



Tout est une question de perspective : la résilience de la forêt boréale revisitée

M. Barbé*, M. Bouchard & N. Fenton

27 février 2018, Midi de la Foresterie



- Résilience : concept à la mode, 650 000 résultats dans les moteurs de recherche scientifique (2010-2018)
- Résilience, basiquement : capacité d'un système à recouvrir son fonctionnement et ses attributs pré-perturbation suite à une perturbation

- Résilience peut s'opposer à vulnérabilité
- Vulnérabilité : le fait qu'un système « peine » à recouvrir son fonctionnement et ses attributs pré-perturbation suite à une perturbation
- Ces capacités de résilience et vulnérabilité sont liées aux capacités des communautés formant l'écosystème à répondre aux perturbations

- Notion connexe de résistance : capacité d'un système à résister à une perturbation en maintenant son fonctionnement et ses attributs durant la perturbation

- Résilience, vulnérabilité et résistance : concepts évolutifs et parfois abscons

- Définitions utilisées dans le cadre de ce projet :
 - Ecosystème résilient : dont les communautés changent en composition avec les changements environnementaux
 - Ecosystème vulnérable : dont les communautés ne changent pas en composition avec les changements environnementaux

- Pourquoi ces concepts sont pertinents?
 - modifications des régimes de perturbations naturelles
 - additivité des perturbations anthropiques

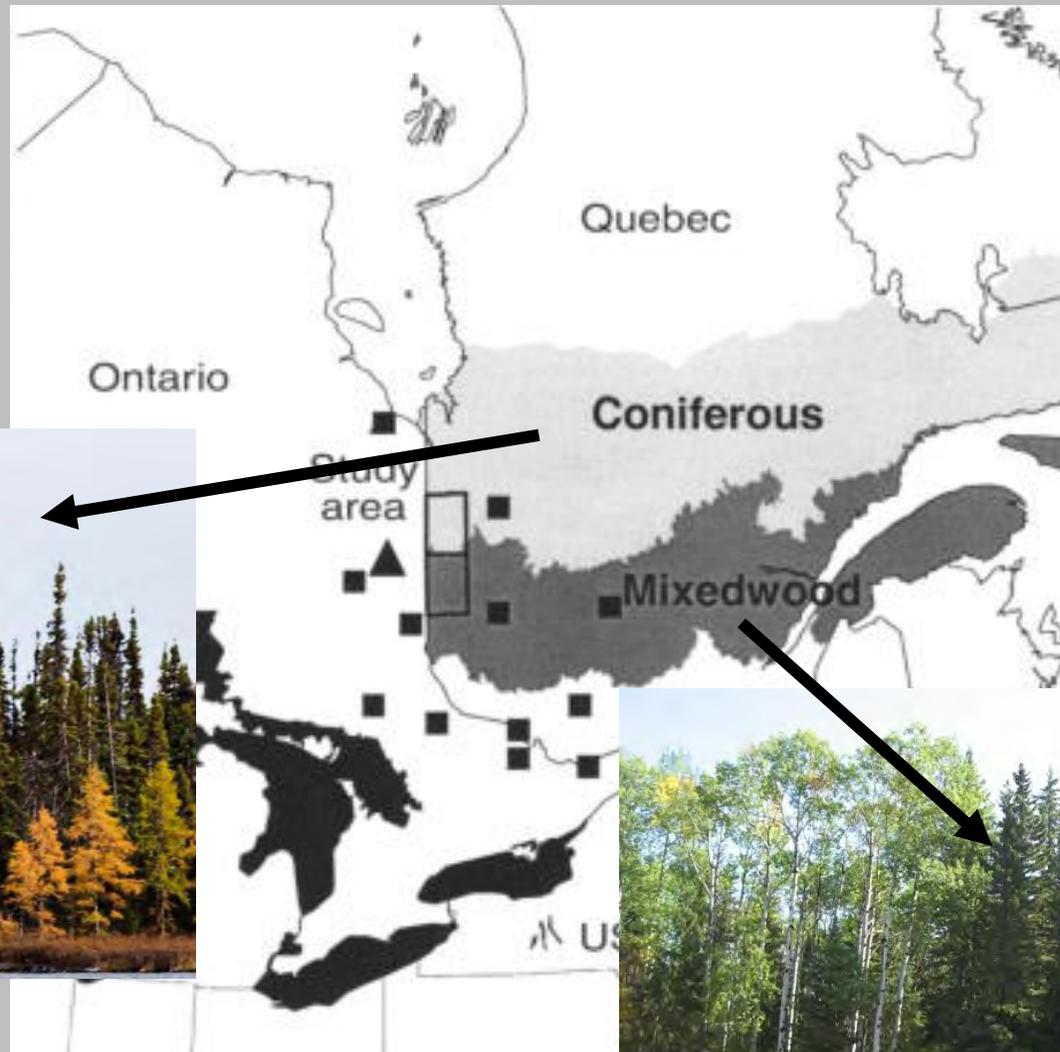
- Notions largement abordées en forêt boréale : écosystèmes des latitudes nordiques + exposés aux changements climatiques + perturbations additives
- Plusieurs papiers : Johntonne *et al.* (2010)
Gauthier *et al.* (2014), Gauthier *et al.* (2015),
d'Orangeville *et al.* (2016)...

- Mais ...
- Etudes focalisées sur LA forêt boréale comme entité et sur l'ARBRE comme individu

- Seulement, la forêt boréale est-elle un tout homogène ?



- Pas sur...



Tirée de Bergeron *et al.* (2004)

- D'autres organismes que les ARBRES pourraient-ils être plus sujets à répondre rapidement et finement aux perturbations?

Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives



Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

Désolé mais pas
cette fois !



Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

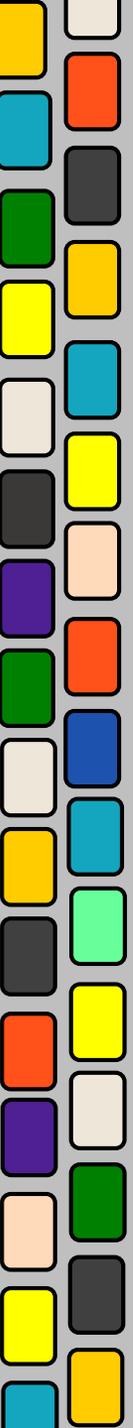
Résultats

Conclusions

Perspectives



Bryophytes
=
mousses
acrocarpes +
mousses
pleurocarpes +
sphaignes +
hépatiques





Mise en bouche

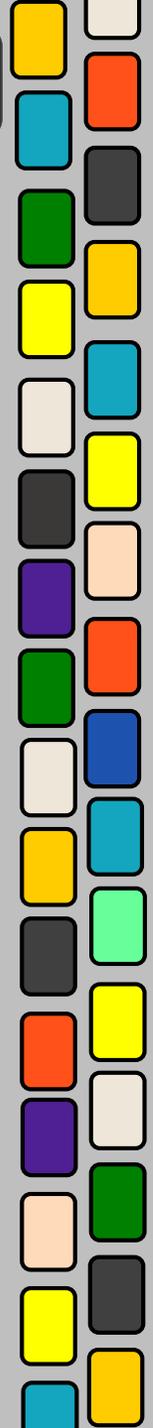
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

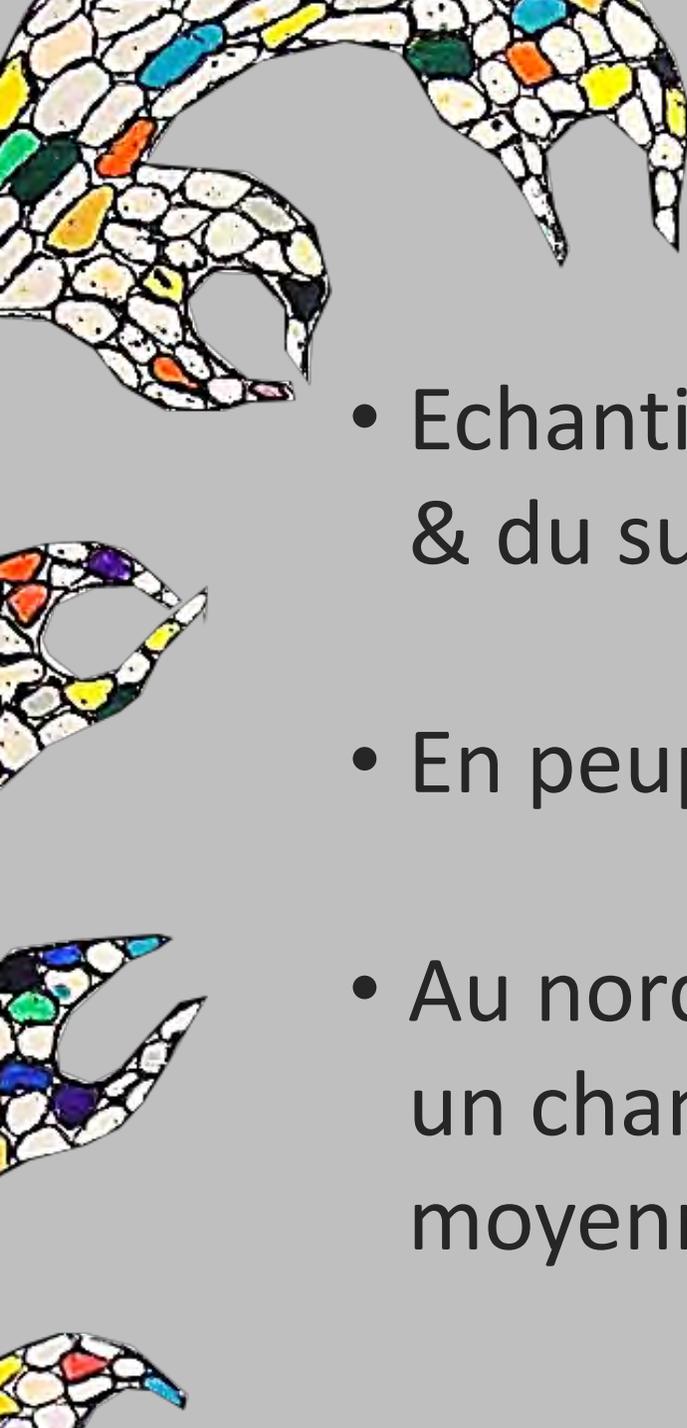
Perspectives



- Etudier la résilience de la forêt boréale à une autre échelle :

1/ Forêt boréale → forêt boréale mixte & forêt boréale coniférienne

2/ Arbre → communauté bryophytique

- 
- Echantillonnage des bryophytes de l'est à l'ouest & du sud au nord du Québec
 - En peuplements boréaux mixtes et de conifères
 - Au nord et au sud du 49^{ème} parallèle représentant un changement spatial de température annuelle moyenne



Mise en bouche

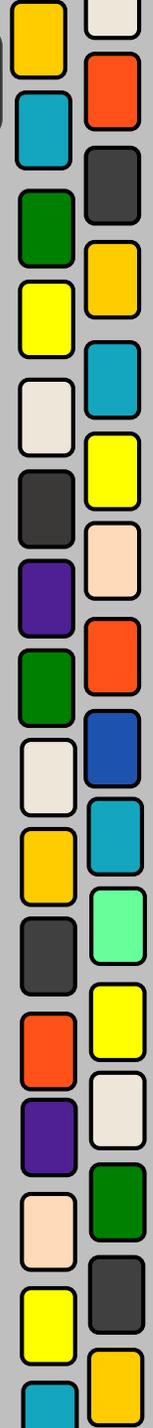
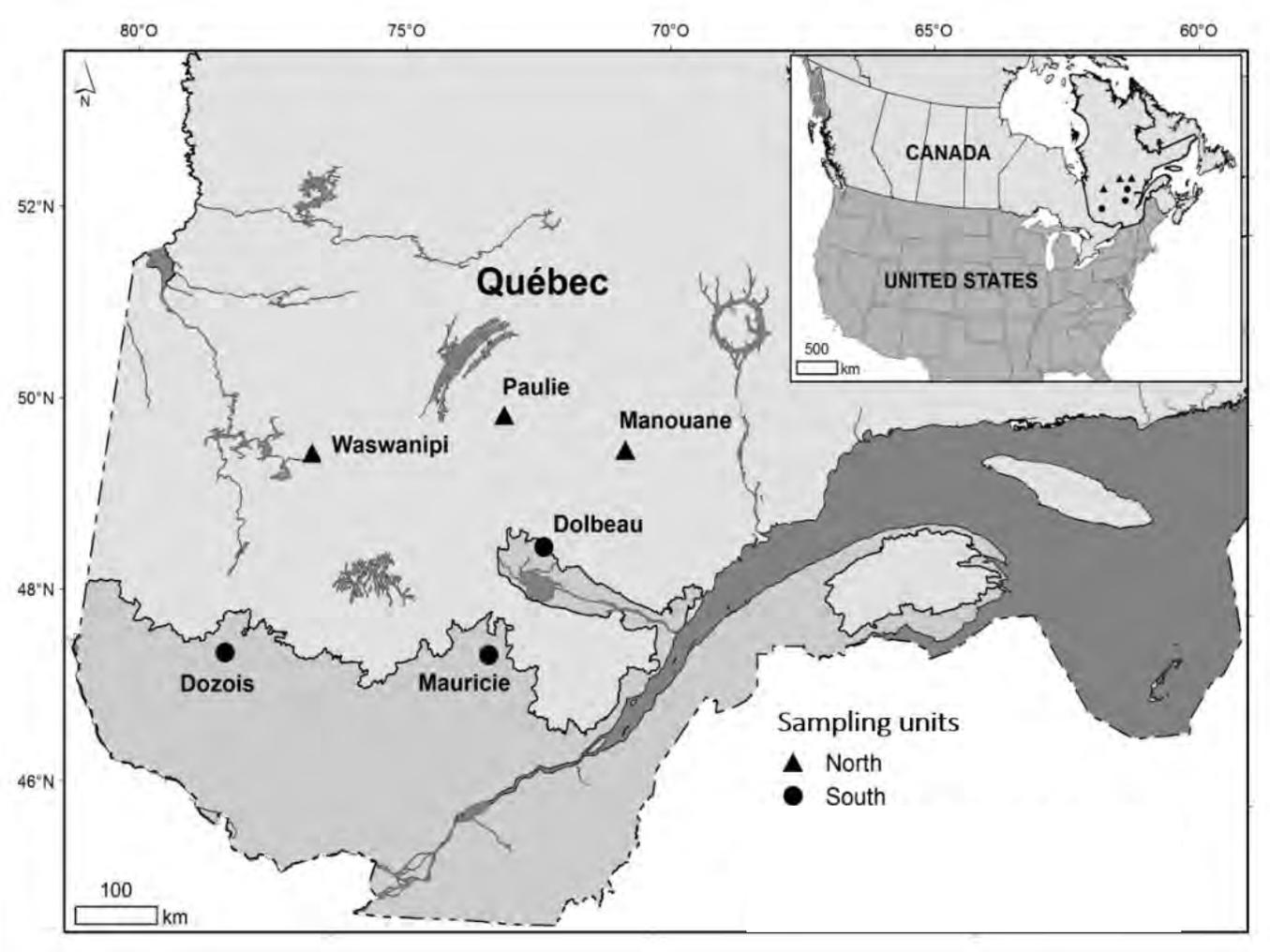
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives





Mise en bouche

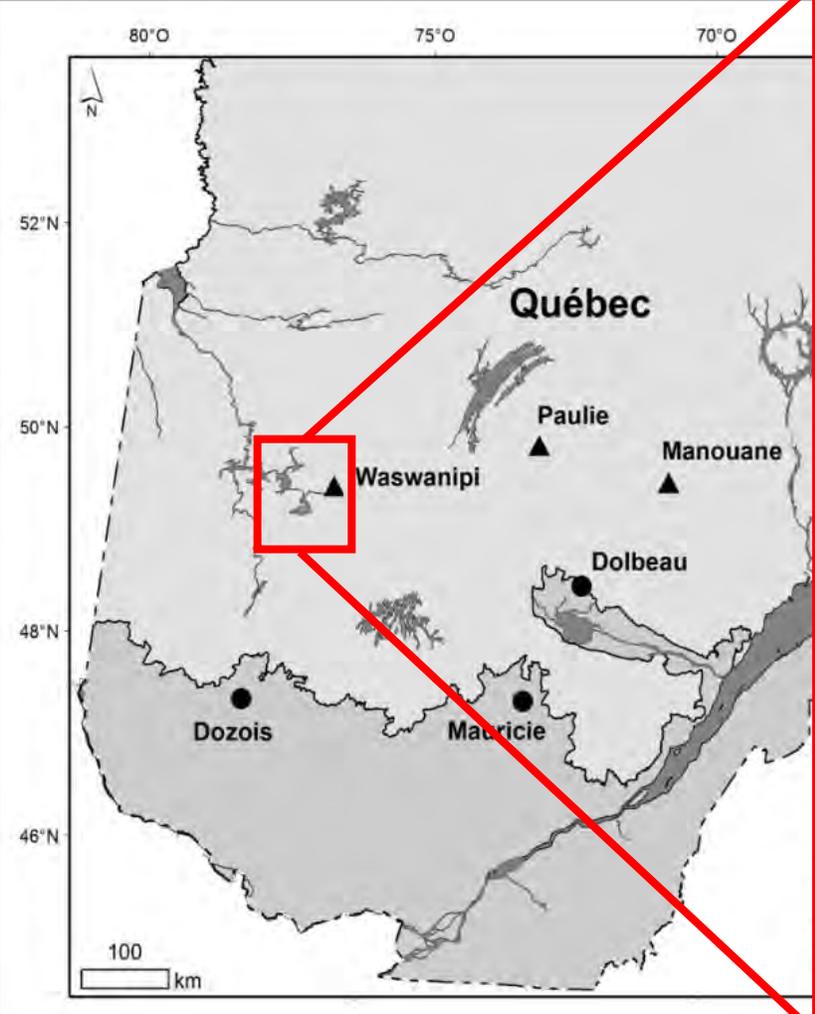
Objectifs

Méthodes

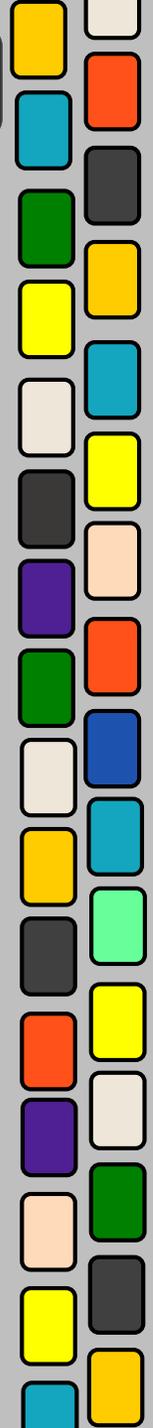
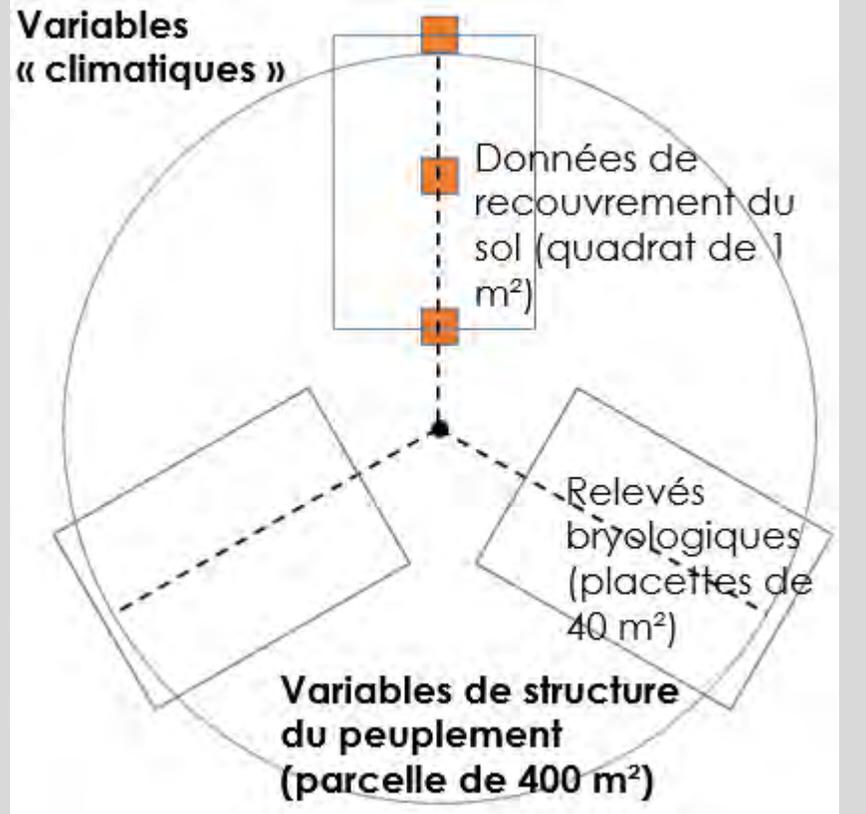
Résultats

Conclusions

Perspectives



2 peuplements mixtes & 2 peuplements de conifères par localités (n = 12 + 12)





Mise en bouche

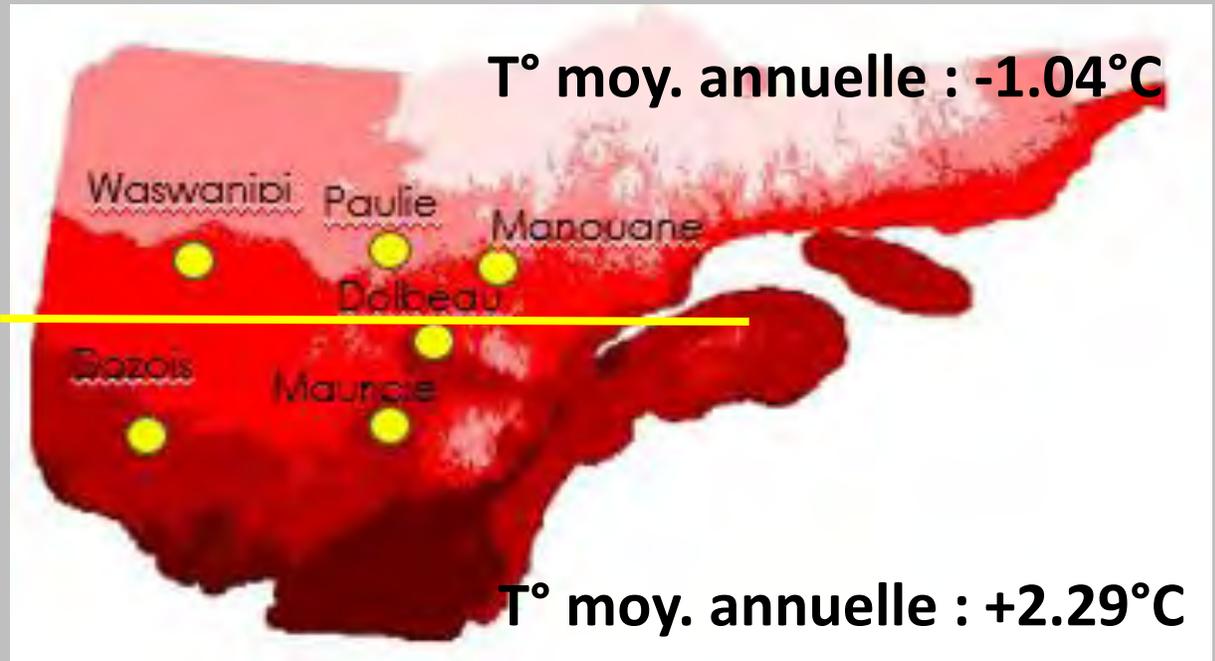
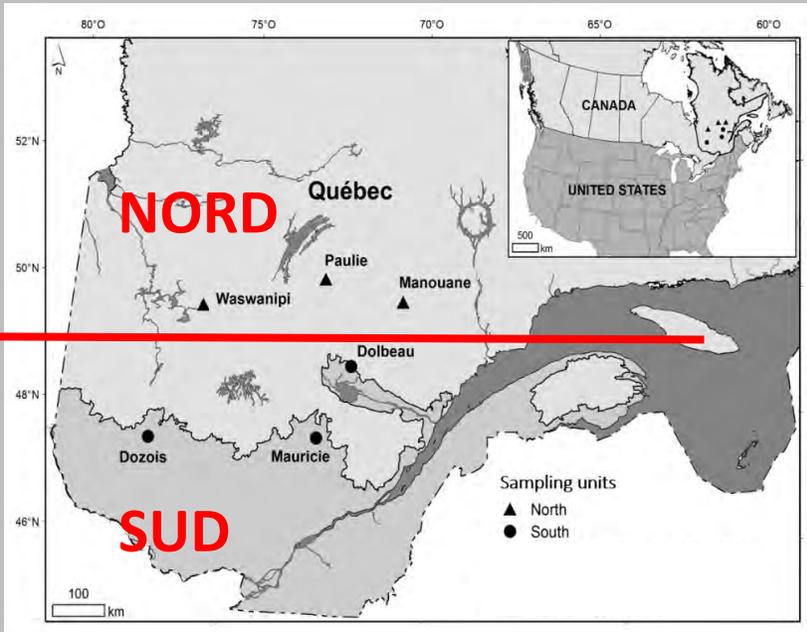
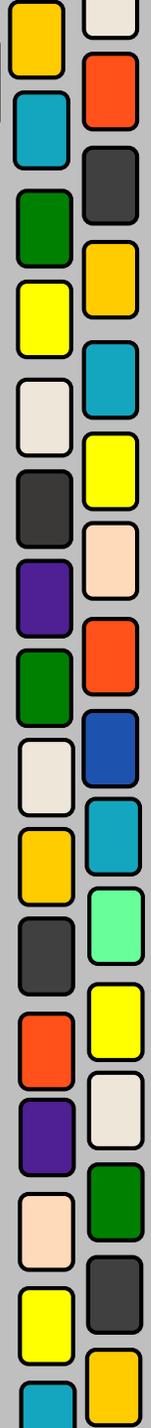
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives





Mise en bouche

Objectifs

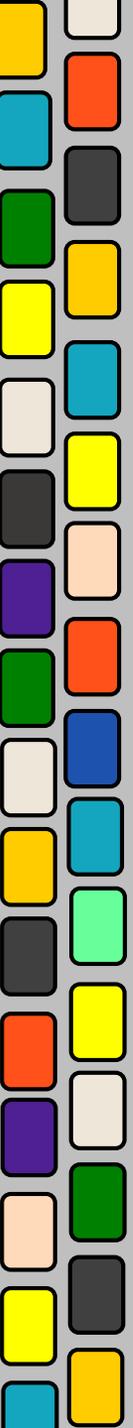
Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

- Bryophytes échantillonnées dans 4 types de microhabitats (rocher, sol, bois vivant, bois mort) en considérant l'espèce d'arbre et le taux de décomposition
- Etude de la composition en espèce totale et de 3 microhabitats clefs : bois vivants et morts (communauté corticole & spécialiste) et sol (communauté généraliste)
- En fonction du type de forêt boréale et de la température





Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

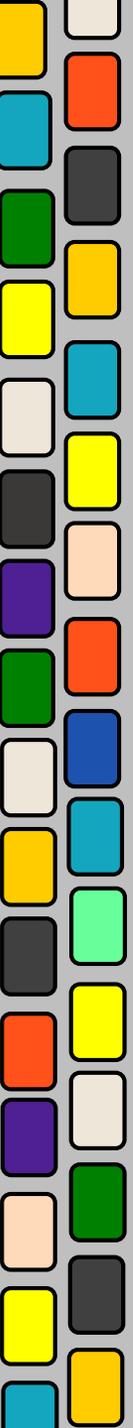
Perspectives

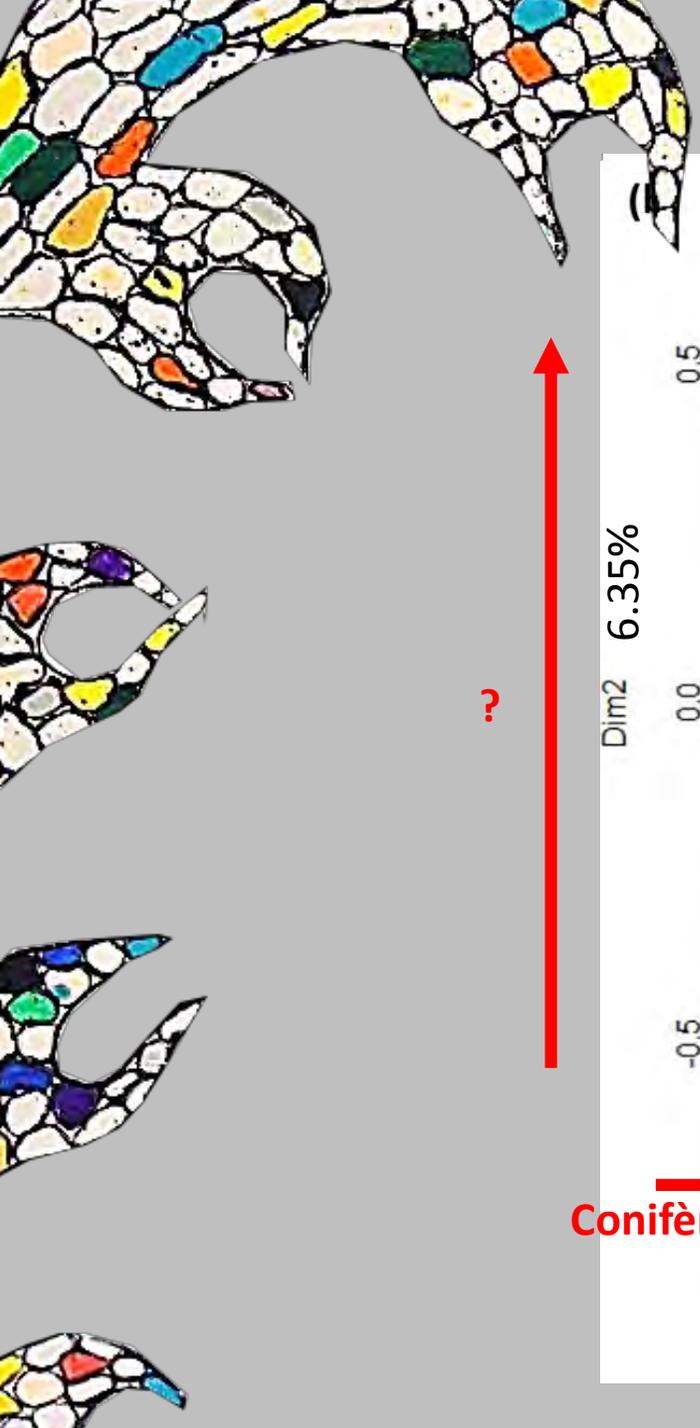
- Sélection de modèles pour expliquer la composition en espèces en fonction du type de forêt boréale

8 modèles par type de microhabitats :

Modele	Variables utilisées
Chaque variable séparément	
ModFWI	Indice de feu (FWI)
ModTemp	Température moyenne
ModTree	Structure en bois vivant*
ModDW	Structure en bois mort*
Autre modèle	
ModStruct	Structure en bois vivant + Structure en bois mort
Modèles globaux	
Global1	Structure en bois vivant + Structure en bois mort + FWI
Global2	Structure en bois vivant + Structure en bois mort + Température moyenne
Model nul	
Null	Structure du jeu de données seulement (plot dans peuplement dans localité)

* Implique plusieurs variables (stade décompo, hauteur, DHP, diversité...)





Mise en bouche

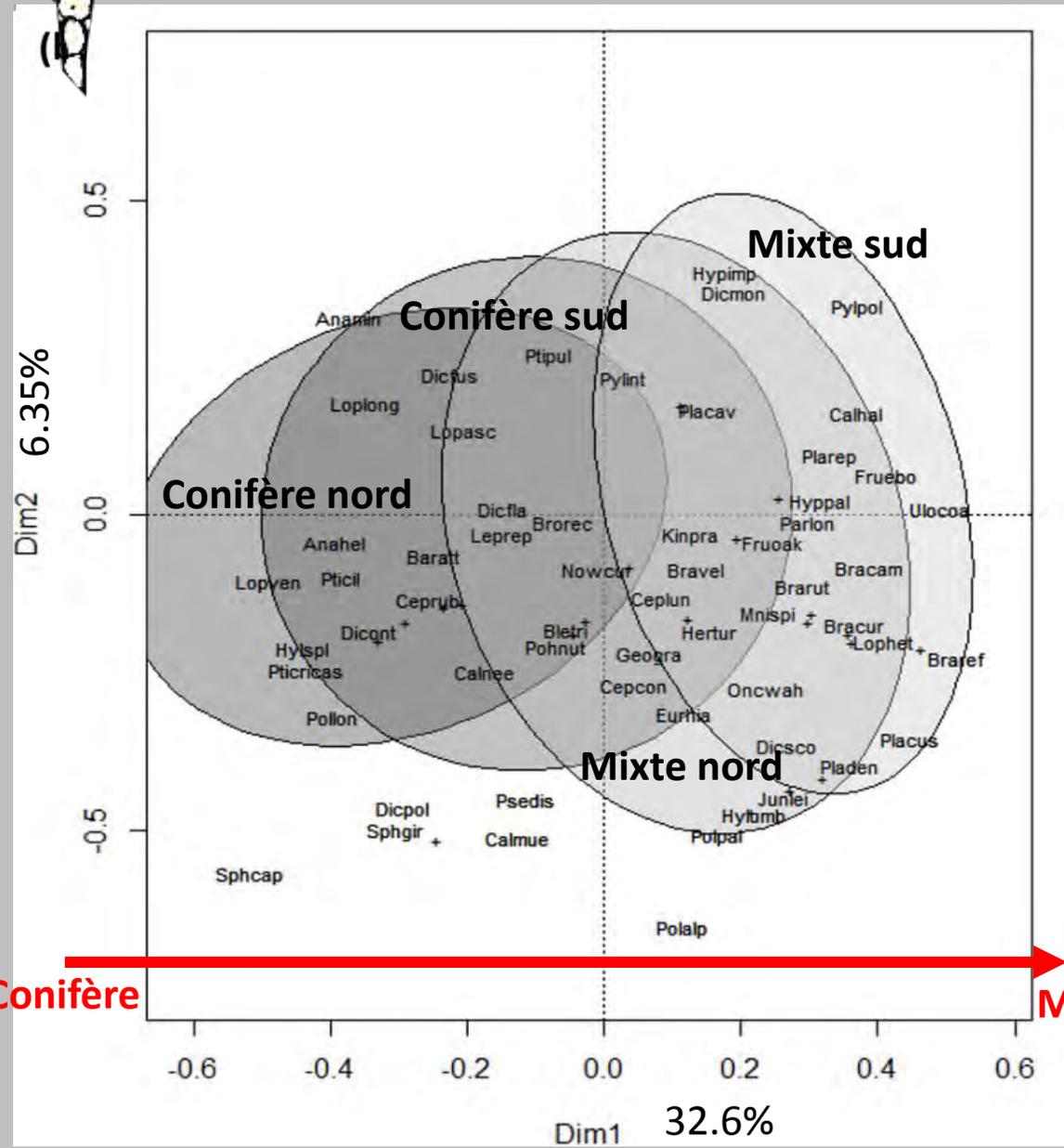
Objectifs

Méthodes

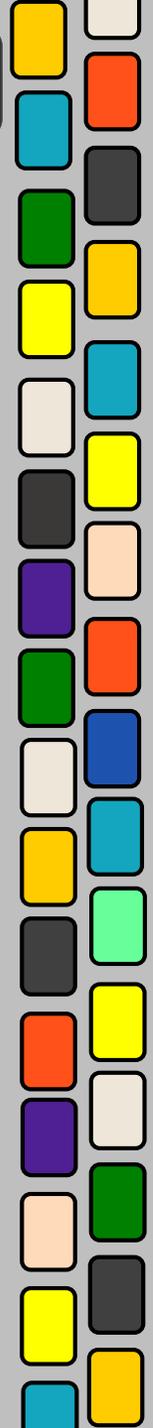
Résultats

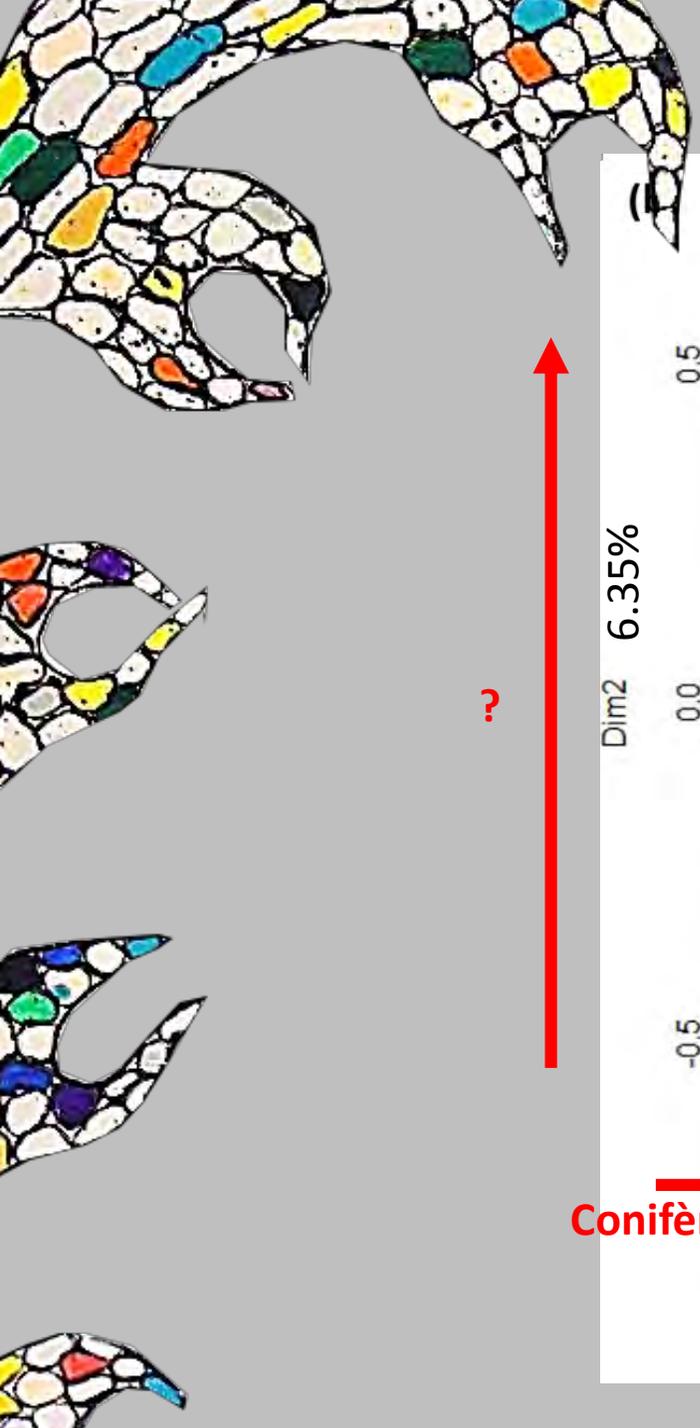
Conclusions

Perspectives



Analyse de composition en espèces (PCoA)





Mise en bouche

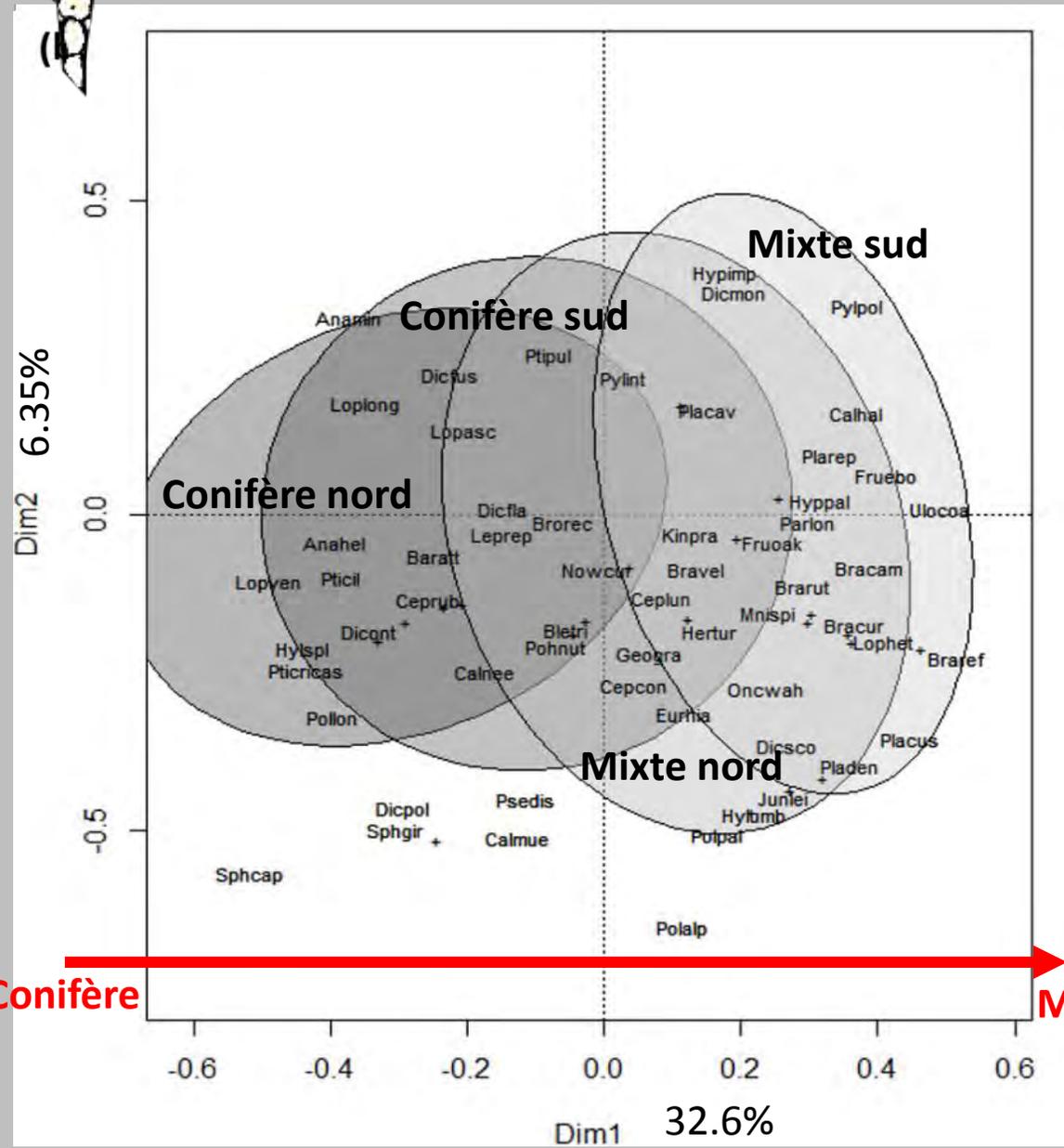
Objectifs

Méthodes

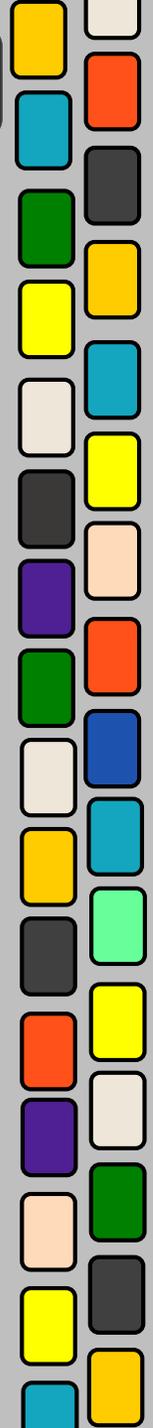
Résultats

Conclusions

Perspectives



MRPP : différence significative de composition selon le type de forêt boréale et en fonction du nord et du sud





Mise en bouche

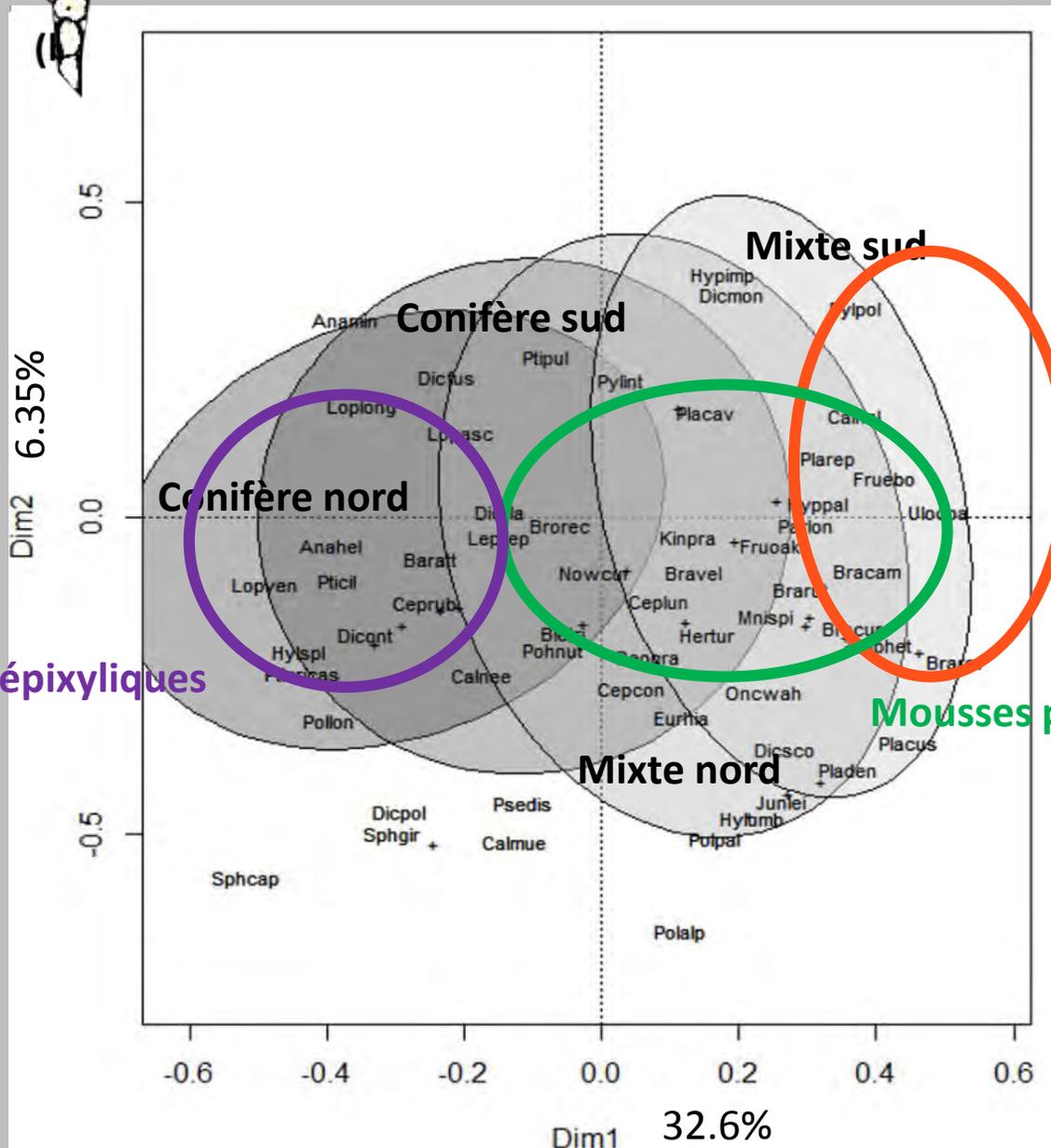
Objectifs

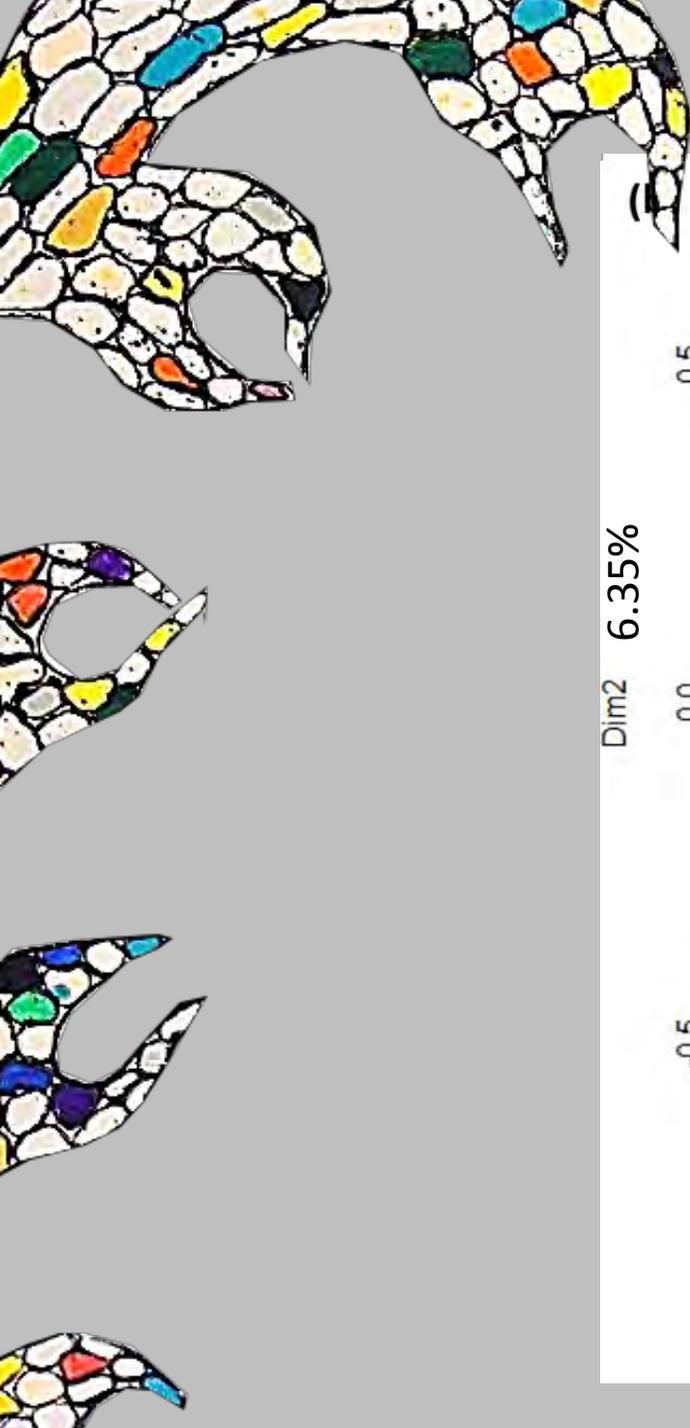
Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives





Mise en bouche

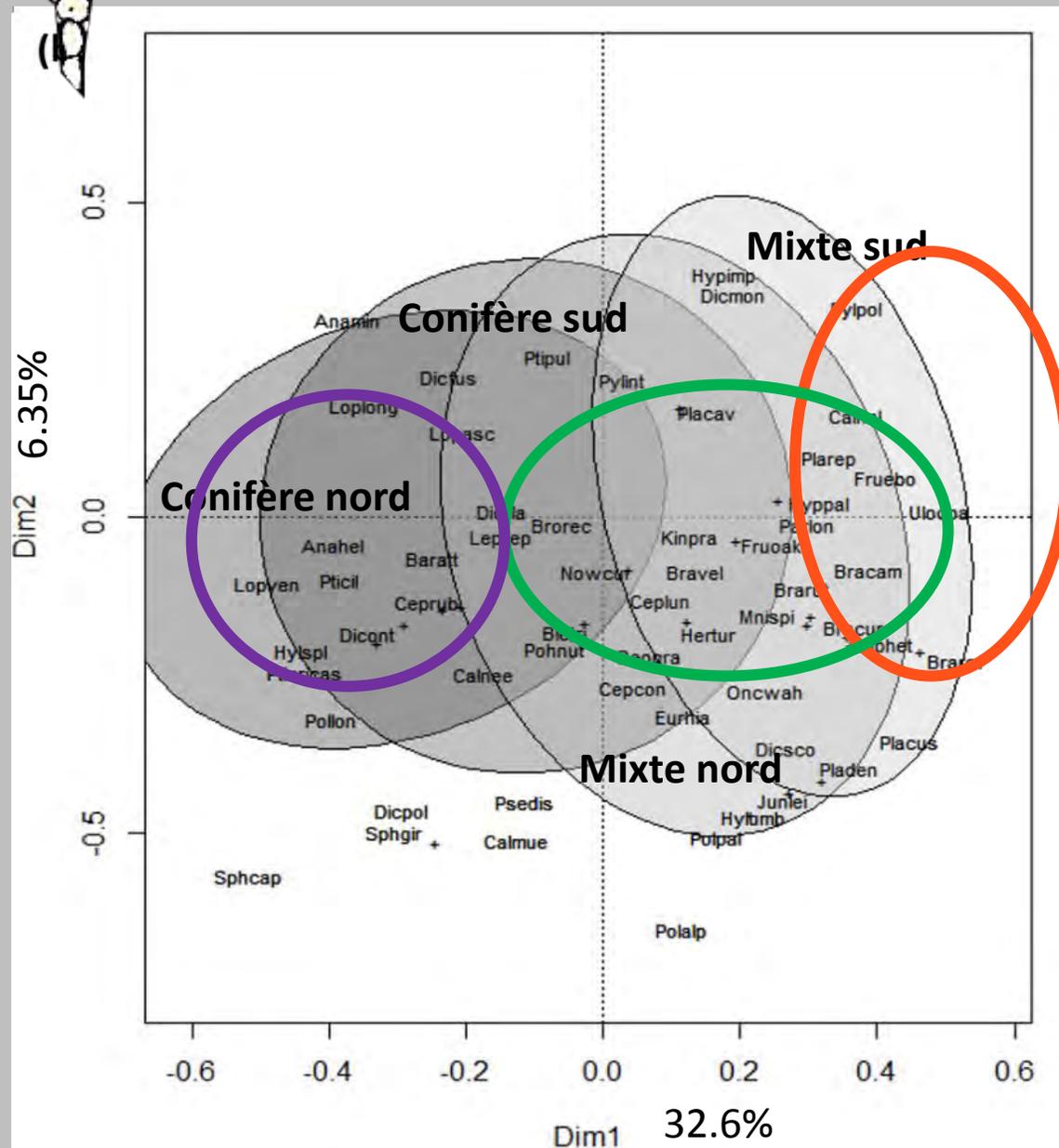
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

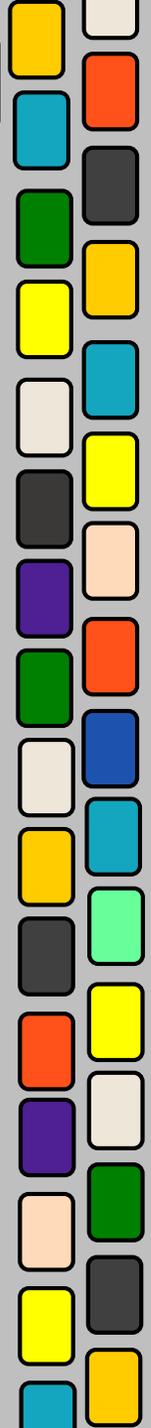
Perspectives

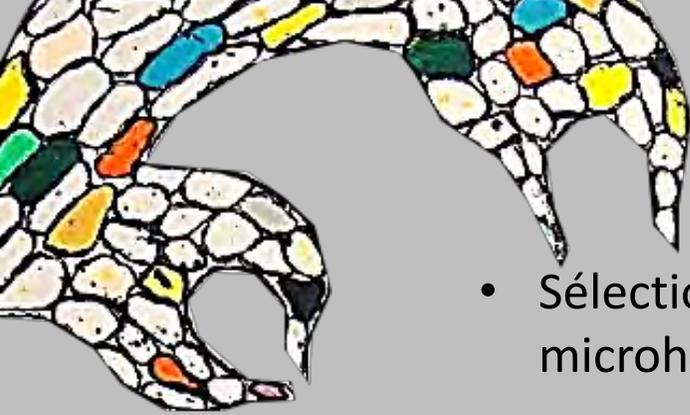


Indice de dissimilarité de Jaccard :

Forêt de conifère Nord-Sud = 76.8%

Forêt mixte Nord-Sud = 80.5%





Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

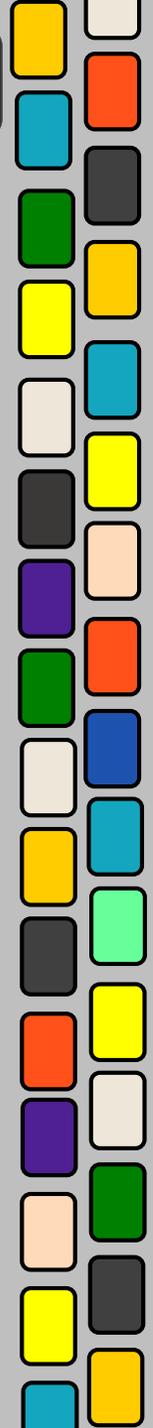
Résultats

Conclusions

Perspectives

- Sélection de modèles pour expliquer la composition en espèces de chaque microhabitats en fonction du type forestier :

Microhabitat	Type forestier	Modèle	AIC _c	ΔAIC _c	w _i	ρ	ER
Arbre vivant	Conifère	Structure bois vivant	-130.03	0.00	0.59	0.76	2.62
		Structure globale	-128.11	1.92	0.22	0.76	
	Mixte	Température	-165.15	0.00	0.60	0.39	2.06
		Global2	-163.71	1.45	0.29	0.34	
Bois mort	Conifère	Structure bois vivant	-135.11	0.00	0.44	0.73	1.59
		Structure globale	-134.19	0.92	0.28	0.74	
	Mixte	Global2	-151.47	0.00	0.64	0.52	
Sol	Conifère	Température	-57.78	0.00	0.29	0.33	1.29
		Structure bois vivant	-57.28	0.51	0.22	0.46	
		Structure globale	-56.28	1.50	0.14	0.57	
		Global2	-56.05	1.73	0.12	0.55	
	Mixte	Température	-30.52	0.00	0.63	0.36	2.77
		ModFWI	-28.48	2.04	0.23	0.33	





Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

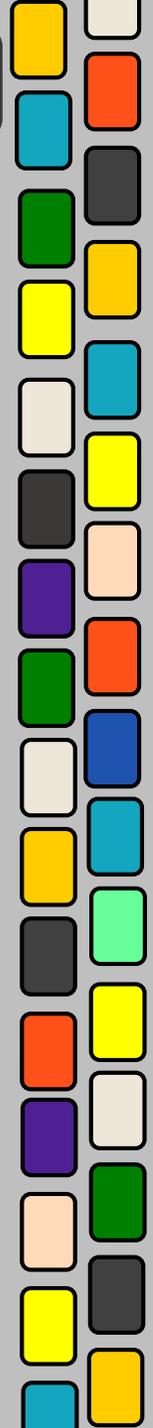
Résultats

Conclusions

Perspectives

Structure du peuplement

Microhabitat	Type forestier	Modèle	AIC _c	ΔAIC _c	w _i	ρ	ER
Arbre vivant	Conifère	Structure bois vivant	-130.03	0.00	0.59	0.76	2.62
		Structure globale	-128.11	1.92	0.22	0.76	
	Mixte	Température	-165.15	0.00	0.60	0.39	2.06
		Global2	-163.71	1.45	0.29	0.34	
Bois mort	Conifère	Structure bois vivant	-135.11	0.00	0.44	0.73	1.59
		Structure globale	-134.19	0.92	0.28	0.74	
	Mixte	Global2	-151.47	0.00	0.64	0.52	
Sol	Conifère	Température	-57.78	0.00	0.29	0.33	1.29
		Structure bois vivant	-57.28	0.51	0.22	0.46	
		Structure globale	-56.28	1.50	0.14	0.57	
		Global2	-56.05	1.73	0.12	0.55	
	Mixte	Température	-30.52	0.00	0.63	0.36	2.77
		ModFWI	-28.48	2.04	0.23	0.33	





Mise en bouche

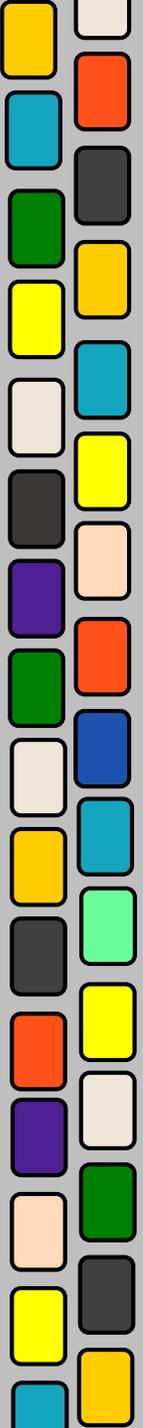
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives



Température + Structure

Microhabitat	Type forestier	Modèle	AIC _c	ΔAIC _c	w _i	ρ	ER
Arbre vivant	Conifère	Structure bois vivant	-130.03	0.00	0.59	0.76	2.62
		Structure globale	-128.11	1.92	0.22	0.76	
	Mixte	Température	-165.15	0.00	0.60	0.39	2.06
		Global2	-163.71	1.45	0.29	0.34	
Bois mort	Conifère	Structure bois vivant	-135.11	0.00	0.44	0.73	1.59
		Structure globale	-134.19	0.92	0.28	0.74	
	Mixte	Global2	-151.47	0.00	0.64	0.52	
Sol	Conifère	Temperature	-57.78	0.00	0.29	0.33	1.29
		Structure bois vivant	-57.28	0.51	0.22	0.46	
		Structure globale	-56.28	1.50	0.14	0.57	
		Global2	-56.05	1.73	0.12	0.55	
	Mixte	Température	-30.52	0.00	0.63	0.36	2.77
ModFWI		-28.48	2.04	0.23	0.33		



Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

Résultats

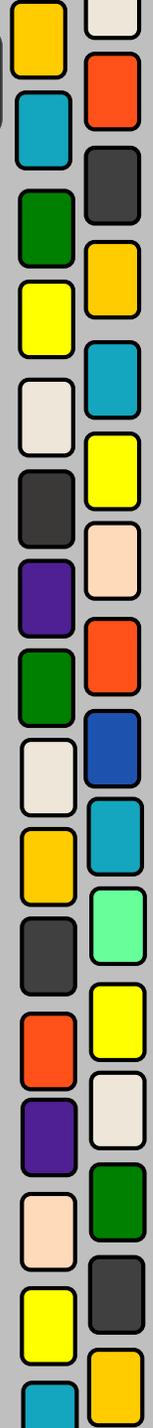
Conclusions

Perspectives

Espèces corticoles → spécialistes (type hépatiques epixyliques, épiphytes)

Microhabitat	Type forestier	Modèle	AIC _c	ΔAIC _c	w _i	ρ	ER
Arbre vivant	Conifère	Structure b	-120.03	0.00	0.59	0.76	2.62
		Structure	-119.92		0.22	0.76	
	Mixte	Tempéra			0.60	0.39	2.06
		Global2				0.34	
Bois mort	Conifère	Struct					1.59
		Structa					
	Mixte	Global2					
Sol	Conifère	Température	-57.28	0.00	0.63	0.36	
		Structure bois vivant	-57.28	0.00	0.63	0.36	
		Structure globale	-56.28	1.50	0.12		
		Global2	-56.05	1.73	0.12		
	Mixte	Température	-30.52	0.00	0.63	0.36	
	ModFWI	-28.48	2.04	0.23	0.33		

Quelque soit le type de comm. corticole → lien similaire avec les variables env. MAIS différent en fonction du type de peuplement





Mise en bouche

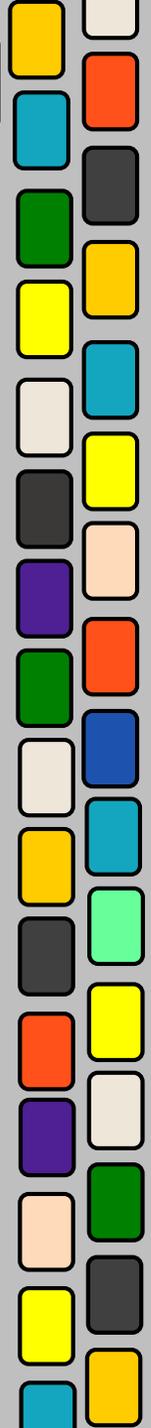
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives



Microhabitat	Type forestier	Modèle	ΔAIC_c	ΔAIC_c	w_i	ρ	ER
Arbre vivant	Conifère	Structure bois			0.59	0.76	2.62
		Structure globale				0.76	
	Mixte	Température				0.33	2.06
		Global2					
Bois mort	Conifère	Structure bois					1.59
		Structure globale					1.4
	Mixte	Global2	-151.47				0.52
		Température	-57.78	0.00			0.33
Sol	Conifère	Structure bois vivant	-57.28	0.51	0.22	0.46	
		Structure globale	-56.28	1.50	0.14	0.57	
		Global2	-56.05	1.73	0.12	0.55	
		Mixte	Température	-30.52	0.00	0.63	0.36
ModFWI	-28.48		2.04	0.23	0.33		

Lien beaucoup moins évident entre les comm. généralistes de sol et les variables environnementales

Sol
↓
Espèces généralistes (type grandes pleurocarpes)



Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

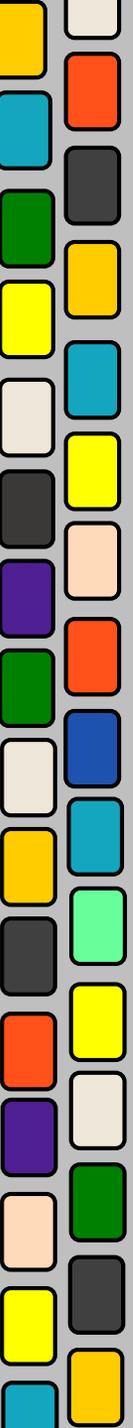
Résultats

Conclusions

Perspectives

- Lien bryophytes-climat non homogène au sein de la forêt boréale

→ Forêt mixte + dissemblable entre le nord et le sud en termes de composition en espèces que forêt de conifères





Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

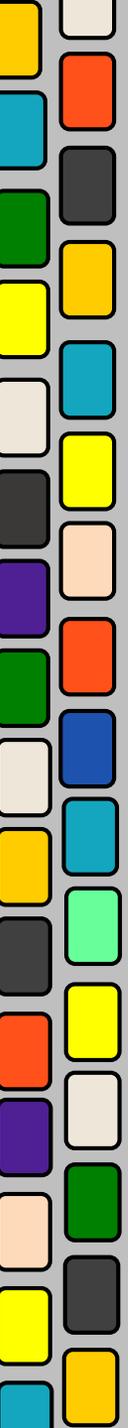
Résultats

Conclusions

Perspectives

- Aussi vrai à l'échelle + fine du microhabitat

→ Communautés corticales liées à la température en forêt mixte et à la structure du peuplement en forêt de conifères





Mise en bouche

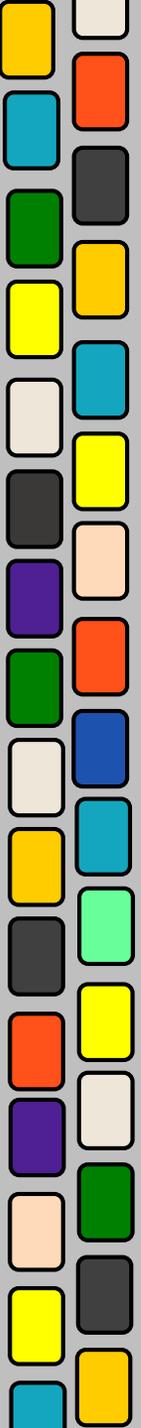
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives



- Conditions environnementales au sein de chaque type forestier pourrait expliquer la différence de composition en espèces entre le nord et le sud (différence de température moyenne annuelle) et le lien des communautés avec la température → forêt mixte



Mise en bouche

Objectifs

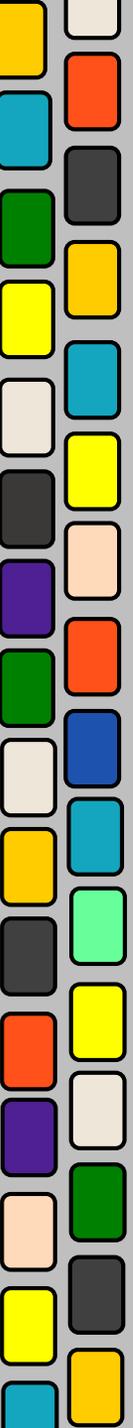
Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

- Conditions environnementales au sein de chaque type forestier pourrait expliquer la différence de composition en espèces entre le nord et le sud (différence de température moyenne annuelle) et le lien des communautés avec la température → forêt mixte
- Forêt de conifères : système non fluctuant au long de l'année
- Forêt mixte : système fluctuant → défoliation





Mise en bouche

Objectifs

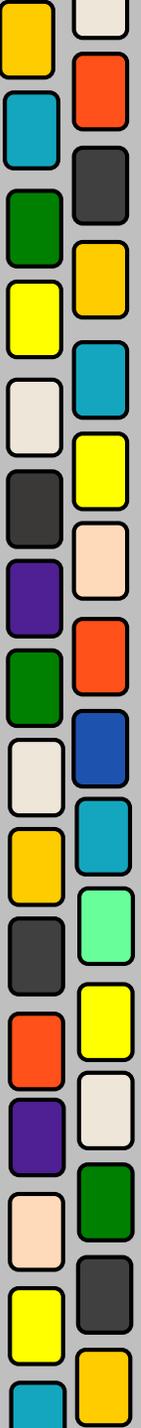
Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

- Forêt de conifères : système en « vase clos » où les espèces sont seulement soumises aux conditions locales du peuplement
- Forêt mixte : système « poreux » où les espèces sont soumises aux conditions env. locales mais aussi régionales

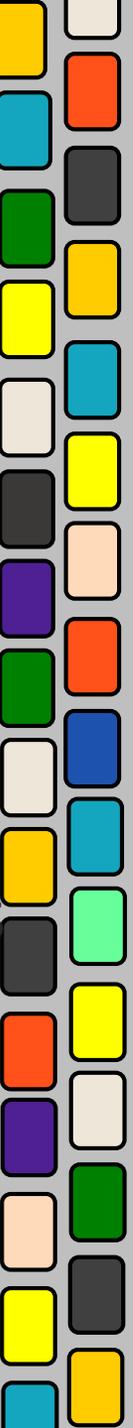




- Forêt en « vase cloche » où les espèces sont soumises à des conditions locales
- Forêt mixte : système « passoire » où les espèces sont soumises aux conditions env. locales mais aussi régionales



**Syndrome de la passoire et du dôme
(cloche à fromage) !**





Mise en bouche

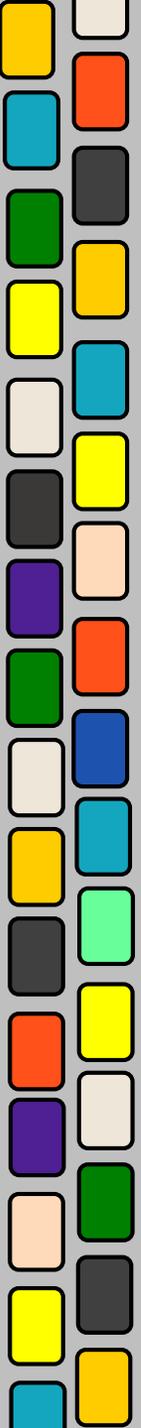
Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives



- Selon notre définition de travail de départ :

- Ecosystème résilient : dont les communautés changent avec les changements environnementaux
- Ecosystème vulnérable : dont les communautés ne changent pas avec les changements environnementaux





Mise en bouche

Objectifs

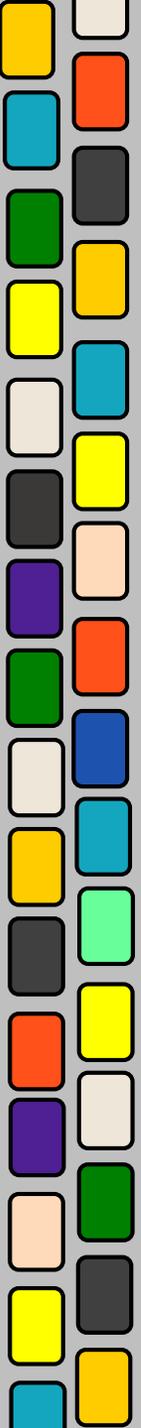
Méthodes

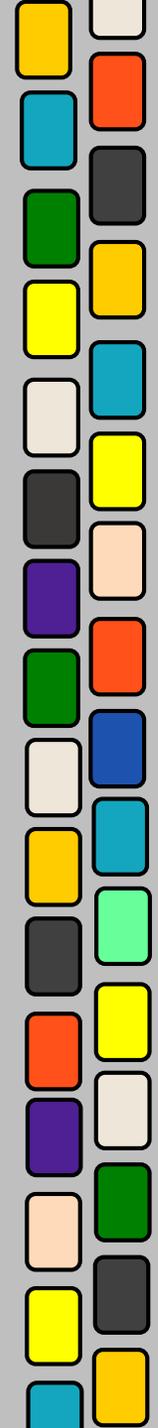
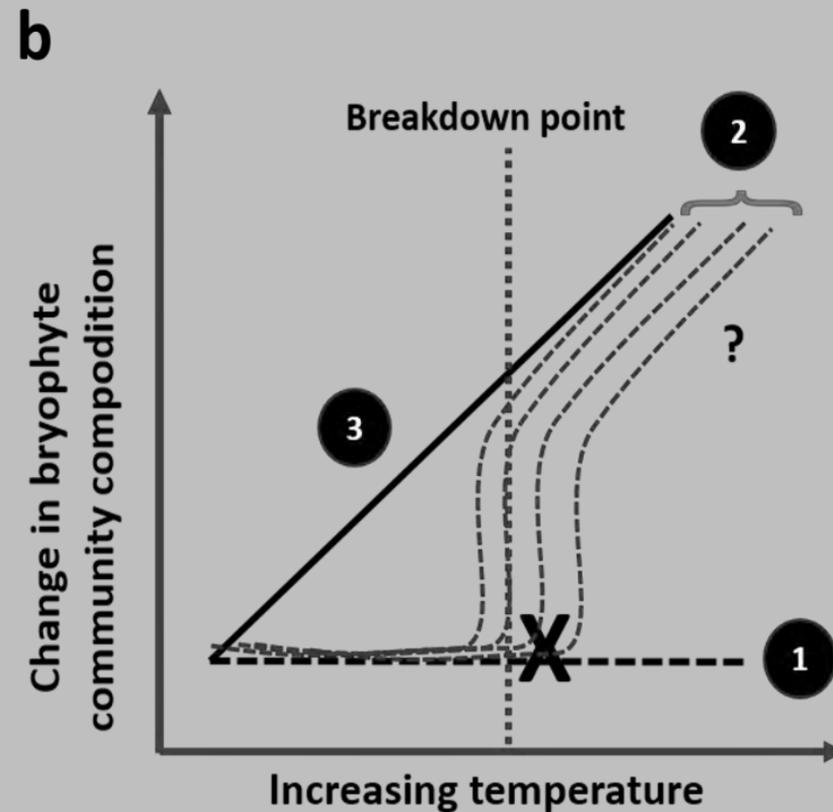
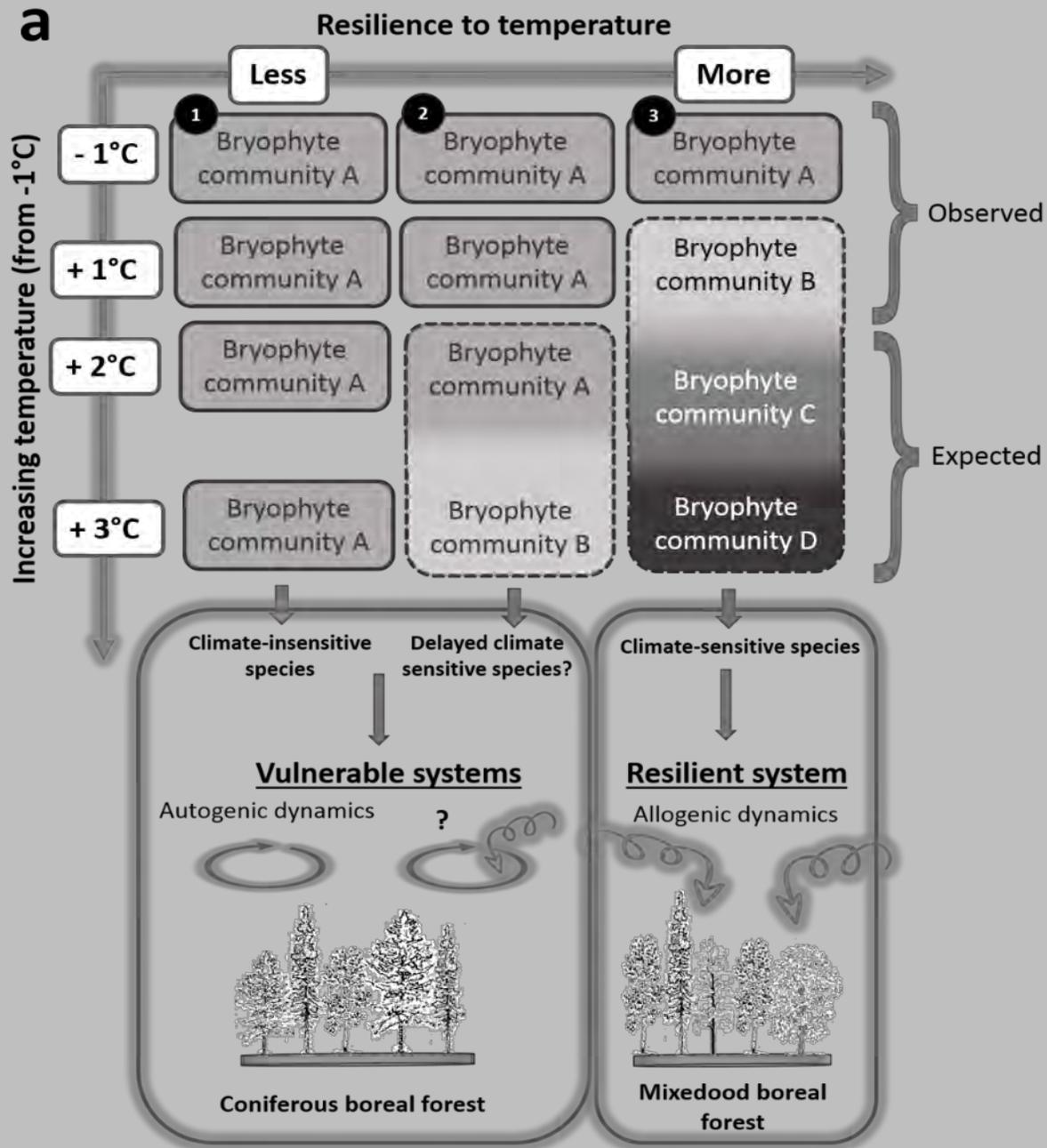
Résultats

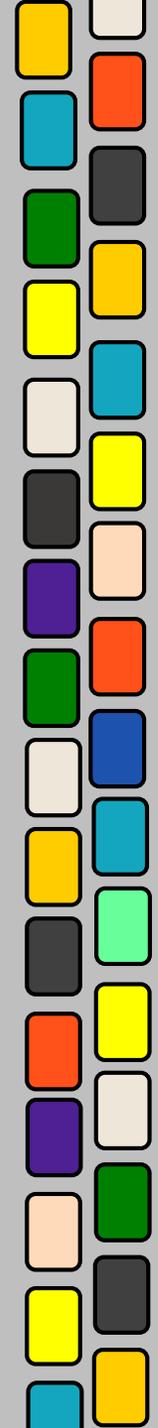
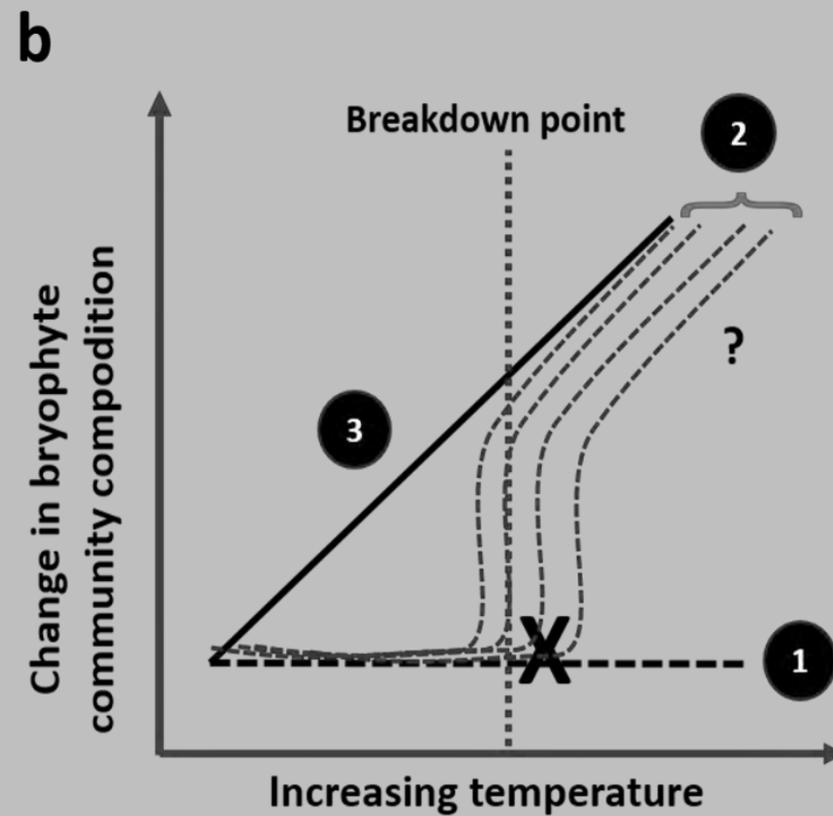
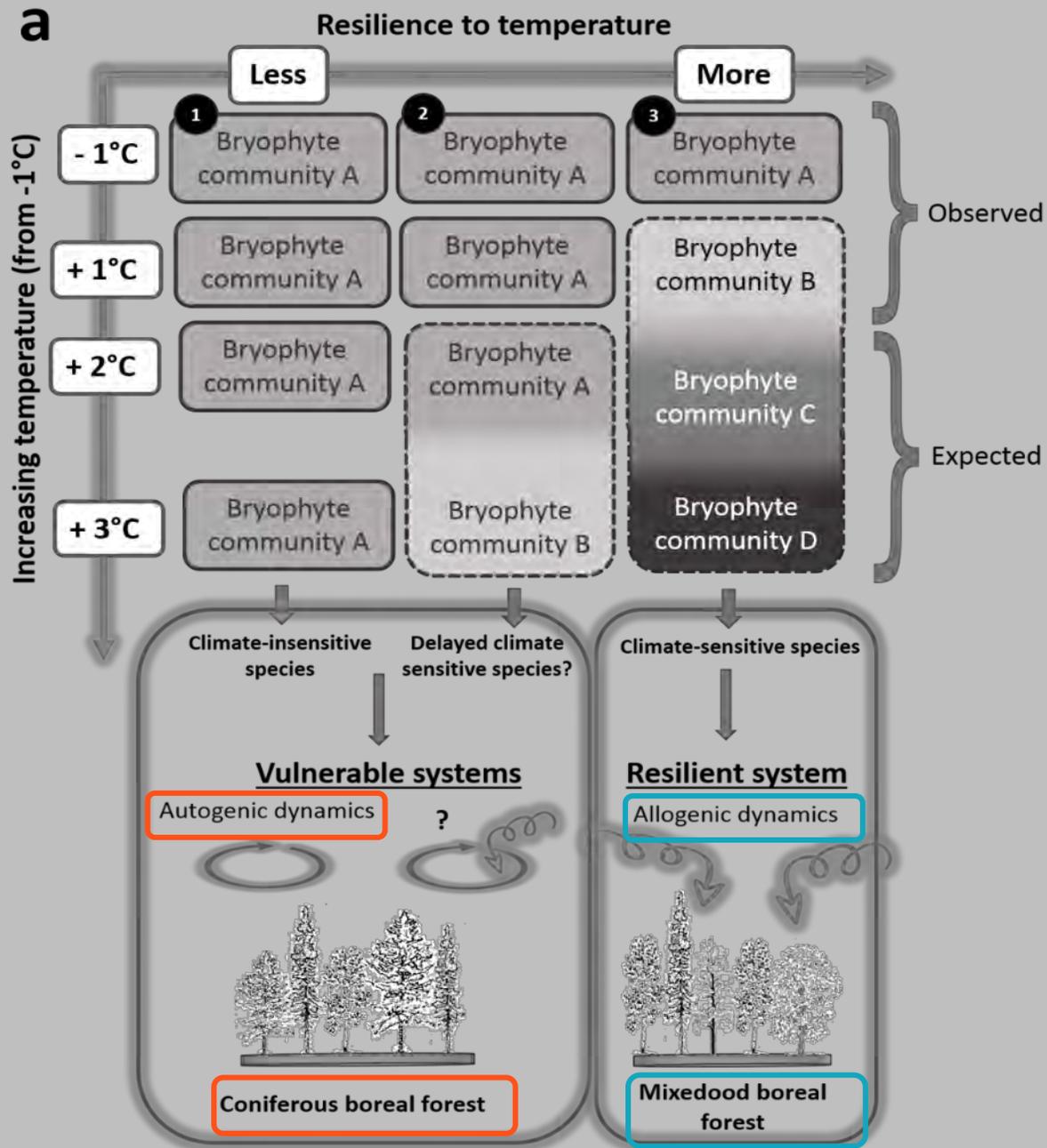
Conclusions

Perspectives

- Selon notre définition de travail de départ :
- Forêt boréale mixte = **résiliente** avec des communautés bryophytiques (corticoles) qui s'adaptent aux changements de température
- Forêt boréale coniférienne = **vulnérable** avec des communautés qui ne répondent pas aux changements de température









Mise en bouche

Objectifs

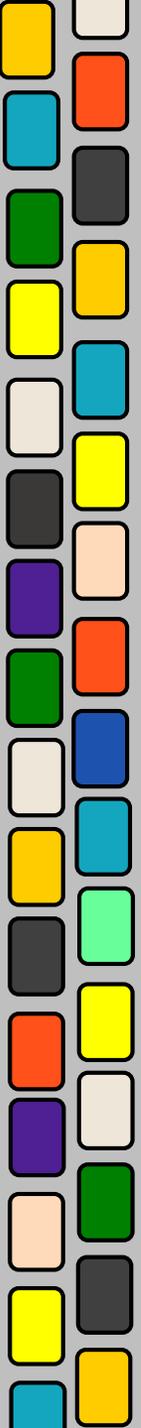
Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

- Généralisation de l'usage des bryophytes comme bioindicateurs des changements environnementaux
→ Hum...





Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

- Généralisation de l'usage des bryophytes comme bioindicateurs des changements environnementaux
 - Pas sure...
 - Communautés corticoles de forêt mixte : oui
 - Communautés de forêt de conifères : + pour modifications à l'échelle du peuplement type activités anthropiques





Mise en bouche

Objectifs

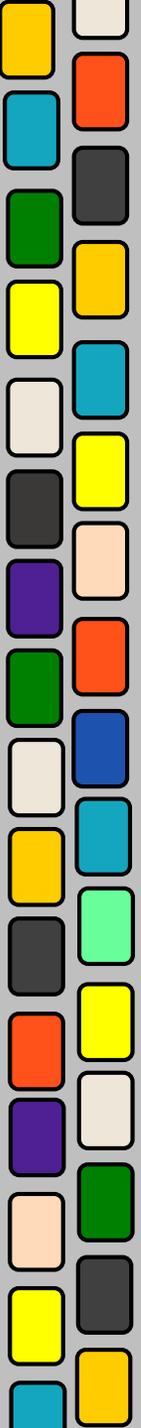
Méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

- Généralisation de la résilience de la forêt boréale
→ Hum²...





Mise en bouche

Objectifs

Méthodes

Résultats

Conclusions

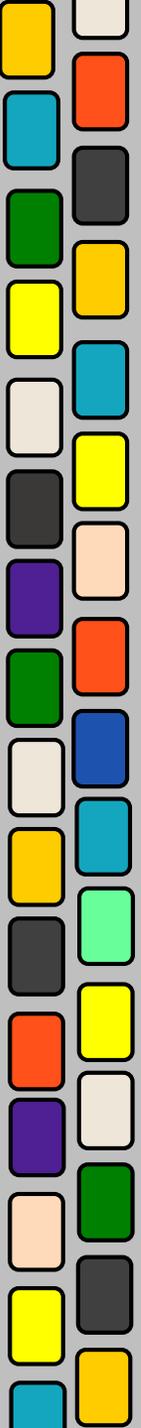
Perspectives

- Résilience de la forêt boréale aux changements environnementaux serait à la fois :

« groupe d'espèces dépendant » (arbre vs bryophytes)

&

« type de forêt dépendant » (conifère vs mixte)





Mise en bouche

Objectifs

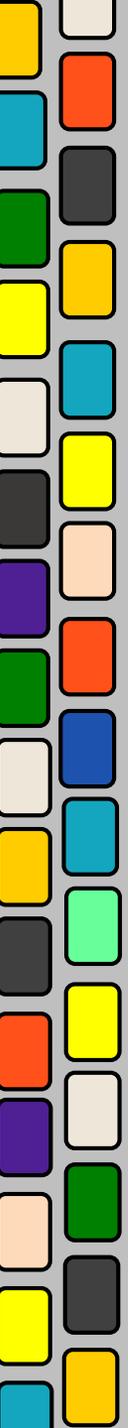
Méthodes

Résultats

Conclusions

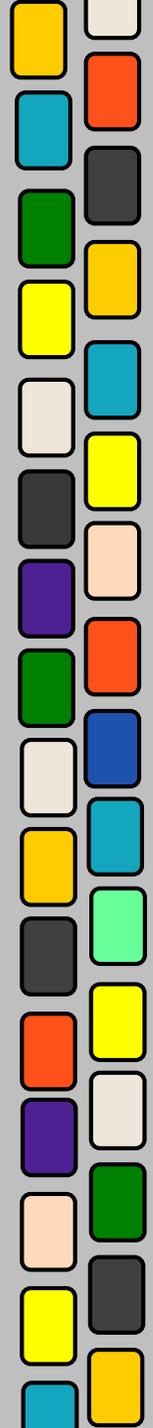
Perspectives

- Importance de l'échelle d'étude et de considérer certains attributs qui pourraient avoir une influence surprenante sur les patrons étudiés
- Investigations chez d'autres organismes et dans d'autres écosystèmes





- Remerciements : Ministère de la Faune, de la Forêt et des Parcs, MITACS, Museum Canadien de la Nature, PF Résolu
- Tous les assistants de terrain, techniciens et collaborateurs qui ont participé de près comme de loin à ce projet



Encore une fois Matt Groening l'avait prédit !

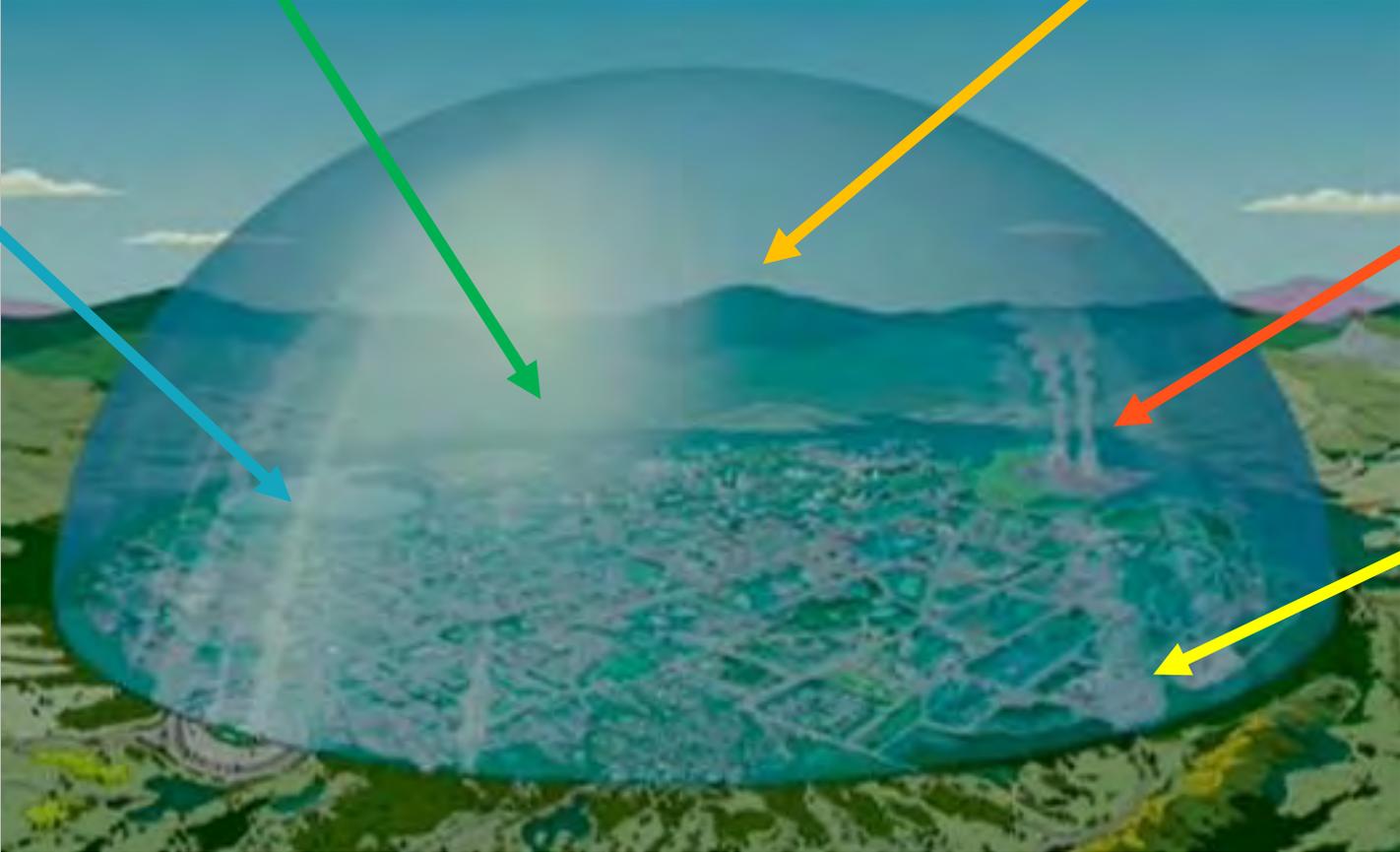


Pessière noire à mousses

Mont Chaudron

Lac Osisko

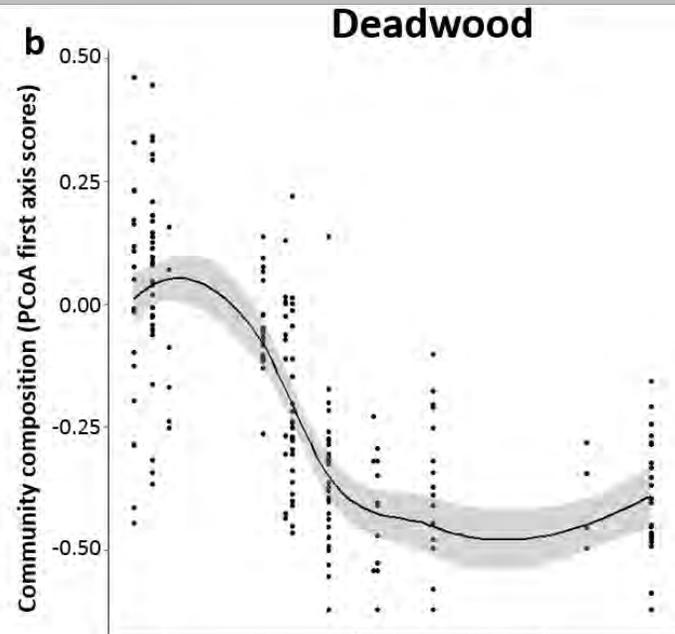
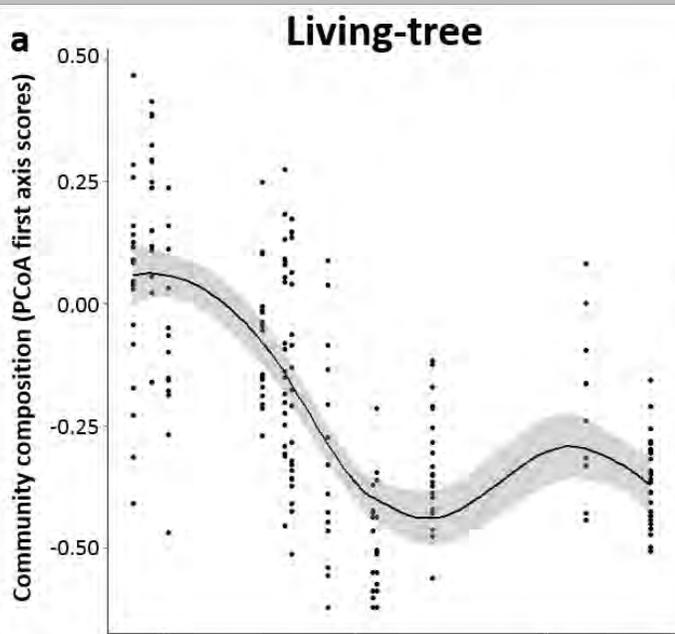
Fonderie



UQAT

Merci à tous de votre attention !

Coniferous forest



Mixedwood forest

