



Acclimatation thermique de la photosynthèse et de la respiration de différentes sources génétiques de l'épinette blanche le long d'un gradient climatique

Co-direction

Monsieur Steeve Pépin, ULaval

Madame Annie Desrochers, UQAT

Présenté par :

Fatima Ezzahra Khouya

Direction

Monsieur Mebarek Lamara, UQAT

Le 14/02/2024

Forêt boréale 80 % du territoire boisé
=
Richesse Canadienne

Ce secteur est confronté aux défis
des changements climatiques

levier de production de
bois d'œuvre et produits
forestiers non ligneux

création d'emplois

Habitat pour l'Homme, la
flore et la faune

Stockage du Carbone

Baisse de productivité

Risque de déclin des
populations

1

Mise en contexte

2

3

4

5

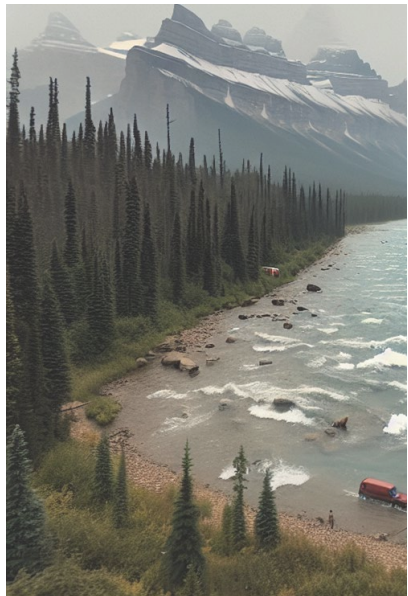
6



Augmentation des activités anthropologiques



Hausse des températures mondiales annuelles de +1.5°C



📍 Canada
↗ T°

(+) Sécheresse

(-) Productivité et santé des essences forestières



1

Mise en contexte

2

3

4

5

6

Effets du changement climatique sur les essences résineuses



Adaptation (in situ)



Migration



Extinction

(Aitken et al., 2008)

1

Mise en contexte

2

3

4

5

6

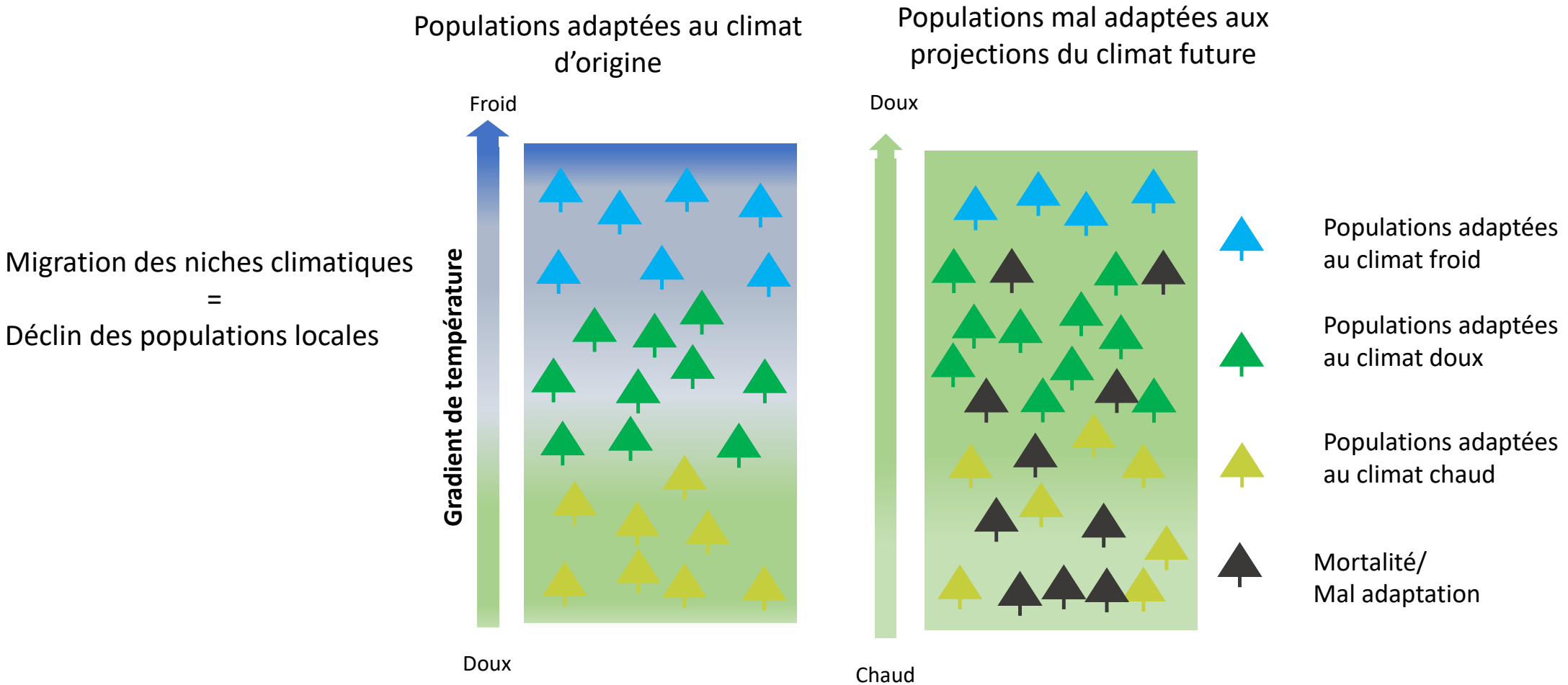


Figure 1: Effet du déplacement du climat sur l'adaptation des essences forestières (adaptés de Aitken 2014)

1

Mise en contexte

2

3

4

5

6

Migration assistée

Stratégie
d'adaptation

Déplacement intentionnel
d'espèces vers des habitats au
climat futur favorable

Enjeux

Manques d'études pour
soutenir la prise des décisions

But

Minimiser le risque
d'extinction lié au changement
climatique

Approche
proactive

Anticipation des changements
d'habitats et sauvegarde de la
biodiversité



1

Mise en contexte

2

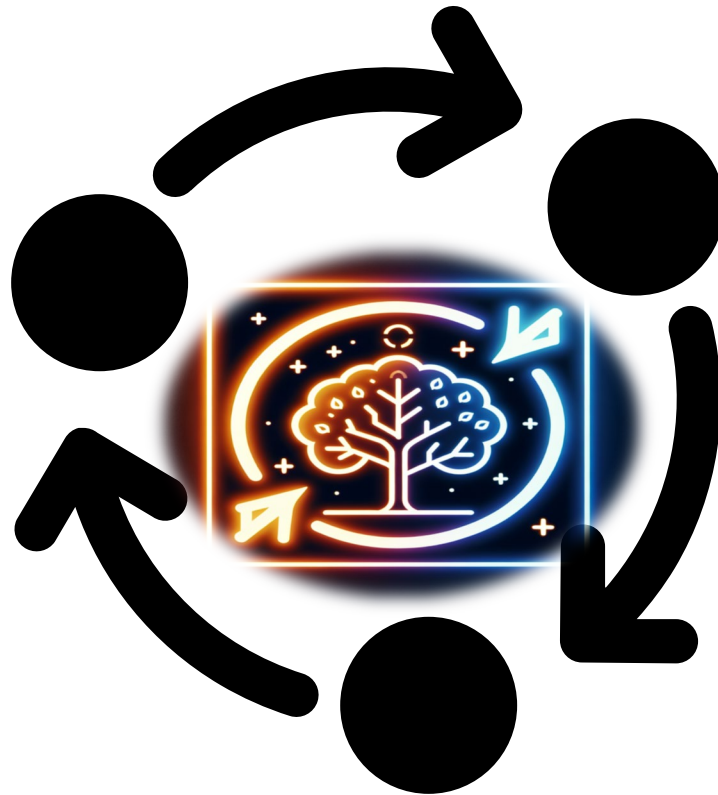
3

4

5

6

Cadre de l'étude



Photosynthèse et respiration

Réponse face aux changements de température

Acclimatation thermique

1

2

Etat des connaissances

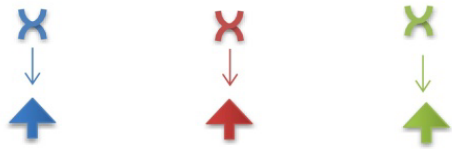
3

4

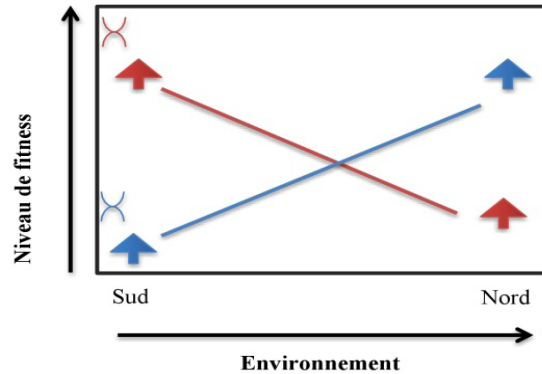
5

6

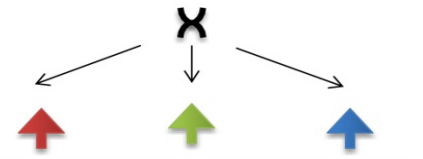
Adaptation locale



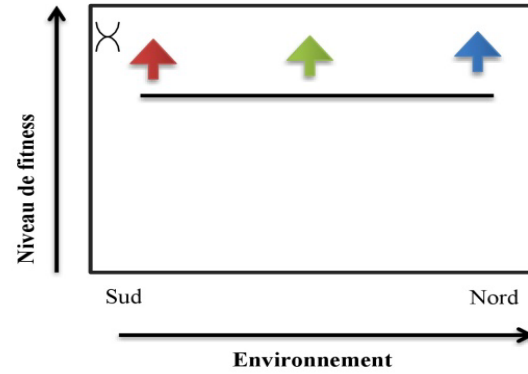
Chaque génotype exprime un phénotype
Les populations sont mieux adaptées à leur climat local



Plasticité phénotypique



Un génotype exprime plusieurs phénotypes
en fonction de l'environnement de croissance



Courte échelle :
Vie d'un arbre

Processus:
Étendue des valeurs
phénotypiques possibles
pour un caractère en réponse
à des stimulus
environnementaux

Figure 3: Différence entre adaptation locale et plasticité phénotypique

1

2

Etat des connaissances

3

4

5

6

Types d'climatation thermique de la photosynthèse :

Déplacement de la photosynthèse optimale
(A_{opt}) à T_{opt} et A_{opt} vers A_{opt} et T_{opt} vers T_{opt}

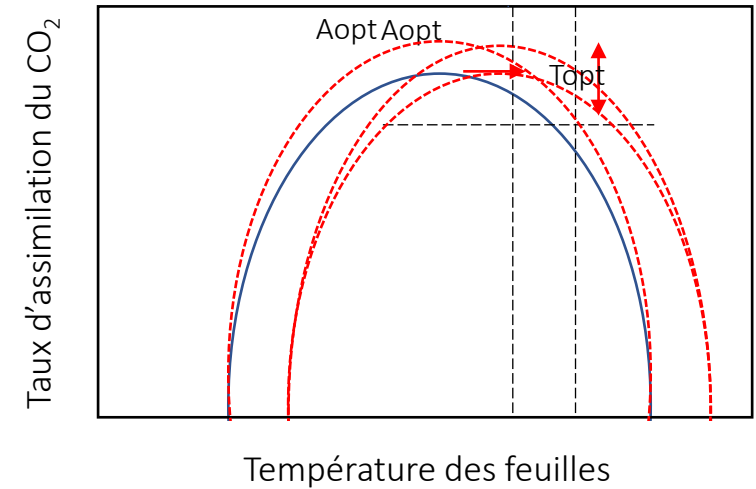
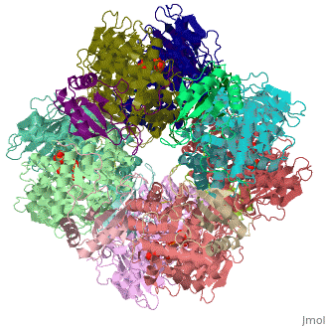


Figure 2: Figure conceptuelle des ajustements de la courbe de photosynthèse à l'augmentation de la T° de croissance (adaptés de Benomar et al., 2019)

Facteur limitant l'acclimatation thermique de la photosynthèse



Jmol

Rubisco

Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygénase

Principale enzyme assimilant le CO₂ dans la biosphère

Processus

Capacité de Rubisco à carboxyler
Ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP)

Capacité de régénération de la RuBP

Facteur limitant

$V_{(cmax)}$ Vitesse max de carboxylation du
RuBP / Rubisco

$J_{(max)}$ Vitesse max de transport
d'électrons

(Sage et Kubien, 2007; Hikosaka *et al.*, 2006 ; Way et Yamori, 2014)

1

2

Etat des connaissances

3

4

5

6

Acclimatation de la respiration



Acclimatation type I

Q_{10} changement proportionnel de la respiration pour une augmentation de température de 10°C



Acclimatation type II

Changement de la capacité enzymatique du système respiratoire

Atkin et al., 2005

1

2

Etat des connaissances

3

4

5

6

L'épinette blanche :

Troisième essence la plus reboisée 26%

Utilisée dans l'industrie du bois d'œuvre et de papier

Limite d'existence :

44.14 à 66.52 N latitude

61.13 à 159.87 W longitude

30 Millions de plants/an



Figure 4 (Parti) de l'Atlas de l'épinette blanche

Tirée de: <https://www.nature.gc.ca>

1

2

3

Objectifs et hypothèses

4

5

6

Hypothèse

- Variabilité de la réponse physiologique au gradient thermique entre géotypes d'EPB.
- Plasticité phénotypique possible au sein des populations.
- Corrélation entre température optimale de photosynthèse et origine géographique (sud vs nord)



Objectif général

Évaluation de la réponse de différentes sources génétiques de l'épinette blanche du point de vue physiologique et biochimique face à un gradient de température



Objectifs spécifiques

1. Analyser variation génétique et influence du climat d'origine sur acclimatation thermique.
2. Identifier mécanismes biochimiques et biophysiques régulant acclimatation

1

2

3

4

Matériel et méthodes

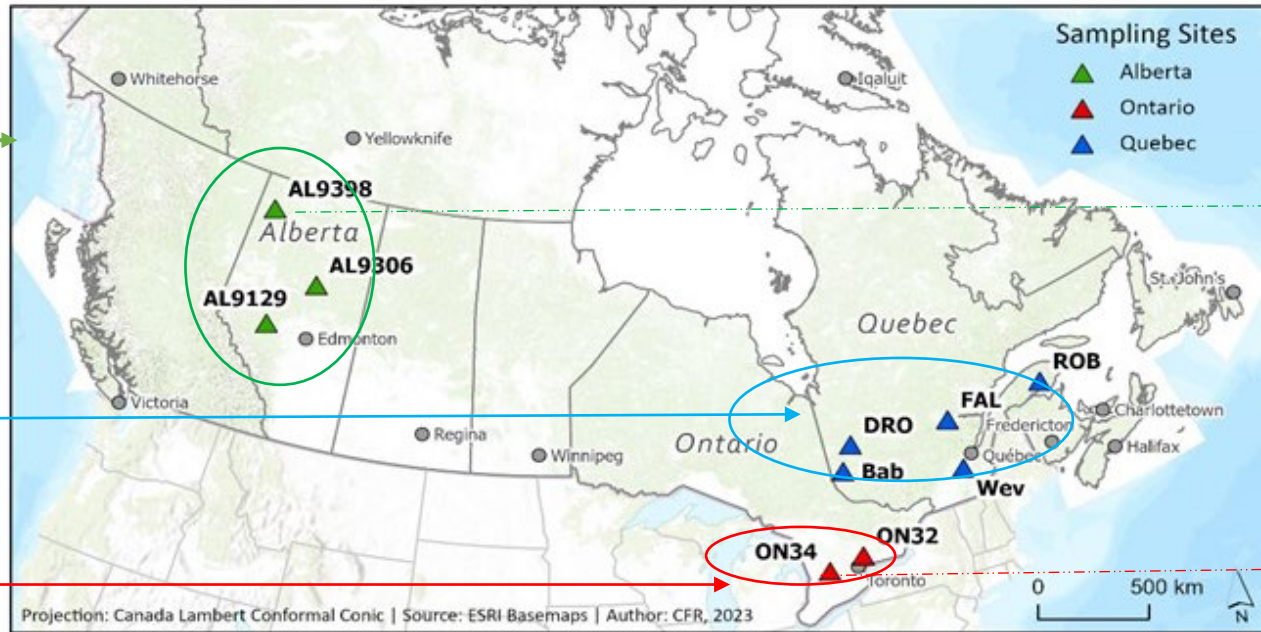
5

6

3 sources de l'Alberta Nord

5 sources de Québec Centre

2 sources de Ontario Sud



Latitude

55.96

43.77

Carte des provenances des sources génétiques

10 Sources génétiques

1

2

3

4

Matériel et méthodes

5

6

Empotage le 05 Mai 2022

Transplantation dans des pots de 3,5 L. ,
substrat préalablement humecté :
[Tourbe : Vermiculite : Perlite] = 3V : V : 0.5V]

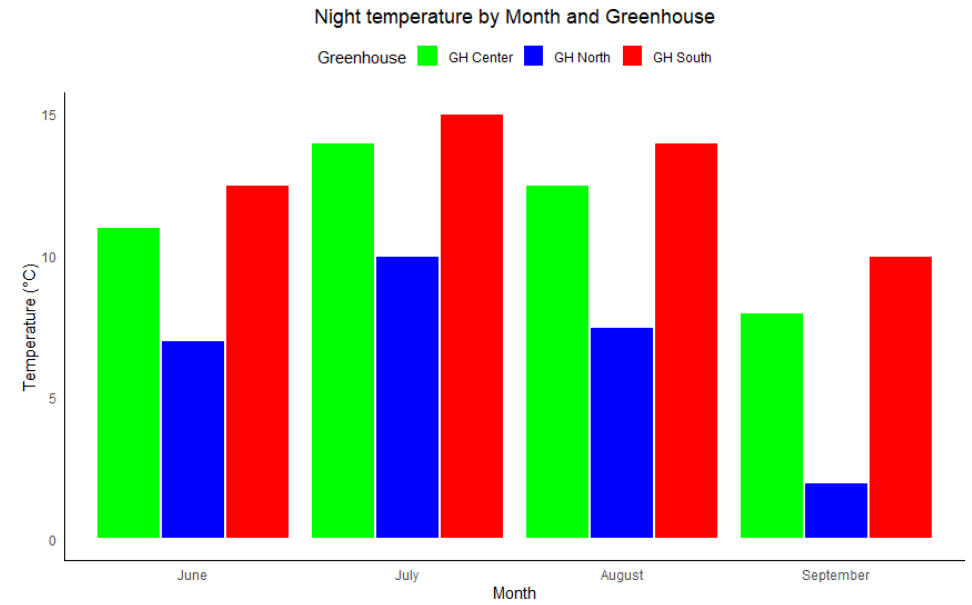
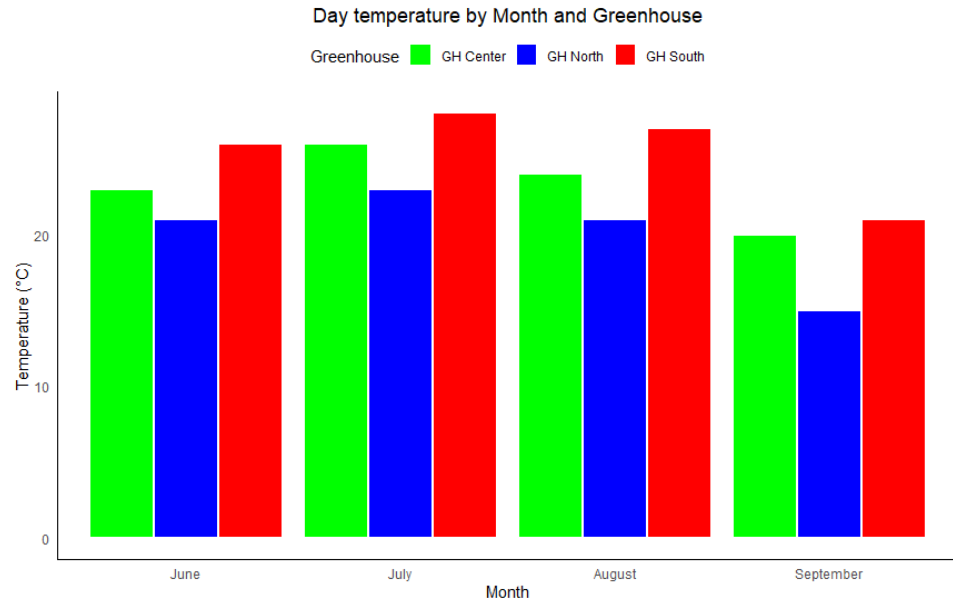


10 Populations
4 Bloc*3 répétitions / bloc
3 Serres
= 360 plants

Acclimatation pendant 2 mois aux serres de l'Université Laval



Début des mesures des échanges gazeux dans la chambre de croissance



Traitements thermiques

 Serre 2 = Température actuelle du Québec (Centre)

 Serre 1 = Température actuelle du Québec + 4C° (Sud)

 Serre 3 = Température actuelle du Québec -3C° (Nord)

1

2

3

4

Matériel et méthodes

5

6

Mesures des échanges gazeux :

1-Mesure de la photosynthèse

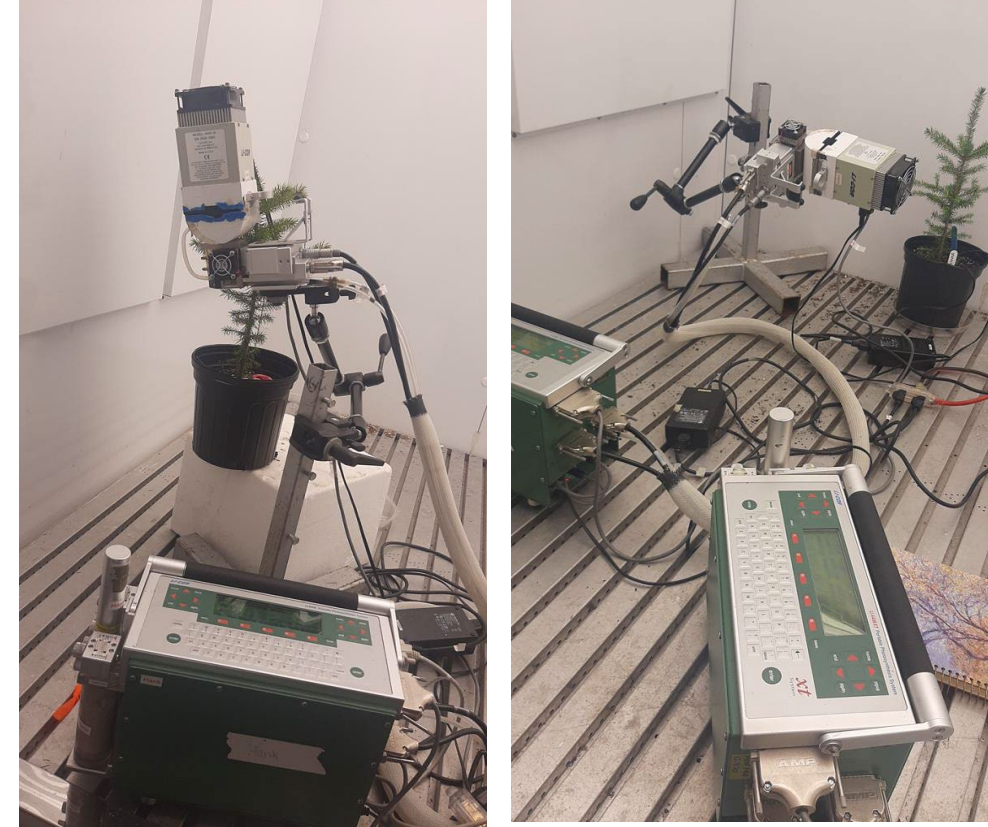
1 Plant/ Bloc/ Source = 120 Echantillons

Température chambre de croissance + Cuvette :
10, 15, 20, 25, 30, 35, 40°C

Débit de l'air $300 \mu\text{mol s}^{-1}$

CO_2 S = $415 \mu\text{mol mol}^{-1}$

Conditions de luminosité saturantes PAR = $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



LI 6400 et LI 6400 XT

1

2

3

4

Matériel et méthodes

5

6

Mesures des échanges gazeux :

2-Mesure de la respiration

Alberta 9398 Nord = 24 échantillons
On 32 Sud

Température chambre de croissance + Cuvette :
10, 15, 20, 25, 30, 35, 40°C T°

Débit de l'air $300 \mu\text{mol s}^{-1}$

$\text{CO}_2 \text{ S} = 415 \mu\text{mol mol}^{-1}$

PAR = OFF

Luminosité dans la chambre de croissance OFF



LI 6400 et LI 6400 XT

1

2

3

4

Matériel et méthodes

5

6

Réponse CO_2 de la photosynthèse nette à différentes températures
($A - C_i - T$)

24 échantillons

Après 30 min de PAR= $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ et CO_2 S 415 ppm

Température chambre de croissance + Cuvette :

10, 20, 30, 40°C

Pression partielle atm 415 ppm

Suite de CO_2 : 60 120 180 240 300 450 600 750 900 1000 1400 1500

415

Match automatique au niveau des Licor : 180s minimum et 300 s au maximum



LI 6400 et LI 6400 XT

1

2

3

4

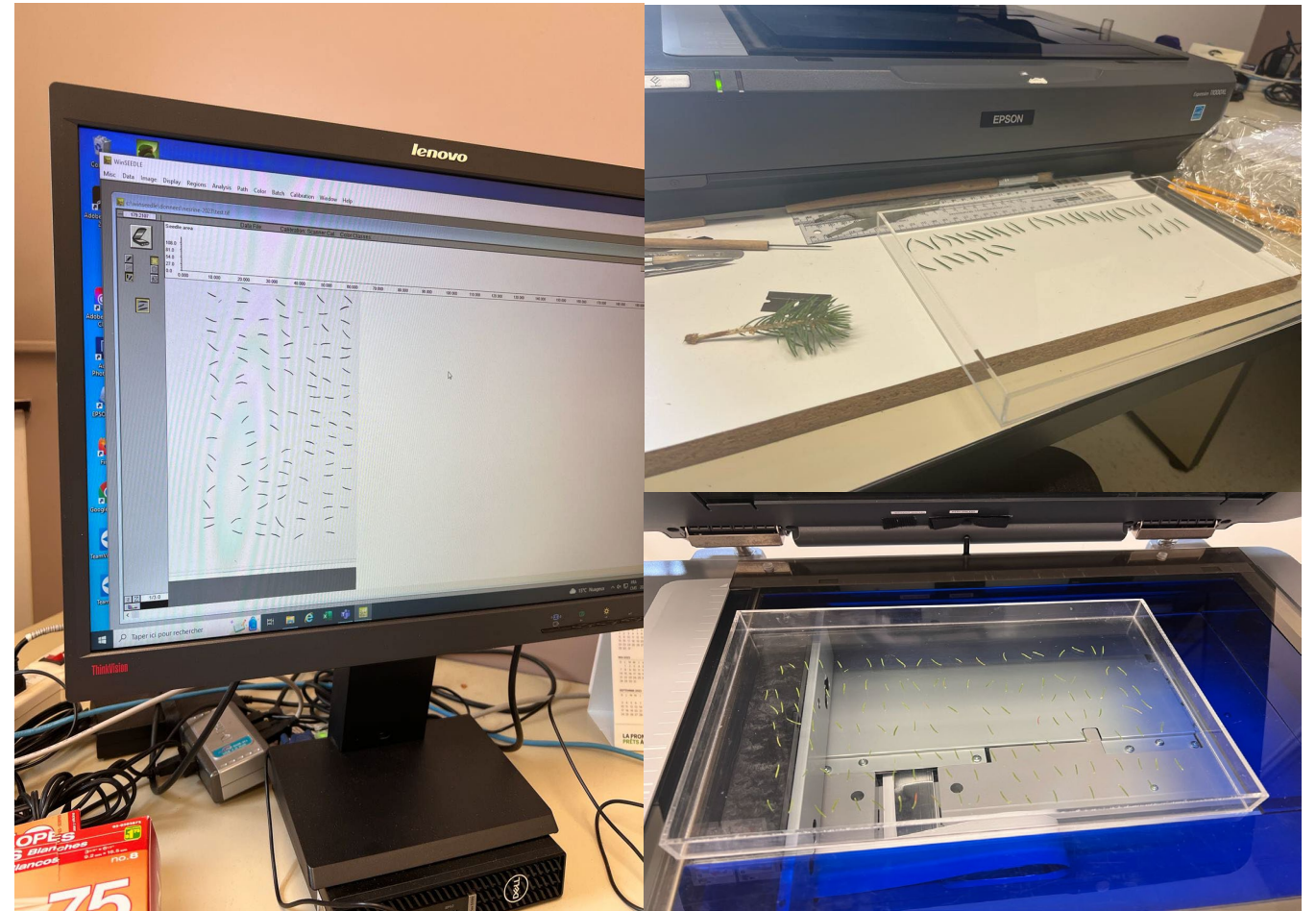
Matériel et méthodes

5

6

Mesure de la surface foliaire

WINSEEDLE



Scanner WINSEEDLE

1

2

3

4

Matériel et méthodes

5

6

Méthode statistique

Photosynthèse optimale **Aopt**

Température de photosynthèse optimale **Topt**

Respiration obscure **Rd**

Q10



Estimation par programmes sur R et SAS

Valeurs apparente

Vitesse maximale de carboxylation **Vcmax**

Capacité maximale de régénération des électrons **Jmax**

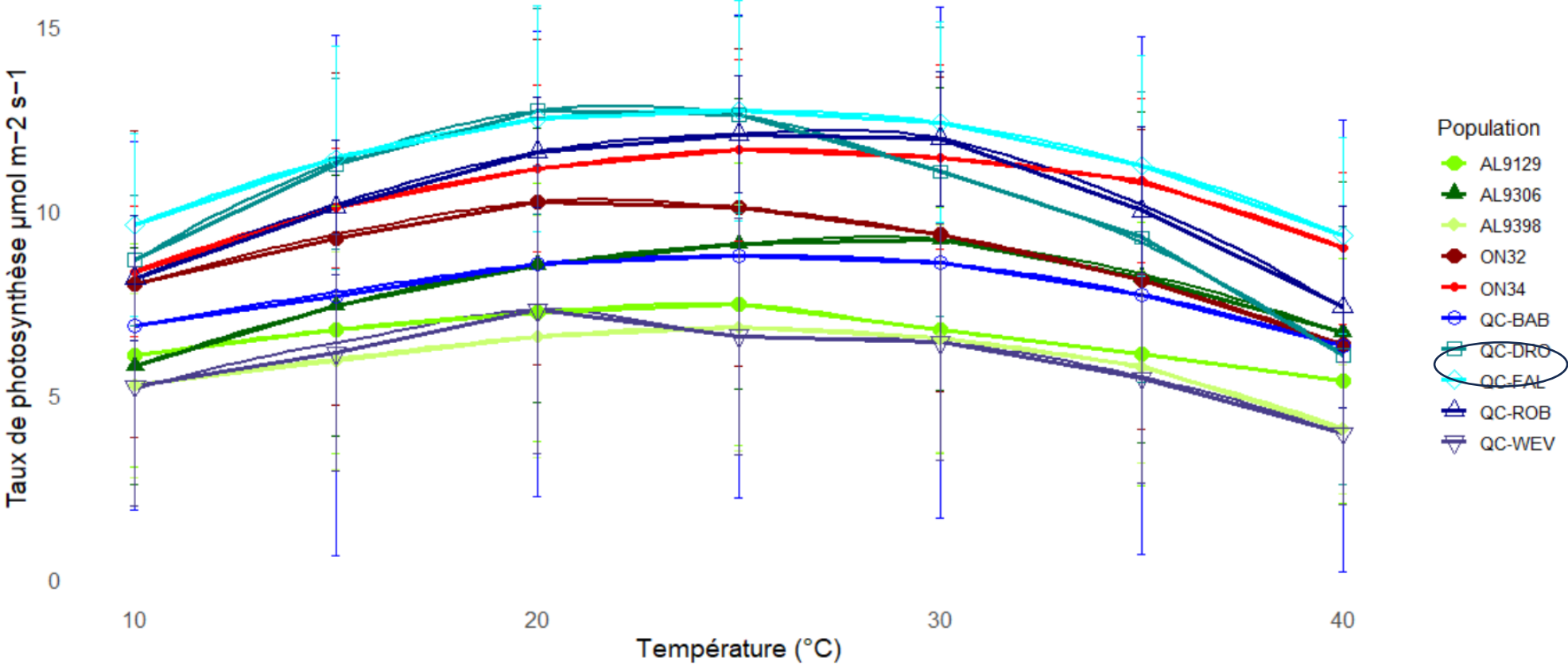


Estimation par plantecophys
(Package version 1.4-6, plantecophys, 2022)

Modèle linéaire mixte

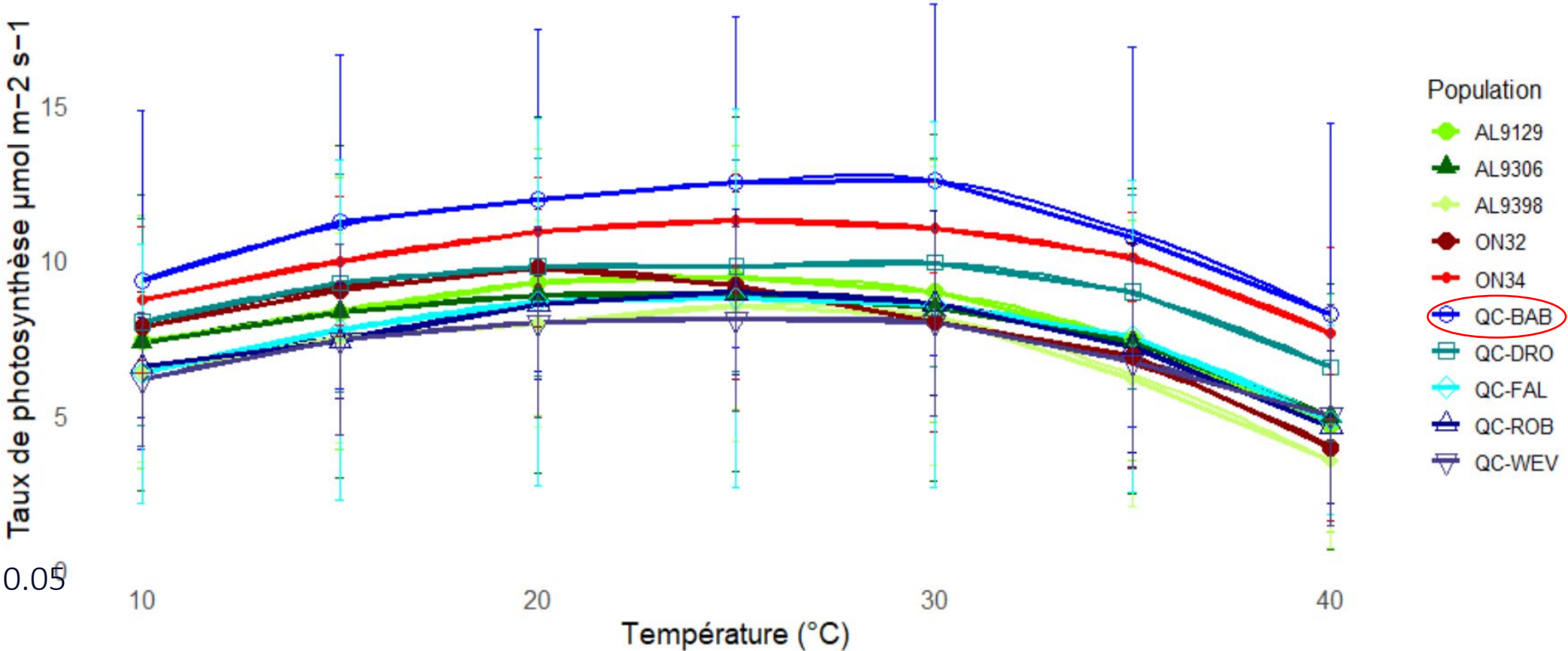
(Variable dependante ~ Température de croissance * population + (1 | bloc/ Température de croissance))

Photosynthèse dans les conditions de température actuelle du Québec +4 (°C)



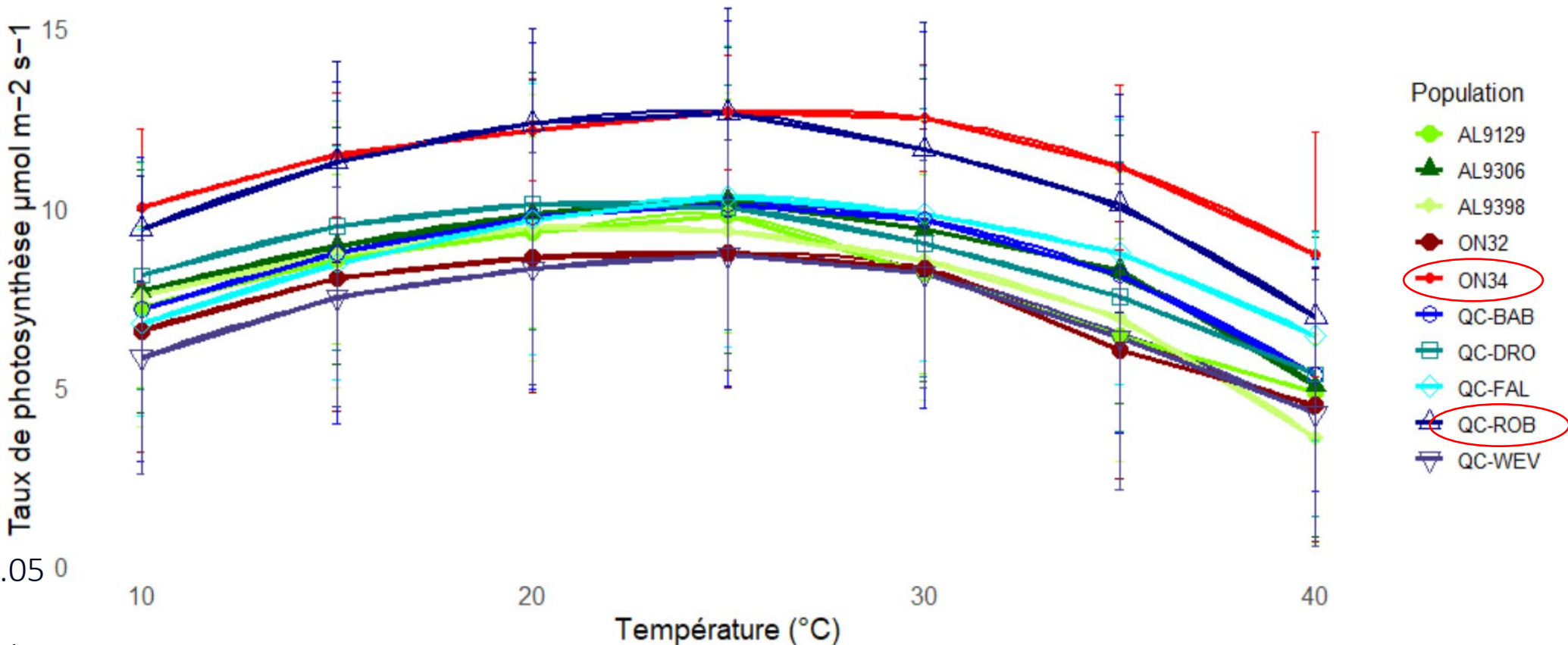
T° de croissance: $p > 0.05$
 Population: $p < 0.05$
 T° de croissance * Population: $p < 0.05$

Photosynthèse dans les conditions de température actuelle du Québec

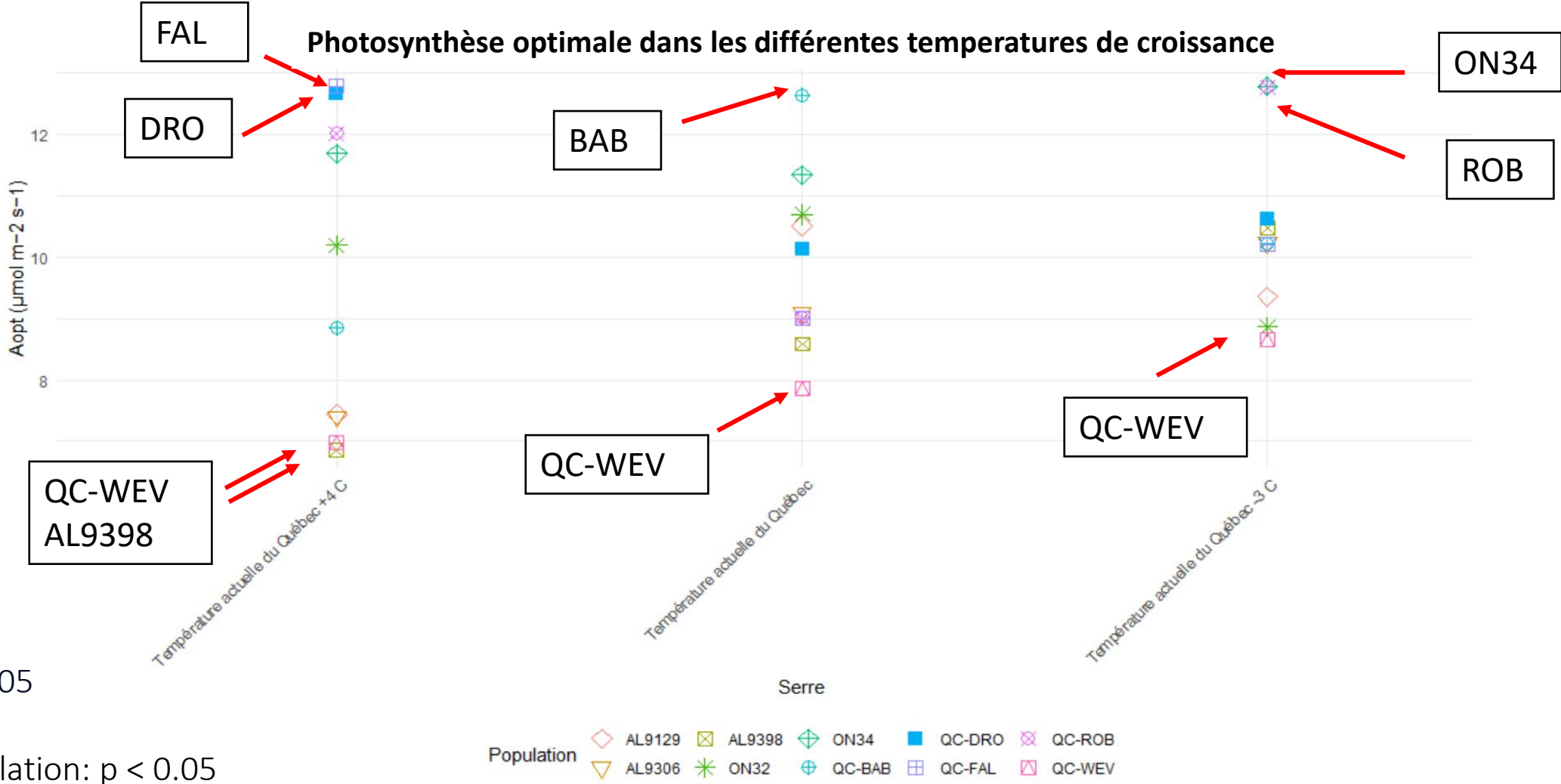


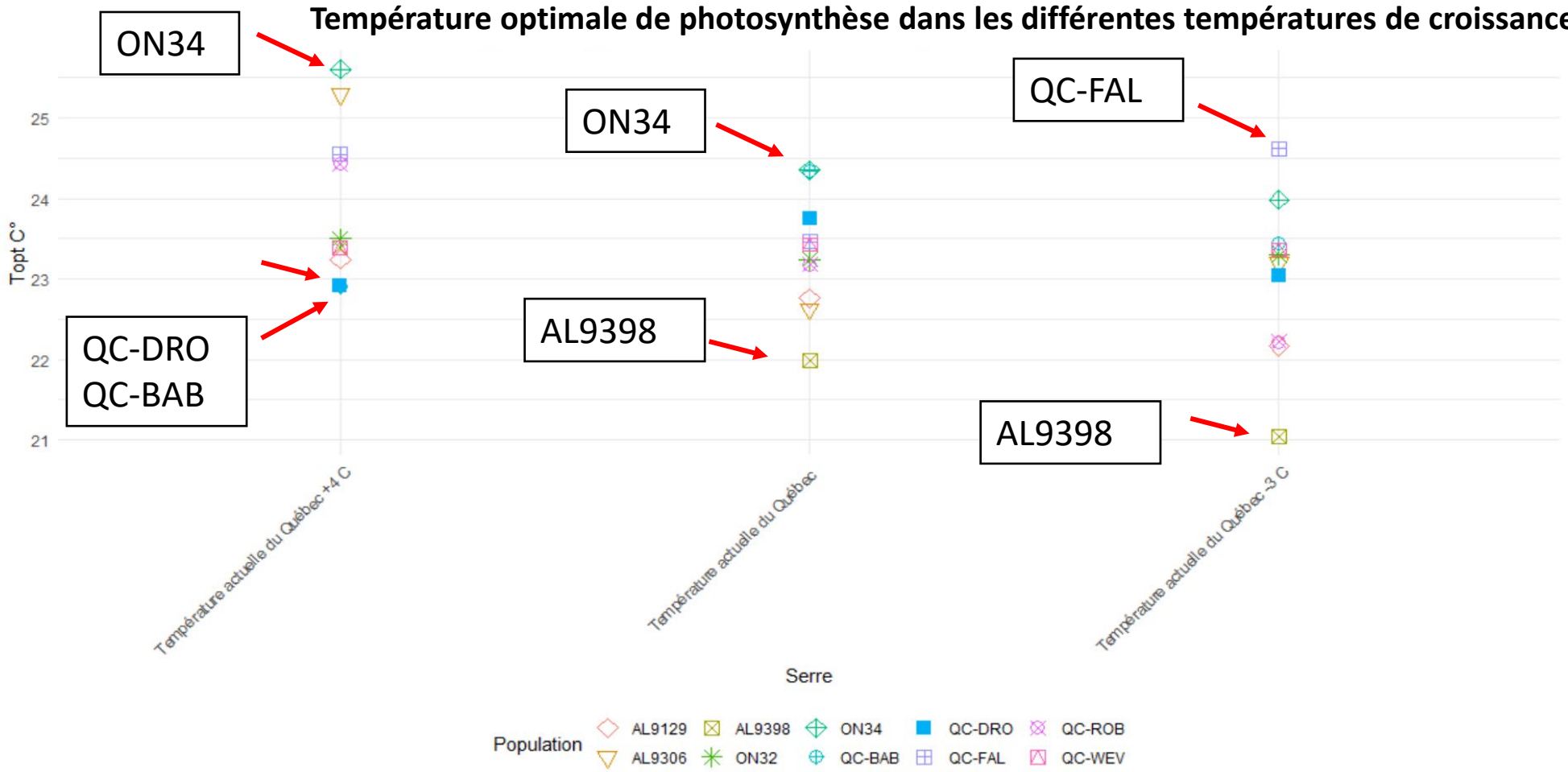
T° de croissance: $p > 0.05$
 Population: $p < 0.05$
 T° de croissance * Population: $p < 0.05$

Photosynthèse dans les conditions de température actuelle du Québec -3 (°C)



T° de croissance: $p > 0.05$
 Population: $p < 0.05$
 T° de croissance * Population: $p < 0.05$





T° de croissance: $p < 0.05$
 Population: $p < 0.05$
 T° de croissance * Population: $p < 0.05$

1

2

3

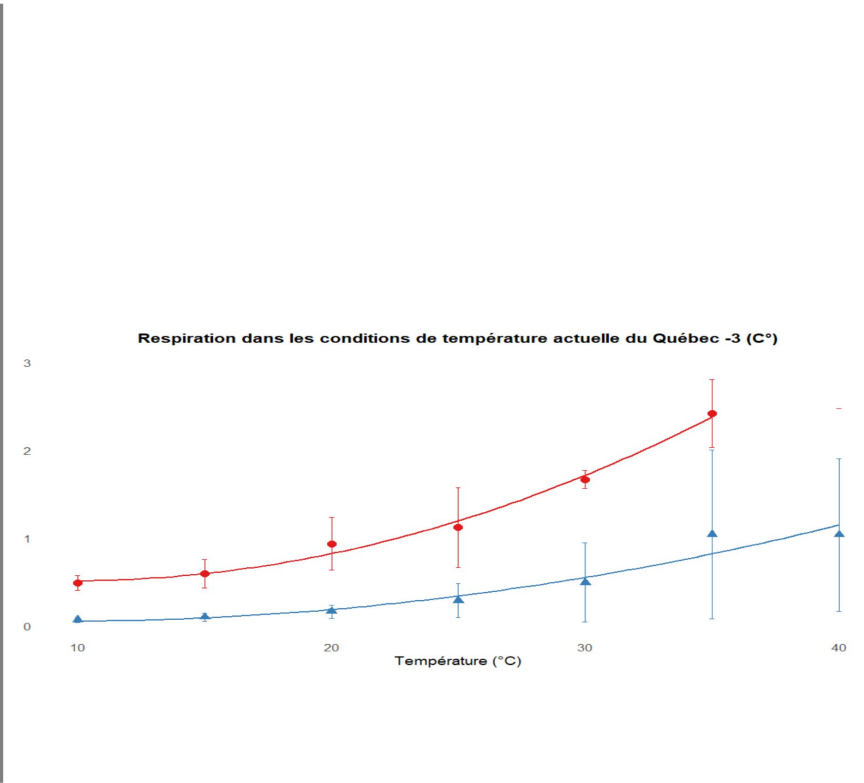
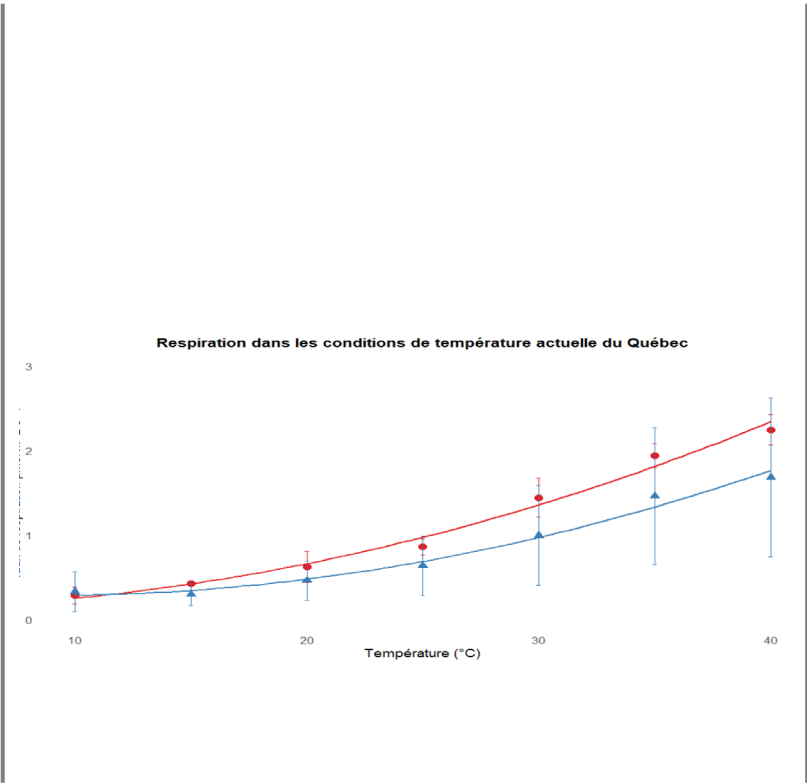
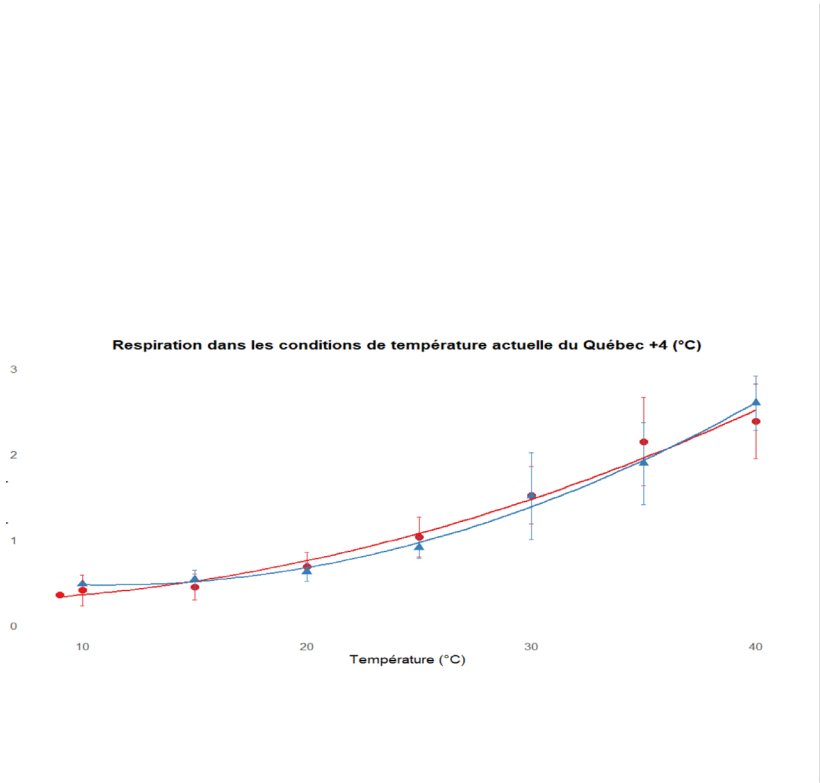
4

5

Résultats et discussions

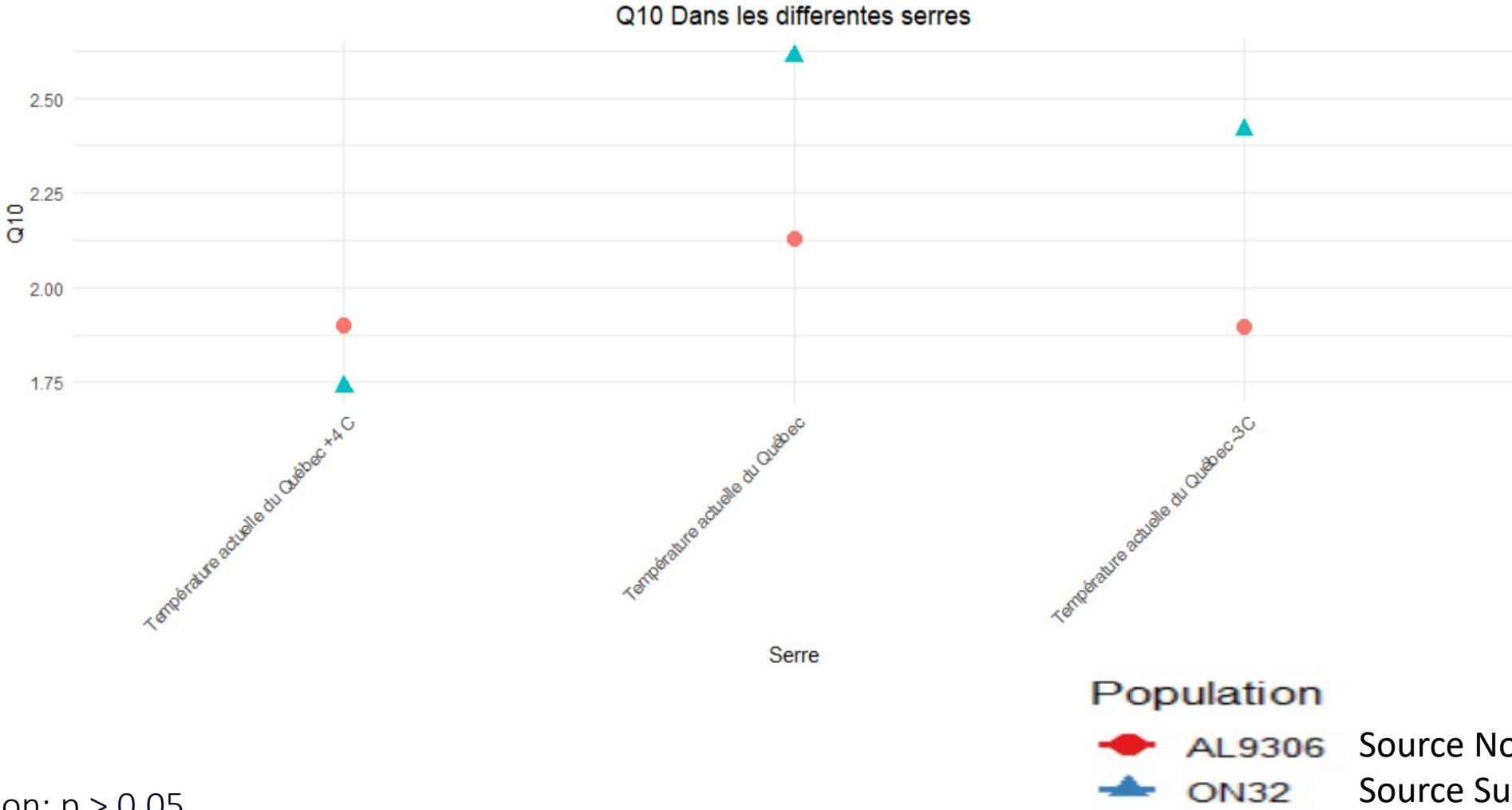
6

Taux de respiration $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



T° de croissance: $p < 0.05$
 Population: $p < 0.05$
 T° de croissance * Population: $p < 0.05$

Population
 ● AL9306 Source Nord
 ▲ ON32 Source Sud



T° de croissance : p > 0.05

Population: p > 0.05

T° de croissance *Population: p > 0.05

1

2

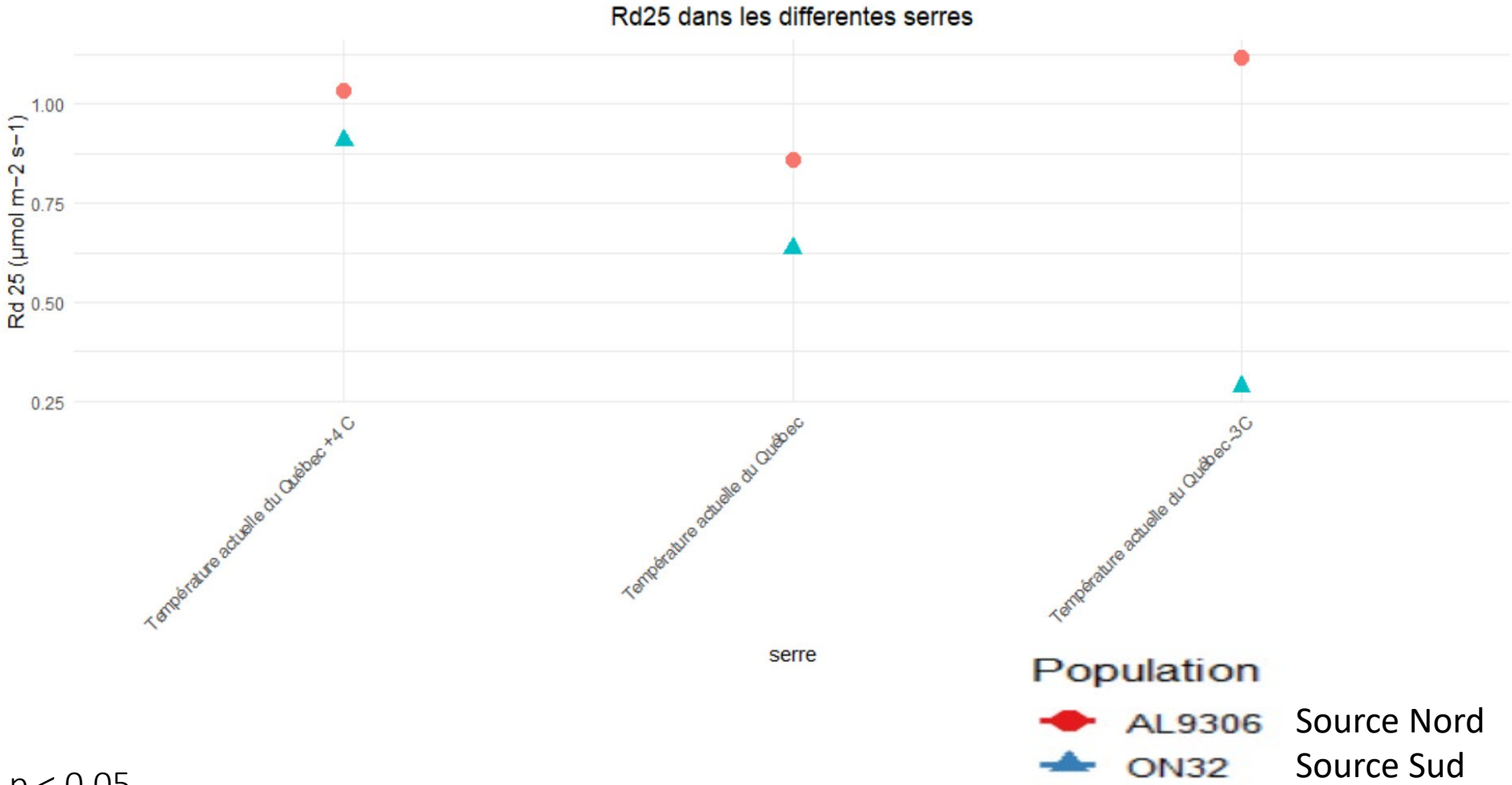
3

4

5

Résultats et discussions

6

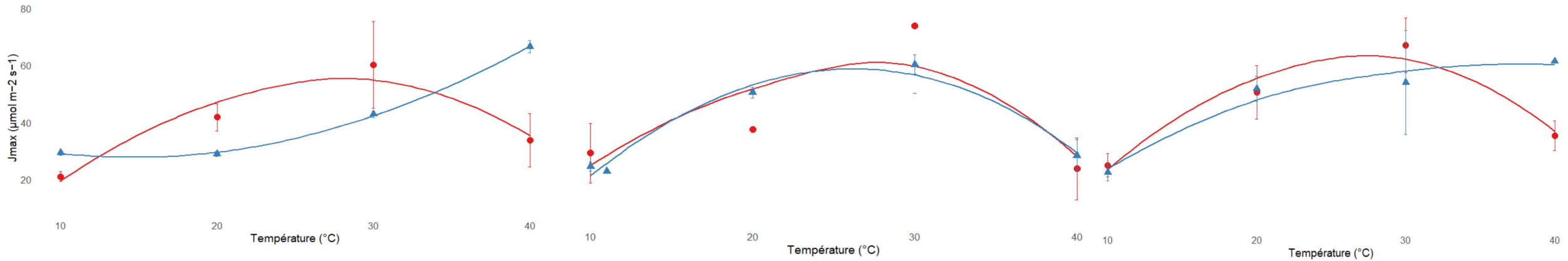


T° de croissance : p < 0.05

Population: p < 0.05

T° de croissance *Population: p < 0.05

Courbes de réponse de la capacité de la régénération des électrons en fonction de la température



Température actuelle du Québec +4°C

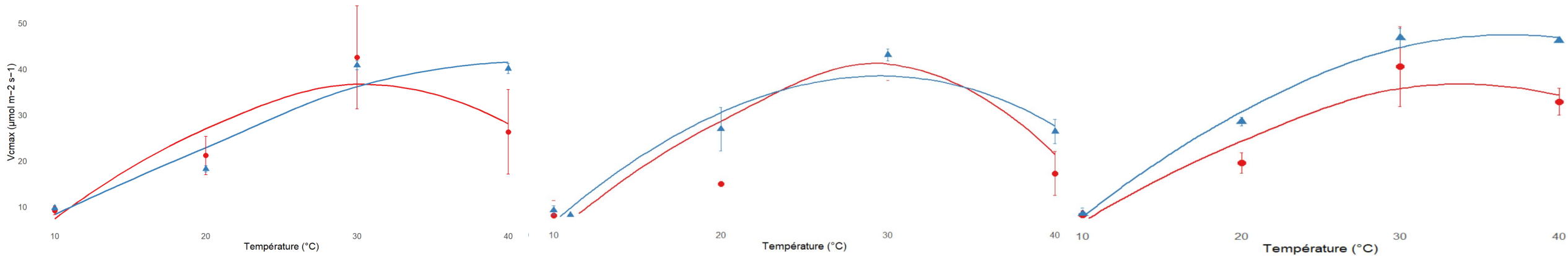
Température actuelle du Québec

Température actuelle du Québec -3°C

T° de croissance : $p < 0.05$
 Population: $p < 0.05$
 T° de croissance *Population: $p < 0.05$

Population
 ● AL9306 Source Nord
 ▲ ON32 Source Sud

Courbes de la vitesse maximale de carboxylation en fonction de la température



Température actuelle du Québec +4°C

Température actuelle du Québec

Température actuelle du Québec -3°C

T° de croissance : $p < 0.05$

Population: $p < 0.05$

T° de croissance * Population: $p < 0.05$

Population

AL9306

ON32

Source Nord

Source Sud

1

2

3

4

5

Résultats et discussions

6

	Différenciation génétique	Plasticité Phénotypique	Variation de plasticité selon les sources
Photosynthèse optimale	✗	☑	☑
Température optimale	☑	☑	☑
Quotient Q10	✗	✗	✗
Rd25	☑	☑	☑
Vitesse max de carboxylation (Vcmax)	☑	☑	☑
Capacité de régénération des e ⁻ (Jmax)	☑	☑	☑

1

2

3

4

5

Résultats et discussions

6

Photosynthèse optimale A_{opt}

+

Température optimale T_{opt}

Influence par la génétique des populations et leur interaction avec les conditions de $T^{\circ}C$ de croissance

Way et sage, 2008; Zhang et al., 2015

Benomar et al., 2018

Respiration

Influence par la génétique, les conditions de croissance et leur interaction

Benomar et al., 2018

Q10

Ne varie pas selon la génétique et les conditions de croissance

Benomar et al., 2018

Vitesse max de carboxylation V_{cmax}

+

Capacité de régénération e^{-} des J_{max}

Influencés par la génétique des populations, les conditions de croissance et leur interaction

Benomar et al., 2018

1

2

3

4

5

6

Conclusion

Génétique et conditions de croissance



+ Études sur les populations du Sud



Études contrôlées
VS
Études naturelles

Amélioration du programme de la migration assistée

A woman with dark hair, wearing a white lab coat, is smiling and looking towards the camera. She is standing in a greenhouse filled with rows of potted plants, likely young trees or shrubs. The greenhouse has large glass windows and is equipped with overhead lighting fixtures and a hanging electrical box labeled "PRIVA". The scene is brightly lit, suggesting a sunny day.

Merci pour votre attention