

# *Le dispositif SylvAdapt : Tester sur le terrain le renforcement de la capacité d'adaptation par la sylviculture.*

Frédéric Doyon, ISFORT, Université du Québec en Outaouais  
*Philippe Nolet (ISFORT, UQO),  
Audrey Maheu (ISFORT, UQO),  
Philippe Balandier (INRAE)  
Thibaud André-Alphonse (ISFORT, UQO)  
Houssam Amraoui (ISFORT, UQO)*



23 avril 2024, 13 h  
Changements climatiques :  
pratiques d'aménagement forestier  
pour favoriser l'adaptation  
En partenariat avec l'Université Laval



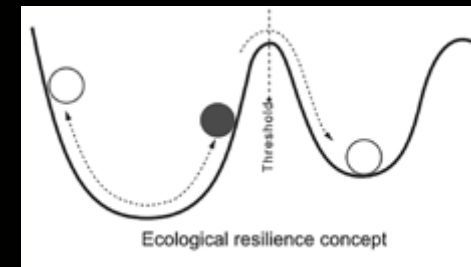


# Un futur encore plus incertain pour les arbres



- Changements globaux:  
=> Nouveau contexte multi-stress
- Même si précaution: Sylviculture => + stress
  - Régime hydrique
  - Compaction
  - Volatisation
  - Lessivage

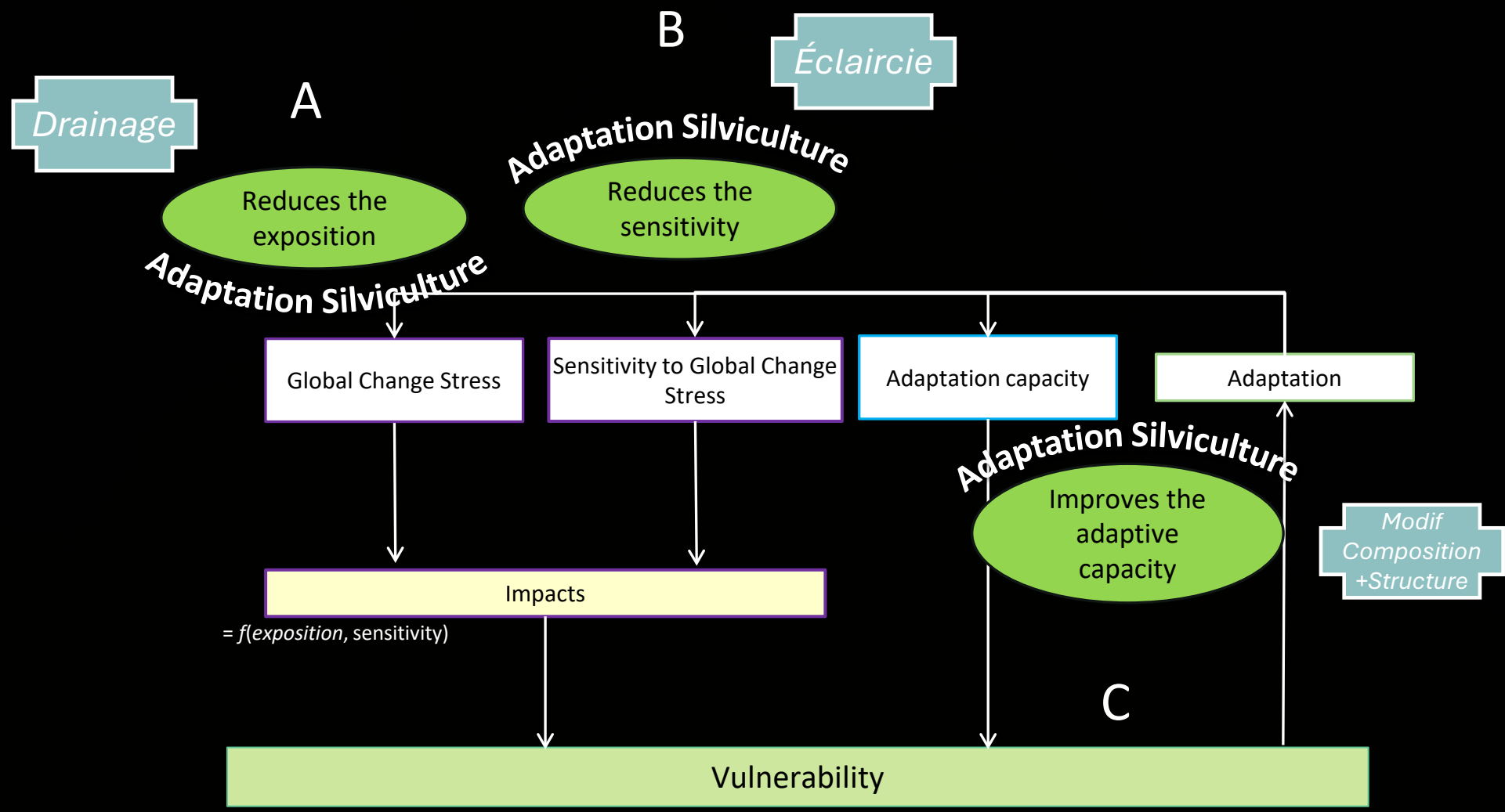
*Érosion de mécanismes de récupération*
- Stress multiples : effets en cascade importants sur le fonctionnement des écosystèmes
- => changement d'identité écosystémique / ~ effondrement de l'écosystème.



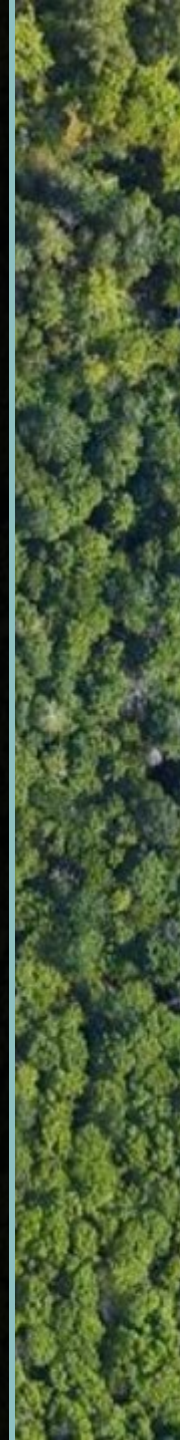
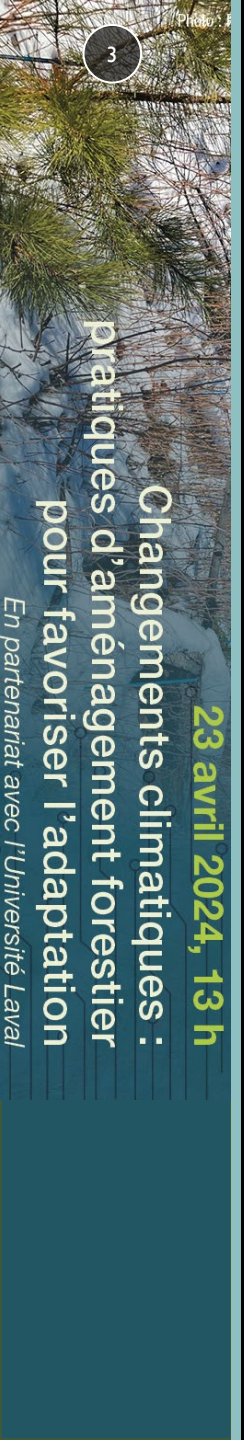
- Pour éviter des changements vers des états indésirables de l'écosystème, la sylviculture peut plutôt agir comme un outil pour améliorer la capacité d'adaptation du peuplement afin de mieux faire face à ce contexte de stress multiples.



# Vulnerability & Adaptation Approach (IPCC 2007)



Changements climatiques : pratiques d'aménagement forestier pour favoriser l'adaptation  
 23 avril 2024, 13 h  
 En partenariat avec l'Université Laval



# Adaptation à l'échelle du peuplement

## Deux stratégies

### Police d'assurance de la diversité



### Espèces championnes



**Sylviculture d'adaptation aux changements climatiques :  
des concepts à la réalité**  
**Compte-rendu d'un colloque tenu au Carrefour Forêts 2019**

par Nelson Thiffault<sup>1,2\*</sup>, Patricia Raymond<sup>3</sup>, Jean-Martin Lussier<sup>1</sup>, Isabelle Aubin<sup>2,4</sup>, Samuel Royer-Tardif<sup>4</sup>,  
Anthony W. D'Amato<sup>5</sup>, Frédéric Doyon<sup>2,6</sup>, Benoit Lafleur<sup>2,7</sup>, Martin Perron<sup>3,8</sup>, Jean Bousquet<sup>9</sup>, Nathalie Isabel<sup>9,10</sup>,  
Sylvie Carles<sup>11</sup>, Patrick Lupien<sup>12</sup> et Annie Malenfant<sup>13</sup>

Changements climatiques :  
pratiques d'aménagement forestier  
pour favoriser l'adaptation

23 avril 2024, 13 h

En partenariat avec l'Université Laval



# Adaptation à l'échelle du peuplement

## Deux stratégies

### Police d'assurance de la diversité



*Réduction de la vulnérabilité par l'augmentation de la diversité ...*

Compositionnelle  
Structurale  
Fonctionnelle

Capacité  
d'adaptation

### Espèces championnes



*Réduction de la vulnérabilité par l'augmentation ...*

*De l'importance dans le peuplement d'espèces présentant des traits de réponse qui leur permettent de mieux faire face à des stress/perturbations spécifiques.*

# Objectifs du dispositif SylvAdapt

1. Développer une approche sylvicole qui vise explicitement à améliorer la capacité d'adaptation du peuplement
2. Évaluer dans quelle mesure la capacité d'adaptation peut être améliorée par la sylviculture.
3. La tester dans le cadre d'un plan expérimental pour :
  - Reproduire le contexte multi-stress ;
  - Permettre la comparaison de différentes stratégies d'adaptation et de traitements ;
  - Permettre d'identifier les mécanismes de résilience les plus prometteurs au niveau de l'arbre, du peuplement et de l'écosystème, que la sylviculture peut promouvoir .

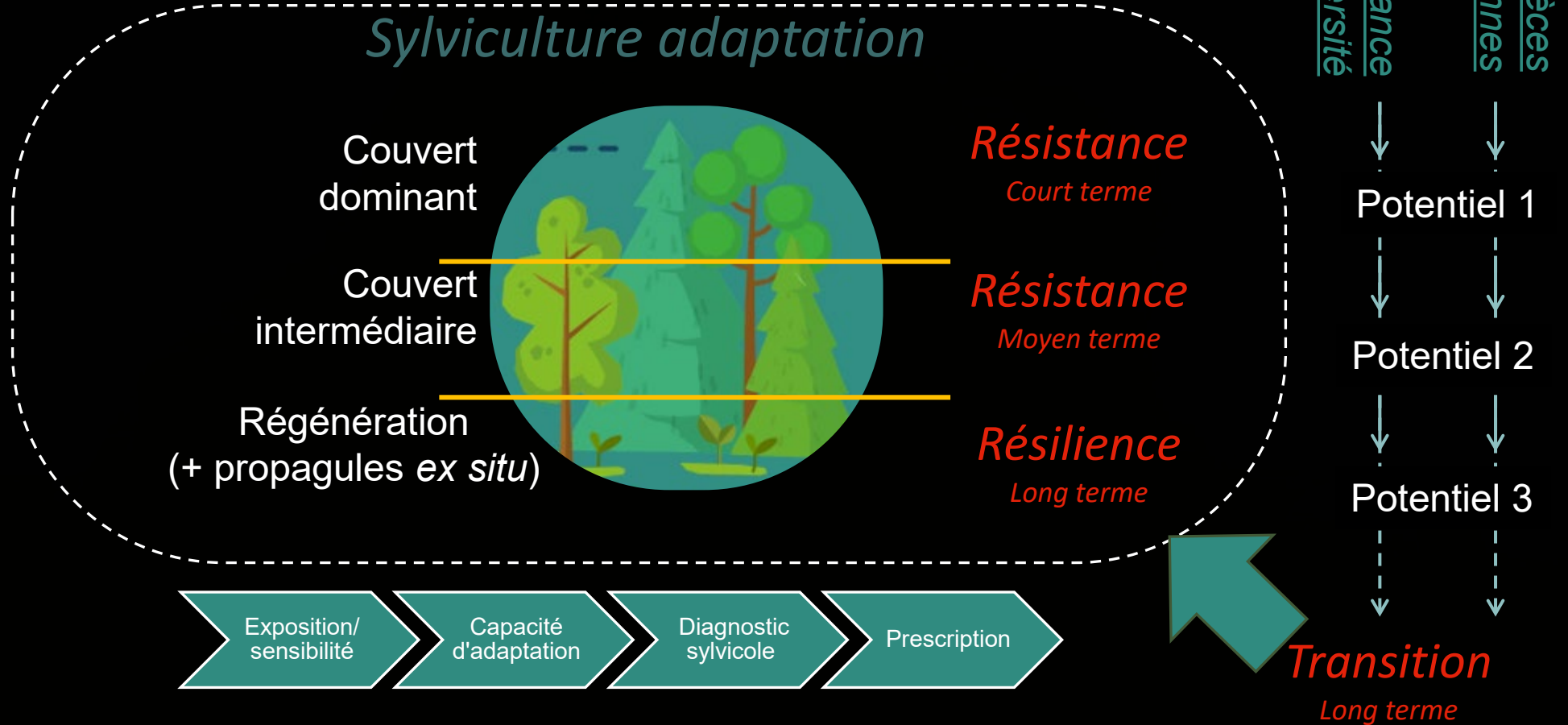


VS.





# ► SylvAdapt Le diagnostic sylvicole



**Dans:** Thiffault, N., P. Raymond, J.-M. Lussier, I. Aubin, S.Royer-Tardif, A. W. D'Amato, F. Doyon, B. Lafleur, M. Perron, J. Bousquet, N. Isabel, S. Carles, P. Lupien et A. Malenfant. 2021. Sylviculture d'adaptation aux changements climatiques : des concepts à la réalité. Forestry Chronicle.

Changements climatiques : pratiques d'aménagement forestier pour favoriser l'adaptation  
 23 avril 2024, 13 h  
 En partenariat avec l'Université Laval

# ► SylvAdapt: Expérimentation de sylviculture d'adaptation en contexte multi-stress

2 régions

26 sites (Bois-Francs=15, Bellechasse=11)

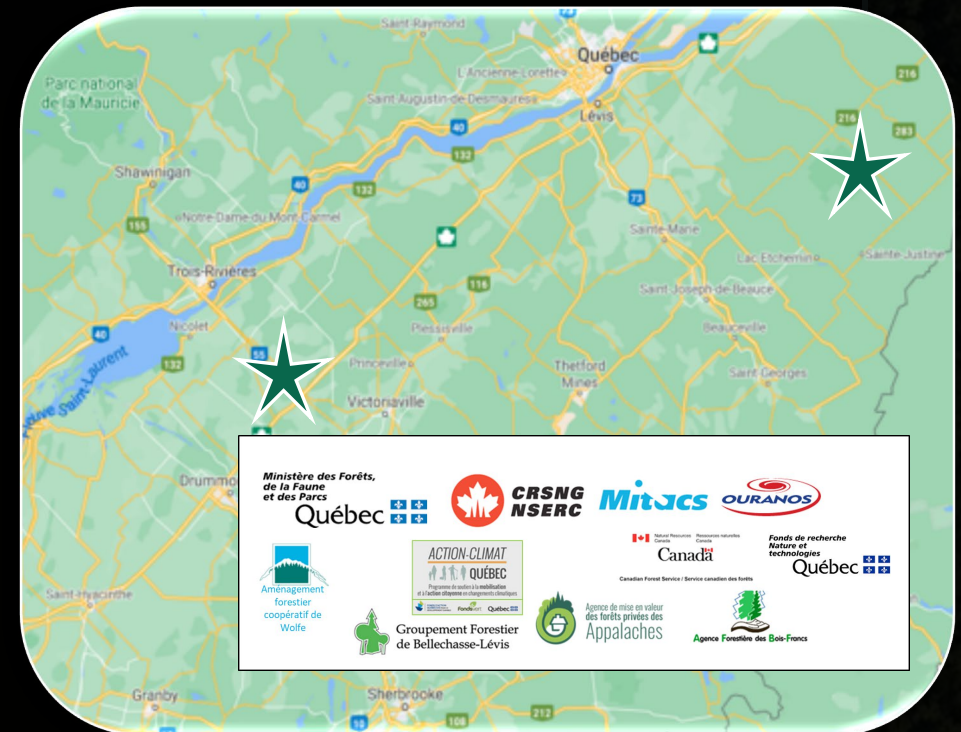
Erablières rouges mixtes ; ST > 20 m<sup>2</sup>/ha ; DHP2>20 cm

2 stratégies d'adaptation

- Politique d'assurance diversité (maximiser la diversité)
- Espèces championnes (maximiser l'adaptation fonctionnelle)

3 traitements d'adaptation

- Résistance à court terme (20 m<sup>2</sup>/ha de ST résiduelle)
- Résistance à moyen terme (12m<sup>2</sup>/ha de ST résiduelle)
- Résilience (6m<sup>2</sup>/ha de ST résiduelle)



Expériences

Region	# sites	Inventaire	Traitement	Plantation	Expérience stress (6 sites)
Bois-Francs	15	2018-19	2019-20	2020-21	Exclusion précip + Dégagement
Bellechasse	11	2019-20	2020-21	2021	Exclos ongulés + Dégagement

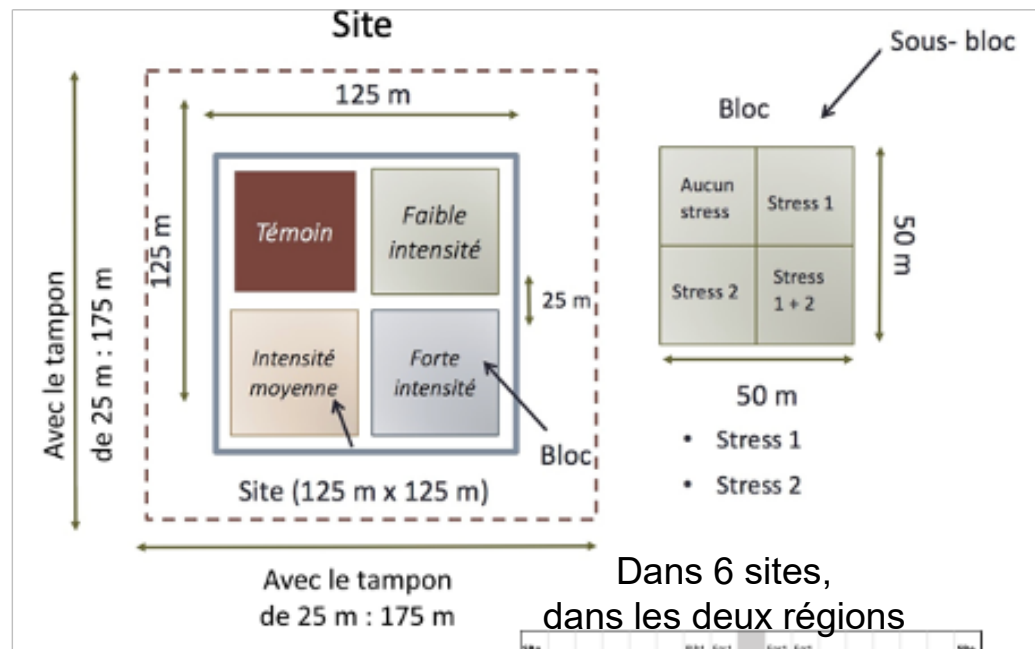


## 2 stratégies d'adaptation

- Police d'assurance de la diversité
- Espèces championnes

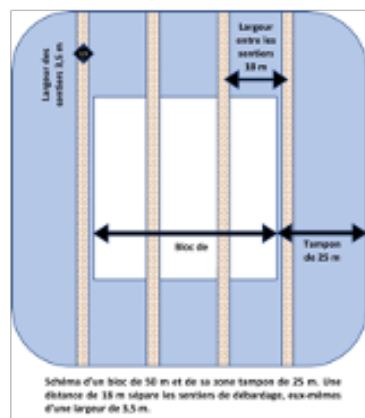
## 3 intensités d'éclaircie

- Faible : 20 m<sup>2</sup>/ha résiduel
- Modérée : 12 m<sup>2</sup>/ha résiduel
- Forte : 6 m<sup>2</sup>/ha résiduel



Dans 6 sites,  
dans les deux régions

Site	PK1	En1	PK2	En2	PK3	En3	PK4	En4	PK5	En5	Site
Er1	Be2	En2	Be3	En3	Er1	Er1	Er2	En1	En1	PK1	
Cr2	Cr1	Cr1	Er2	PK2	Be3	Cr1	Be1	Cr2	PK2	Cr2	Be2
En3	Er3	Er2	Cr2	En3	En3	En3	Er3	Be3	PK3	Cr3	En3
PK5	PK4	En4	PK4	En4	En4	En4	En2	En4	En4	En4	Cr4
Cr3	Cr4	Cr4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	Cr5	En5	Cr5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5
PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1	PK1	En1
Cr2	Be2	Cr1	Er2	PK4	Er1	Er1	En3	En1	Cr2	En3	Cr1
Cr2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	En2	PK2
En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	En3	PK3
En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	En4	PK4
En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	En5	PK5



Sentiers de débardage

Plantation de diversité  
5 semis \* 8 espèces \* 4 sous-blocs

Tableau 1. Directive de martelage suivi pour l'application des prescriptions sylvicoles des traitements de sylviculture d'adaptation dans le dispositif SylvAdapt.

Stratégie	Objectif d'adaptation	Surface terrière résiduelle après traitement	Objectif sylvicole Composition	Objectif sylvicole Structure	Répartition du prélèvement
Police d'assurance de la diversité <sup>1</sup>	Résistance court terme	20 m <sup>2</sup> /ha	Optimiser diversité spécifique et fonctionnelle	Optimiser l'hétérogénéité en classe de DHP	Équilibré entre les classes de DHP
Police d'assurance de la diversité	Résistance moyen terme	12 m <sup>2</sup> /ha	Optimiser diversité spécifique et fonctionnelle	Optimiser l'hétérogénéité en classe de DHP	Supérieur + fort équilibré entre les autres classes de DHP
Police d'assurance de la diversité	Résilience	6 m <sup>2</sup> /ha	Optimiser la diversité de source de propagules	Couvert d'abri	Arbres semenciers
Espèces championnes <sup>2</sup>	Résistance court terme	20 m <sup>2</sup> /ha	Rétention des espèces moins vulnérables	Selon la répartition des espèces entre les classes de DHP	Priorité par le haut
Espèces championnes	Résistance moyen terme	12 m <sup>2</sup> /ha	Rétention des espèces moins vulnérables	Selon la répartition des espèces entre les classes de DHP	Priorité par le haut
Espèces championnes	Résilience	6 m <sup>2</sup> /ha	Rétention des espèces moins vulnérables	Selon la répartition des espèces entre les classes de DHP	Arbres semenciers

1. Réduction du risque en augmentant la diversité spécifique, structurale et fonctionnelle.
2. Réduction du risque en augmentant l'importance des espèces les moins vulnérables dans le peuplement basé sur les traits fonctionnels de réponse aux stress et perturbations.





Agence Forestière des Bois-Francs



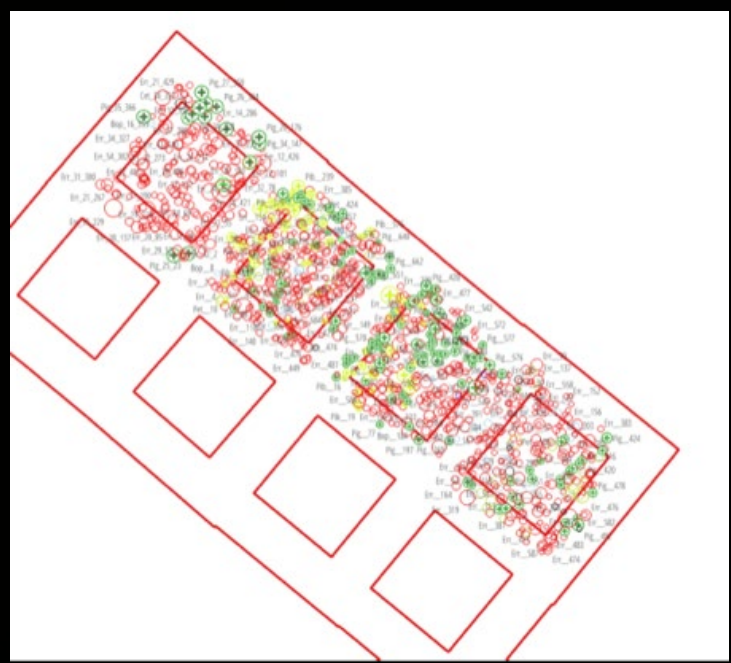
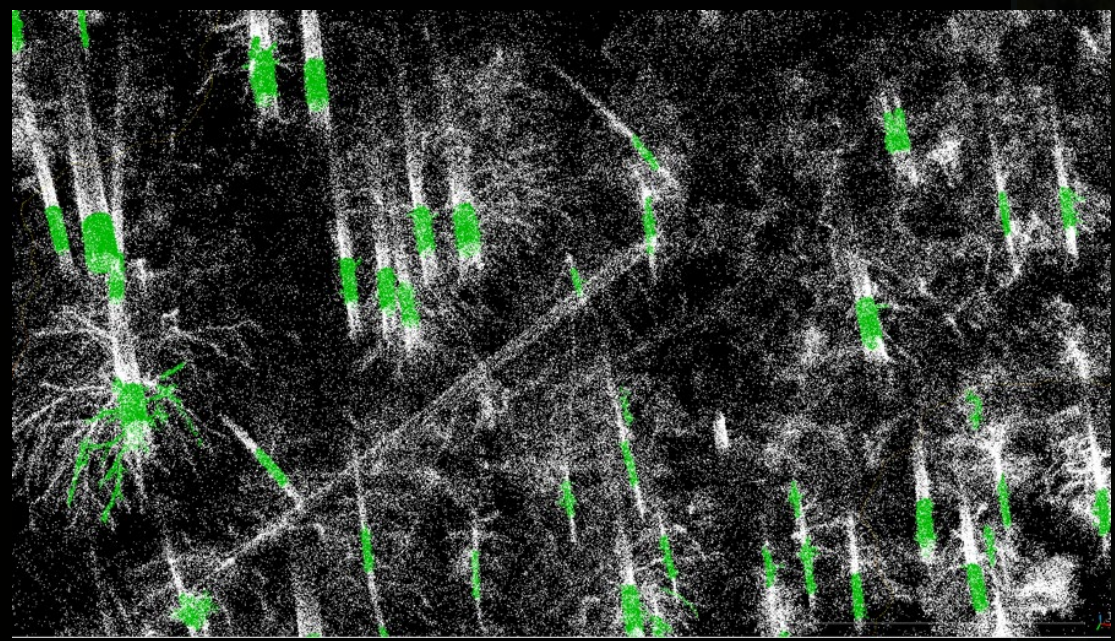
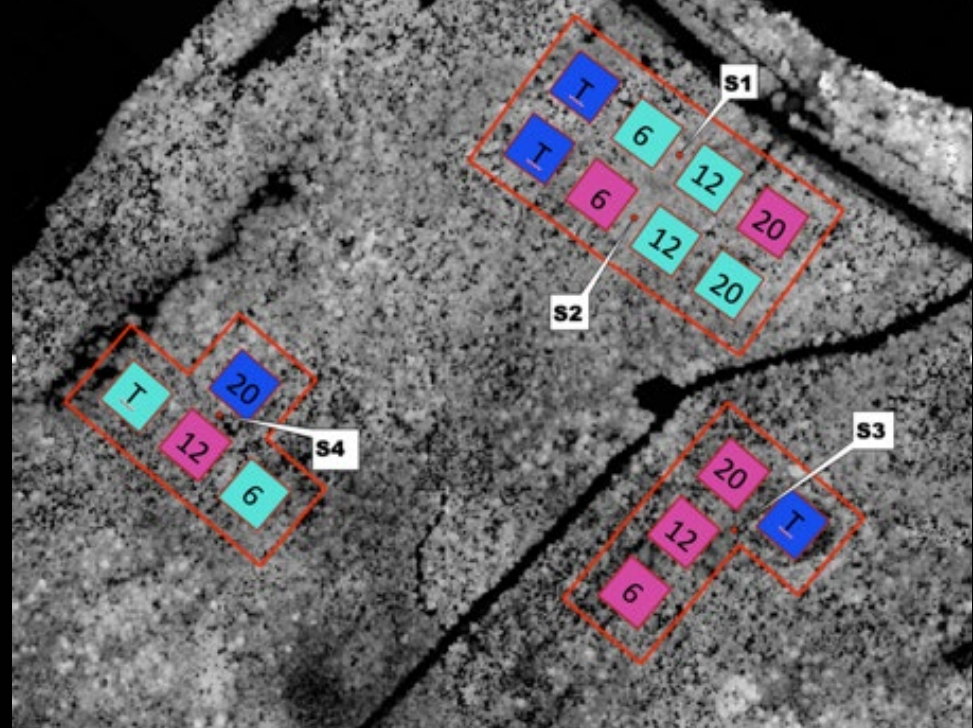
Coopérative  
de services forestiers



Agence de mise en valeur  
des forêts privées des  
Appalaches







Inventaire végétation sous-bois  
+ régénération naturelle  
(16 microplacettes de 4m2)





Forest Ecology and Management

Volume 534, 15 April 2023, 120857



## Comparing the influence of thinning treatments with low to high residual basal area on red maple transpiration in a temperate mixed forest

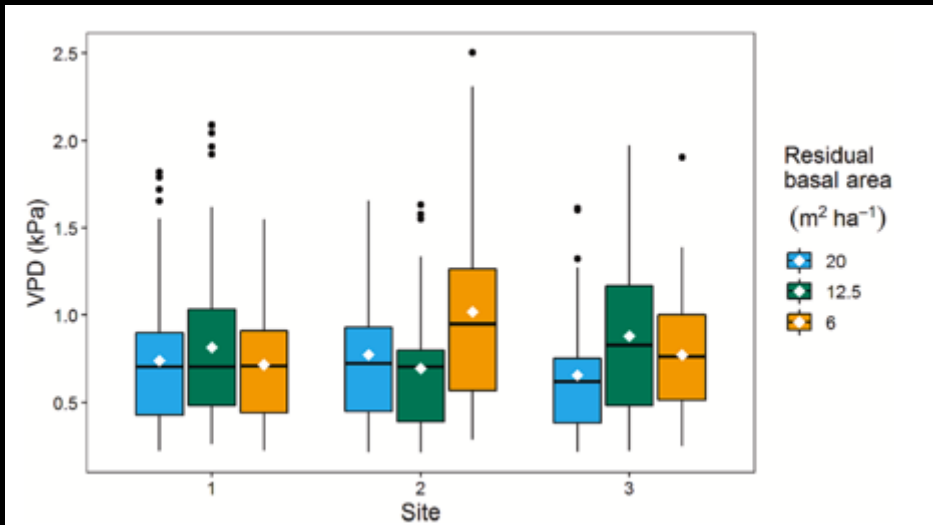
Thibaud André-Alphonse  , Claudele Ghotsa Mekontchou, Pascal Rochon, Frédéric Doyon, Audrey Maheu



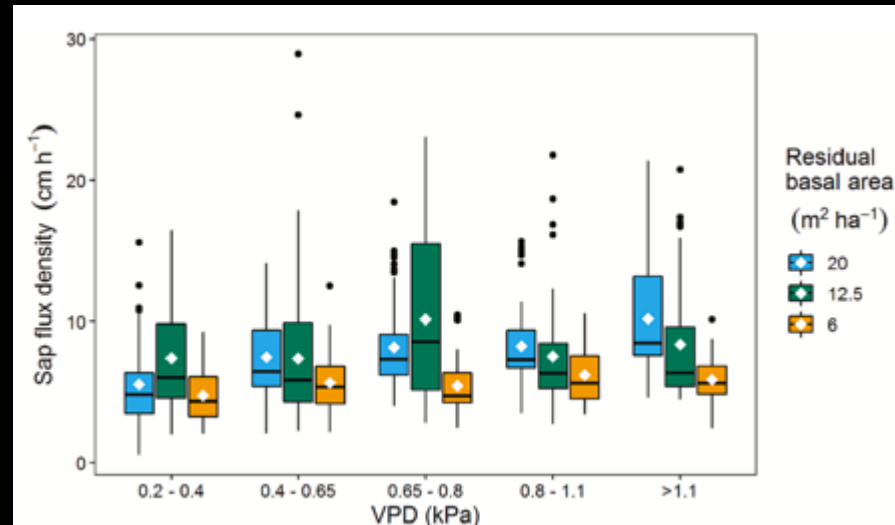
### Objectifs & Hypothèses

- Comment les différents traitements d'éclaircie influencent:
  - i) les conditions microclimatiques,
  - ii) la transpiration des érables rouges
- Hypothèse : la compétition pour les ressources en eau augmente avec le ST résiduelle, ce qui conduirait à une transpiration plus faible dans les parcelles à ST résiduelle élevée comparativement à celles avec un ST résiduelle plus faible.

## Déficit de pression de vapeur



Température: 6 m<sup>2</sup>/ha > 20 m<sup>2</sup>/ha  
 HR% : pas différente entre les niveaux d'éclaircie



Le Fd moyen était plus élevé dans les parcelles à ST résiduelle élevée (contraire à Ho)  
 Les différences étaient plus prononcées pour les jours avec DPV élevé.

Interprétation : Résultat très surprenant!

Nouvelle Ho: Nos mesures ont eu lieu 1 an après coupe => parterre de coupe à 6m<sup>2</sup>/ha est très exposé au soleil. Le couvert protecteur à 20m<sup>2</sup>/ha aurait contribué à réduire l'évaporation du sol, permettant une transpiration plus importante.



# Expérience de transition sous stress contrôlés (6 sites, Plantation sous couvert => Transition)

## Région Bois-Francs

### Locales

- Érable à sucre
- Érable rouge
- Bouleau Jaune
- Chêne rouge

### Sud

- Cerisier tardif
- Chêne à gros fruits
- Caryer cordiforme
- Noyer noir

## Dégagement

		P181				S181					
Er1	Er2	Er3	Er4	Er5	Er6	Er1	Er2	Er3	Er4	Er5	Er6
Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6
Bo1	Bo2	Bo3	Bo4	Bo5	Bo6	Bo1	Bo2	Bo3	Bo4	Bo5	Bo6
Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6
Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6
Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6
Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6
Er1	Er2	Er3	Er4	Er5	Er6	Er1	Er2	Er3	Er4	Er5	Er6
Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6
Bo1	Bo2	Bo3	Bo4	Bo5	Bo6	Bo1	Bo2	Bo3	Bo4	Bo5	Bo6
Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6
Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6
Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6
Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6

8 Espèces \* semis \* 4 sous-parcelles

## Région Appalaches

### Locales

- Érable à sucre
- Érable rouge
- Bouleau Jaune
- Épinette blanche

### Sud

- Censier tardif
- Chêne rouge
- Épinette rouge
- Pin blanc

Exclusion des précipitations



Exclos grands herbivores





# Response of predawn leaf water potential of underplanted deciduous tree seedlings to thinning intensity combined with artificial water stress experiment

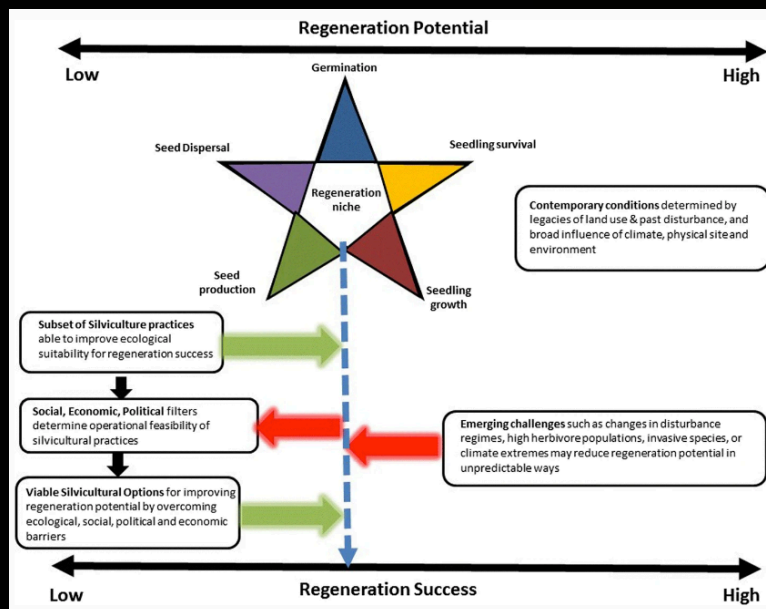


Houssam Amraoui<sup>1</sup>, Frédéric Doyon<sup>1</sup> and Philippe Balandier<sup>2</sup>

NHC 2023  
Northern Hardwood Conference



<sup>1</sup>Institut des sciences de la forêt tempérée (ISFORT), Université du Québec en Outaouais, Ripon, Québec J0V 1V0, Canada.  
<sup>2</sup>INRAE, UMR PIAF, Physique et Physiologie Intégrative de l'Arbre en environnement Fluctuant, 63000 CLERMONT-FERRAND, France.



La niche de régénération naturelle  
(selon Dey *et al.* 2019)

2 semis \* 7 espèces \* 4 sous-parcelles \* 2 traitements (12 et 20 m<sup>2</sup>/ha) \* 3 sites (n=336)

## Méthodes

Potentiel hydrique avant l'aube  
⇒ Chambre à pression

Humidité relative du sol  
⇒ Scout TDR (10 cm et 20 cm)

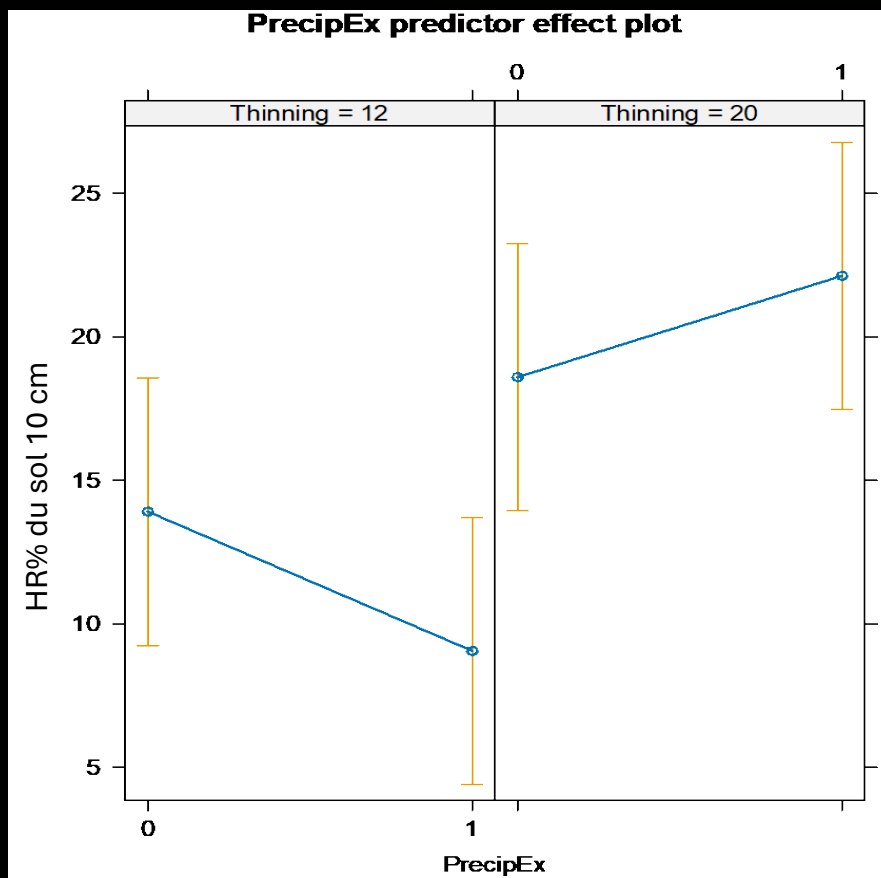
HR% & ToC de l'air  
⇒ Senseur HOBO  
(Déficit de pression de vapeur)



3 moments dans l'été (début juillet, début août, fin août)



# Est-ce que l'exclusion des précipitations à réduit l'humidité relative du sol?



Soil VWC% at 10 cm	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> z )	
(Intercept)	13.9135	2.3735	5.862	4.57E-09	***
PrecipEx[1]	-4.8526	0.9786	-4.959	7.091E-07	***
Thinning[20]	4.678	0.9786	4.78	1.752E-06	***
PrecipEx[1]:Thinning[20]	8.3863	1.3768	6.091	1.12E-09	***

Exclusion de précipitations = - 5%

*Effet significatif mais modeste*

=> été pluvieux et des mouvements latéraux de l'eau.

20 m<sup>2</sup>/ha - 12 m<sup>2</sup>/ha = + 5%

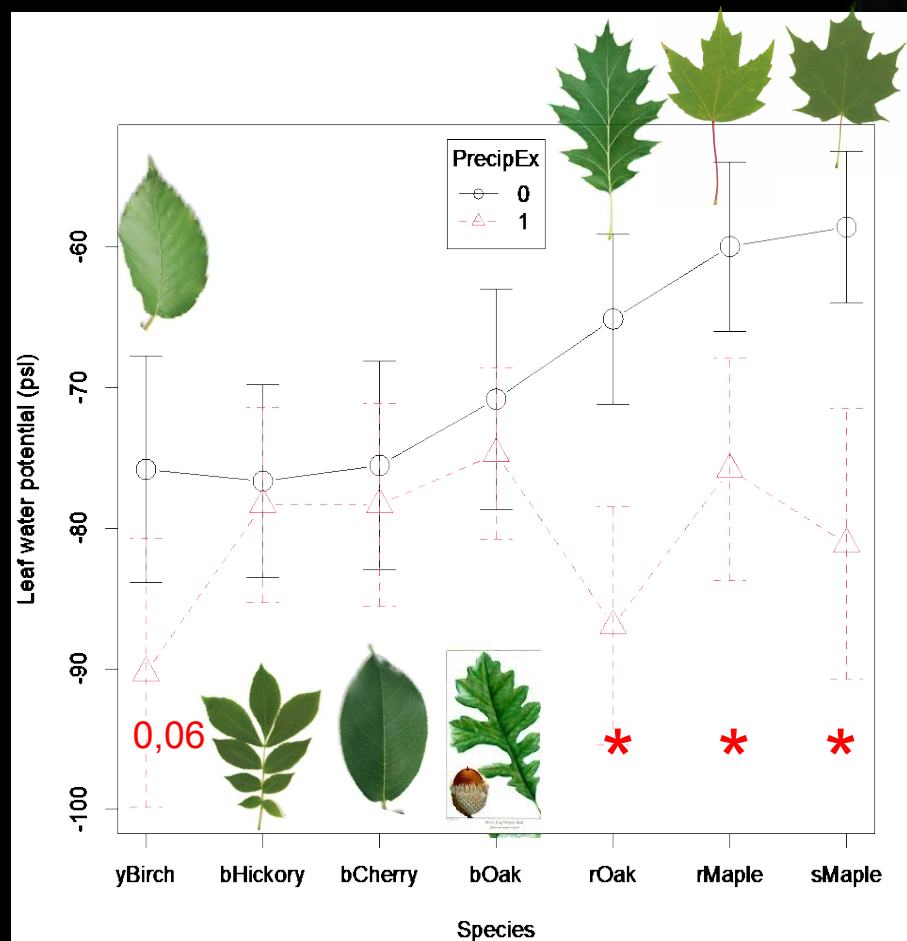
Contrairement à notre hypothèse

⇒ La croissance rapide de la végétation de sous-bois après l'éclaircie dans les 12 m<sup>2</sup>/ha peut avoir augmenté l'évapotranspiration. La température du sol était plus fraîche dans 20 m<sup>2</sup>/ha.

# Qu'est-ce qui explique la variation du potentiel hydrique (Espèce? Éclaircie? Exclusion des précip?)

Model	Formula	AIC (weights)	BIC (weights)
LWP.1	~ Thinning * Species * PrecipEx	4 907	5 037
LWP.2	~ <b>PrecipEx</b>	4 894	<b>4 915</b>
LWP.3	~ Species	4 912	4 954
LWP.4	~ Thinning	4 915	4 936
LWP.5	~ Thinning * PrecipEx	4 897	4 927
LWP.6	~ Thinning * Species	4 924	4 996
LWP.7	~ Species * PrecipEx	4 894	4 965
LWP.8	~ <b>Species + PrecipEx</b>	<b>4 893</b>	4 939

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> z )
(Intercept)	-77.001	19.563	-3.936	0.0000828 ***
PrecipEx[1]	-12.099	2.624	-4.61	4.03E-06 ***
Species[bHickory]	5.556	4.876	1.139	0.25453
Species[bCherry]	6.111	4.878	1.253	0.2103
Species[bOak]	10.278	4.878	2.107	0.03513 *
Species[rOak]	7.181	4.93	1.457	0.14517
Species[rMaple]	15.139	4.878	3.104	0.00191 **
Species[sMaple]	13.914	4.88	2.851	0.00436 **

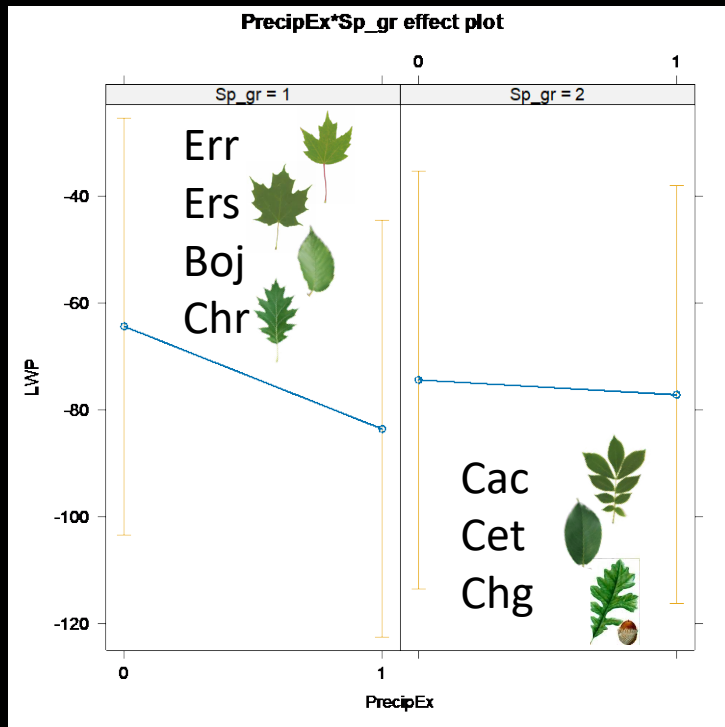




Est-ce que les espèces locales répondent différemment que les espèces plus méridionales?

Table 3. Parameters estimates of the model  $LWP \sim Sp\_gr * PrecipEx$ .

	Estimate	Std. Error	t_value	Pr(> z )	
(Intercept)	-64.332	19.512	-3.297	0.000977	***
Sp_gr[2]	-10.015	3.765	-2.66	0.007816	**
PrecipEx[1]	-19.205	3.49	-5.503	3.73E-08	***
Sp_gr[2]:PrecipEx[1]	16.427	5.31	3.094	0.001978	**



=> Espèces plus méridionales mieux adaptées à la sécheresse mais moins efficaces en situation normale?



## Conclusions



Une approche de sylviculture d'adaptation ;

- Un diagnostic basé sur l'amélioration de la capacité d'adaptation.
- Le peuplement => 3 étages => résistance à court terme, résistance à moyen terme et résilience (régénération) ; Sinon => Transition avec semis plantés
- La connaissance des atouts d'adaptation par étage permet d'attribuer la stratégie d'adaptation et le traitement approprié ;
- Simuler le traitement et comparer son effet sur les atouts d'adaptation.

Dispositif SylvAdapt (10 ans);

- Tester 2 stratégies d'adaptation DIVERSITÉ ou ESPÈCES CHAMPIONNES ;
- Essai de plantation de diversité espèces locales + espèces méridionales

Expérience de stress artificiel

- Exclusion de la pluie, exclus d'herbivorie en déploiement;
- reproduisent des conditions extrêmes où les arbres sont aux limites de leur niche écologique pour observer les mécanismes complexes en interaction.
- Résultats prometteurs pour comprendre le fonctionnement des différentes espèces en contexte multi-stress.





Merci!

Labo

Martin Delpuech , Jean-François Sénécal, Pascal Rochon, Romain Trégaro

Terrain

Martin Delpuech, Denver Coursol, Simon Côté-Bourgouin, Olivier Tanguy, Romain Trégaro, Léry Tanguay, Renaud Chabot-Demers, Adam Caron-Rollin, Émilie-Ève Guertin-Lavictoire, Obed Asamoah

Partenaires

**AMVFPA:** Jean-Pierre Faucher, Gabrielle D'Astous-Préfontaine

**AFBF:** Guy Larochelle, Carine Anecou

**MRC Drummondville:** Jean-Martin Lavoie

**MRC Bécancour:** David Proulx

Propriétaires de forêts privées

Ministère des Forêts,  
de la Faune  
et des Parcs

Québec



CRSNG  
NSERC

Mitacs



Laforêt

Coopérative  
de services forestiers



Programme de soutien à la mobilisation  
et à l'action collaborative en changements climatiques

Natural Resources  
Canada

Canada

Canadian Forest Service / Service canadien des forêts

Fonds de recherche  
Nature et  
technologies

Québec



Groupe Forestier  
de Bellechasse-Lévis



Agence de mise en valeur  
des forêts privées des  
Appalaches



Agence Forestière des Bois-Francs