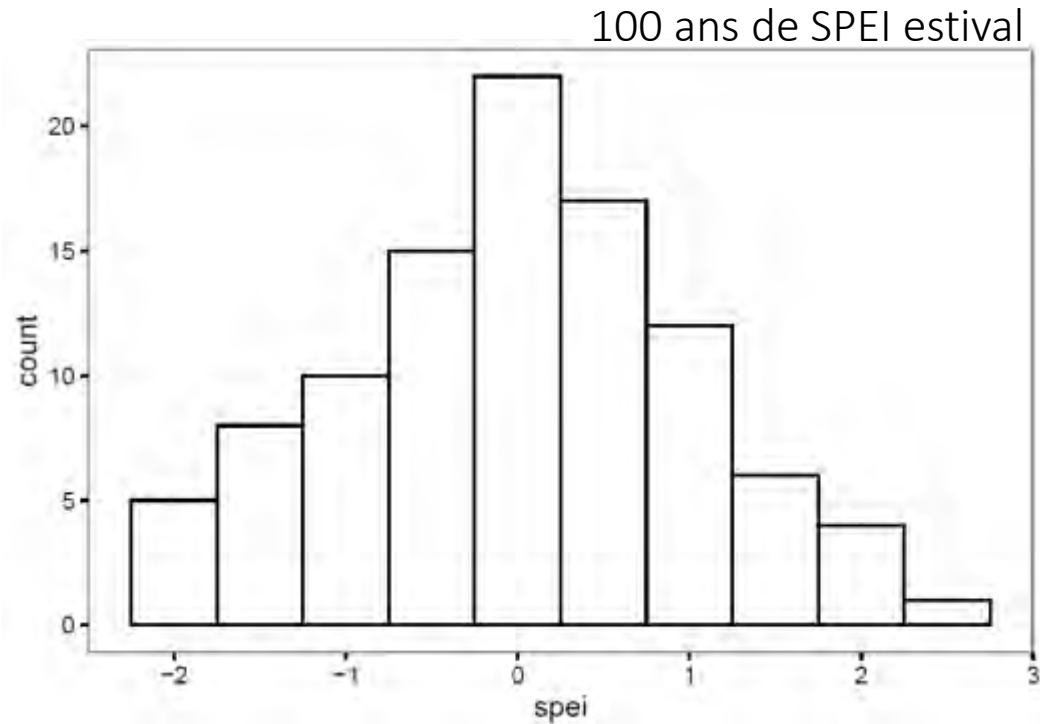
Loïc D'Orangeville, Ph.D.

Indiana University & Université du Québec à Montréal

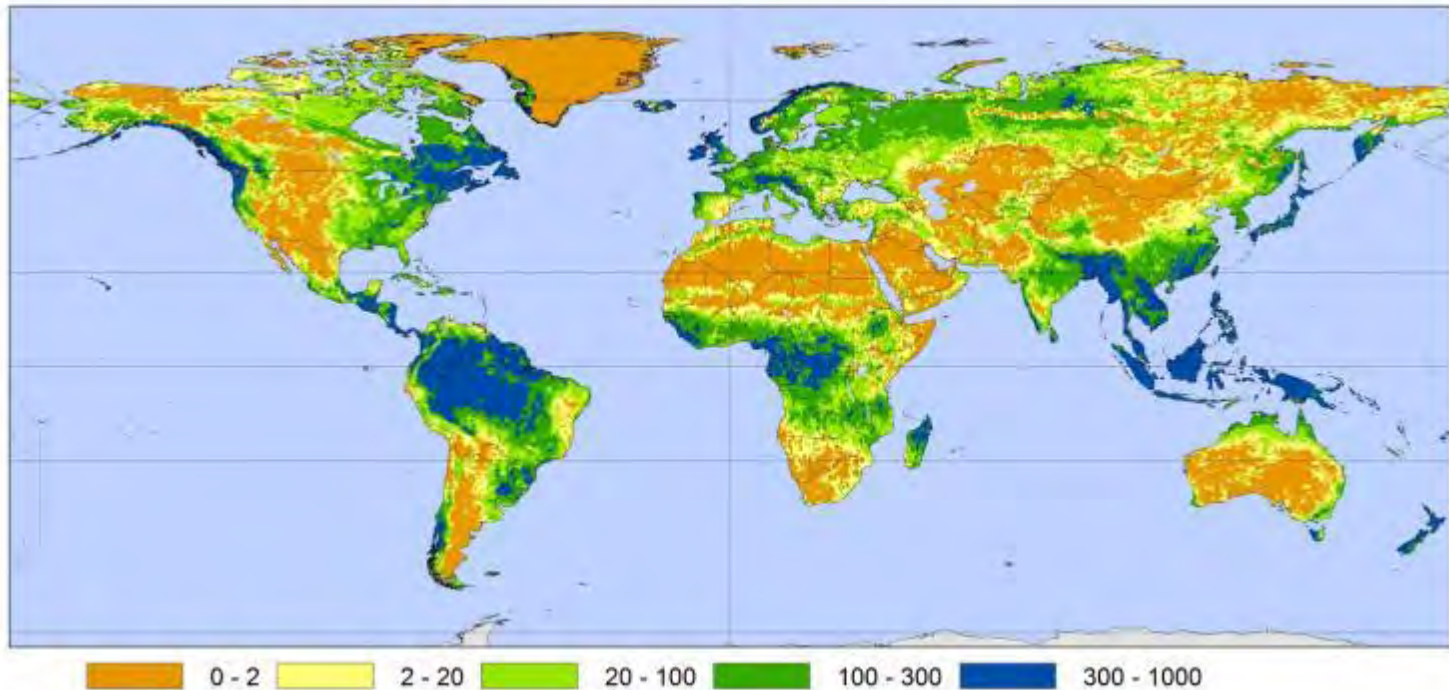
Sécheresse

Contenu en eau anormalement bas **relativement** à la normale du site.

Températures élevées
et/ou
Faibles précipitations

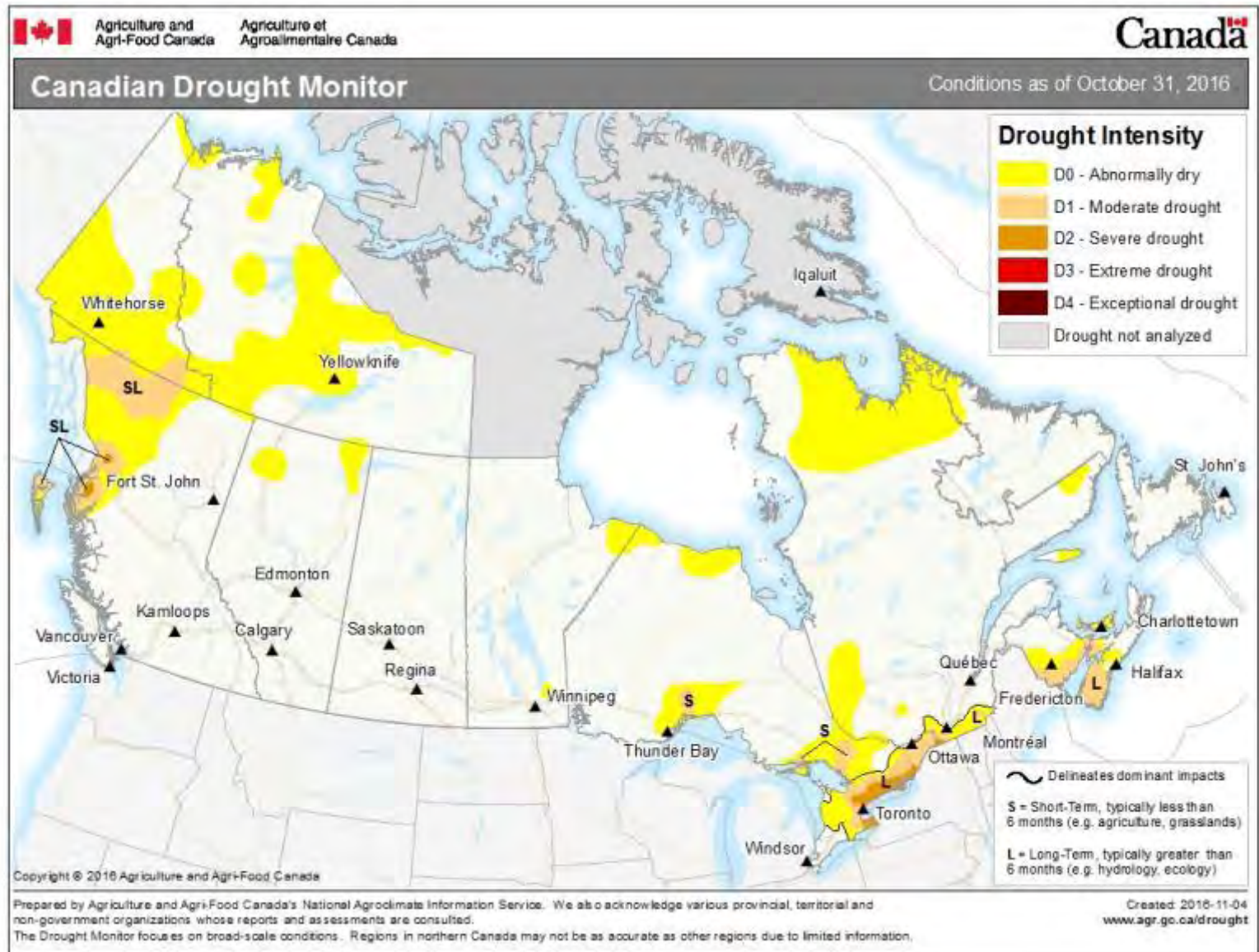


Balance hydrique

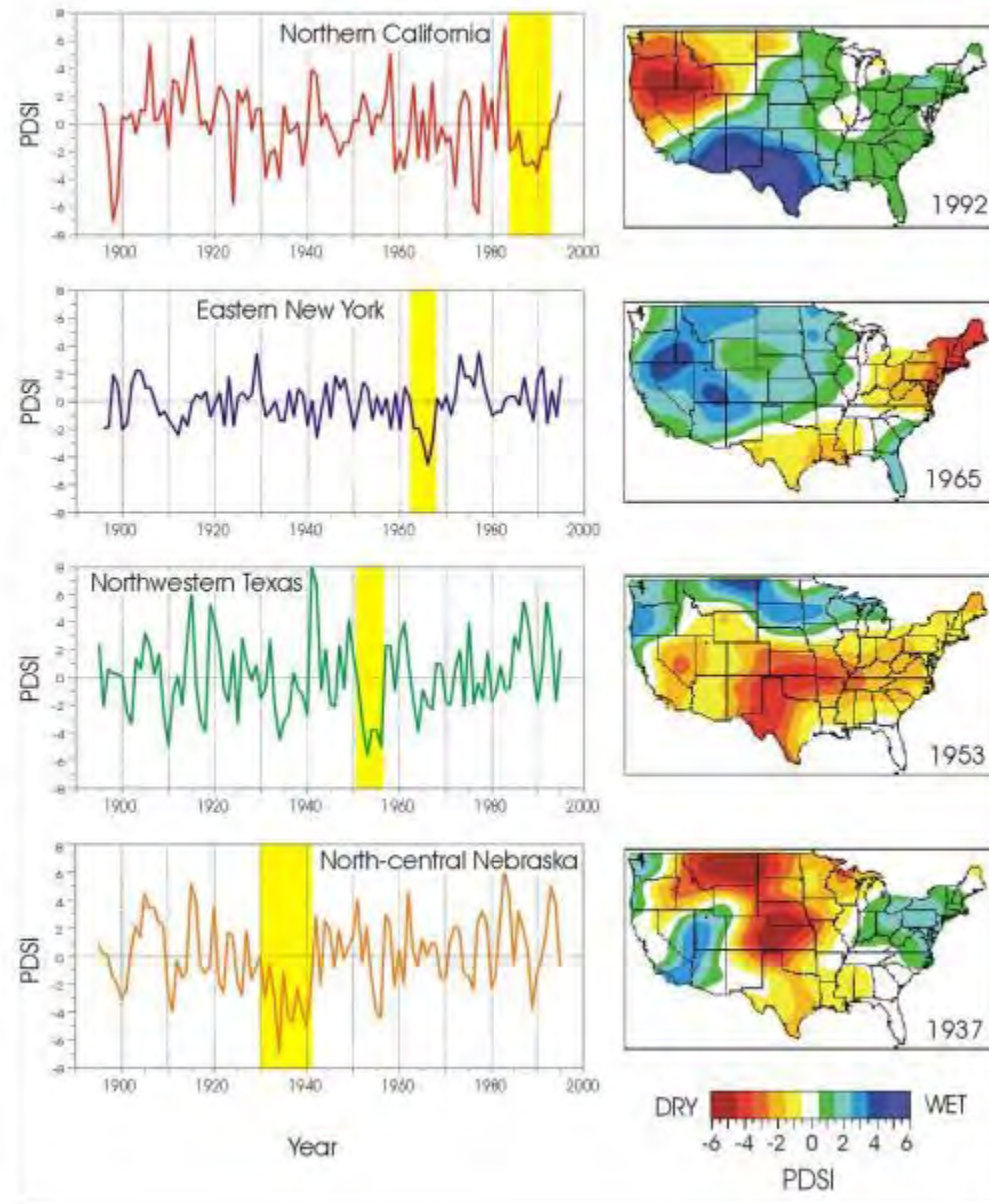


Recharge annuelle moyenne de la nappe phréatique en millimètres/an simulée avec PCR-GLOBWB (Wada et al., 2010)

Sécheresses actuelles

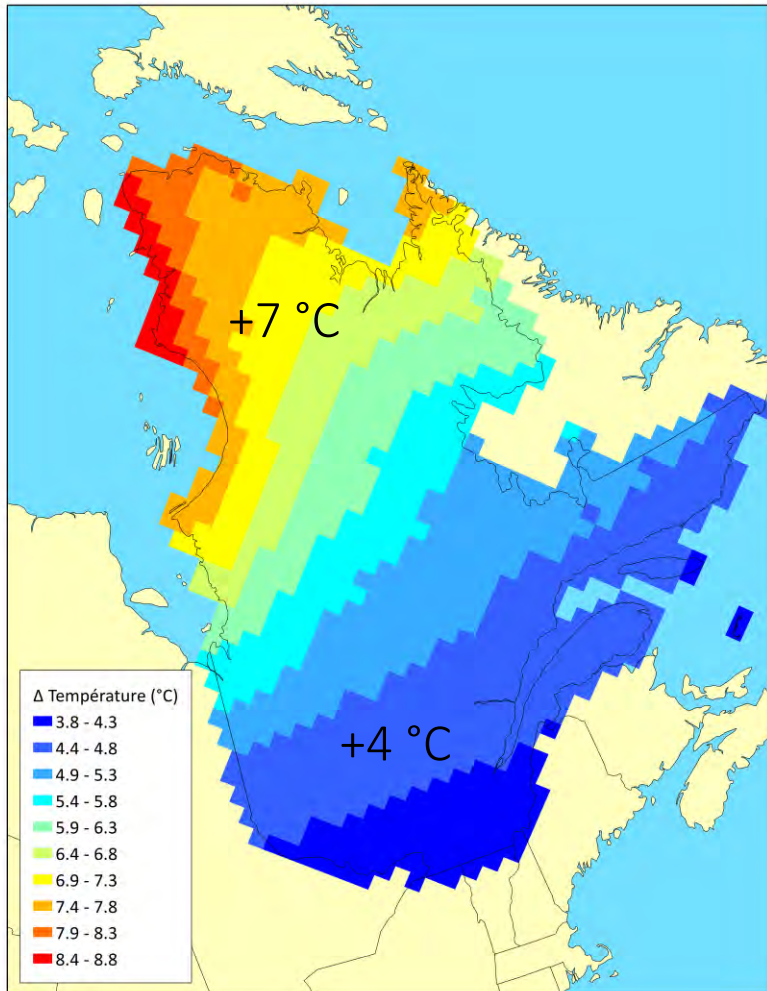


Sécheresses récentes

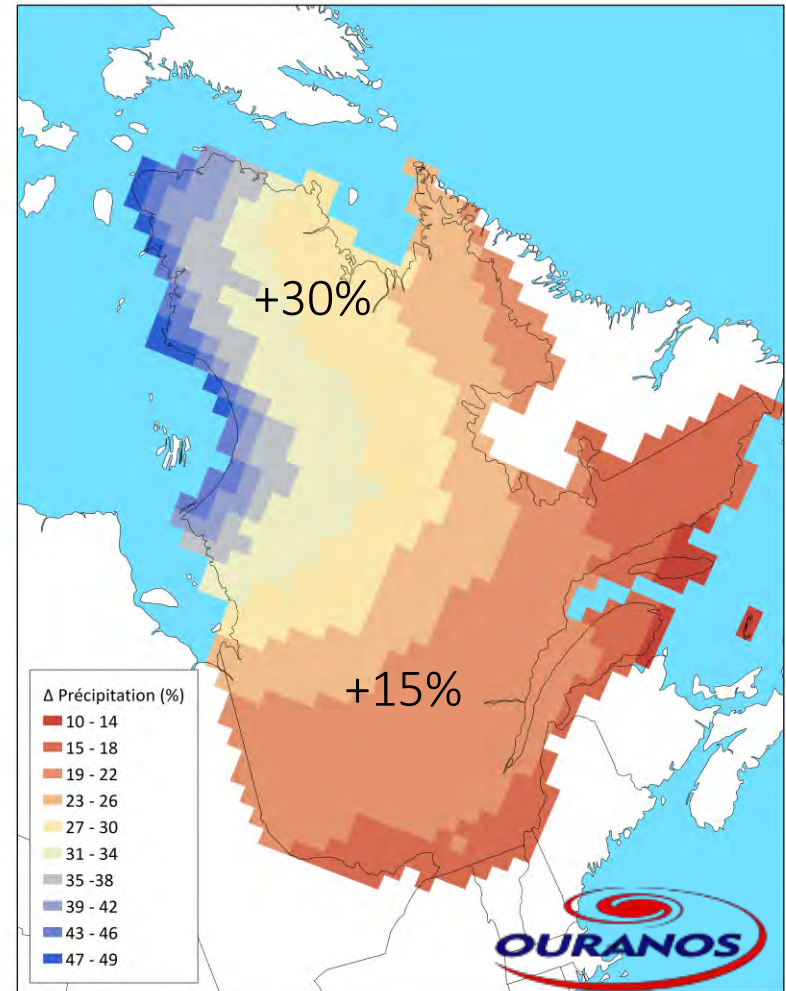


Futur climat hivernal (2071-2100)

Δ Temp. Moyenne ($^{\circ}\text{C}$)

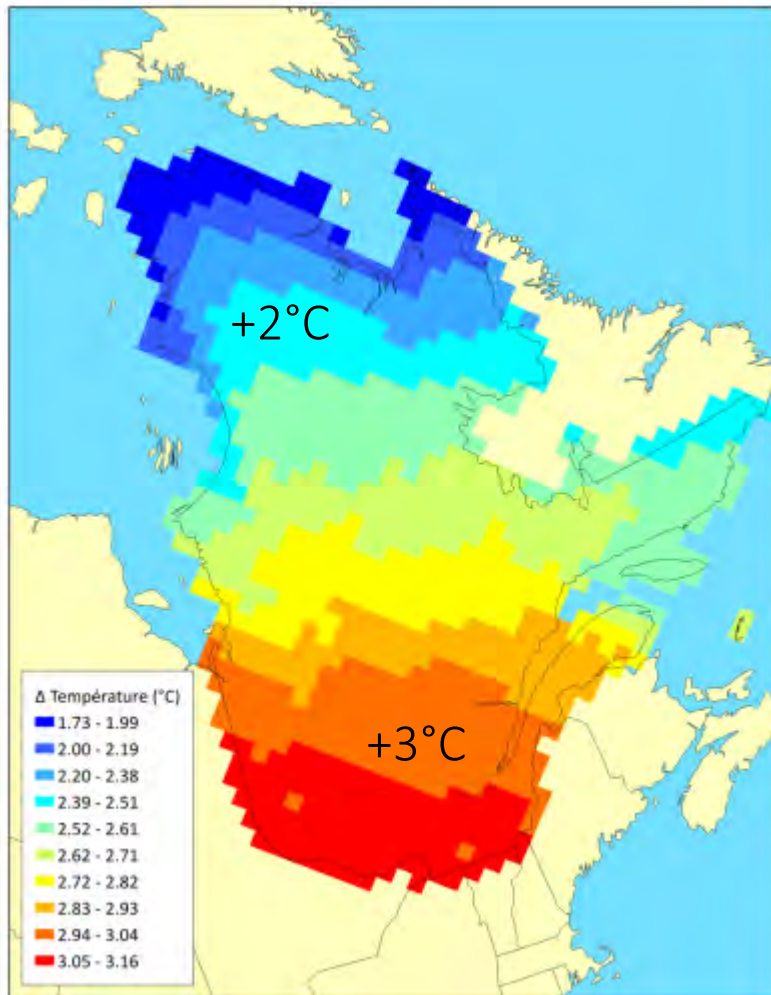


Δ Précip. Totales (%)

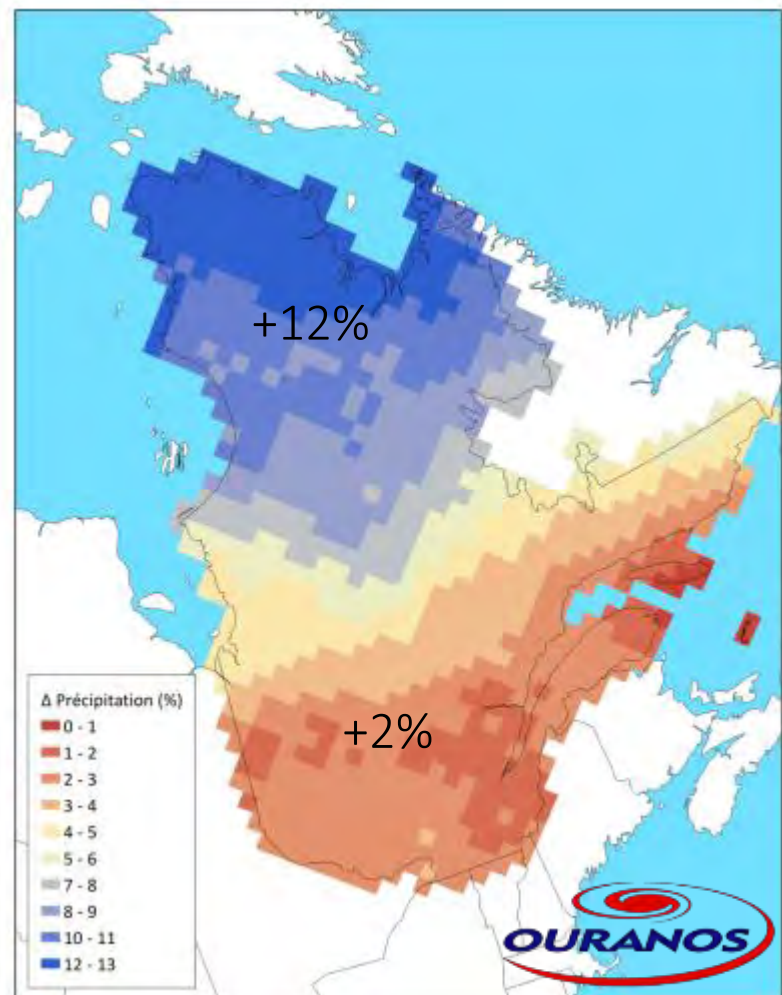


Futur climat estival (2071-2100)

Δ Temp. Moyennes ($^{\circ}\text{C}$)



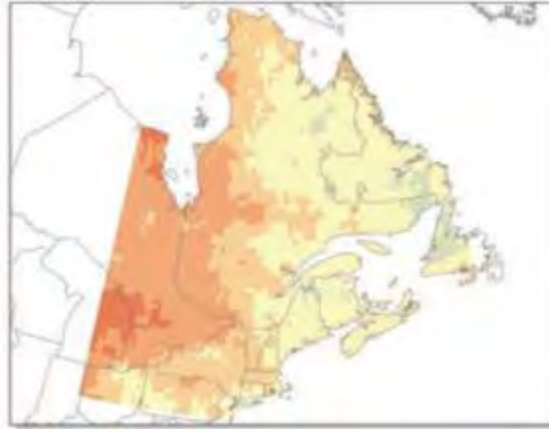
Précip. Totales (%)



Effets sur le contenu en eau du sol

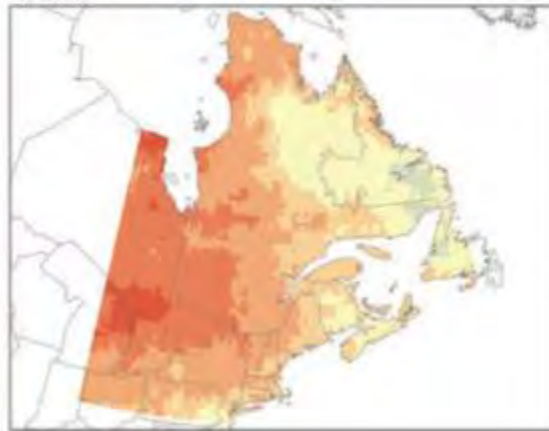
Horizon 2050 : RCP 8.5

50^e centile



Horizon 2080 : RCP 8.5

50^e centile



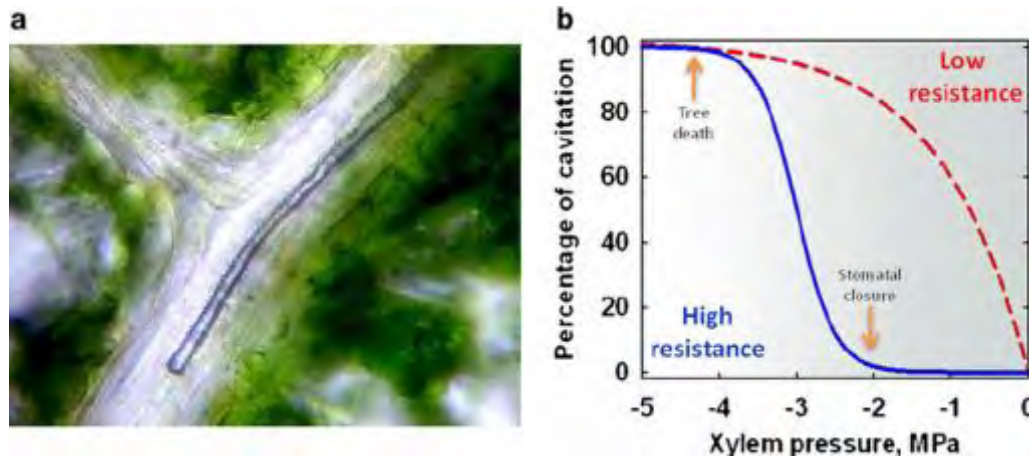
Δ Contenu en eau du sol (%) : Août



Réponse des plantes au déficit en eau

Le potentiel hydrique des plantes (ψ) devient de plus en plus négatif alors que l'eau du sol devient de plus en plus difficile à extraire.

Cela peut mener à de sévères blessures (cavitation).

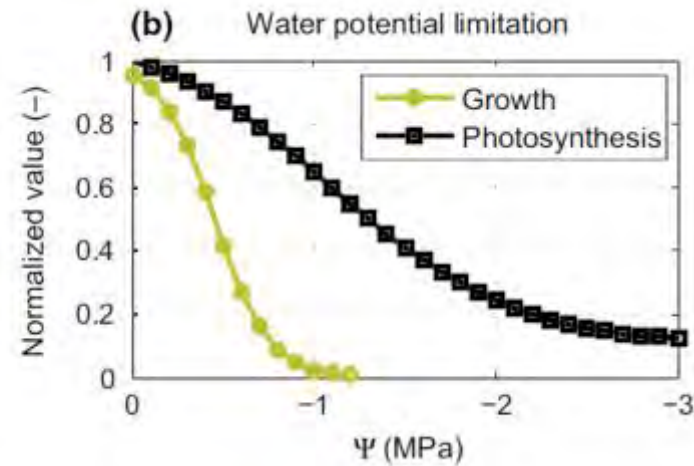
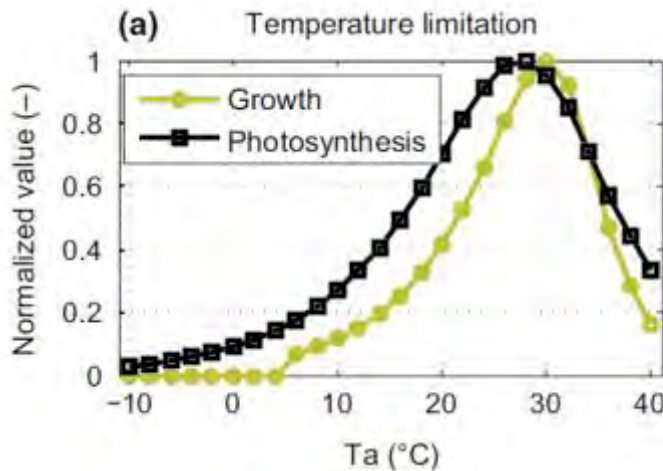


Cochard & Delzon,
Ann. For. Sc. 2013

Les plantes (isohydriques vs anisohydriques) vont ajuster leurs échanges gazeux foliaires afin de minimiser les changements en ψ .

Réponse des plantes au déficit en eau

Ces changements a/n de la source en C (photosynthèse) vont affecter l'allocation vers les puits de C (croissance, NSC, exsudats racinaires, etc.).



Fatichi et al.,
New Phytol. 2014

Les forêts étant le principal puits de carbone terrestre, des changements en séquestration forestière de C pourraient avoir des implications importantes pour le climat global.

Afin d'anticiper comme les forêts vont s'ajuster à l'augmentation future en déficit hydrique, nous devons estimer leur susceptibilité actuelle.

Quels sont les impacts du déficit en eau sur la séquestration en carbone des arbres de l'Est de l'Amérique du Nord?

1. La forêt boréale
2. La forêt tempérée

Quels sont les impacts du déficit en eau sur la séquestration en carbone des arbres de l'Est de l'Amérique du Nord?

1. La forêt boréale
2. La forêt tempérée

La croissance de la forêt boréale est généralement limitée par les basses températures.

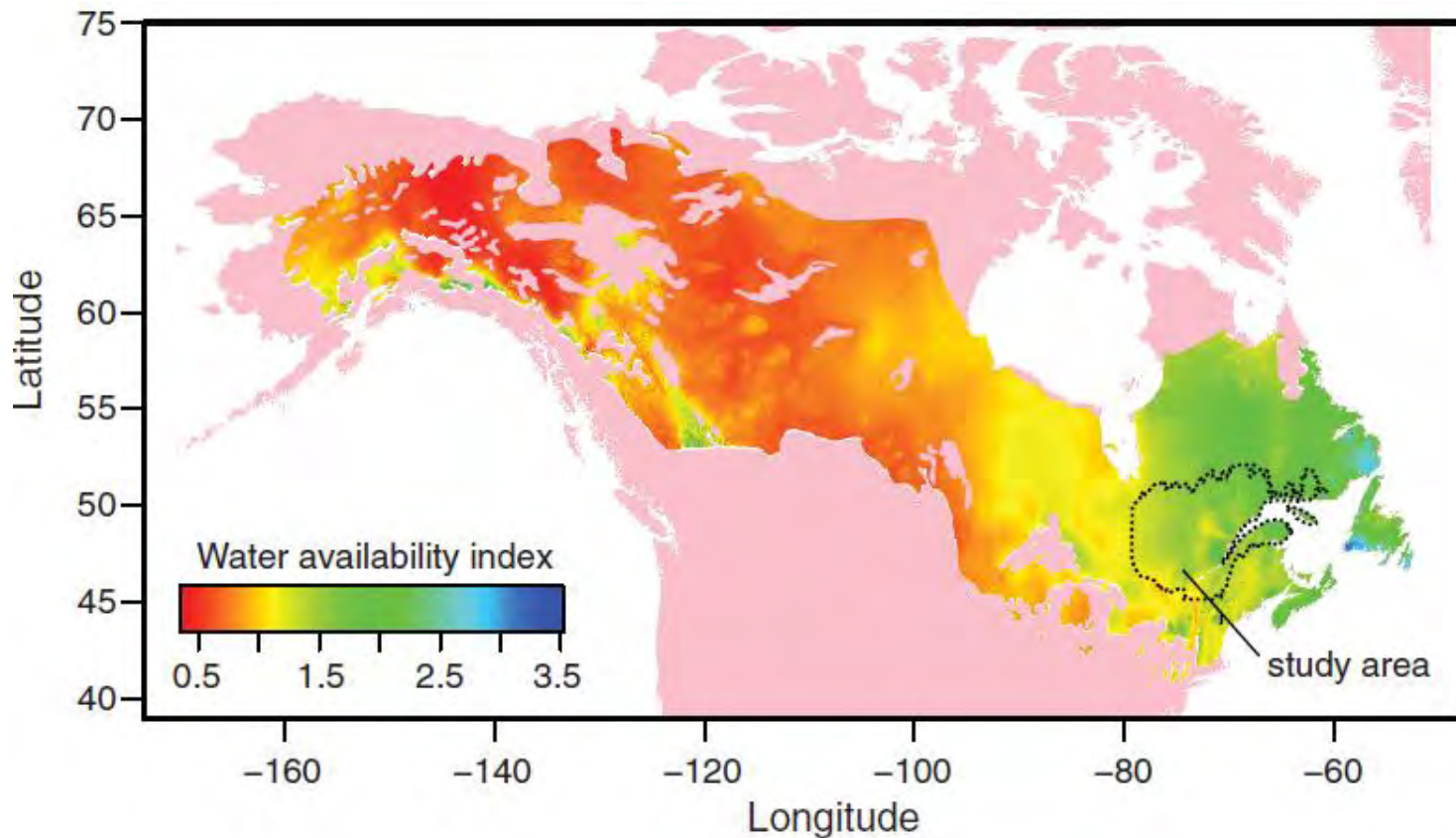
De tous les biomes forestiers, la forêt boréale subira le plus fort réchauffement.

GIEC: «*Un accroissement de la productivité est attendu dans les zones non-limitées en eau.*»

*Quelles zones sont limitées en eau, et quelles zones ne le sont pas?



Balance hydrique à travers l'aire de répartition de l'épinette noire



L'est de l'Amérique du Nord serait la seule région boréale avec suffisamment de précipitations pour compenser l'accroissement de l'évaporation causée par le réchauffement climatique (Gauthier et al. Science 2015).

Les analyses dendrologique suggèrent un déclin de la croissance de l'épinette noire avec le réchauffement dans l'ouest et le centre de la forêt boréale de l'Amérique du Nord.

- une **contrainte hydrique**.

Pas de consensus dans l'est, bien que l'imagerie satellite suggère un 'verdissement' au nord avec le réchauffement.

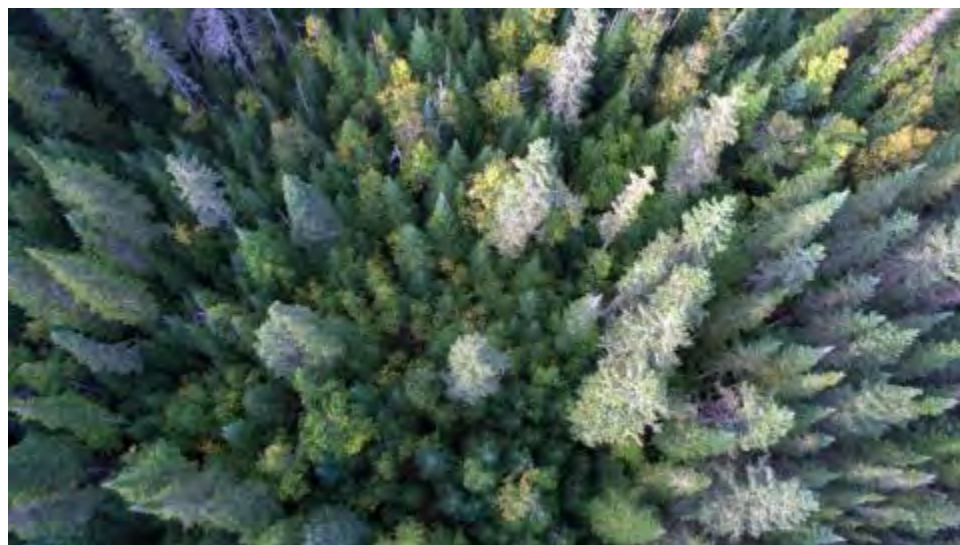
- une **contrainte thermique?**

Croissance des arbres

Une nouvelle base de données de 365 000 carottes d'arbres provenant du MFFPQ.

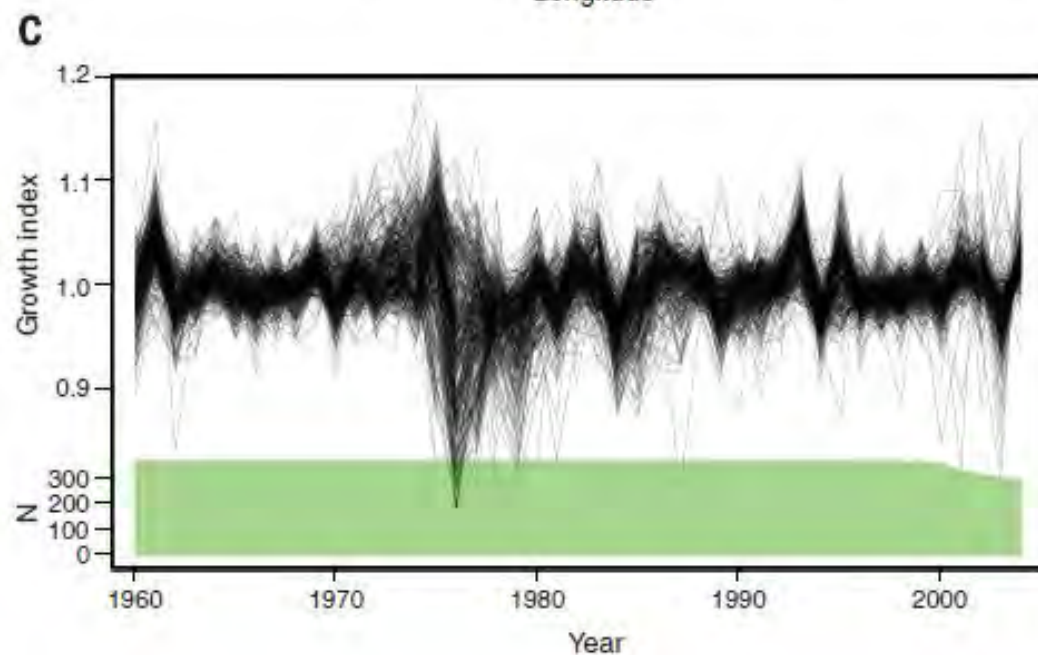
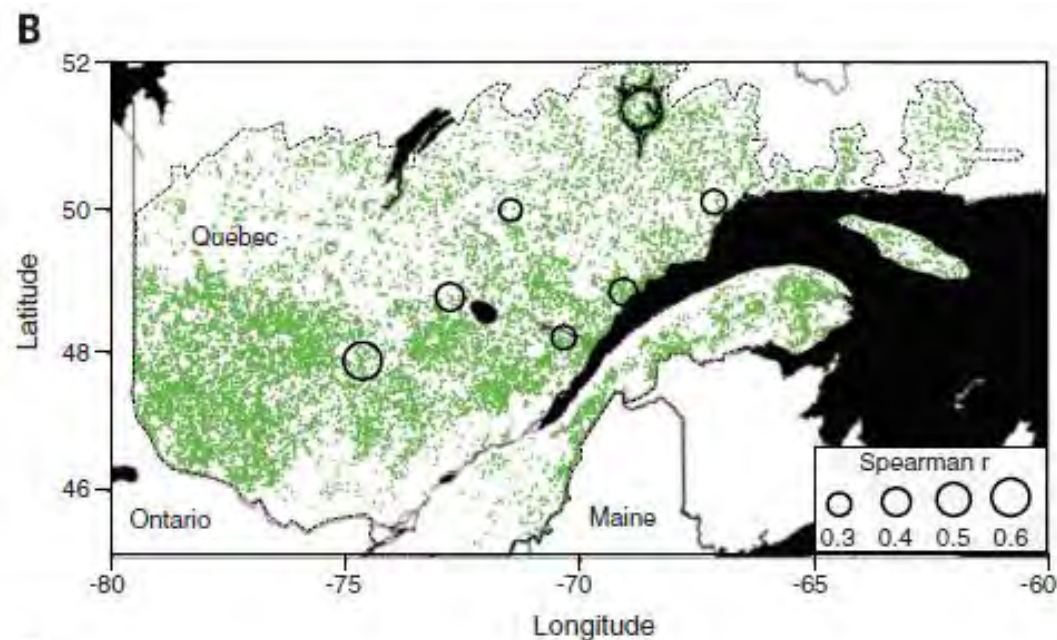
Aucune vérification manuelle (“cross-dating”) de l'année associée aux cernes de croissance. Nous avons développé un protocole automatisé pour filtrer les séries mal datées.

Les chronologies régionales produites sont validées avec des chronologies indépendantes de la même espèce provenant des mêmes régions.



Croissance des arbres

16 450 peuplements
26 697 épinettes noires
583 000 km² à travers le Québec.

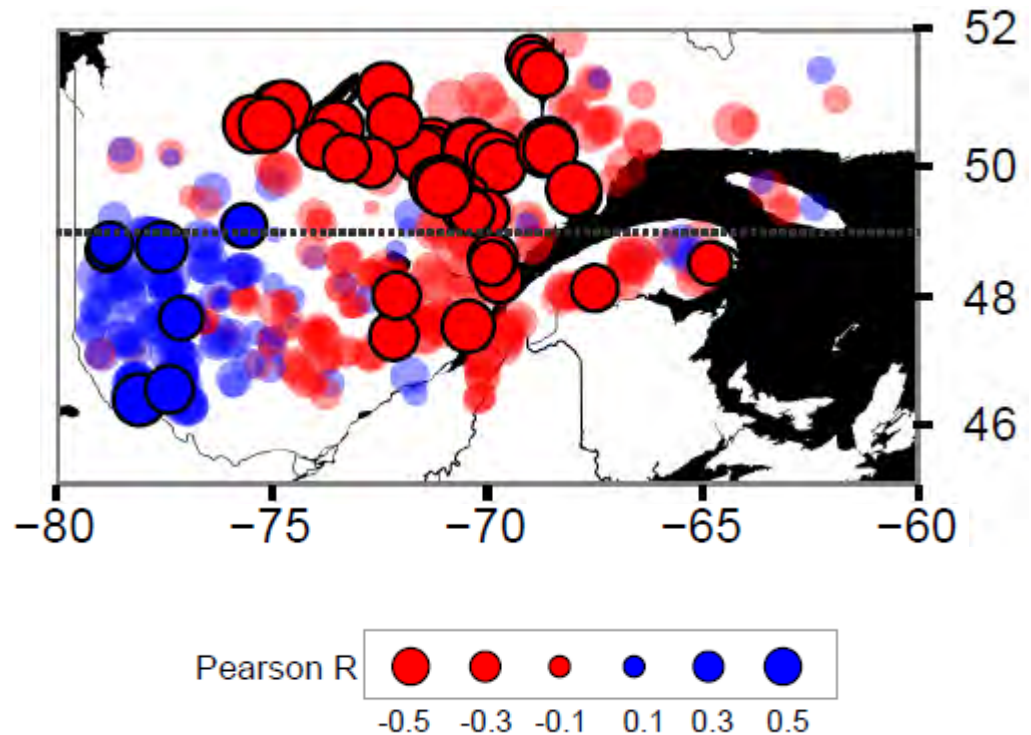


Afin d'estimer les effets du déficit hydrique sur la croissance, nous avons corrélé le climat saisonnier avec la croissance annuelle standardisée (1960-2004).

Corrélation de l'eau disponible au printemps avec la croissance

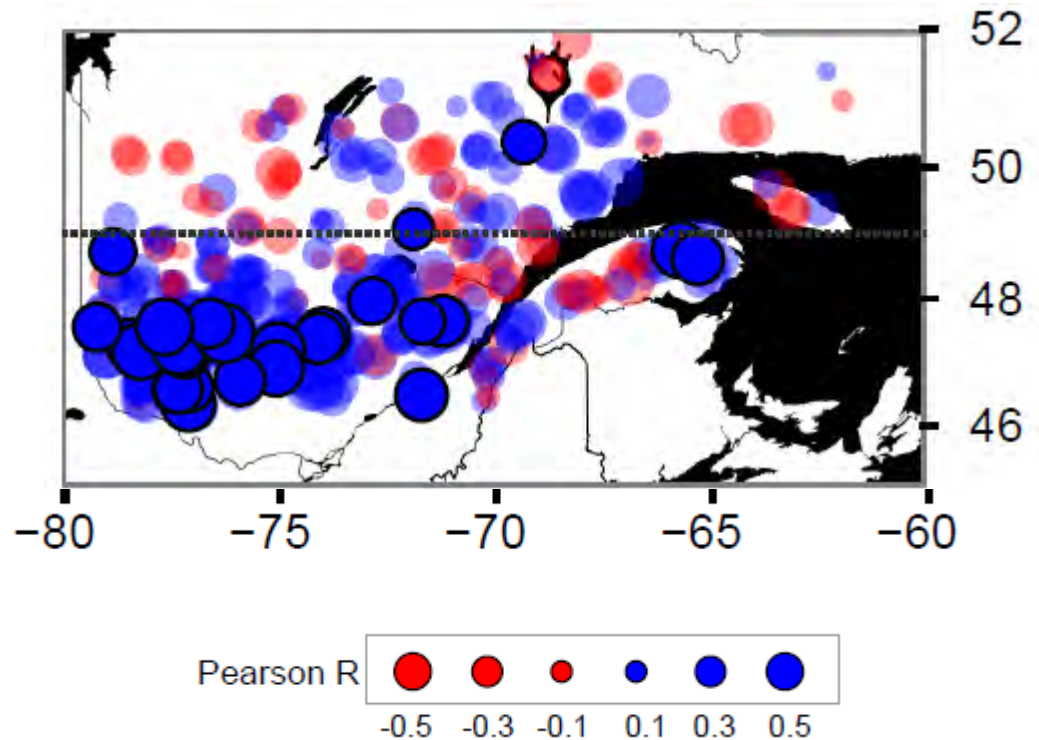
Au sud-ouest (plus sec et/ou plus chaud), des printemps humides favorisent la croissance (bleu).

Dans les zones plus humides et/ou plus froides, des printemps humides réduisent la croissance (rouge).



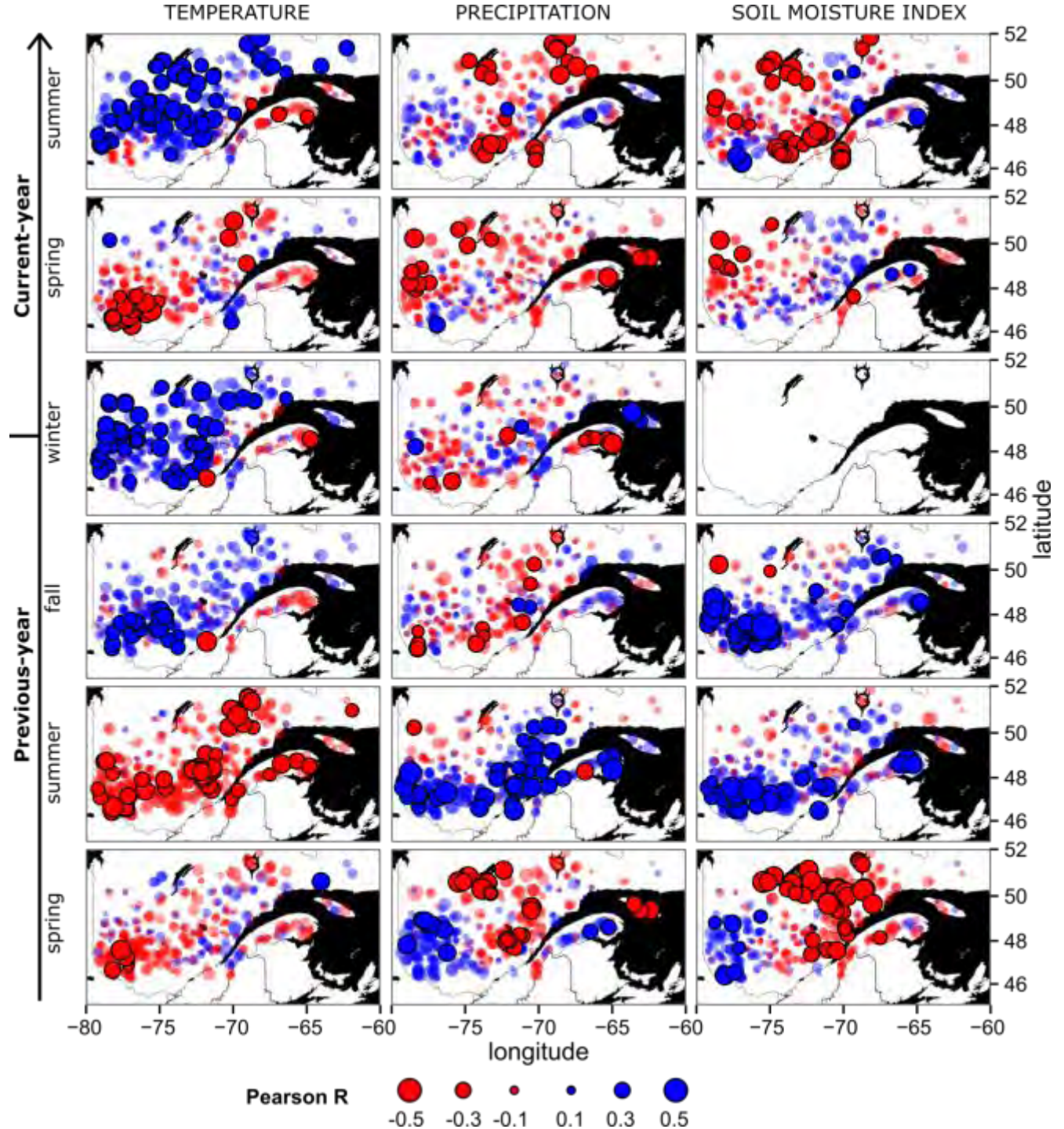
Corrélation de l'eau disponible à l'été avec la croissance

Des étés humides favorisent la
croissance surtout dans les zones
plus chaudes au sud (bleu).



77% des populations présentent des corrélations significatives ($P < 0.05$)

Toutes les saisons influencent la croissance.



Pourquoi toutes les saisons influencent la croissance?

Le régime hydrique de l'année antérieure et les précipitations hivernales contrôlent la recharge printanière en eau des arbres, un prérequis pour l'initiation de la croissance.

Des températures hivernales plus douces réduisent le risque de blessure causée par la dessiccation.

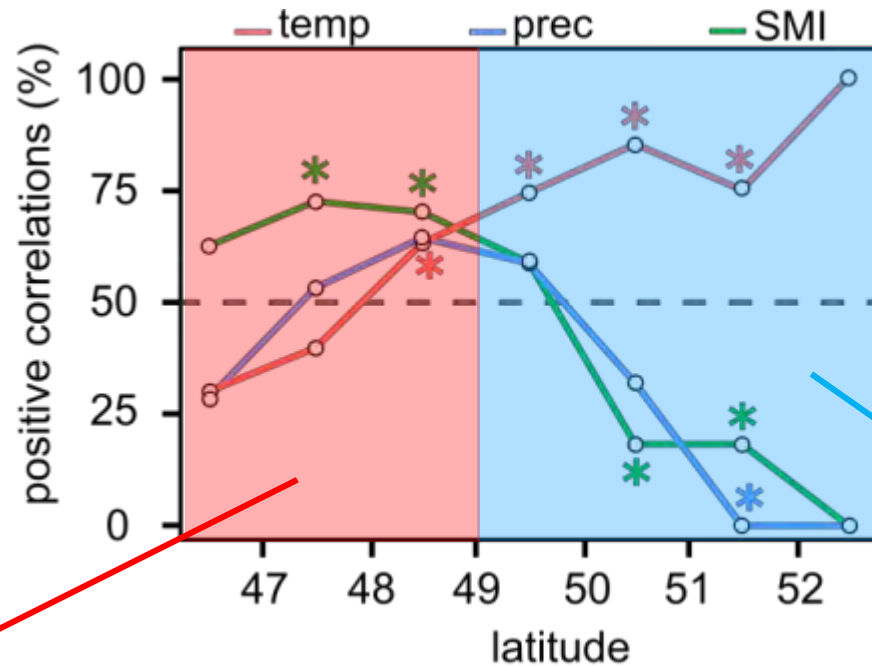
La fonte de neige contrôle la température et la saturation en eau du sol (anoxie), qui contrôlent à leur tour l'activité microbienne et racinaire.

Des précipitations printanières réduites accroissent les radiations solaires.

Une grande partie des carbohydrates utilisés pour la croissance provient de réserves des années antérieures.

L'épinette noire a une croissance primaire prédéterminée.

Nous avons combiné les différents résultats saisonniers en une seule figure: la fraction de corrélations positives au climat du sud au nord.



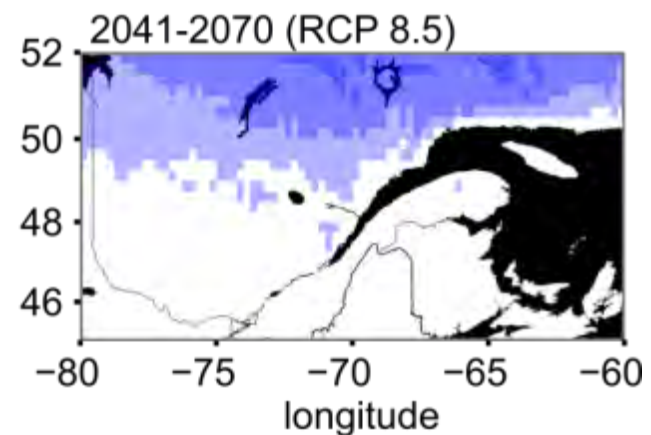
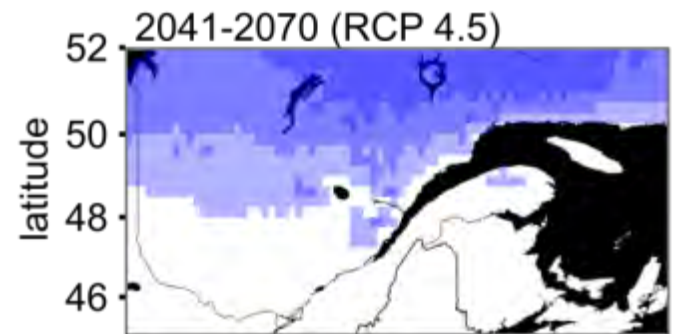
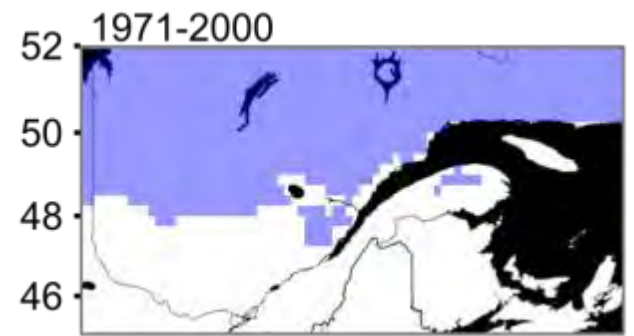
Zone de contrainte hydrique, où la chaleur/sécheresse réduit la croissance.

Zone de contrainte thermique, où la chaleur/sécheresse favorise la croissance.

Nous avons identifié les zones où la température moyenne est en-deça du seuil identifié (zones de contrainte thermique; >49N).

Nous avons ensuite projeté le déplacement de ces zones avec les changements climatiques (selon deux scénarios RCP).

Ce modèle d'enveloppe climatique suggère qu'une fraction significative de l'aire de répartition nord-est de l'épinette noire pourrait rester favorable à l'espèce dans un climat plus chaud.



low-temperature
constraint

10 th percentile
50 th percentile
90 th percentile

Quels sont les impacts du déficit en eau sur la séquestration en carbone des arbres de l'Est de l'Amérique du Nord?

1. La forêt boréale
2. La forêt tempérée

La croissance de la forêt tempérée de l'Est a longtemps été considérée comme insensible à la sécheresse.

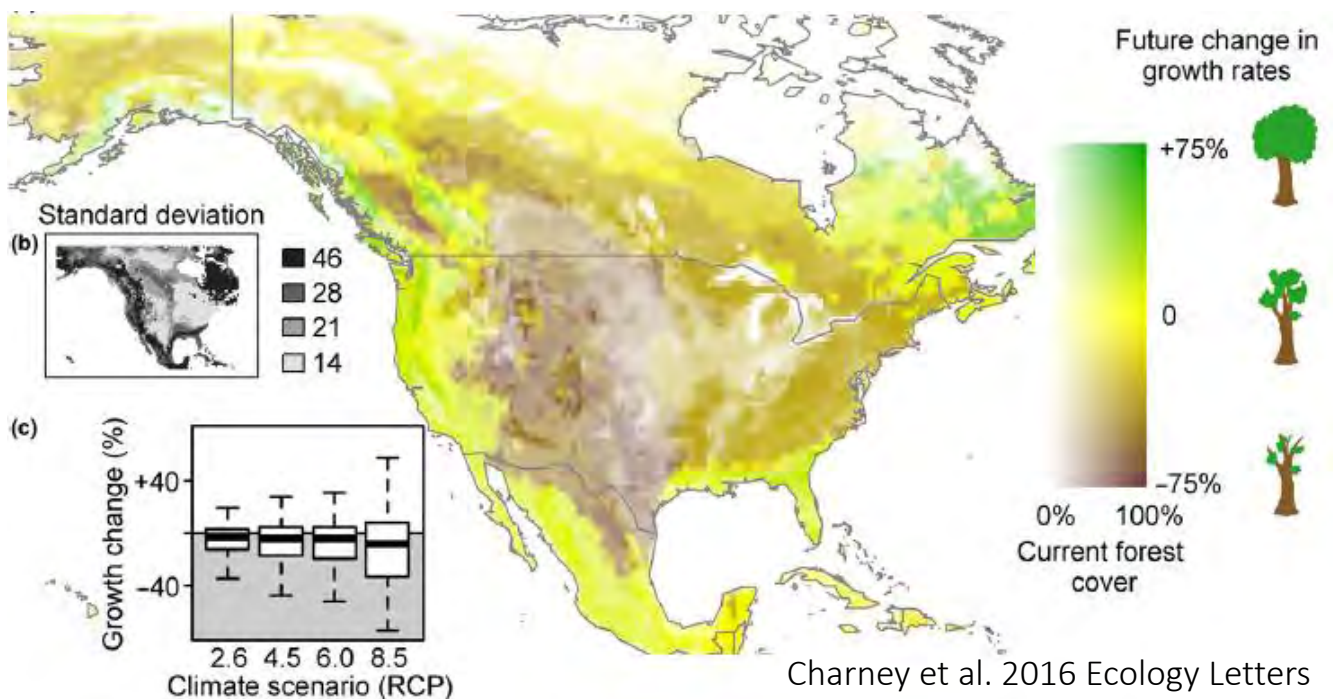
Nous savons maintenant que les sécheresses peuvent mener à de sévères réductions de croissance et à de la mortalité différée. Par contre, il nous manque encore la compréhension i) des différences interspécifiques de croissance et ii) des facteurs de contrôle environnemental.

*Qu'est-ce qui contrôle la réponse de croissance des arbres à la sécheresse dans la forêt tempérée de l'Est de l'Amérique du Nord?



Changements futurs dans le puits de carbone de la forêt tempérée de l'Est.

Les modèles les plus récents suggèrent un déclin de la croissance sur la majorité du territoire de l'Est des États-Unis et du Canada, mais leurs résultats proviennent de données dendrologiques composées à 93% de conifères, les autres 7% étant surtout des chênes.



Croissance des arbres

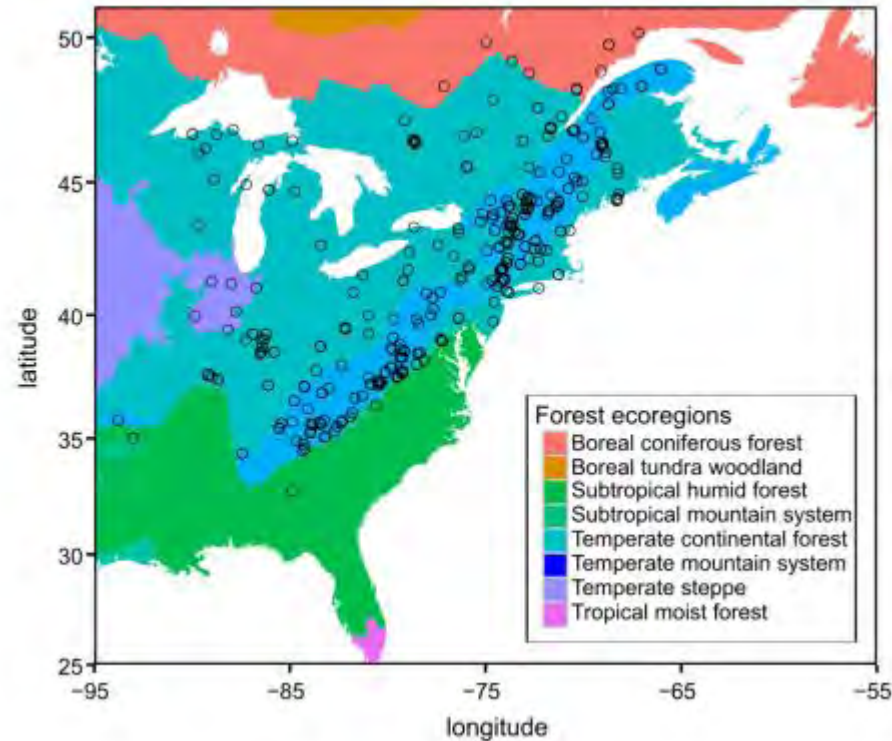
Échelle de temps: 1900-2015

24 espèces d'arbres

157 populations provenant de l'ITRDB.

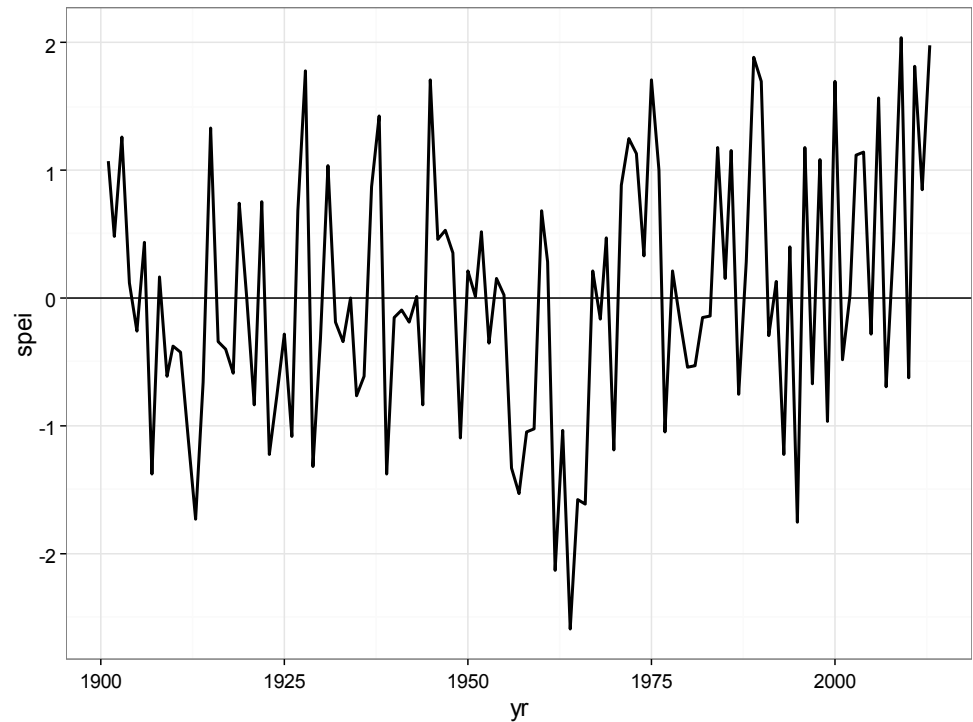
295 populations provenant de
collaborateurs des États-Unis et du
Québec (total 452).

Toutes les populations sont composées
de >8 arbres et présentent un $EPS > 0.8$.



Indice de déficit hydrique

L'indice standardisé de précipitations évapotranspiration (SPEI), ajusté pour la durée de la saison de croissance du site, a été employé pour décrire les sécheresses historiques à chaque site.



Réponse de croissance: deux approches

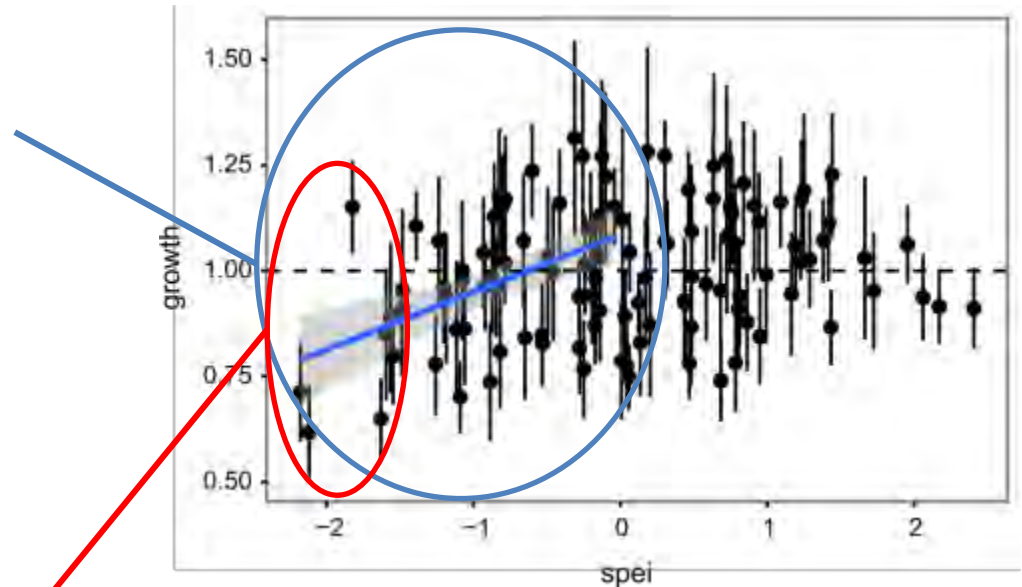
Sensibilité à la sécheresse

Pente de régression de la croissance en fonction du SPEI négatif [années normales à sèches].

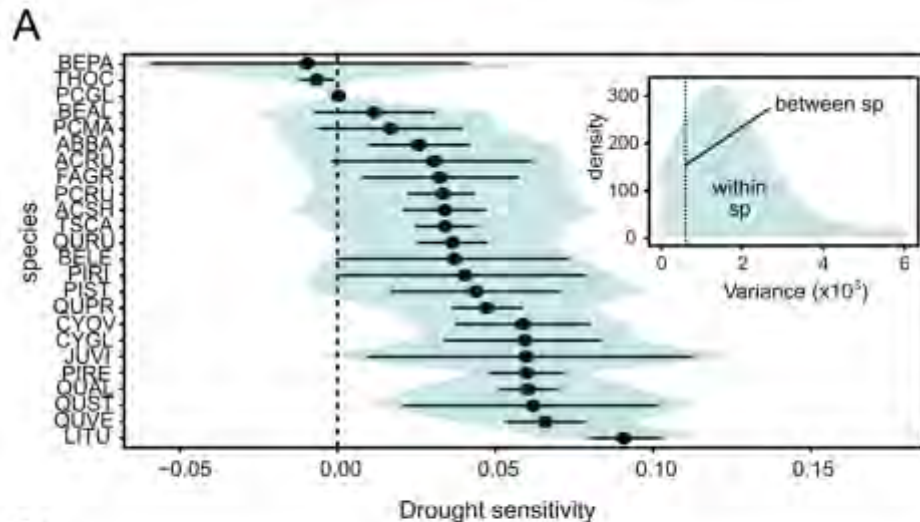
Changement de croissance

Croissance moyenne durant une sécheresse sévère ($\text{SPEI} < -1.5$)

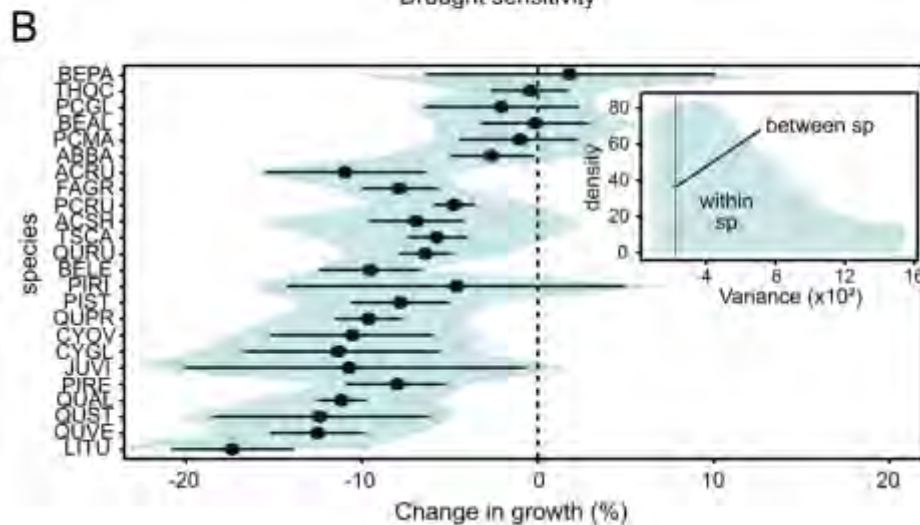
Chêne blanc (1901-2013), LilyDickey (Indiana)



Différences entre espèces



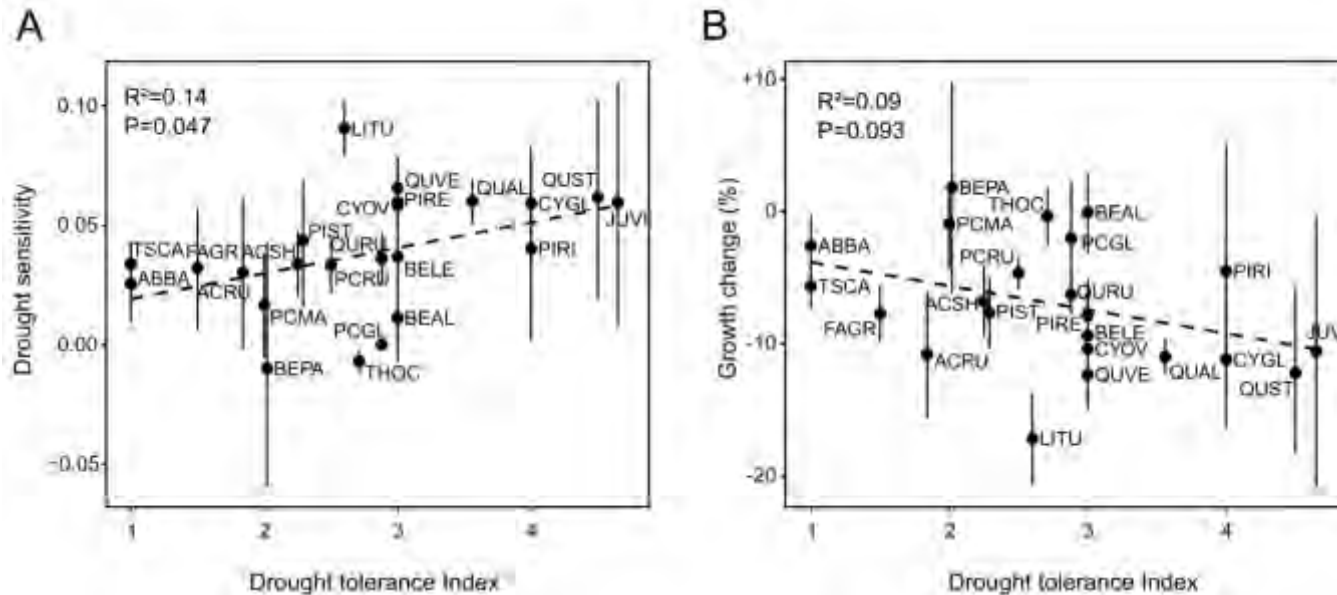
Les espèces les moins sensibles sont les espèces nordiques (bouleau, épinette, sapin, thuya).



Les espèces les plus sensibles sont les feuillus du sud des États-Unis (chênes, tulipier).

La variabilité intraspécifique est plus grande que la variabilité interspécifique.

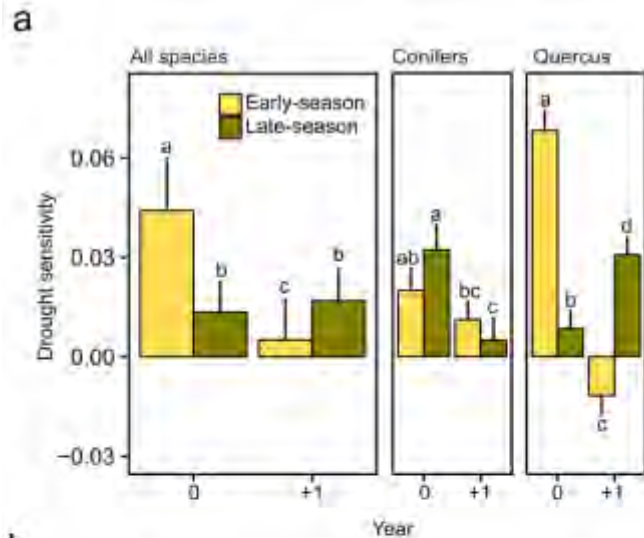
Est-ce que ces patrons de réponse sont cohérents avec les indices de tolérance à la sécheresse des espèces étudiées?



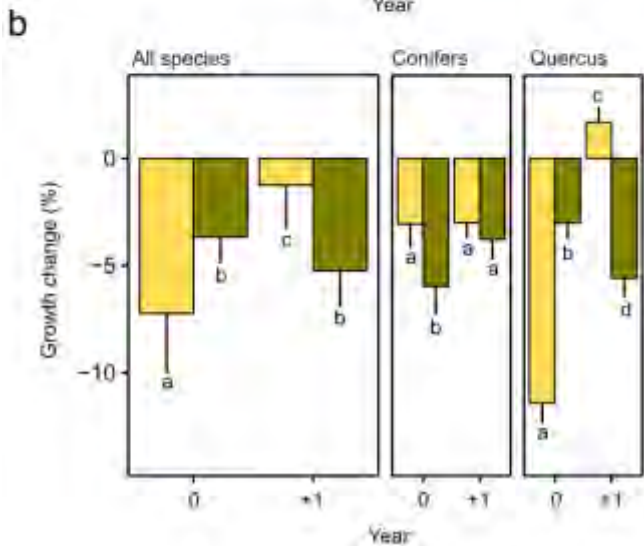
Les espèces tolérantes à la sécheresse sont plus sensibles que les espèces intolérantes à la sécheresse.

Nous trouvons une tendance semblable pour les réductions en croissance durant les sécheresses sévères.

Sécheresses de début vs fin de saison



Les sécheresses de début de saison ont le plus fort impact sur la croissance.



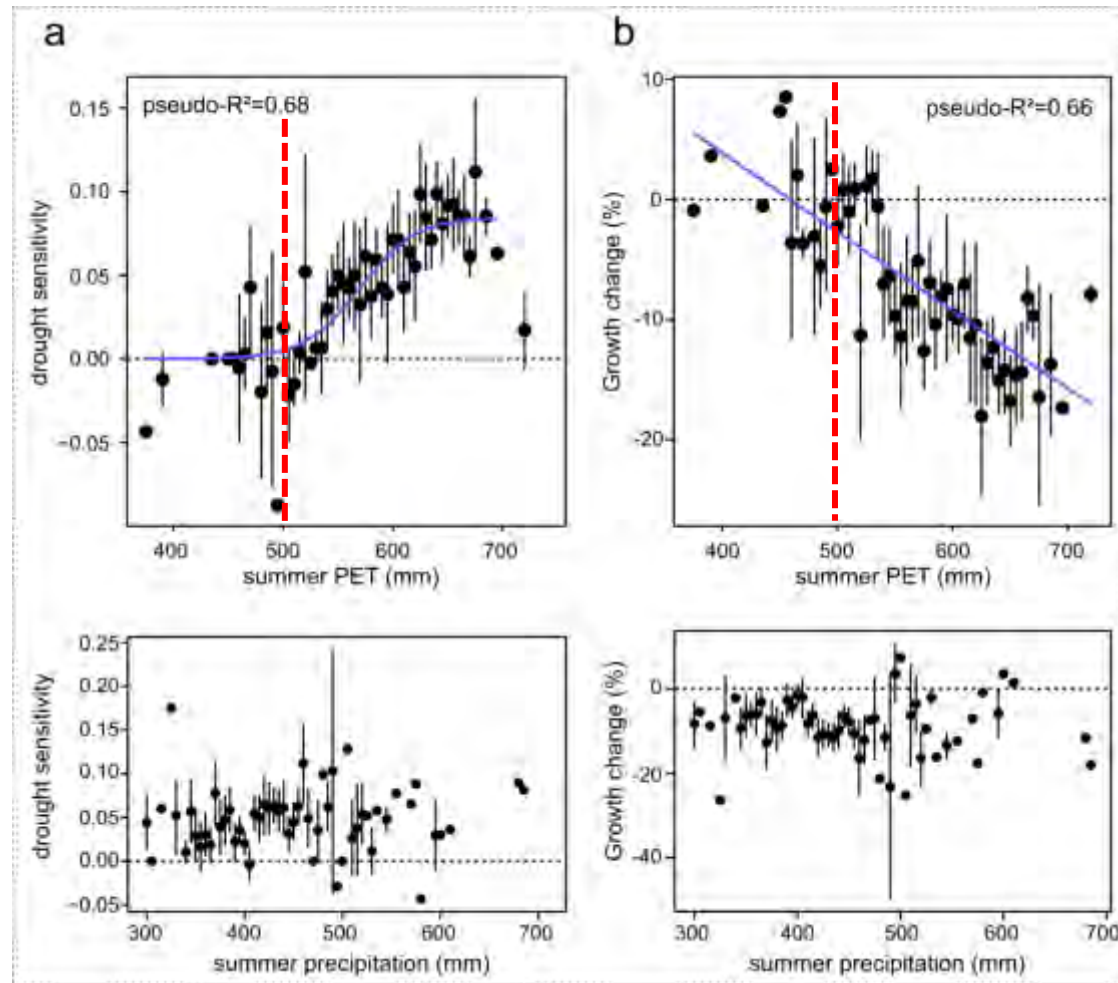
L'effet des sécheresses de fin de saison se reflète sur la croissance de l'année suivante.

Contrôle du climat sur la réponse aux sécheresses

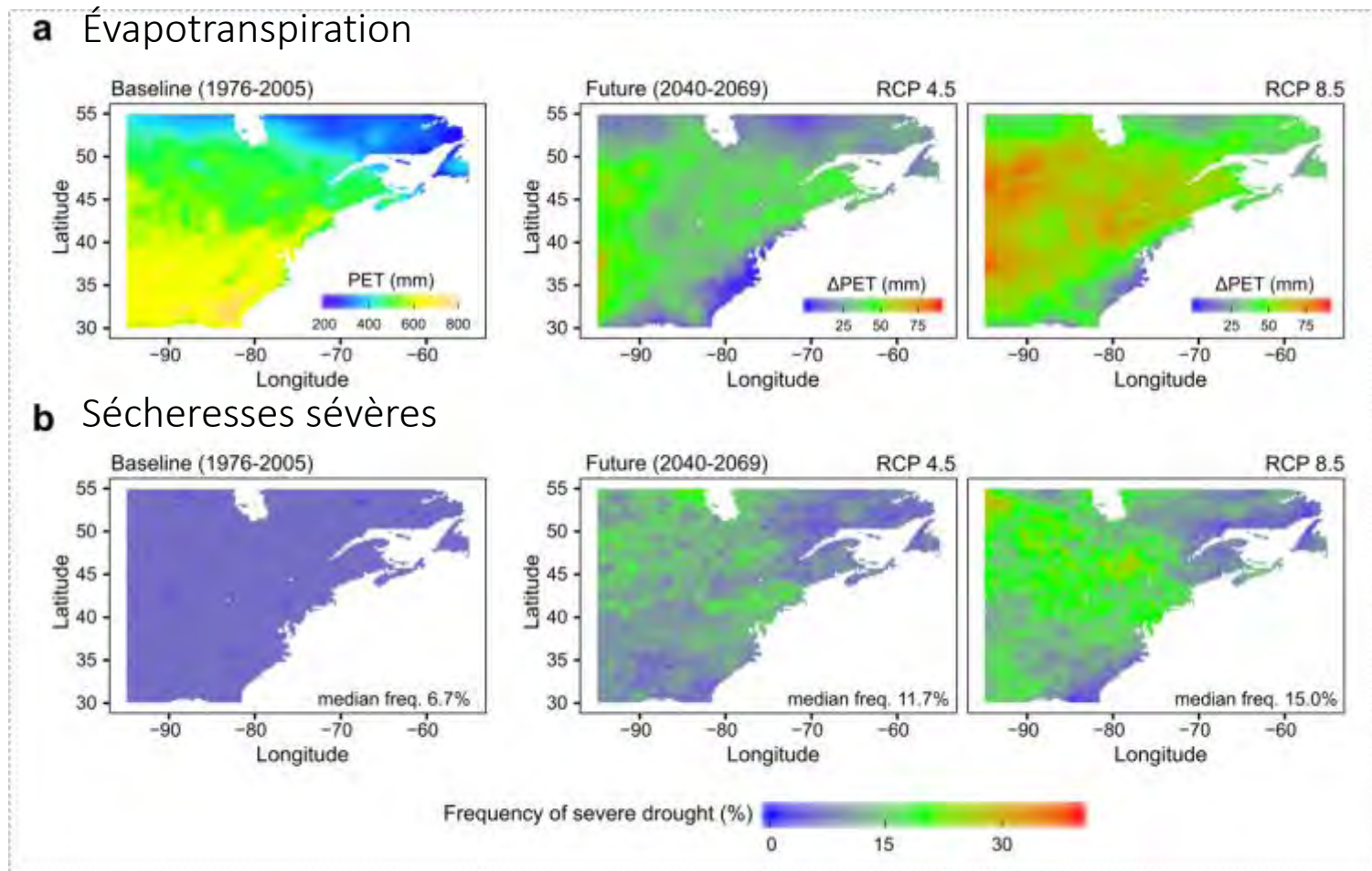
Les réponses à la sécheresse sont fortement liées au potentiel local d'évapotranspiration (PET), lié à la température moyenne du site.

Un degré d'évapotranspiration estivale de ~500mm correspond au seuil de réponse au-delà duquel les arbres deviennent de plus en plus sensibles aux sécheresses.

Le régime local de précipitations a peu d'effets visibles sur la sensibilité à la sécheresse.



Tendances anticipées par les modèles climatiques



Accroissement moyen de 6-10% du PET en 2040-2069 et 14-23% en 2070-2099.
Sécheresses sévères ($SPEI < -1.5$) 1.6 à 2 fois plus fréquentes en 2040-2069 (aux 8-10 ans) et 2.1-3.4 fois plus fréquentes en 2070-2099 (aux 5-7 ans).

Conclusions

L'impact des sécheresses sur la séquestration en C est positif au nord du 49°N, et graduellement négatif au sud de cette latitude.

La réponse aux sécheresses peut être prédite à partir du climat local et suppose des impacts de plus en plus importants selon les modèles climatiques.

Les réponses des espèces aux sécheresses varient beaucoup d'un site à l'autre. Malgré cette variabilité, résultats montrent que les espèces dites «tolérantes à la sécheresse» montrent des déclin de croissance plus importants durant une sécheresse.

Nous émettons l'hypothèse que les espèces tolérantes à la sécheresse allouent davantage de C à d'autres puits qu'à la croissance. Ainsi, la tolérance à la sécheresse pourrait être davantage liée à la survie ou à la résilience.

Prochaines étapes

Forêt tempérée

Valider notre analyse dendrologique avec des mesures des tours à flux (GPP, NPP) afin de valider si le climat local (évapotranspiration) influence également la sensibilité à la sécheresse des échanges gazeux forestiers.

Raffiner notre analyse: comparer les caractéristiques locales (structure, sols, topo) des sites et les sensibilités à la sécheresse sur un sous-ensemble d'espèces bien répliquées (chêne blanc, érable à sucre, épinette rouge, etc.).

Forêt boréale

Définir les zones de contraintes hydriques pour les autres conifères et peupliers.

Simuler leur productivité future à l'aide de modèles généraux additifs mixtes et des simulations climatiques d'Ouranos.

Merci

Collaborateurs

- Rich Phillips (Indiana U)
- Dan Kneeshaw (UQAM)
- Louis Duchesne (MFFP)
- Neil Pederson (Harvard U)
- Daniel Houle (MFFP, Ouranos)
- Justin Maxwell (Indiana U)
- Benoît Côté (McGill U)
- Travis Logan (Ouranos)

Funding

