

**Intégration des facteurs climatiques mensuels pour la modélisation
de la croissance des principales essences feuillues du sud-est du
Québec, Canada**

François Girard, Marilou Beaudet, Daniel Mailly et Christian Messier
Colloque annuel du CEF

Les bases de données

Placettes permanentes

- Créées pour les **besoins des gestionnaires forestiers** et non pour des études écologiques.
- Accroissements par remesurages, hauteur, etc.
 - Nécessité d'avoir les données antérieures lors du remesurage ce qui n'a pas été toujours le cas.
 - Nécessité d'inclure le climat
- Intérêt de faire des projections dans un contexte de changements climatiques

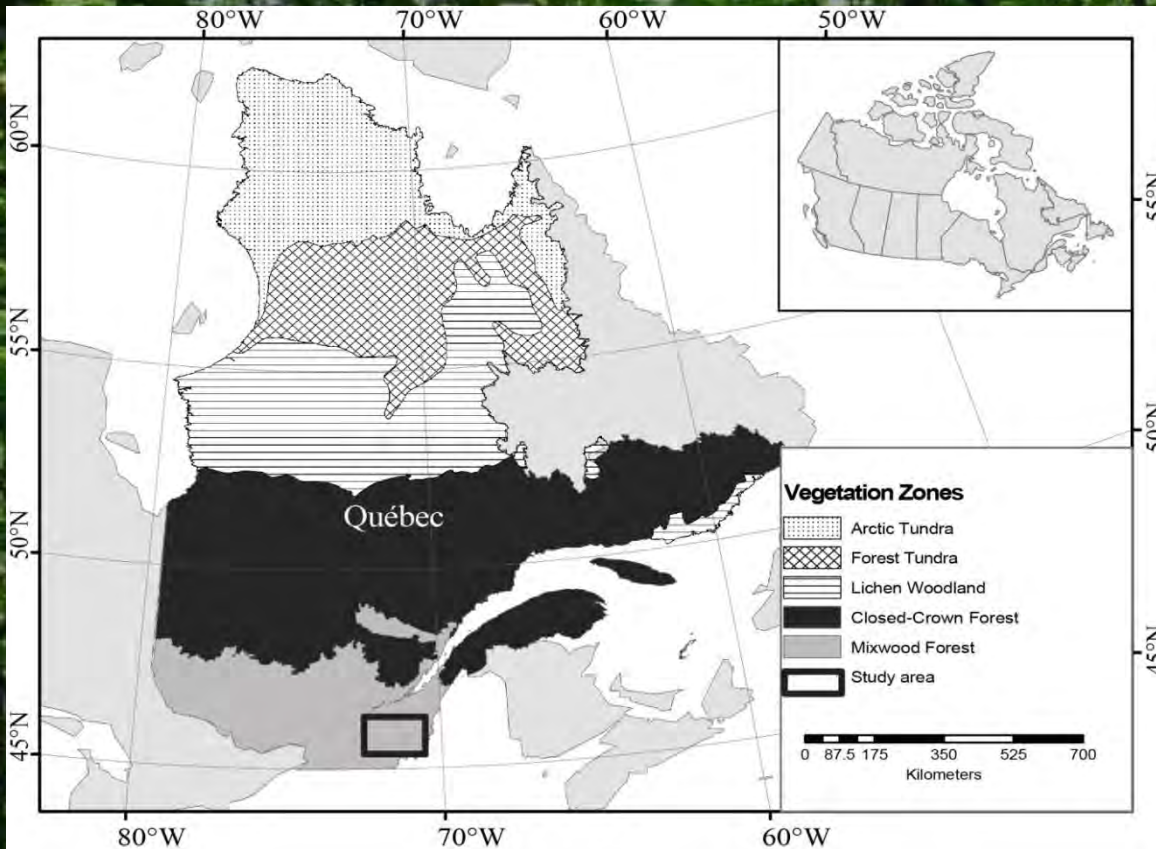
Comment tenir compte du climat dans un modèle de croissance?

- Les modèles de croissance présentement utilisés dans la gestion de la forêt québécoise comportent une ou plusieurs variables climatiques moyennes calculées pour une période variant de 25 à 50 ans (Artemis, SaMare)
- Les dendroécologistes utilisent les **fonctions de réponse** pour déterminer l'association statistique entre variabilité mensuelle climatique et variabilité de la croissance des cernes de croissance.
 - **Problème:** linéarité de la réponse, pas d'effet de saturation, complexité de la procédure statistique.
 - **Avantage:** obtention des mois ou regroupement les plus significatifs pour la croissance des arbres, test puissant.

Objectifs

- Développer des modèles de croissance simples à partir de l'accroissement annuel, de la surface terrière et des caractéristiques de station.
- Déterminer la meilleure forme mathématique à utiliser pour chaque variable présente dans les modèles
- Comparer la performance:
 - de modèles de croissance indépendants du climat.
 - de modèles de croissance incorporant une variable climatique annuelle des 30 dernières années.
 - de modèles de croissance incorporant un vecteur de termes identifiés dans des fonctions de réponse dendroclimatiques.

Zone d'étude



- ✓ 4592 placettes
- ✓ 77840 arbres
- ✓ 165553 mesurages
- ✓ 1963-2012
- ✓ Placettes rondes ou carrées de 0.04ha
- ✓ Unités de paysage: 8, 30, 31, 32
- ✓ Végétation potentielle: FE et MJ
- ✓ 75 d'arbres feuillus
- ✓ Suppression des arbres morts
- ✓ Intervalle entre 2 sondages: 5ans
- ✓ Drainage 2 à 4
- ✓ *Betula alleghaniensis* (n=3346)
- ✓ *Acer saccharum* (n=8368)
- ✓ *Acer rubrum* (n=3180)
- ✓ *Fagus grandifolia* (n=848)

Base de données par remesurage



Modèles de croissance et formes mathématiques

Linéaire

Logistique

Lognormale

Quadratique

Exponentielle



**Modèles
indépendants du
climat**



**Moyennes
climatiques**



**Modèles
dépendants du
climat de 30 ans**



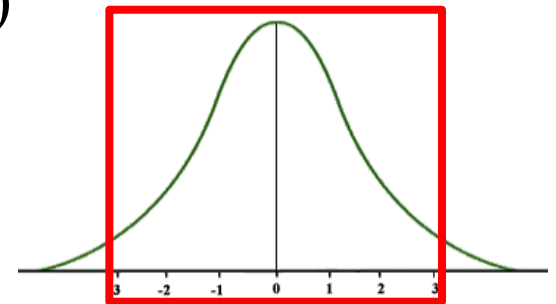
**Fonctions de
réponse**



**Modèles
dépendants du
climat mensuel**

Mise en forme de la base de données

- Calcul des accroissements
 - $P_{\text{saïson}} = 1 / (1 + \exp(12.54 - 0.066 * \text{jour julien du sondage}))$
 - $\text{Intervalle} = (\text{Année}_{\text{récente}} - \text{Année}_{\text{ancienne}}) + (1 - P_{\text{saïson}_{\text{ancienne}}}) - (1 - P_{\text{saïson}_{\text{récente}}})$
 - Accroissement: $[\text{Valeur}_{\text{récente}} - \text{Valeur}_{\text{ancienne}}] * \text{Intervalle}^{-1}$
- Accroissements négatifs, car plusieurs observateurs
 - Suppression des valeurs négatives (n=369)
 - Suppression des 369 plus hautes valeurs
 - Principe de la courbe normale



Matériel dendrochronologique

- 10 carottes par espèce par placette
- Cinq placettes ont été choisies aléatoirement au nord, au sud, à l'est, à l'ouest et au centre de la zone d'étude.
 - *Betula alleghaniensis* (n=55), *Acer saccharum* (n=52), *Acer rubrum* (n=58), *Fagus grandifolia* (n=53).
 - Interdatation et construction de chronoséries maîtresses.
 - Fonctions de réponse PLS pour trouver association cernes-climat mensuel (année courante et précédente).

Croissance potentielle maximale

- **La croissance potentielle est atteinte lorsque les conditions sont optimales pour l'arbre (climat, microsite, compétition, etc.).**
- **Le terme « croissance potentielle » est ensuite modifié de façon linéaire par différents facteurs modificateurs.**

$$G = b_0 + \text{Effet de la Végétation} + \text{Effet du Drainage}$$

$$G = b_0 + \text{Effet de la Végétation} + \text{Effet du Drainage} + \text{Effet du Climat 30ans}$$

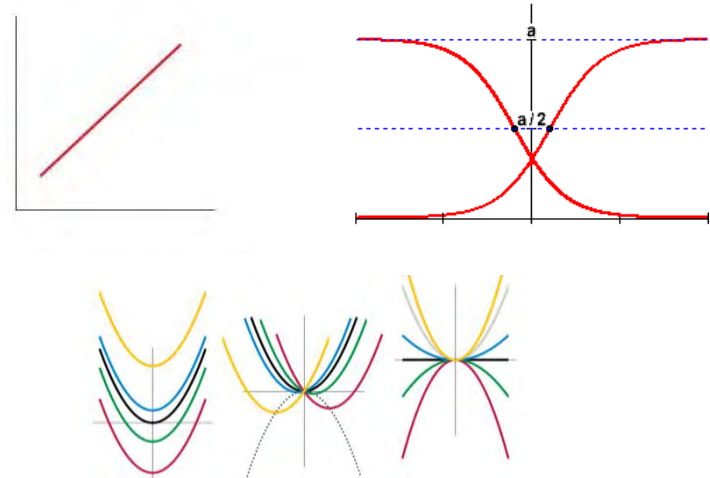
$$G = b_0 + \text{Effet de la Végétation} + \text{Effet du Drainage} + \text{Effet du Climat PLS}$$

Effet de la taille

- **Contrainte géométrique à la croissance d'un arbre**
- **Plus le tronc est gros, plus la croissance radiale annuelle est faible**

- **Formes mathématiques:**

- Linéaire
- Quadratique
- Logistique

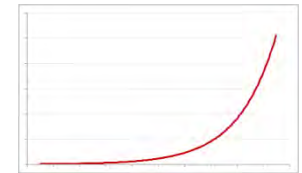
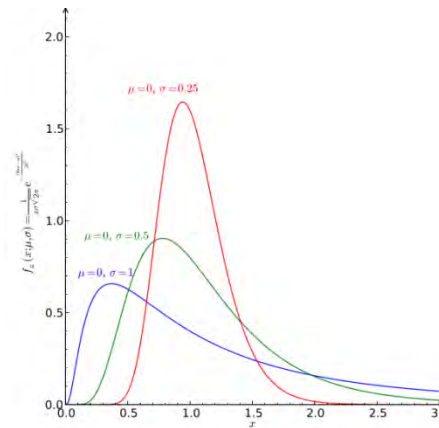


Effet de la compétition

- Contrainte physique à la croissance d'un arbre
- Plus il y a de compétiteurs dans la placette, plus il y a de compétition pour les ressources et plus le taux de croissance est faible

- Formes mathématiques:

- Linéaire
- Lognormal
- Logistique
- Exponentiel



80 différentes combinaisons

240 différents modèles pour chaque espèce

Formes additives et multiplicatives

Model	Size effect	Vegetation effect	Drainage effect	Basal area effect	Model	Size effect	Vegetation effect	Drainage effect	Basal area effect	Model	Size effect	Vegetation effect	Drainage effect	Basal area effect	Model	Size effect	Vegetation effect	Drainage effect	Basal area effect	Model	Size effect	Vegetation effect	Drainage effect	Basal area effect
1					17					33					49					65				
2					18					34					50					66				
3					19					35					51					67				
4					20					36					52					68				
5					21					37					53					69				
6					22					38					54					70				
7					23					39					55					71				
8					24					40					56					72				
9					25					41					57					73				
10					26					42					58					74				
11					27					43					59					75				
12					28					44					60					76				
13					29					45					61					77				
14					30					46					62					78				
15					31					47					63					79				
16					32					48					64					80				



Linear
Quadratic
Exponential
Logistic
Lognormal
None

Modèles indépendants du climat

4 modèles



12 modèles



2 modèles



3 modèles



Species	Climate independent					deltaAICc
	SE	VE	DE	BAE	Model	
<i>B. allegnaniensis</i>	Logi	Lin	Lin	Logi	51	0.000
	Logi	None	Lin	Logi	55	0.082
	Logi	Lin	Lin	Logn	35	0.549
	Logi	None	Lin	Logn	39	0.595
<i>A. rubrum</i>	Quad	None	None	Exp	30	0.000
	Quad	None	None	Logn	46	0.113
	Logi	None	None	Exp	31	0.230
	Logi	None	None	Logi	63	0.456
	Logi	None	None	Logn	47	0.490
	Quad	None	None	Logi	62	0.903
	Quad	Lin	None	Exp	26	1.528
	Quad	Lin	None	Logi	58	1.626
	Quad	None	Lin	Exp	22	1.755
	Logi	Lin	None	Exp	27	1.764
	Logi	Lin	None	Logi	59	1.913
	Logi	Lin	None	Logn	43	1.916
<i>A. saccharum</i>	Logi	None	Lin	Logi	55	0.000
	Logi	Lin	Lin	Logi	51	1.070
<i>F. grandifolia</i>	Quad	Lin	None	Logi	58	0.000
	Quad	Lin	None	Exp	26	0.926
	Quad	Lin	Lin	Logi	50	1.897

Modèles utilisant la moyenne des précipitations et des températures sur les 30 dernières années

4 modèles



8 modèles



2 modèles

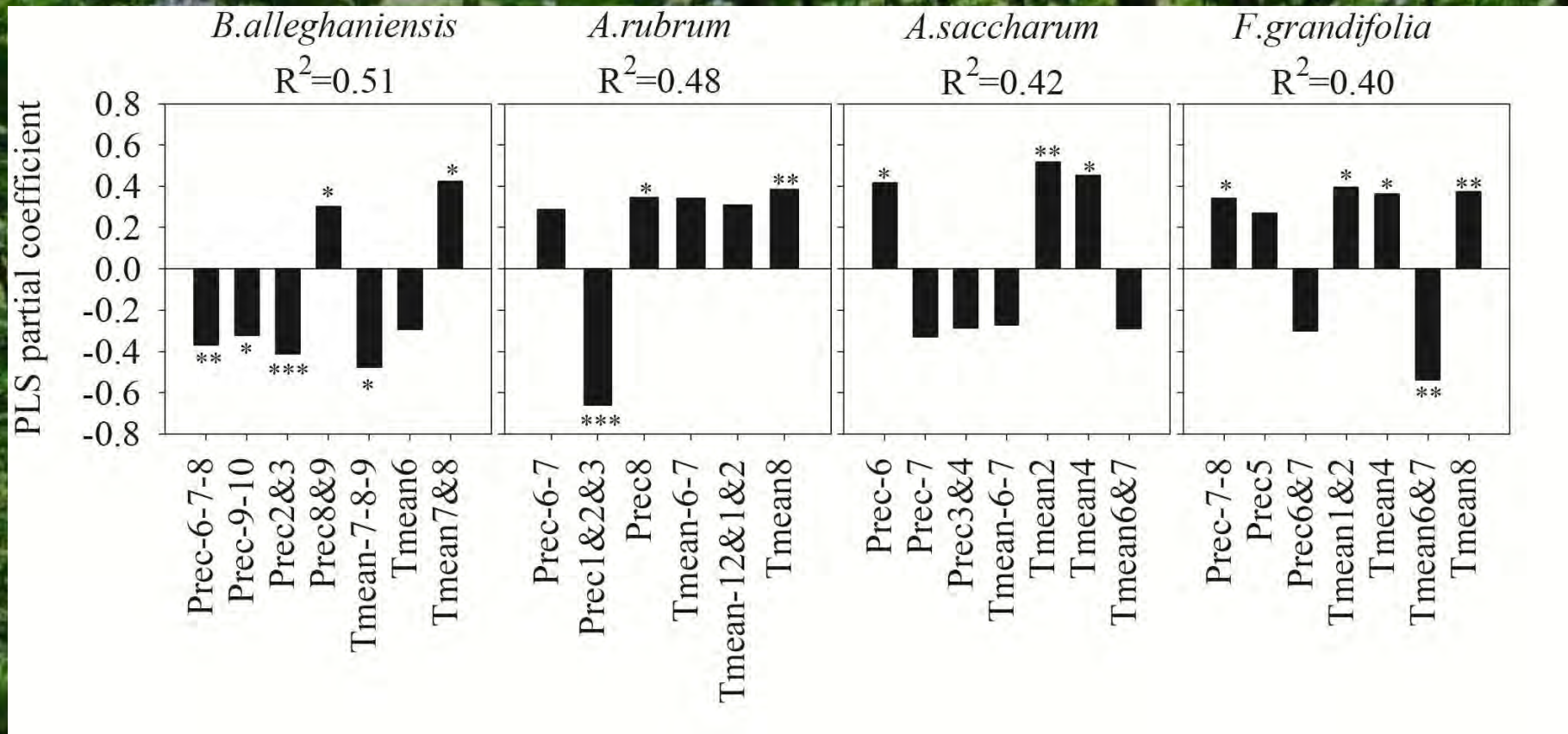


3 modèles



Species	Climate dependent 30yrs					
	SE	VE	DE	BAE	Model	deltaAICc
<i>B. alleghaniensis</i>	Logi	None	Lin	Logi	55	0.000
	Logi	Lin	Lin	Logi	51	0.036
	Logi	Lin	Lin	Logn	35	0.236
	Logi	None	Lin	Logn	39	0.873
<i>A. rubrum</i>	Logi	None	None	Logn	47	0.000
	Logi	None	None	Logi	63	0.363
	Quad	None	None	Exp	30	0.782
	Quad	None	None	Logn	46	0.933
	Quad	None	None	Logi	62	0.960
	Logi	None	Lin	Logi	55	1.290
	Logi	None	Lin	Logn	39	1.400
	Logi	Lin	None	Logn	43	1.964
<i>A. saccharum</i>	Logi	None	Lin	Logi	55	0.000
	Logi	Lin	Lin	Logi	51	1.860
<i>F. grandifolia</i>	Quad	Lin	None	Logi	58	0.000
	Quad	Lin	None	Logn	42	0.616
	Quad	Lin	None	Exp	26	1.079

Fonctions de réponse 1980-2012



Modèles dépendants du climat mensuel

2 modèles



7 modèles



1 modèle



Species	Climate dependent					deltaAICc
	SE	VE	DE	BAE	Model	
<i>B. alleghaniensis</i>	Logi	None	Lin	Exp	23	0.000
	Logi	Lin	Lin	Exp	19	0.316
<i>A. rubrum</i>	Logi	None	None	Logi	63	0.000
	Logi	None	None	Logn	47	0.018
	Logi	None	None	Exp	31	0.094
	Logi	None	Lin	Logi	55	1.574
	Logi	None	Lin	Logn	39	1.601
	Logi	None	Lin	Exp	23	1.645
	Logi	Lin	None	Logn	43	1.761
<i>A. saccharum</i>	Logi	None	Lin	Logi	55	0.000
<i>F. grandifolia</i>	Quad	Lin	None	Logi	58	0.000

Similitudes

	<i>B. alleghaniensis</i>			<i>A. rubrum</i>			<i>A. saccharum</i>			<i>F. grandifolia</i>		
Model	C-Ind	C-Dep-30	C-Dep	C-Ind	C-Dep-30	C-Dep	C-Ind	C-Dep-30	C-Dep	C-Ind	C-Dep-30	C-Dep
19												
22												
23												
26												
27												
30												
31												
35												
39												
42												
43												
46												
47												
50												
51												
55												
58												
59												
62												
63												

Un bon modèle demeure généralement un bon modèle et ce, même si on enlève le climat

Formes mathématiques

Species	Nb de modèles AICc<2			Form	Effet taille			Effet végétation			Effet drainage			Effet surface terrière		
	Ind	30yrs	Dep		Ind	30yrs	Dep	Ind	30yrs	Dep	Ind	30yrs	Dep	Ind	30yrs	Dep
All species	21	17	11	Lin	0	0	0	52	41	27	38	47	55	0	0	0
				Logi	57	65	91							48	47	36
				Logn										24	41	27
				Quad	43	35	9									
				Exp										29	12	36
				None	0	0	0	48	59	73	62	53	45	0	0	0

* Valeurs en %

Flexibilité de la forme logistique

Comparaison entre les trois types de modèles

Species	Clim- Ind_Models	Clim-Dep- 30yrs_Models	Clim- Dep_Models
<i>B. alleghaniensis</i>	10%	33%	61%
<i>A. rubrum</i>	78%	74%	8%
<i>A. saccharum</i>	0%	0%	100%
<i>F. grandifolia</i>	0%	15%	88%

Performance des modèles utilisant la variable mensuelle
spécifique à l'espèce sauf pour *A. rubrum*

Conclusions

- Fonctions de réponse utiles pour raffiner les modèles de croissance
 - Bonne réponse de la croissance radiale face au climat.
- Bonne performance des modèles climatiques avec variables mensuelles pour *B.alleghaniensis*, *A.saccharum* et *F.grandifolia*.
- Performance mitigée des modèles climatiques avec variables mensuelles pour *A.rubrum*.
- Performance des formes mathématiques logistiques apportant de la flexibilité au modèle.

Remerciements

Terrain:

Carine Côté-Germain et Xavier Bastien-Henri (UQAM)

Statistiques:

Marie-Claude Lambert et Isabelle Auger (DRF)

Technique et logistique:

Patrick Cartier (Domtar) & Sara Bastien-Henri (UQAM)