



Reconstitution de la température estivale du dernier millénaire pour le Nord-est québécois à partir des isotopes d'oxygène contenus dans les tiges subfossiles



M. NAULIER¹, M.M. SAVARD², C. BÉGIN², F. GENNARETTI³, D. ARSENEAULT⁴, J.MARION², A.NICAULT⁵ et Y. BÉGIN¹

¹Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement, ²Commission géologique du Canada, Ressources naturelles Canada, ³Ouranos-Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, ⁴Département de biologie, chimie et géographie, UQAR, ⁵Université Aix-en-Provence, ECCOREV

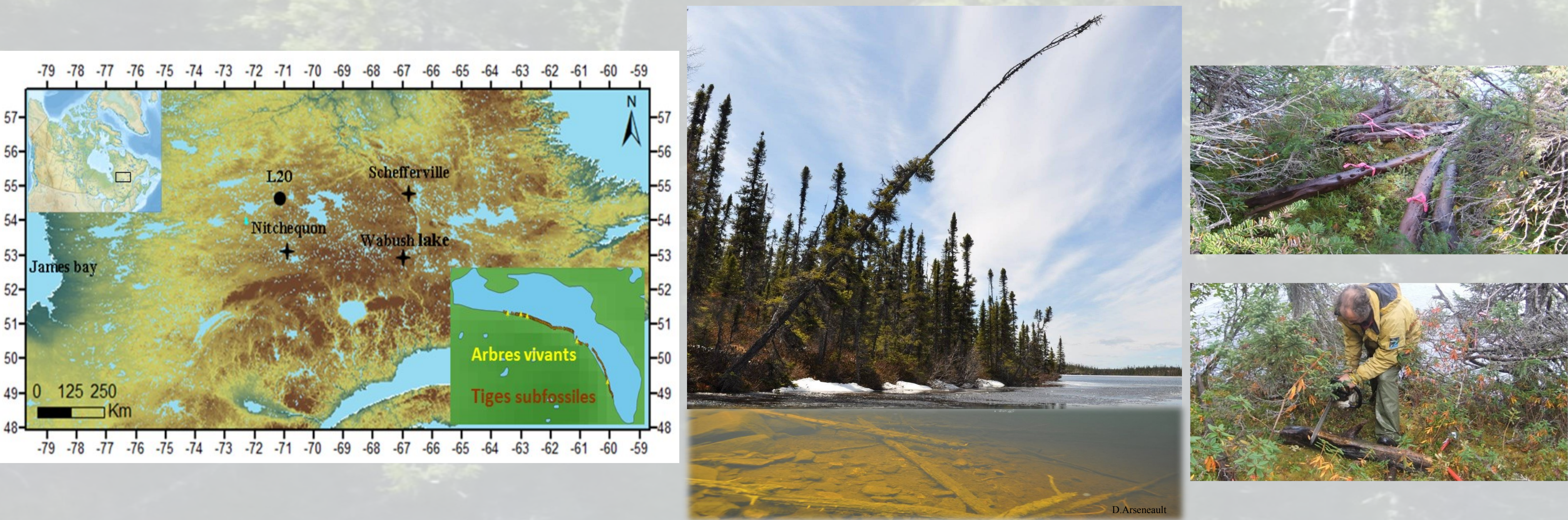
I) Introduction

Il n'existe aucune reconstitution climatique millénaire pour le Nord-est du Québec. Pourtant, une telle rétrospective permettrait de mettre en évidence la variabilité climatique à long terme et d'apporter un nouveau regard sur le paléoclimat circum-atlantique. Les arbres constituent l'une des meilleures archives naturelles. En effet, les isotopes stables comme ceux de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$), contenus dans les cernes de croissance enregistrent les conditions climatiques qui prévalent durant leurs années d'assimilation. En raison de la longévité des épinettes noires de la forêt boréale (limitée à quelques siècles), il est impératif d'avoir recours à l'utilisation de tiges subfossiles conservées dans le fond des lacs boréaux pour obtenir de longues séries (ex: millénaires). Nos travaux antérieurs ont montré que : (1) différentes hauteurs de tiges échantillonnées chez les arbres vivants n'engendraient pas d'artefacts et que la variabilité des rapports isotopiques était conservée chez les subfossiles, (2) des deux indicateurs les plus utilisés en études paléoclimatiques ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$), les isotopes de l'oxygène présentent les meilleures qualités pour reconstituer les conditions climatiques passées et principalement la température maximale estivale. Cette étude est la première à reconstituer la température estivale du dernier millénaire en se basant sur les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ des épinettes noires riveraines, et apporte de nouvelles connaissances sur le climat circum-atlantique en région boréale.

II) Objectifs

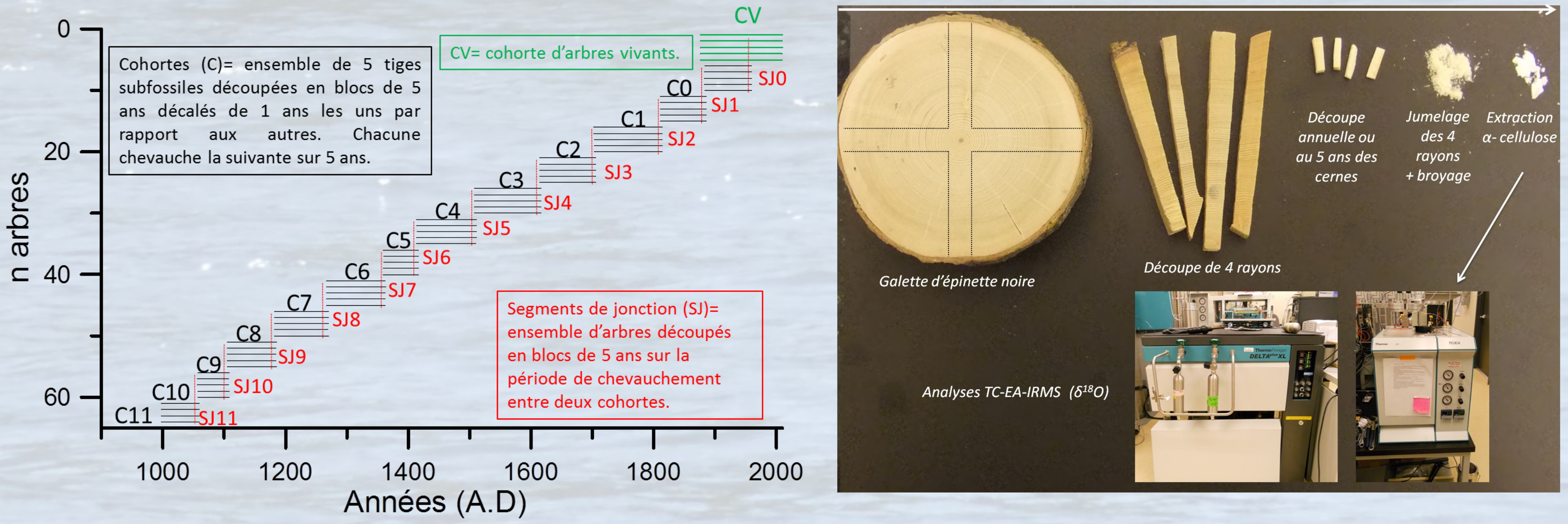
- Cette étude a pour objectifs de:
- (1) Sélectionner et adapter une méthode d'échantillonnage permettant de limiter le nombre d'échantillons de cernes de croissance à analyser, et d'optimiser la réplication tout en conservant une résolution annuelle;
- (2) Construire une série $\delta^{18}\text{O}$ sur le dernier millénaire fiable;
- (3) Reconstituer la température maximale estivale du dernier millénaire et mettre en évidence les périodes climatiques contrastées qui se sont succédées au cours des siècles; et
- (4) Caractériser les principaux forçages climatiques qui ont influencé le climat du dernier millénaire pour le Nord-est du Québec.

III) Site d'étude et échantillonnage des arbres vivants et subfossiles



- Localisation du site d'étude: L20 est le lac sélectionné pour ce projet de recherche, les données climatiques proviennent du *Climatic Research Unit* (CRU TS 3.1) et les trois stations météorologiques les plus proches du site sont Nitchequon, Wabush lake et Schefferville.
- Les arbres vivants (> 120 ans) choisis sont des épinettes noires riveraines inclinées en direction du lac, reposant sur une pente modérée avec une transition lac-forêt abrupte.
- Les tiges subfossiles sont également des épinettes noires, elles proviennent du fond du lac, posées sur les sédiments ou enfouies.

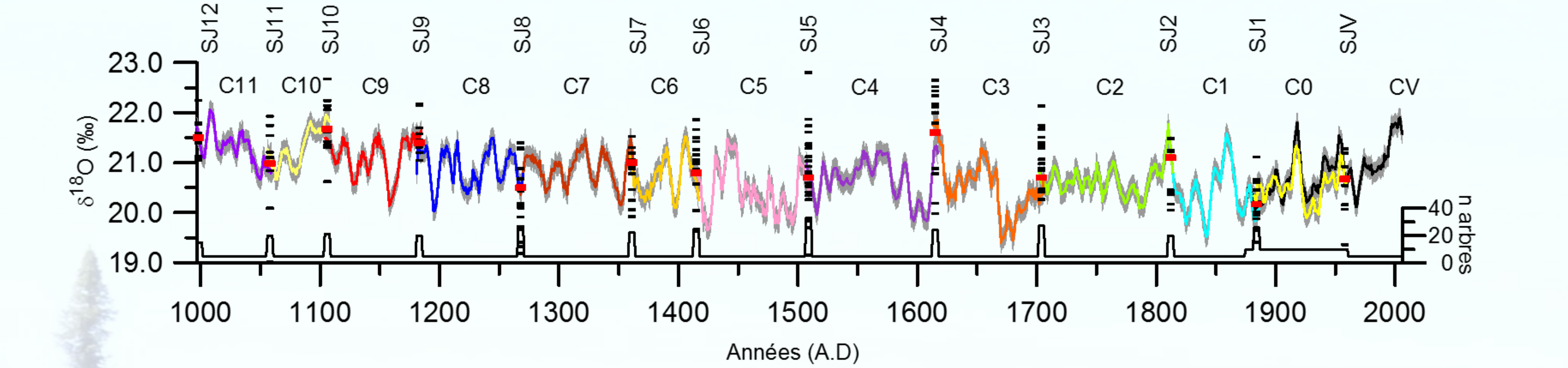
IV) Sélection et traitement des échantillons



- Les tiges subfossiles sont sélectionnées selon leur qualité de préservation, la largeur de leurs cernes (>2mm), leur âge, et le nombre de cernes échantillonnables.
- La méthode de découpe adapte l'approche des cohortes (Boettger *et al.*, 2009), et celle des segments de jonction (Gagen *et al.*, 2012).
- Les périodes couvertes par les cohortes (C0 à C11) varient entre 53 et 111 ans.
- L' α -cellulose est extraite pour tous les arbres.
- Les rapports $\delta^{18}\text{O}$ sont analysés par un TC-EA-IRMS au Delta-Lab (CGC).
- Les résultats isotopiques sont tous exprimés selon les standards internationaux (VSMOW) en per mille (‰).

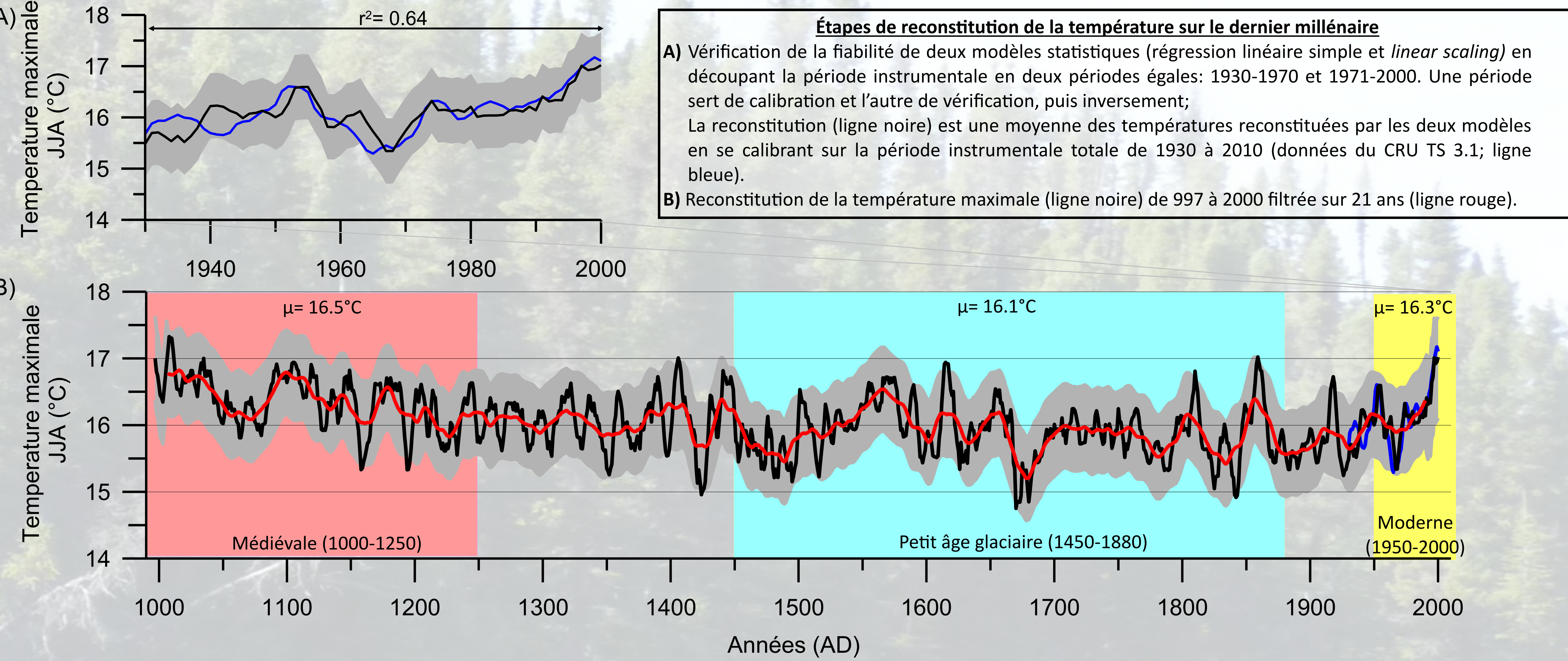
V) Résultats et discussion

• Construction de la série $\delta^{18}\text{O}$ millénaire pour le lac L20



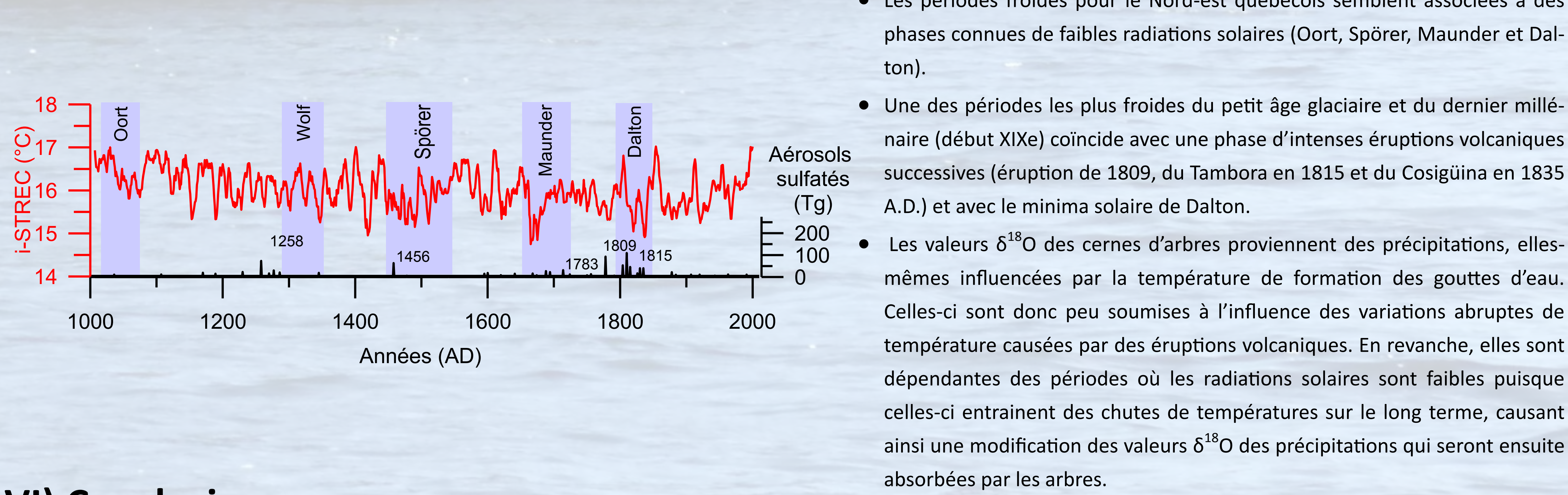
- Contre toute attente, les cohortes (C) montrent une cohérence isotopique car elles forment une suite continue des rapports $\delta^{18}\text{O}$ aux moyennes des segments de jonction (SJ; sauf dans deux cas).
- La cohorte des arbres vivants (CV) et celle des tiges subfossiles répartie sur la période moderne (C0) montrent une bonne corrélation entre elles ($r^2=0.70$; non représentée). Cette observation confirme que la méthode des cohortes conserve les variations isotopiques annuelles.
- Pour chaque période de chevauchement, une valeur d'ajustement à été déterminée en moyennant les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ des SJ et des deux cohortes se chevauchant. Chaque cohorte a ensuite été corrigée en soustrayant à ses valeurs $\delta^{18}\text{O}$ la régression linéaire calculée entre deux points d'ajustement l'a limitant (ex: C0 a été réajustée en soustrayant la régression calculée entre les points SJ1 et SJV).

• Reconstitution de la température maximale estivale sur le dernier millénaire (i-STREC)



- Notre reconstitution de la température maximale estivale à partir de la série $\delta^{18}\text{O}$ et des données instrumentales montre une chute globale des températures de 0.6°C/millénaire, ce qui est en accord avec d'autres études paléoclimatiques menées dans l'hémisphère Nord (ex., Viau *et al.*, 2012 avec les pollens; Kaufman *et al.*, 2009 avec les sédiments, les cernes d'arbre et les carottes glaciaires; Esper *et al.*, 2012 avec les cernes d'arbre).
- Trois grandes phases climatiques majeures sont mises en évidence: la période chaude médiévale (1000-1250) qui représente la phase la plus chaude du dernier millénaire, la période froide du petit âge glaciaire (1450-1880) correspondant aux températures les plus froides, et la période moderne (1950-2000).
- Bien que le dernier siècle montre une forte augmentation des températures sur les trois dernières décennies (+0.8°C/décennie entre 1980 et 2010), il est globalement froid au regard du dernier millénaire.

• Mise en évidence du forçage climatique



- Les périodes froides pour le Nord-est québécois semblent associées à des phases connues de faibles radiations solaires (Oort, Spörer, Maunder et Dalton).
- Une des périodes les plus froides du petit âge glaciaire et du dernier millénaire (début XIXe) coïncide avec une phase d'intenses éruptions volcaniques successives (éruption de 1809, du Tambora en 1815 et du Cosigüina en 1835 A.D.) et avec le minima solaire de Dalton.
- Les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ des cernes d'arbres proviennent des précipitations, elles-mêmes influencées par la température de formation des gouttes d'eau. Celles-ci sont donc peu soumises à l'influence des variations abruptes de température causées par des éruptions volcaniques. En revanche, elles sont dépendantes des périodes où les radiations solaires sont faibles puisque celles-ci entraînent des chutes de températures sur le long terme, causant ainsi une modification des valeurs $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations qui seront ensuite absorbées par les arbres.

VI) Conclusion

- Le choix de la méthode des cohortes a permis de minimiser le nombre d'échantillons à traiter pour obtenir une courbe moyenne, tout en maximisant le nombre de répliques annuels.
- L'anomalie chaude médiévale (1000-1250) a été la période la plus chaude de ce dernier millénaire, démontrant ainsi que les températures du dernier siècle ne sont pas sans précédent pour le Nord-est du Canada.
- Une des périodes les plus froides du dernier millénaire (début XIXe) coïncide avec le minima solaire Dalton et une période d'éruption intense (1809, Tambora et Cosigüina). Au regard de cette étude, nous avons également démontré que les séries $\delta^{18}\text{O}$ des arbres étaient de très bons indicateurs du climat passé en enregistrant les baisses de radiations solaires qui influencent directement les variations de températures sur le dernier millénaire pour le Nord-est québécois.
- Notre étude apporte de nouvelles connaissances du climat circum-atlantique et permettra d'intégrer dans les futures simulations du climat de nouvelles données sur les températures du dernier millénaire pour le nord-est du Canada.

Remerciements: Cette étude fait partie intégrante du projet ARCHIVES subventionné par Ouranos, HydroQuébec, NSERC et par Geological Survey of Canada. Les auteurs remercient A. Smirnov, M.C. Simard, et J. Autin pour leurs contributions techniques et leurs discussions constructives.