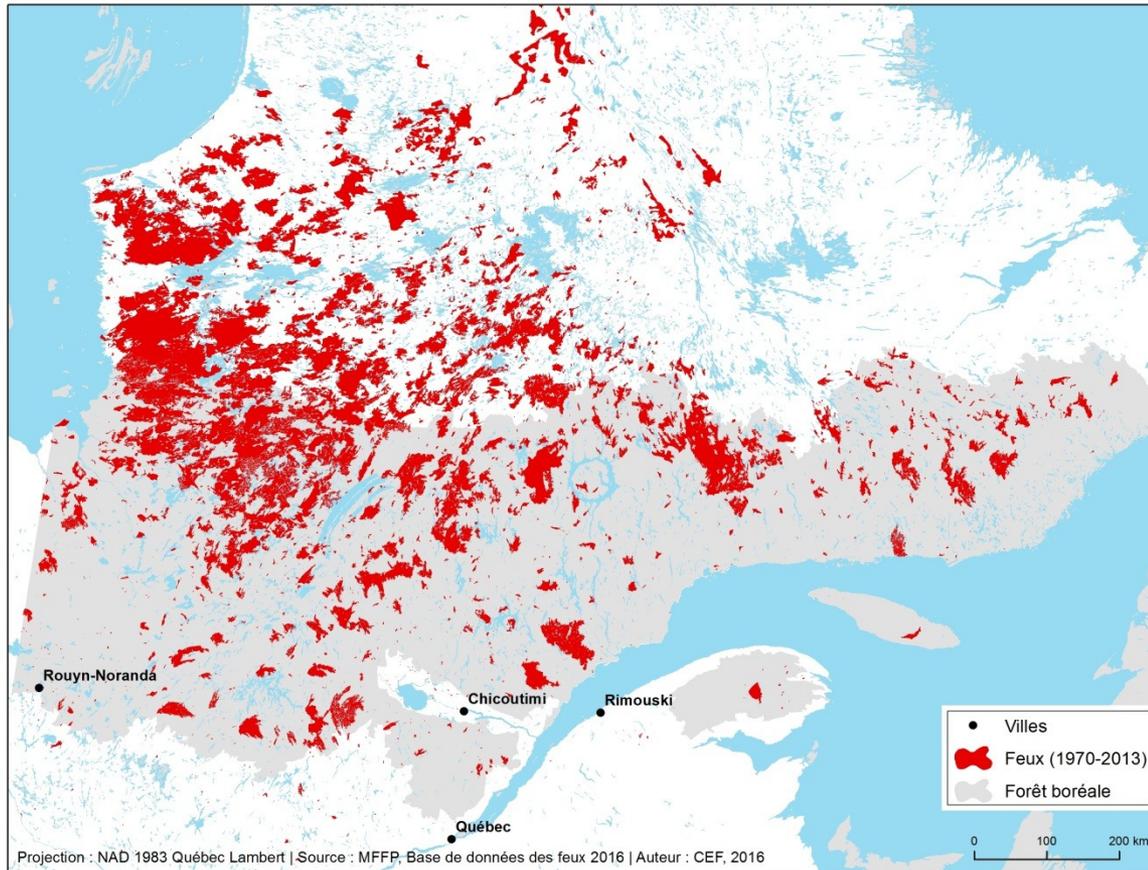


Variabilité spatiale du cycle de feu, une approche multi-échelles.

Par Annie Claude Bélisle, annieclaude.belisle@uqat.ca

Sous la direction de Sylvie Gauthier et Yves Bergeron

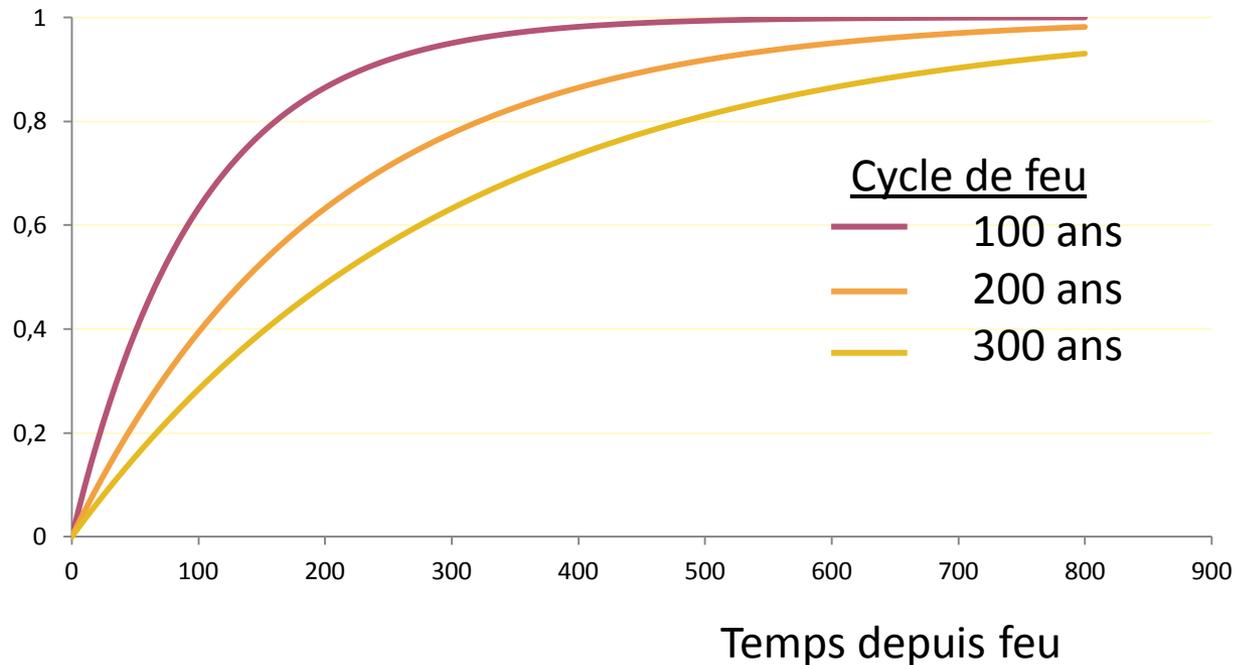
Le cycle de feu



- 1/taux de brûlage annuel
- Âge moyen de la forêt - espérance de vie (an)

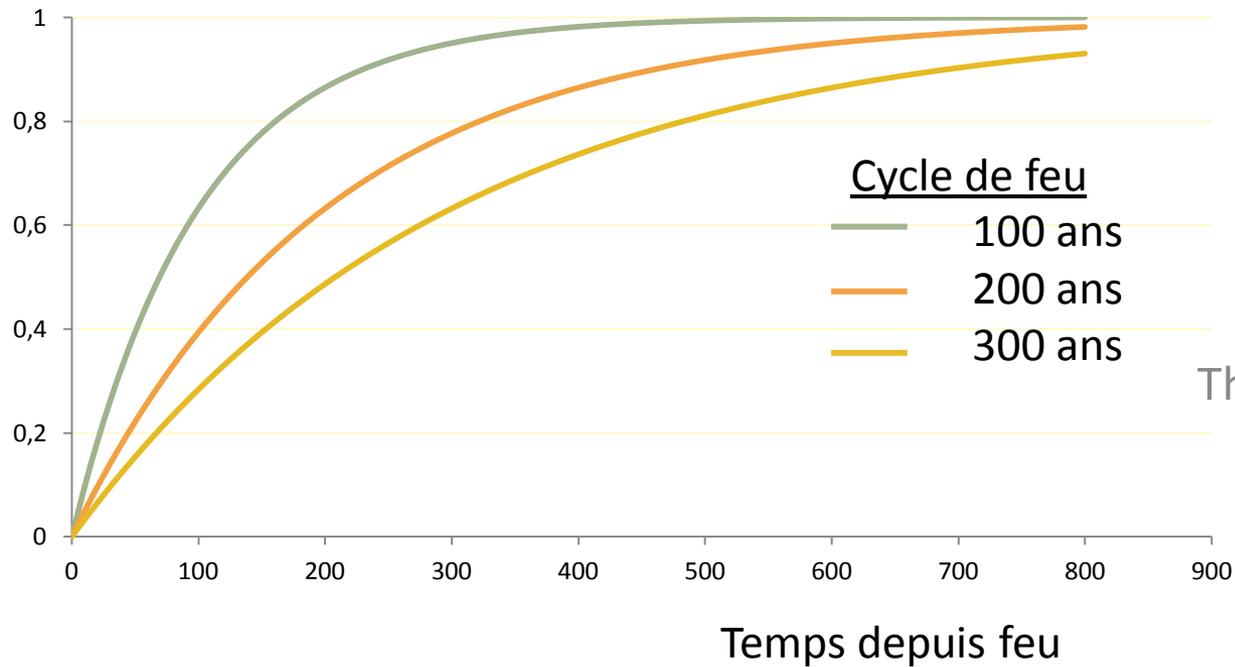
Le cycle de feu

Prop. cumulative



Le cycle de feu

Prop. cumulative



Pin gris



Sapin baumier



Thuja occidentale

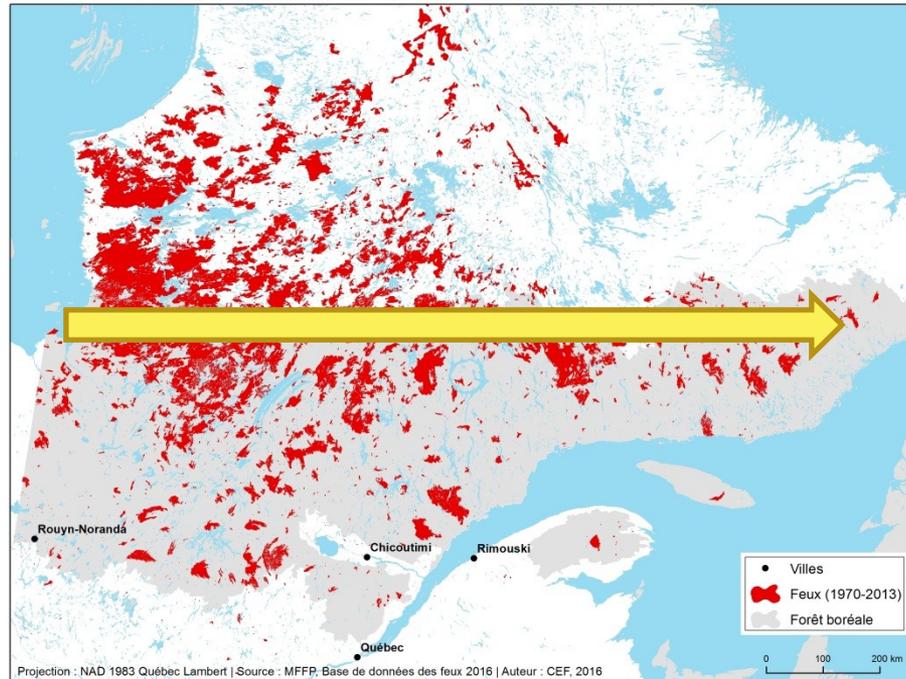


Déterminants

Top-down

Cycle de feu

- ✓ Climat
 - Continentalité
 - Masses d'air
 - T° des océans



Déterminants

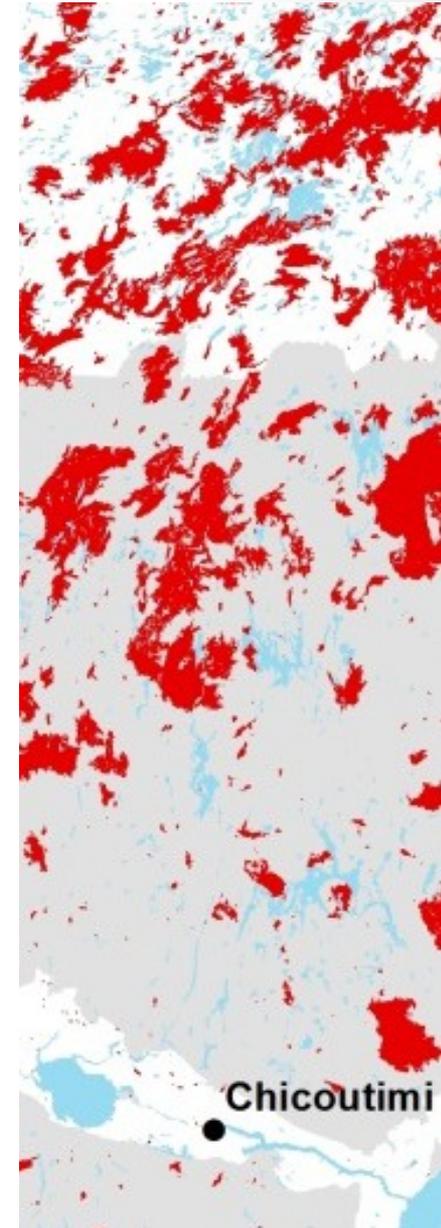
Top-down

- ✓ Climat
 - Continentalité
 - Masses d'air
 - T° des océans

Cycle de feu

Bottom-up

- ✓ Topographie
- ✓ Dépôts de surface
- ✓ Exposition
- ✓ Combustible
- ✓ Météo /microclimat



Déterminants

Top-down

- ✓ Climat
 - Continentalité
 - Masses d'air
 - T° des océans

Cycle de feu

Bottom-up

- ✓ Topographie
- ✓ Dépôts de surface
- ✓ Exposition
- ✓ Combustible
- ✓ Météo /microclimat



Objectif

Étudier les **contributions relatives** des **déterminants locaux et régionaux** du **cycle de feu** dans la forêt boréale de l'est de l'Amérique du nord.

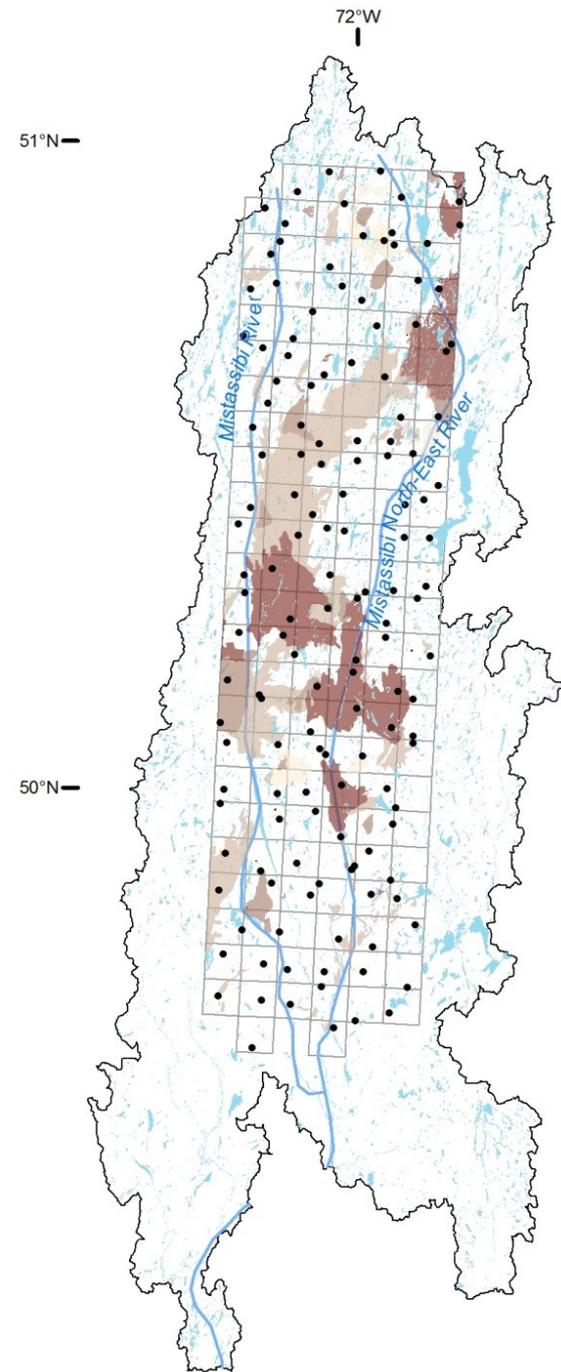
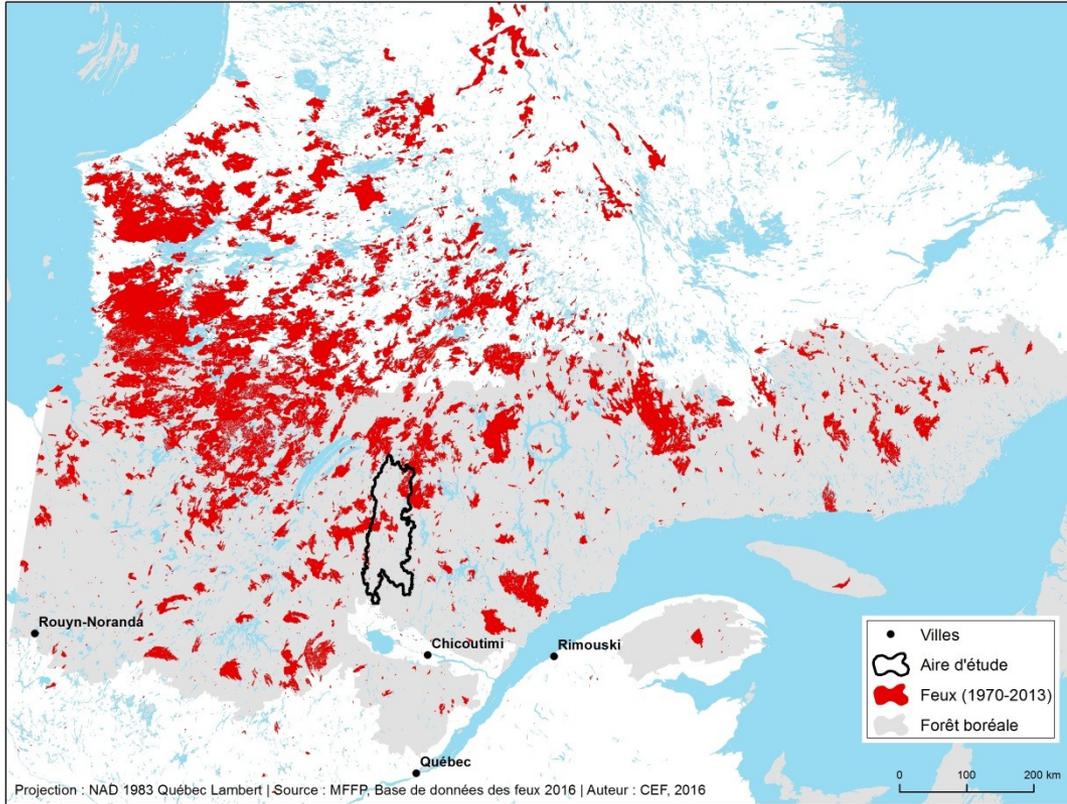
Hypothèses

		Cycle de feu	Source
1) Dépôt-Drainage	Sec	Court	Mansuy et al 2010
2) Coupe-feu	Réseau hydrique Complexité topo	Long	de Lafontaine et Payette 2010, Madoui et al 2010
3) Physiographie	Vallées des rivières	Court	Bélisle et al 2012, Mansuy et al 2014



4) Cycle de feu détermine la répartition de la végétation (pin gris).

Aire d'étude



Données

Temps depuis feu (1760-2010)

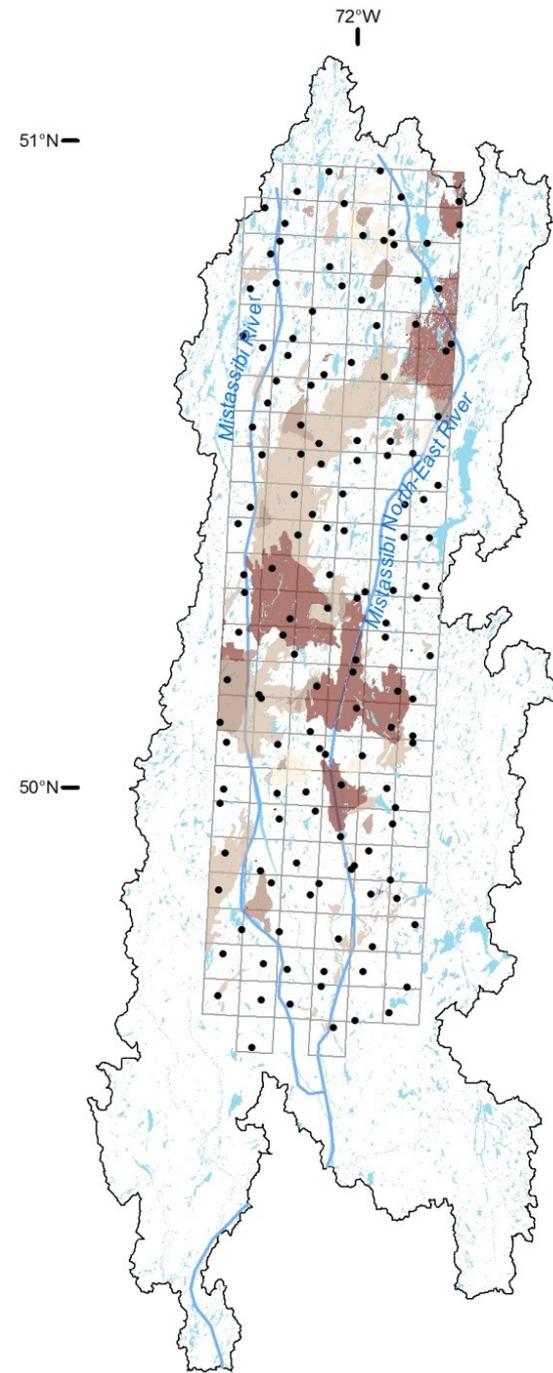
- Dendro (terrain + PET)
- Feux cartographiés
- Photos aériennes
- SIFORT

Variable environnementales

- SIFORT
- Classification de Mansuy 2010
- Dérivé de carte topo

Végétation

- SIFORT 1 (années 1980)



Unité multi-échelle

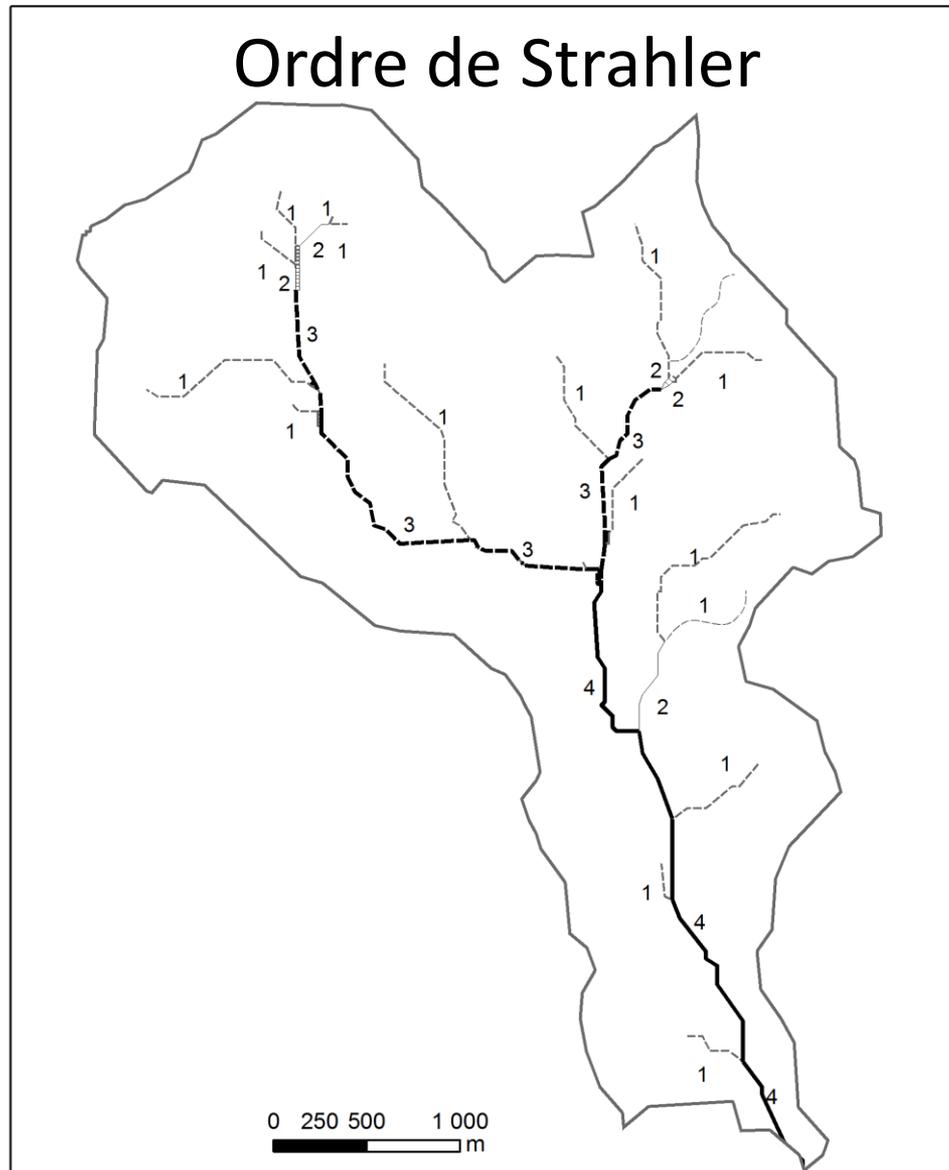
Critères

- ✓ Frontières naturelles
- ✓ Système hiérarchique
- ✓ Pertinent pour l'étude des feux

→ **Bassin versant**



Unité multi-échelle



Bassins versants

Échelle Locale

Échelle moyenne

Échelle du paysage

1

2

3

4

5

$n=3736$

$n=1028$

$n=244$

$n=64$

$n=6$

$\bar{\chi} = 2.9 \text{ km}^2$

$\bar{\chi} = 10.4 \text{ km}^2$

$\bar{\chi} = 43.8 \text{ km}^2$

$\bar{\chi} = 167.1 \text{ km}^2$

$\bar{\chi} = 1782.5 \text{ km}^2$

51° N

50° N

49° N

72° W

72° W

72° W

72° W

72° W

0 20 40 80 km



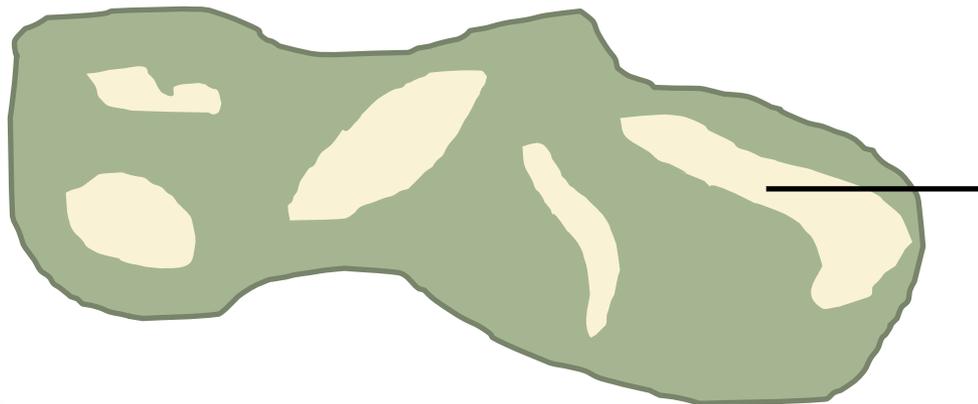
Datum: NAD83
Projection: Lambert conformal conic (Québec)

Variables explicatives

Symbole	Variable	Definition	Units
DRY	Densité de dépôts secs	Proportion de surface occupée par les dépôts secs	%
HD	Densité du réseau hydrique	Proportion de surface occupée par l'eau	%
ESD	Complexité topographique	Écart-type de l'élévation	m
TPI	Position sur la pente	Écart standardisé de l'élévation locale à l'élévation moyenne.	-

Variables explicatives

Symbole	Variable	Definition	Units
DRY	Densité de dépôts secs	Proportion de surface occupée par les dépôts secs	%
HD	Densité du réseau hydrique	Proportion de surface occupée par l'eau	%
ESD	Complexité topographique	Écart-type de l'élévation	m
TPI	Position sur la pente	Écart standardisé de l'élévation locale à l'élévation moyenne.	-

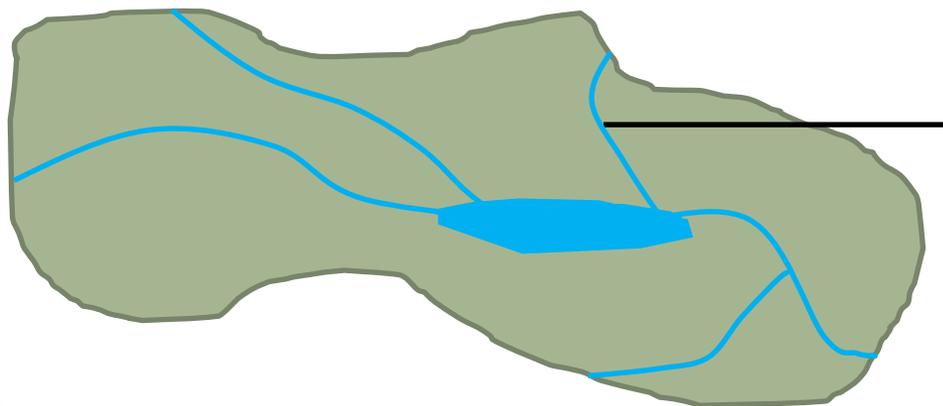


Dépôts secs

- Fluvioglaciales
- Affleurements rocheux
- Tills xériques
- ...

Variables explicatives

Symbole	Variable	Definition	Units
DRY	Densité de dépôts secs	Proportion de surface occupée par les dépôts secs	%
HD	Densité du réseau hydrique	Proportion de surface occupée par l'eau	%
ESD	Complexité topographique	Écart-type de l'élévation	m
TPI	Position sur la pente	Écart standardisé de l'élévation locale à l'élévation moyenne.	-

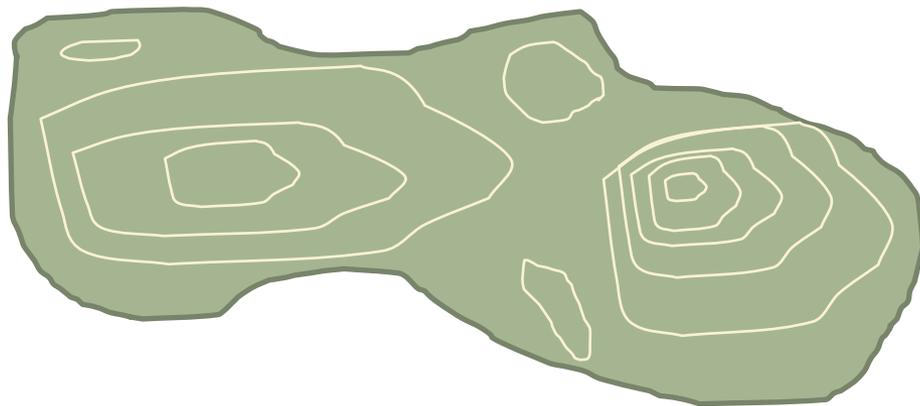


Surface du Réseau hydrique

- Lacs
- Rivières

Variables explicatives

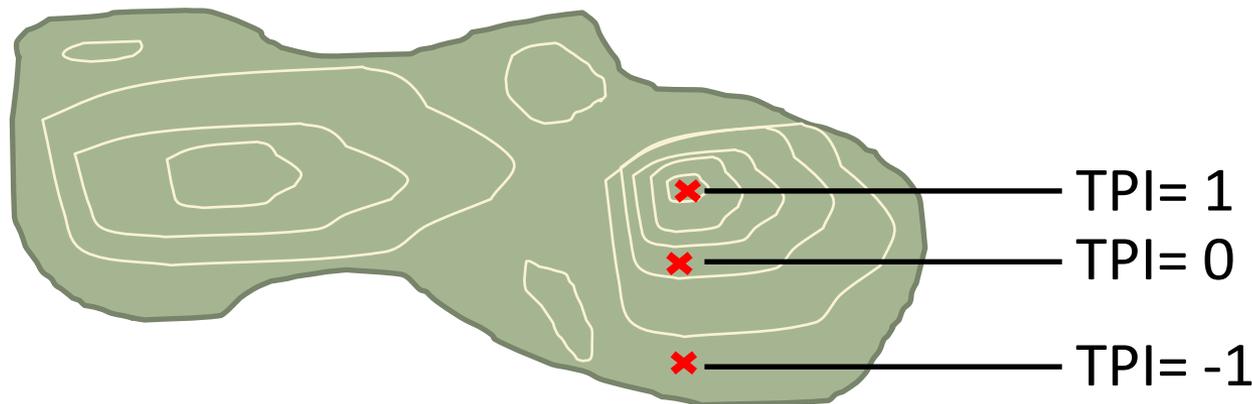
Symbole	Variable	Definition	Units
DRY	Densité de dépôts secs	Proportion de surface occupée par les dépôts secs	%
HD	Densité du réseau hydrique	Proportion de surface occupée par l'eau	%
ESD	Complexité topographique	Écart-type de l'élévation	m
TPI	Position sur la pente	Écart standardisé de l'élévation locale à l'élévation moyenne.	-



Écart-type de élévation
(n = nb de pixels)

Variables explicatives

Symbole	Variable	Définition	Units
DRY	Densité de dépôts secs	Proportion de surface occupée par les dépôts secs	%
HD	Densité du réseau hydrique	Proportion de surface occupée par l'eau	%
ESD	Complexité topographique	Écart-type de l'élévation	m
TPI	Position sur la pente	Écart standardisé de l'élévation locale à l'élévation moyenne.	-



Variables explicatives

Symbole	Variable	Definition	Units
DRY	Densité de dépôts secs	Proportion de surface occupée par les dépôts secs	%
HD	Densité du réseau hydrique	Proportion de surface occupée par l'eau	%
ESD	Complexité topographique	Écart-type de l'élévation	m
TPI	Position sur la pente	Écart standardisé de l'élévation locale à l'élévation moyenne.	-

4 variables x 5 échelles = 20 combinaisons

Analyses

Analyses de survie

- Régressions de Cox
- Modèles univariés + multi-échelles
- Sélection de modèles multivariés (AICc)

Projections sur l'aire d'étude

- Validation avec structure d'âge SIFORT
- Distribution de la végétation (SIFORT)
- Observation de patrons spatiaux

Résultats

Analyses de survie

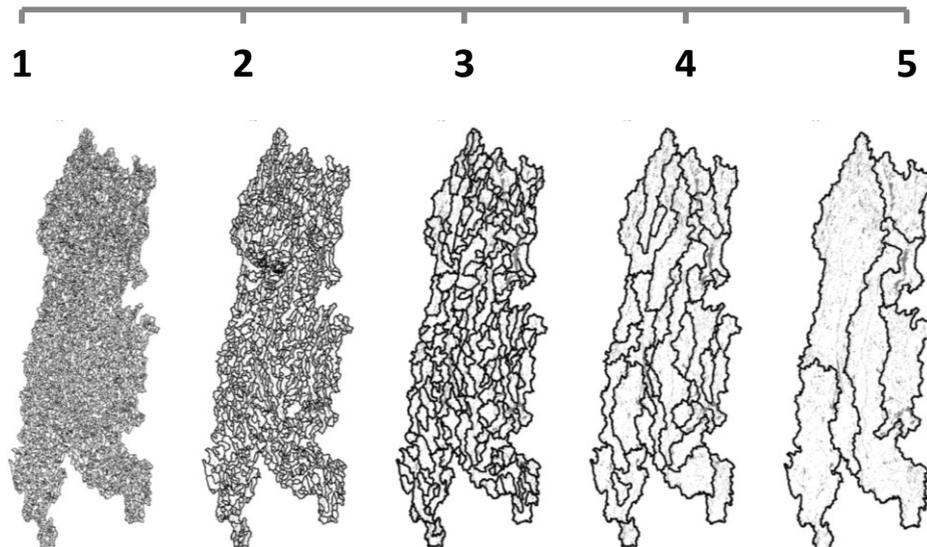
- Régressions de Cox
- Modèles univariés
- AICc

Position sur la pente

Complexité topo

Densité hydrique

Dépôts sec



Position sur la pente



- de feu

Complexité topo



+ de feu

Densité hydrique



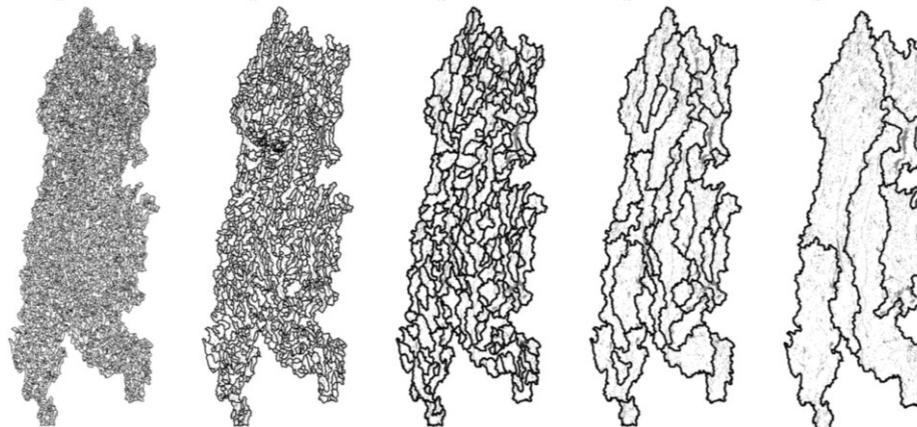
- de feu

Dépôts sec



+ de feu

1 2 3 4 5



Problème:

15 modèles se qualifient
($\Delta AICc < 2$)

Solution :

a) Inférence multi-modèles

Variable-échelle	Poids cum.
HD-1	0,83
Dry-1	0,73
Dry-3	0,68
ESD-1	0,45
ESD-3	0,38
TRI-4	0,36
HD-3	0,32

Sélection de modèles

- Combinaisons variable-échelle
- $\Delta AICc$

Problème:

15 modèles se qualifient
($\Delta AICc < 2$)

Solution :

a) Inférence multi-modèles

Variable-échelle	Poids cum.
HD-1	0,83
Dry-1	0,73
Dry-3	0,68
ESD-1	0,45
ESD-3	0,38
TRI-4	0,36
HD-3	0,32

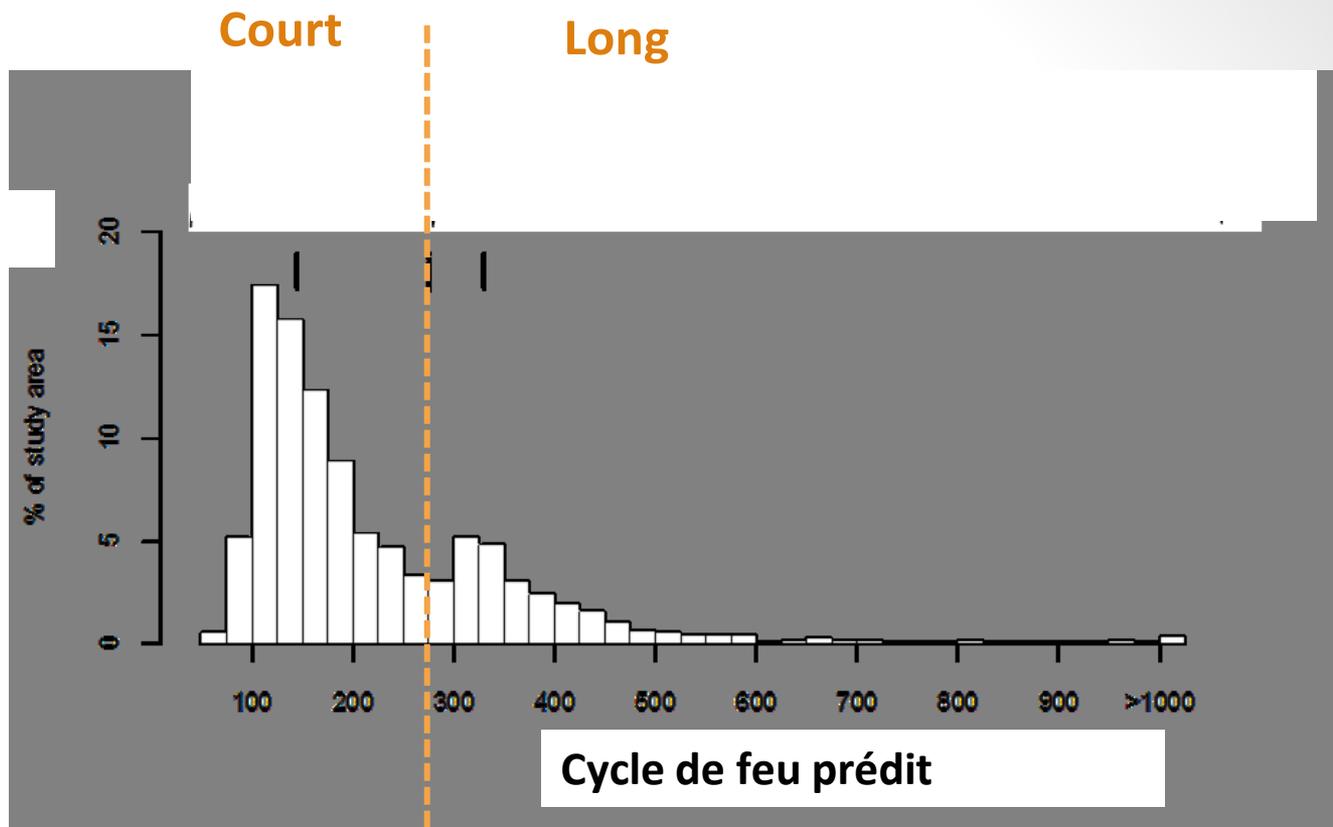
Sélection de modèles

- Combinaisons variable-échelle
- $\Delta AICc$

b) Parcimonie

$\ln(DRY+1)1+HD1$
 $\Delta AICc = 0,66$

% aire d'étude



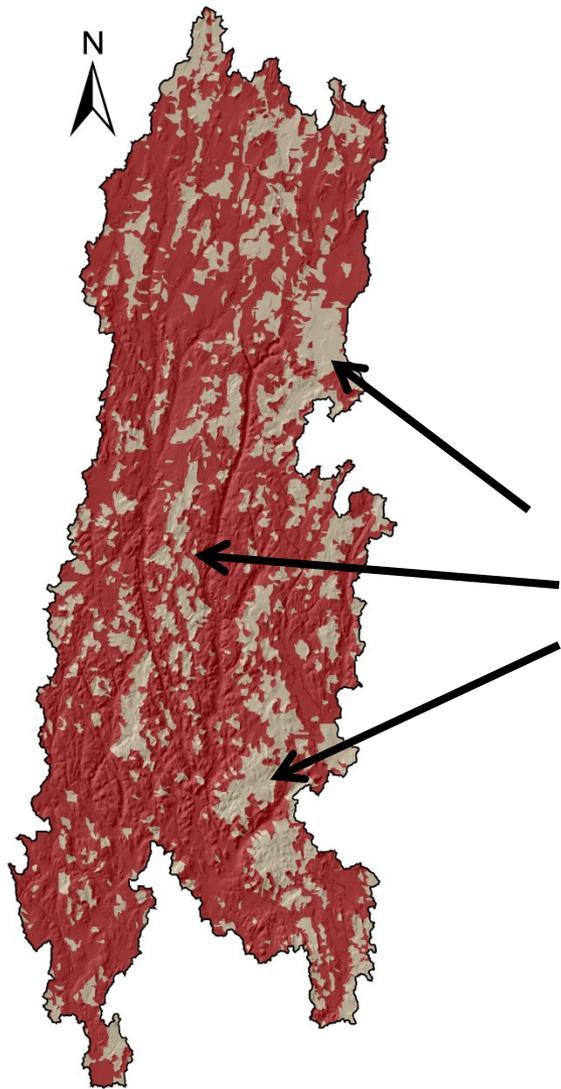
- **Cycle de feu : 159 ans**
IC (126-198)
- **n=100**
- **73%** de l'aire d'étude

- **Cycle de feu : 379 ans**
IC (238-590)
- **n=44**
- **27%** de l'aire d'étude

Projections sur l'aire d'étude

- Validation avec structure d'âge SIFORT 1

Organisation en unités spatiales plus grandes



FC zones

0 25 km

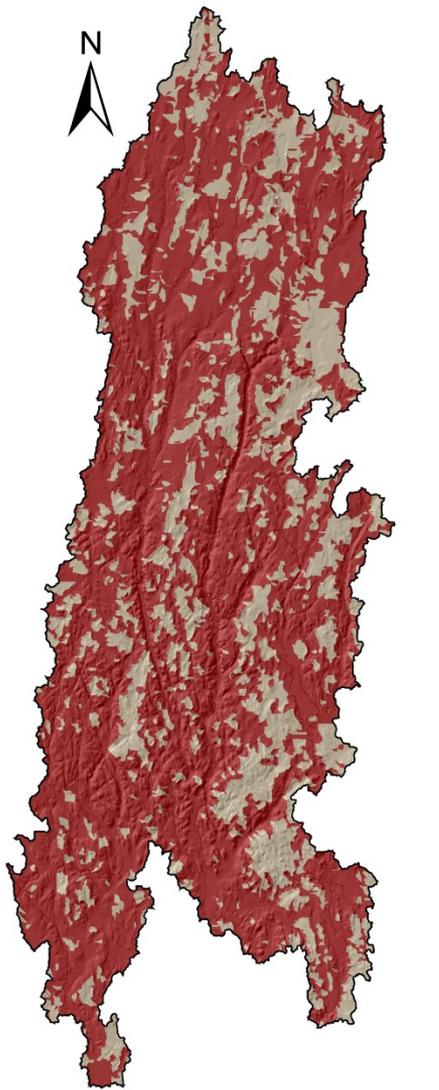
short FC zone (144 yrs)

long FC zone (330 yrs)

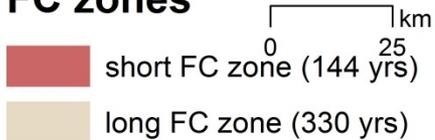
Datum: NAD1983
Projection: Lambert Conformal Conic

Projections sur l'aire d'étude

- Validation avec structure d'âge SIFORT 1



FC zones



Datum: NAD1983
Projection: Lambert Conformal Conic

Jeune



- Brûlis
- Espèces pionnières
- Classe âge ≤ 100

Inconnu



- Tout ce qui reste

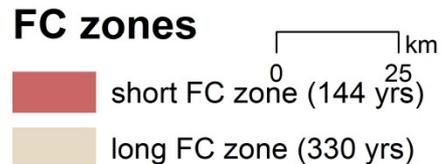
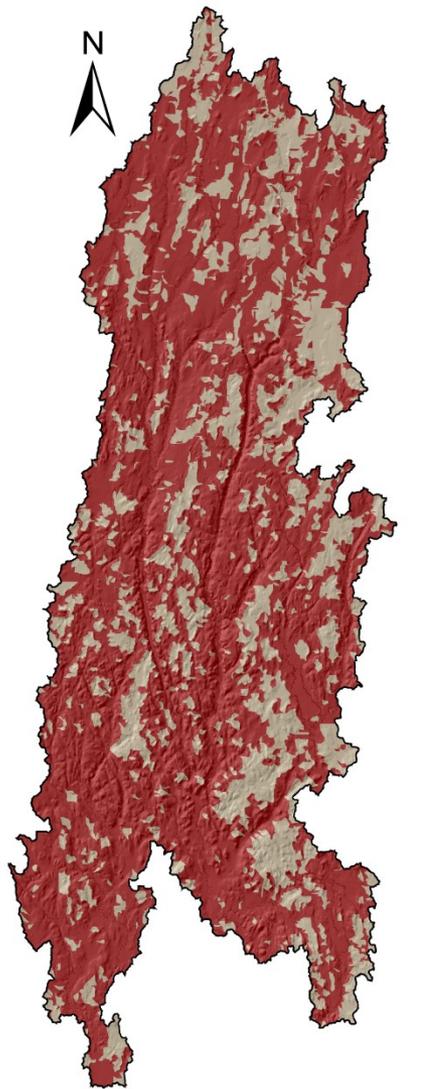
Vieux



- Classe âge 120
- tordeuse
- Dominance sapin

Projections sur l'aire d'étude

- Validation avec structure d'âge SIFORT 1

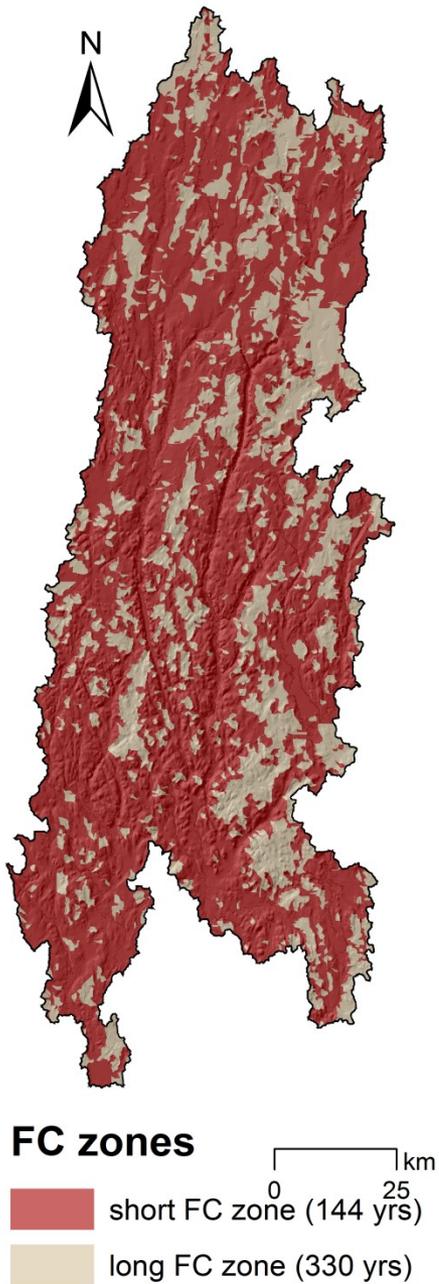


Datum: NAD1983
 Projection: Lambert Conformal Conic

Cycle de feu	Structure d'âge SIFORT		
	Jeune	Inconnu	Vieux
Court (159)	38%	46%	15%
Long (379)	26%	53%	21%

Projections sur l'aire d'étude

- Composition des jeunes forêts (SIFORT 1)



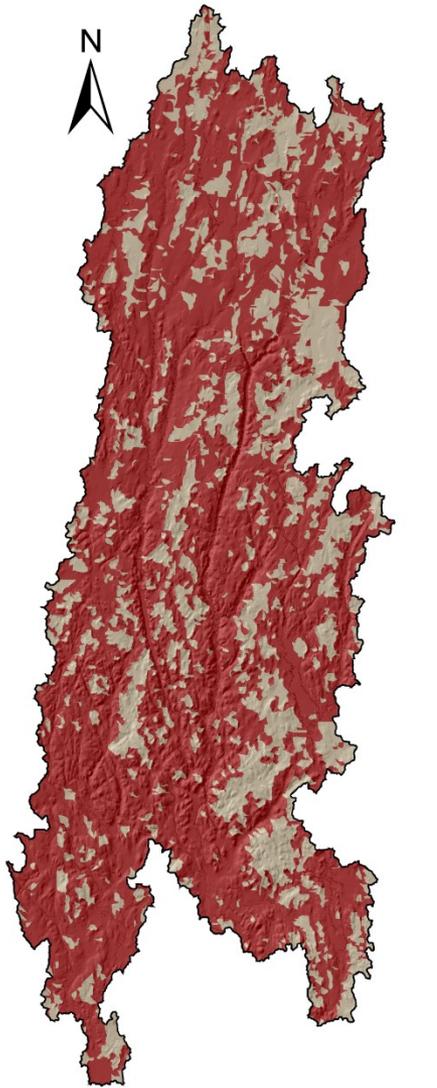
EpN
Pures

feuillu
Présence

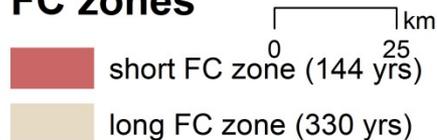
PiG
Présence

Projections sur l'aire d'étude

- Composition des jeunes forêts (SIFORT1)



FC zones



Datum: NAD1983
 Projection: Lambert Conformal Conic

Cycle de feu	Composition jeunes forêts		
	EpN	feuillu	PiG
Court (159)	59%	12%	29%
Long (379)	67%	11%	22%

Discussion

Retour sur les hypothèses

		Cycle de feu	Échelle
1) Dépôt-Drainage	Sec	Court	
2) Coupe-feu	Réseau hydrique Complexité topo	Long	
3) Physiographie	Vallées des rivières	Court	



4) Cycle de feu détermine la répartition de la végétation (pin gris).

Retour sur les hypothèses

		Cycle de feu	Échelle
1) Dépôt-Drainage	Sec	Court	locale
2) Coupe-feu	Réseau hydrique Complexité topo	Long	
3) Physiographie	Vallées des rivières	Court	



4) Cycle de feu détermine la répartition de la végétation (pin gris).

Retour sur les hypothèses

		Cycle de feu	Échelle
1) Dépôt-Drainage	Sec	Court	locale
2) Coupe-feu	Réseau hydrique Complexité topo	Long Long	Locale moyenne
3) Physiographie	Vallées des rivières	Court	



4) Cycle de feu détermine la répartition de la végétation (pin gris).

Retour sur les hypothèses

		Cycle de feu	Échelle
1) Dépôt-Drainage	Sec	Court	locale
2) Coupe-feu	Réseau hydrique Complexité topo	Long Long	Locale moyenne
3) Physiographie	Vallées des rivières	Court	paysage



4) Cycle de feu détermine la répartition de la végétation (pin gris).

Retour sur les hypothèses

		Cycle de feu	Échelle
1) Dépôt-Drainage	Sec	Court	locale
2) Coupe-feu	Réseau hydrique Complexité topo	Long Long	Locale moyenne
3) Physiographie	Vallées des rivières	Court	paysage



4) Cycle de feu détermine la répartition de la végétation (pin gris).

→ Pourquoi les facteurs bottom-up sont-ils peu documentés?

1) Spécifiques à l'aire d'étude

- Zone de transition
- Cycle de feu long
- Interactions topographie/vents dominants



2) Présents mais pas détectés

- Données historiques
- Trouver la bonne échelle

Forces et limites

- + Échelle de mesure adaptée à la variable
- + Profondeur temporelle du jeu de données (200 ans)
- + Division du territoire basé sur les frontières naturelles

- Valeur prédictive limitée
- N'inclus pas la météo ni la végétation
- Bassins versants pas toujours la division optimale

À retenir

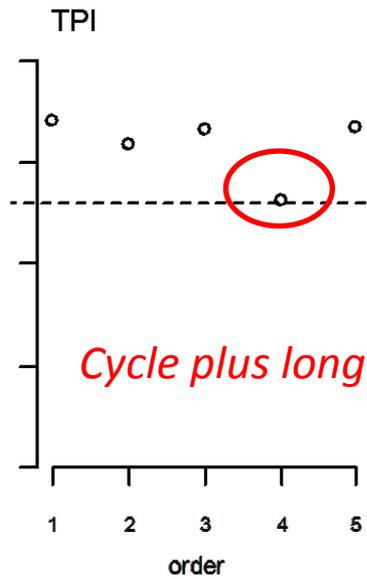
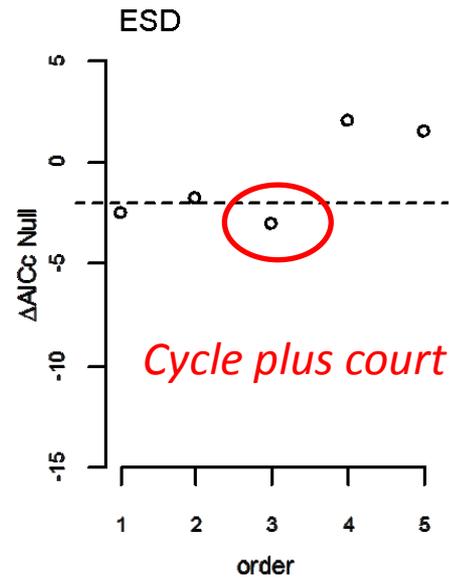
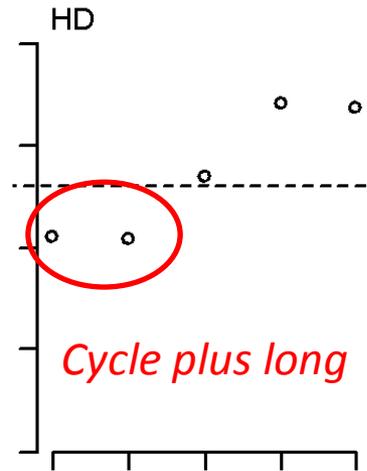
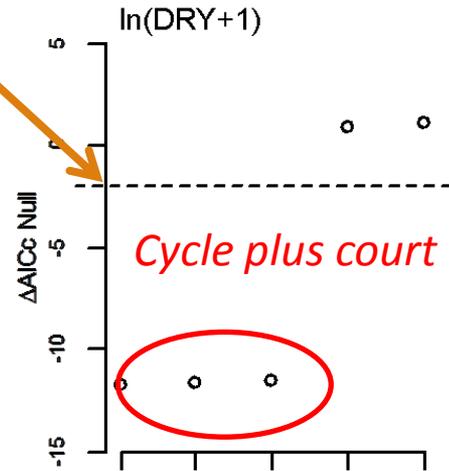
- Importance de l'association variable-échelle
- Méthode multi-échelle applicable à d'autres domaines
- Variabilité spatiale du cycle de feu = complexe. Attention à l'uniformisation

Merci

Analyses de survie

- Régressions de Cox
- Modèles univariés

$\Delta AICc = 2$



Explanatory variables	Watershed order	Relative importance (cumulated weight)	Model-averaged estimate	95% confidence interval	
				Lower	Upper
ln(DRY+1)	1	0.73	0.1940	-0.0073	0.5097
	3	0.68	0.2789	-0.0315	0.7927
HD	1	0.83	-0.0337	-0.0830	-0.0020
	3	0.32	-0.0043	-0.1039	0.0471
ESD	1	0.45	0.0026	-0.0029	0.0143
	3	0.38	0.0014	-0.0038	0.0109
TRI	4	0.36	-0.0426	-0.3868	0.0543

	Coef	CI(2,5%)	CI(97,5%)	z	Pr(> z)
ln(DRY+1)1	0.355	0.170	0.546	3.798	0.000146
HD1	-0.0430	-0.0827	-0.0154	2.510	0.012063
ΔAIC_c	0.66				

ln(DRY+1)

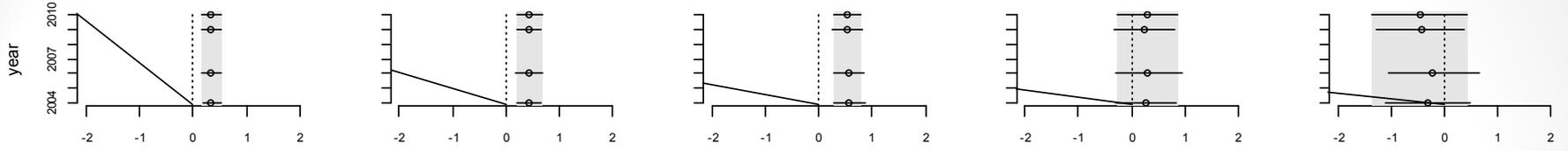
Order 1

Order 2

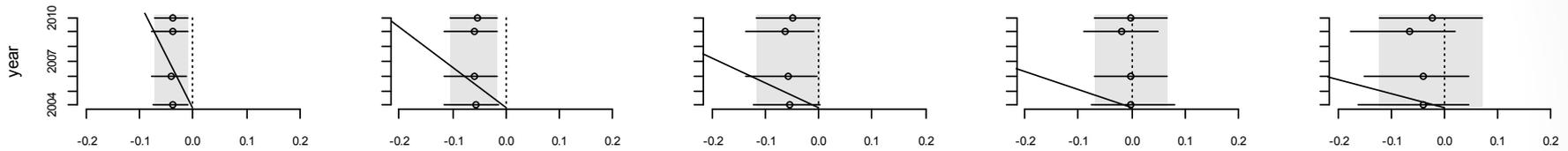
Order 3

Order 4

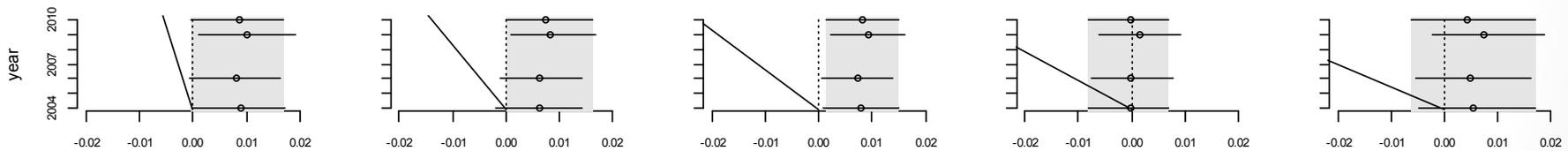
Order 5



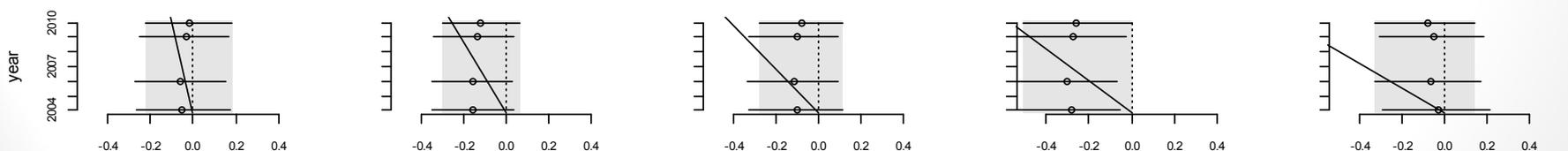
HD



ESD



TPI



coefficient