

IDENTIFICATION DES CONDITIONS MICROTOPOGRAPHIQUES LES PLUS FAVORABLES À LA PRÉSENCE DES ESPÈCES FORESTIÈRES DANS UN CONTEXTE DE MIGRATION

Lise Jaton (UQAT)

Oswaldo Valeria (UQAT), Yves Bergeron(UQAT) et Frédérik Doyon (UQO)

Évolutions climatiques

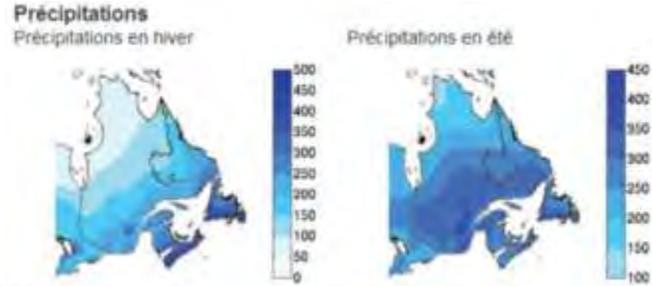
Changement climatique
(Base scénario moyen GIEC pour 2080)

Précipitations

Phénomènes extrêmes

Températures

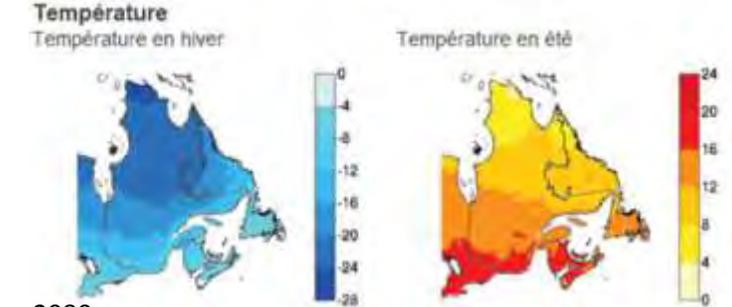
2000



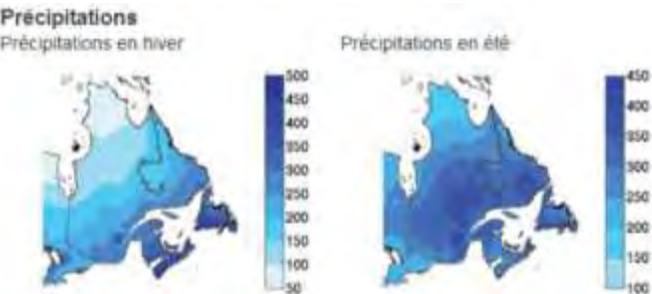
Intensités accrues
Hausse de la fréquence
Aires touchées



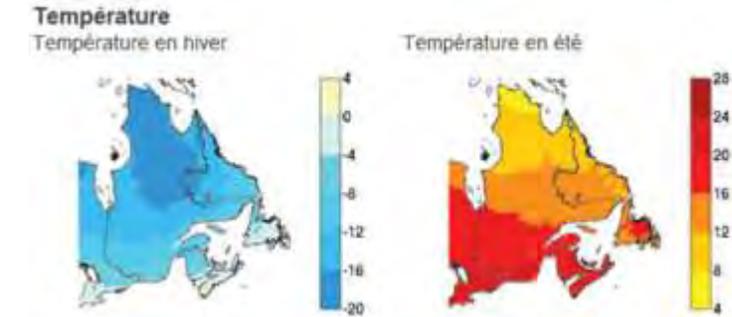
2000



2080



2080

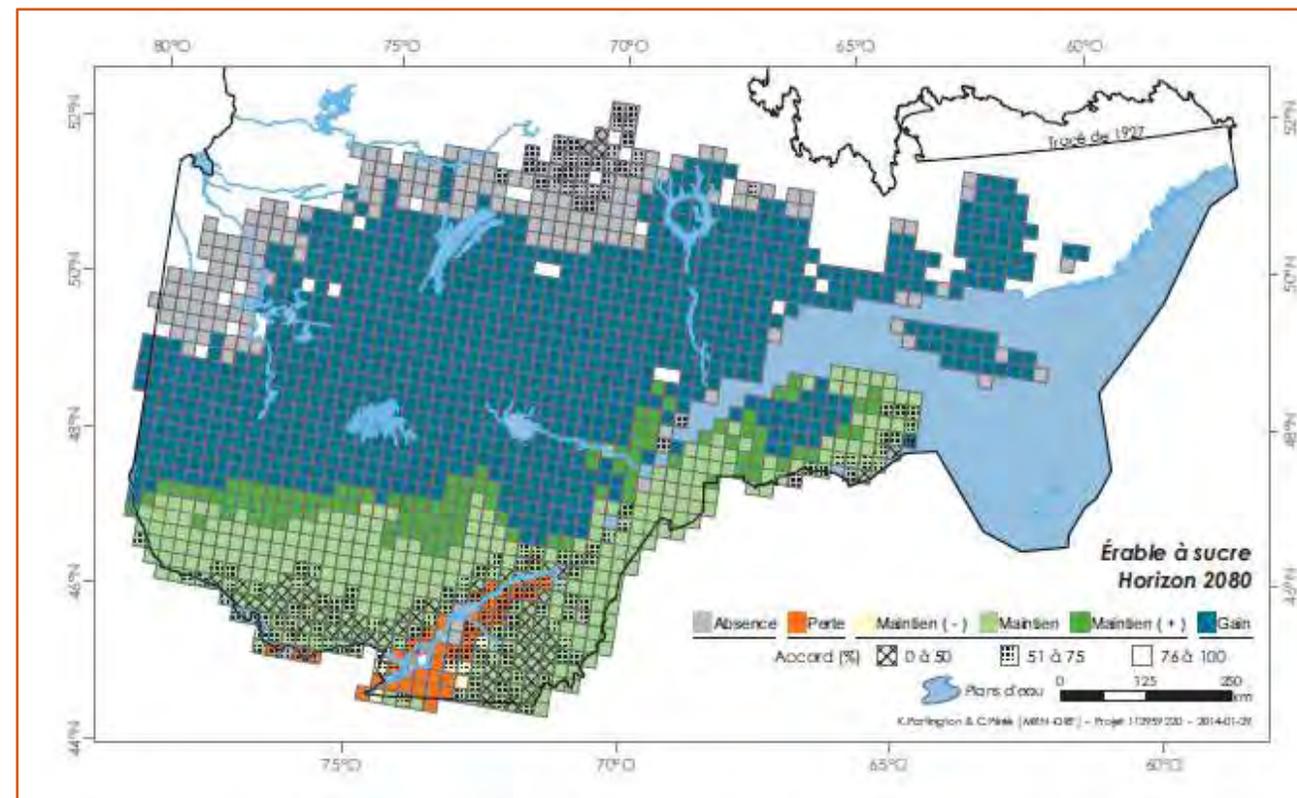


Répercussions sur

- Les processus physiologiques des individus
- Processus démographiques et les dynamiques des communautés
- Régime des perturbations naturelles

Enjeux de la modélisation

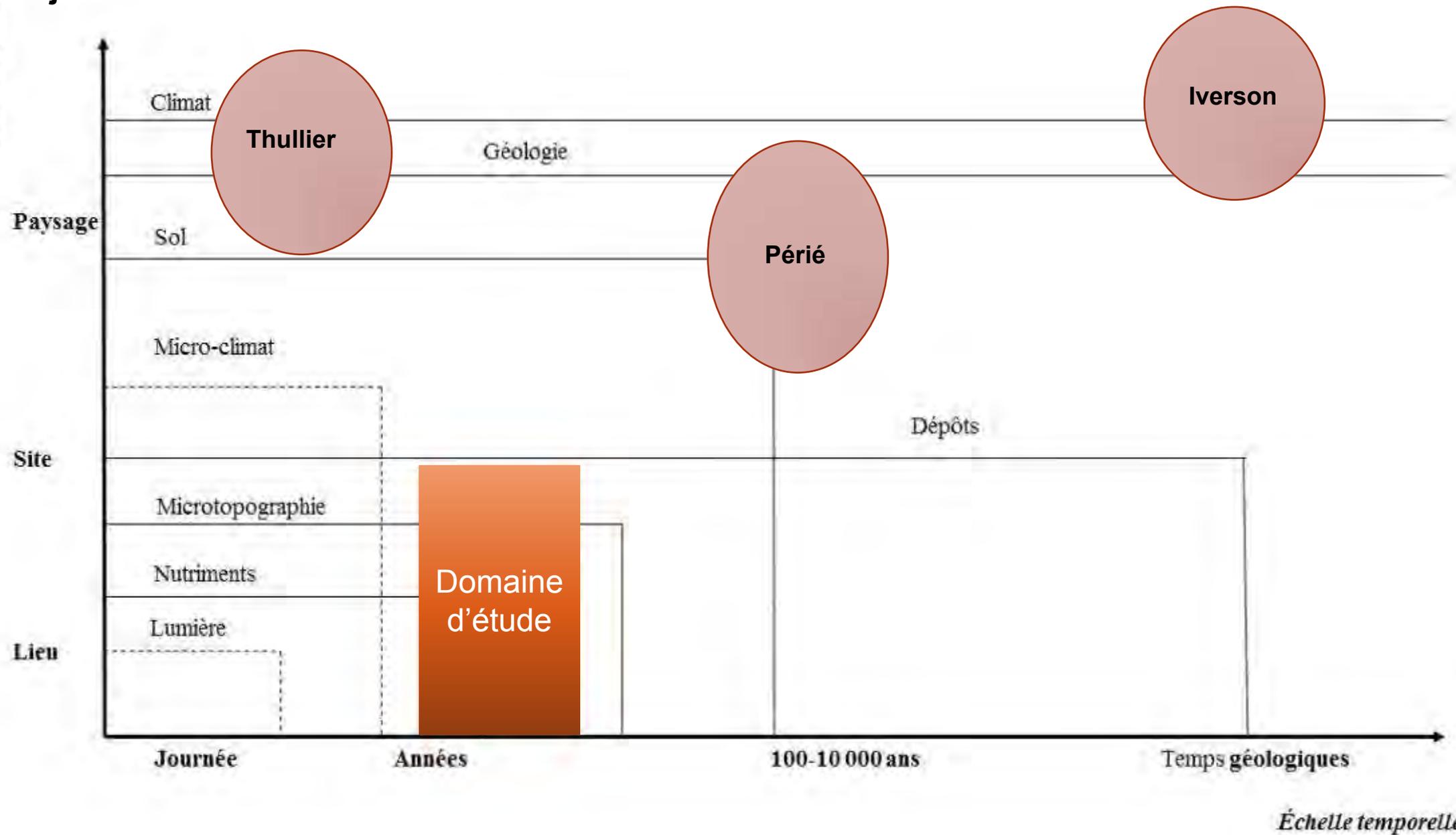
- Robustesse des modèles
- Obtention des données
- Méthodes mises en place: modèles statistiques vs mécanistiques
- Aide à la décision et mise en place de stratégies d'adaptation



Périé et al., 2014

Enjeux d'échelle

Échelle spatiale



Objectifs

- Identifier, à l'échelle de l'arbre, les facteurs abiotiques qui ont une incidence significative sur la présence de cinq espèces forestières commerciales et patrimoniales.
- Parvenir à sélectionner la résolution la plus pertinente à l'échelle de l'arbre => celle qui permet la meilleure modélisation.
- Buts:
 - Anticipation des incidences des changements climatiques sur la présence potentielle des espèces.
 - Améliorer la robustesse des modèles prédictifs en intégrant les contraintes abiotiques à différentes résolutions.

Sites d'études

- 5 espèces:



Érable rouge
Acer rubrum L



Érable à sucre
Acer saccharum Marsh



Bouleau jaune
Betula alleghaniensis Britton

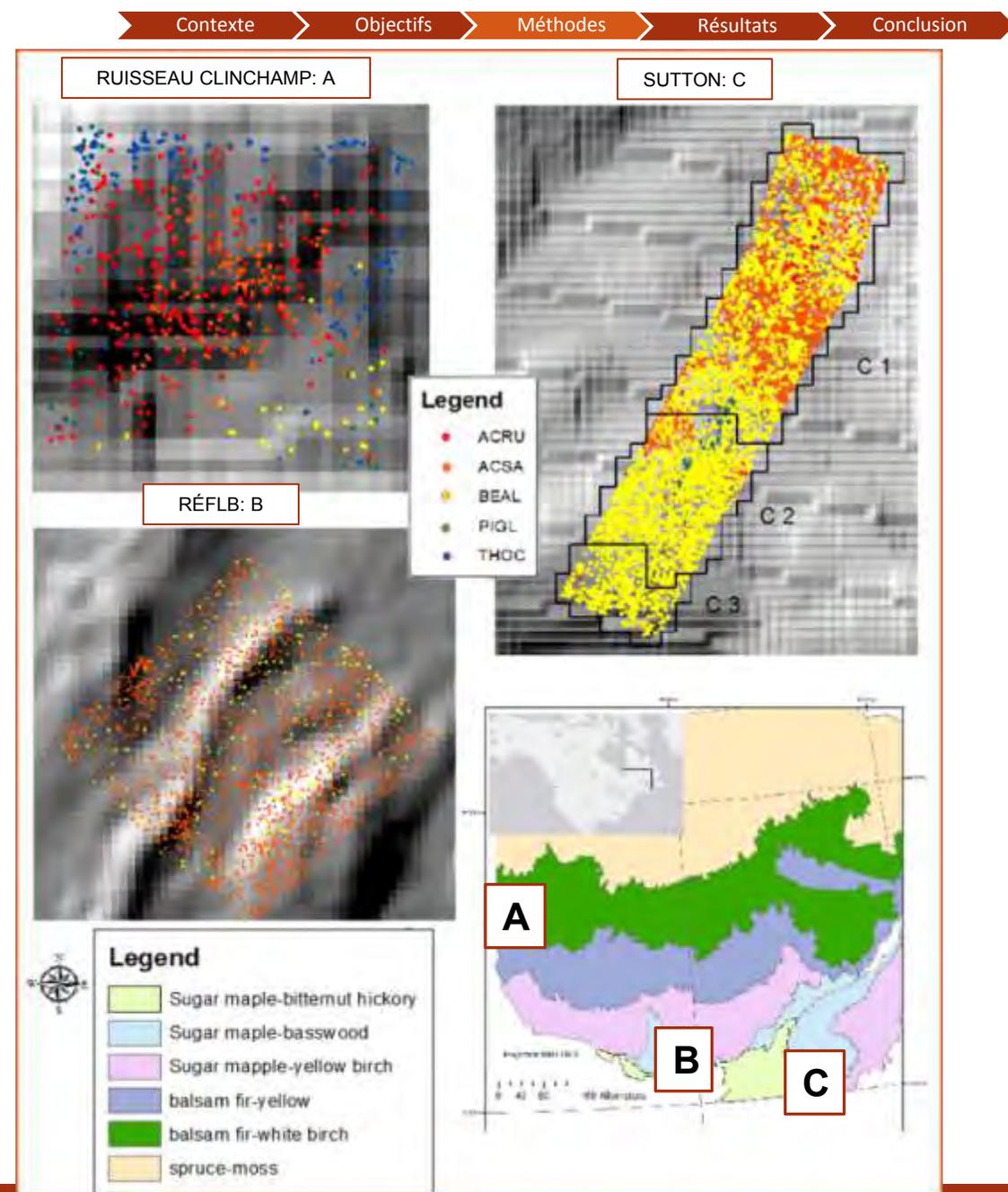


Épinette blanche
Picea glauca (Moench)



Thuja occidental
Thuja occidentalis L

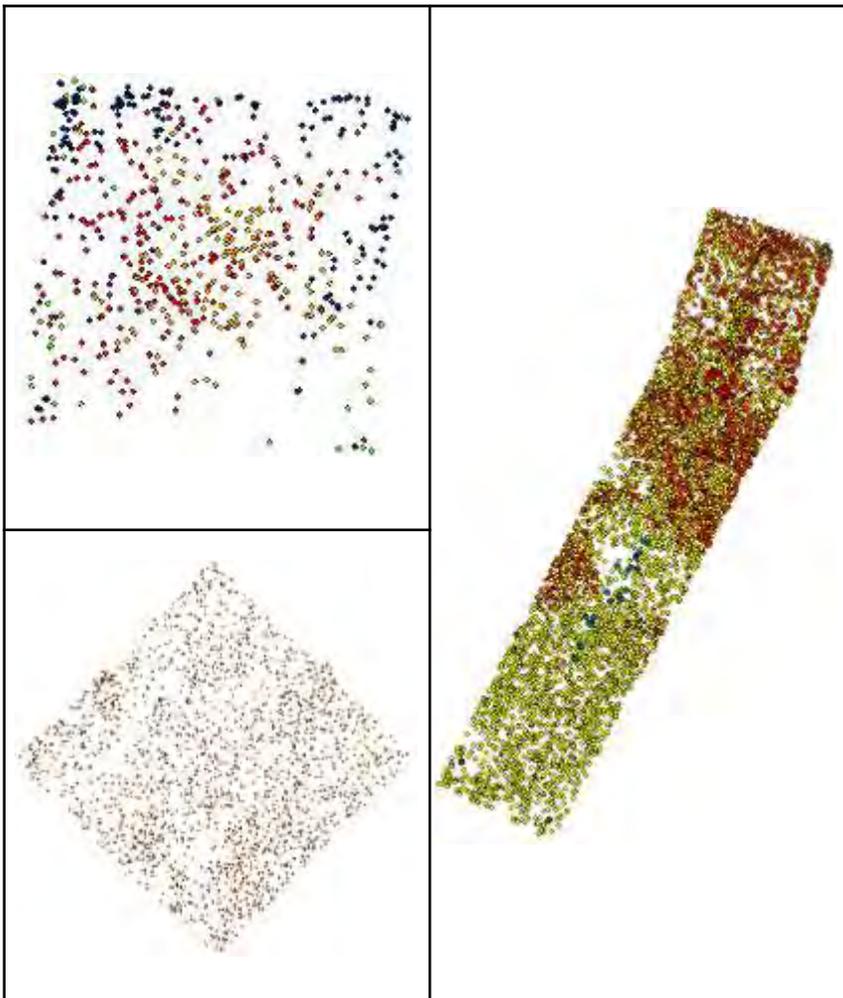
- Résolutions de pixel: 7, 14 et 28m



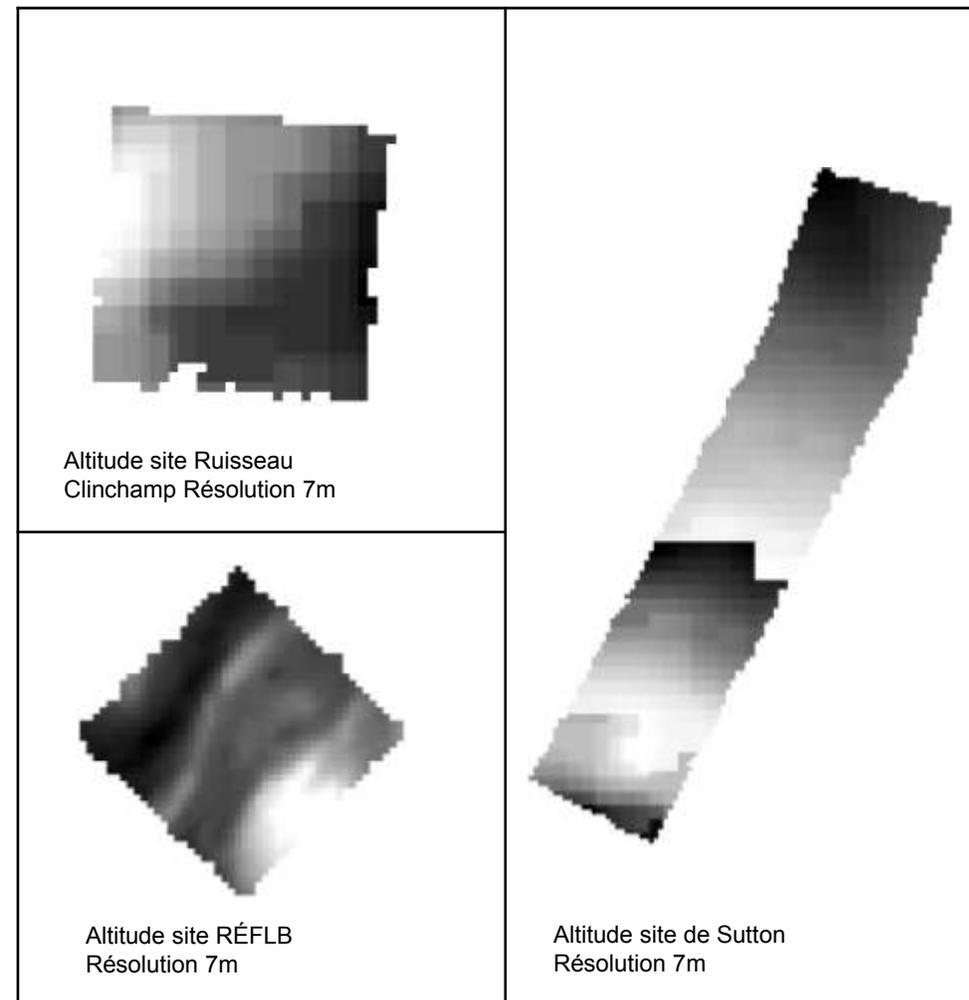
Démarches méthodologiques

Échantillonnage terrain:

Relevés systématiques des espèces forestières présentes



Modèles numériques de terrains pour les 11 facteurs microtopographiques à 3 résolutions fines

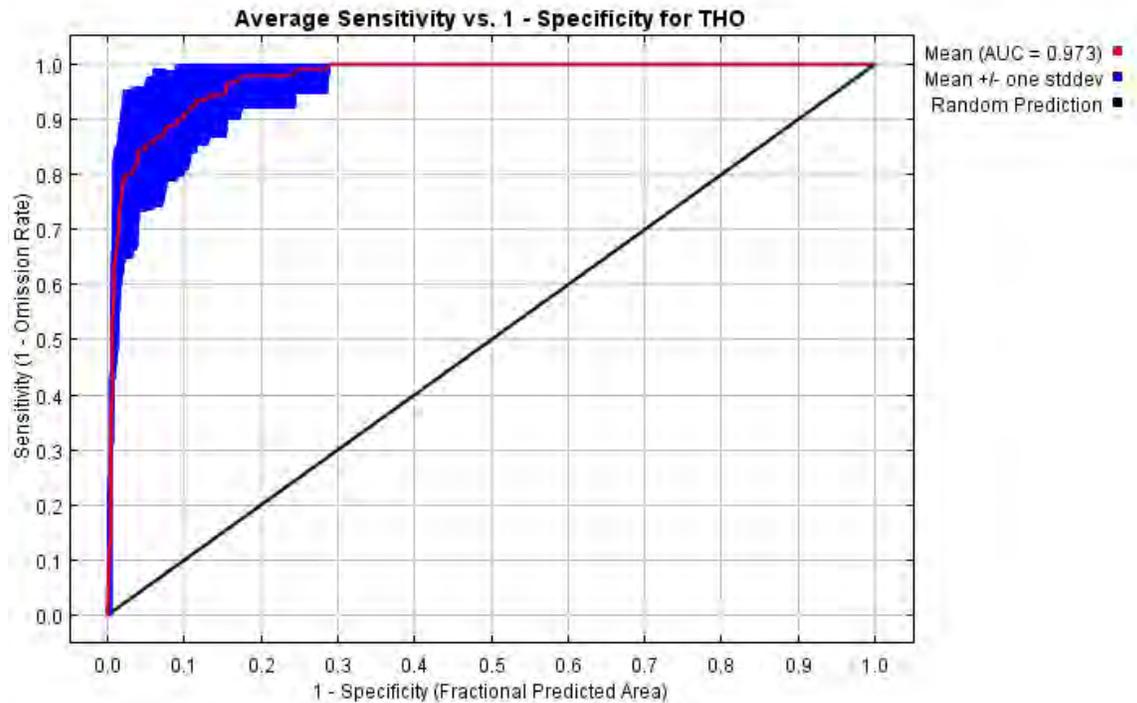


Maxent

Pour chaque site
Chaque espèce
Chaque résolution

Facteurs explicatifs permettant de caractériser les habitats
Probabilité de présence pour validation des facteurs sélectionnés.

Résultats : Aire sous la courbe

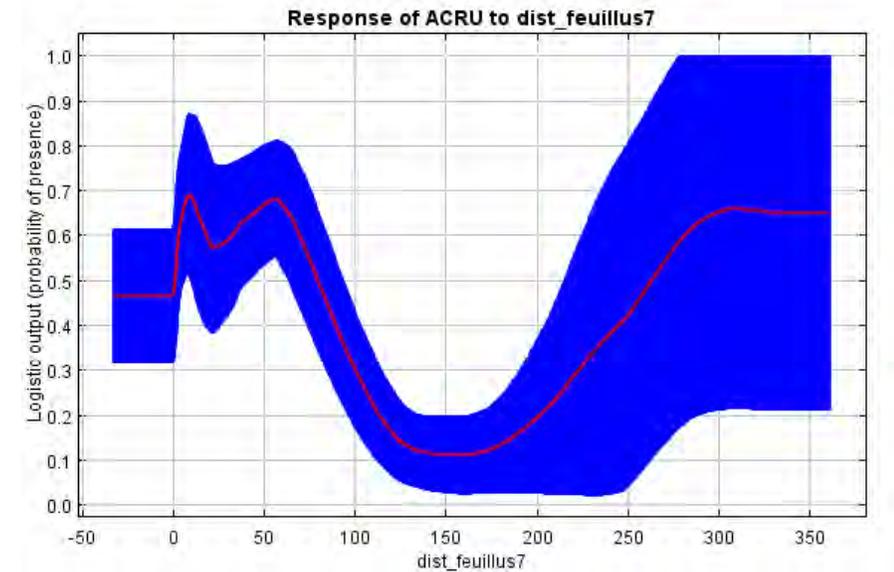
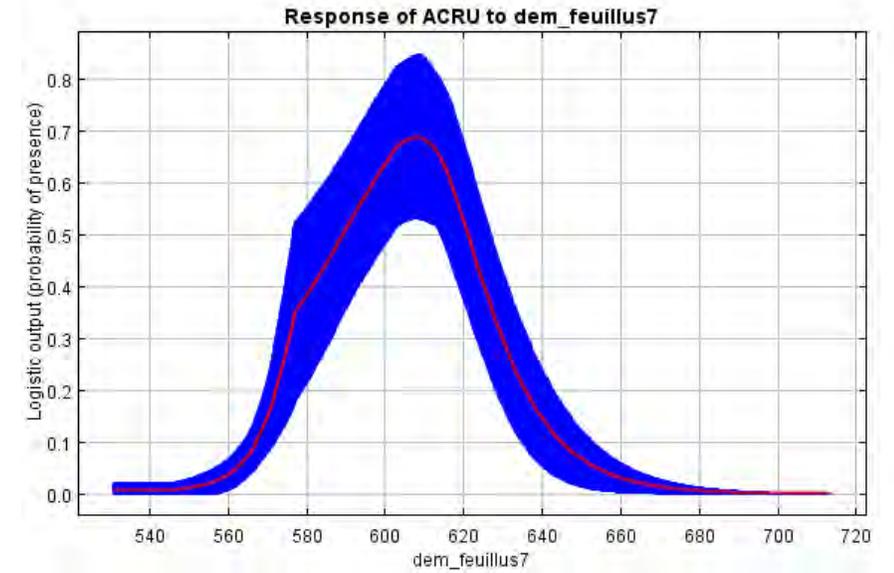
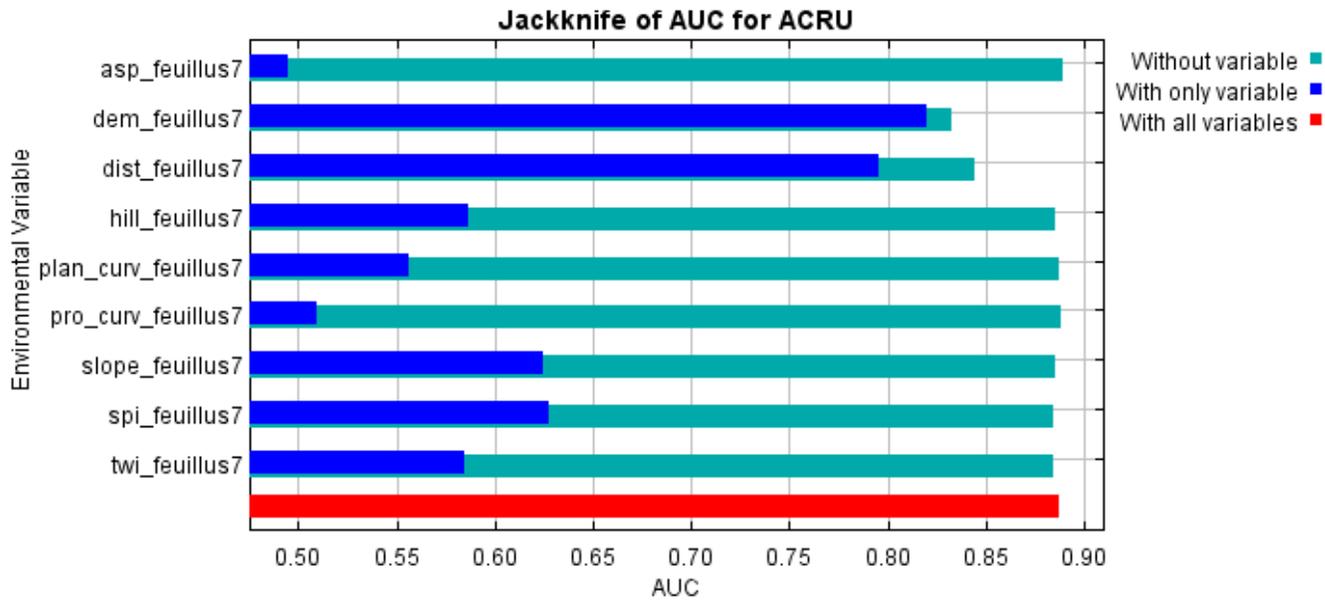


Thuya résolution 14 pour RÉFLB

- Résultats des AUC: entre 0,593 et 0,982.
- Répartition et de dominance des espèces : limite du modèle.

Résultats : Facteurs

Exemple de jackknife et de courbes réponses pour l'altitude et la distance au cours d'eau pour l'érable à sucre pour la résolution 7 dans le site de Sutton feuillus.

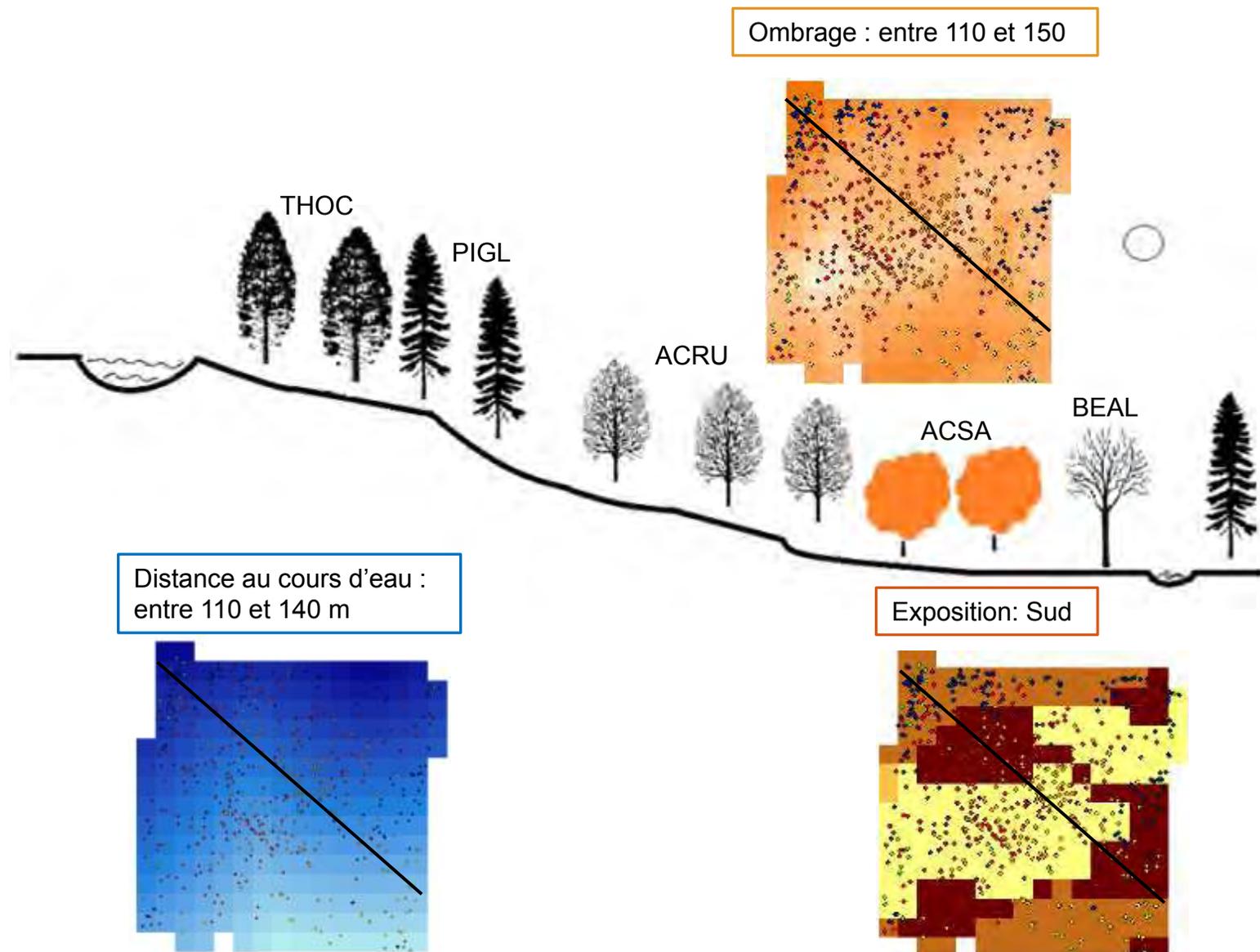


Exemple de caractérisation des habitats

- Érable à sucre
- Résolution 14m
- Ruisseau Clinchamp

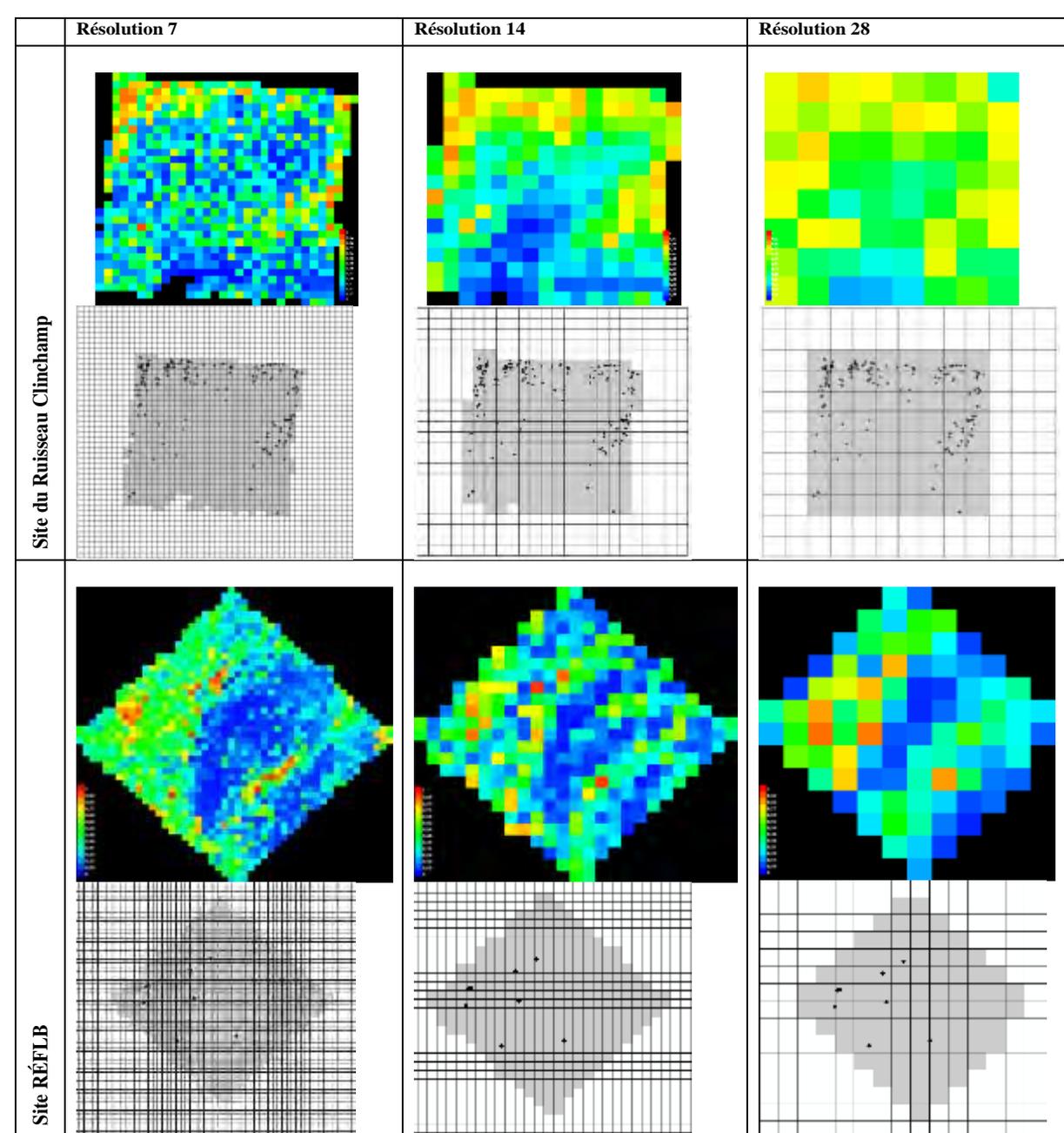
- Facteurs les plus fréquents:

altitude
 ombrage
 exposition
 distance au cours d'eau
 SPI (stream power index)
 TWI (topography wetness index)



Validation des facteurs sélectionnés

- Pour le Thuya dans les sites du Ruisseau Clinchamp et de la RÉFLB aux trois résolutions.
- Indiquent les présences potentielles du Thuya dans les pixels avec en dessous la distribution effective de l'espèce.



Les apports de l'étude

- La caractérisation des habitats potentiels pour plusieurs résolutions fines via les MNT.
- Une indication des facteurs potentiellement favorables pour les espèces selon les résolutions fines.
- La validation de la possibilité d'utiliser des MNT à des résolutions fines pour construire des cartes de présences potentielles.
- Modulation des habitats potentiellement favorables :
Enjeux des pratiques sylvicoles

Les limites de l'approche

- Portrait de la forêt à un instant t pour un stade de développement mature. Conduit à la non-prise en compte des différents processus écologiques à l'œuvre.
Améliorations possibles: prise en compte de la dimension temporelle
=> suivre le développement des semis et gaules.
- Généralisation difficile entre les différents sites. Aboutit à une étude de cas pour les trois sites.
Améliorations possibles: augmenter le nombre de sites.

Les enjeux soulevés

- Utilisation et valorisation des données existantes
 - augmentation des données disponibles
 - augmentation de la finesse des résolutions
 - augmentation des capacités d'analyses

Les problèmes:

- question de la cohérence et des méthodes mises en place pour la collecte des données
 - accessibilité des données et des modes de traitement
- Articulation entre les démarches théoriques et empiriques
 - conceptions nombreuses mais peu appliquées
 - collecte des données fines mais valable pour des sites restreints
- Intégration des dimensions spatiales et temporelles

Conclusion

- Maxent et utilisation d'un MNT: rend possible la caractérisation des habitats potentiels pour les espèces cibles.
- Le choix de la résolution a une incidence sur le choix des facteurs prépondérants mais pas de mise en avant de patrons justifiant le passage d'une résolution à une autre.
- Les principaux facteurs abiotiques qui apparaissent le plus souvent (quelque soit les sites, les espèces ou les résolutions) sont: l'altitude, l'ombrage, l'exposition, la distance au cours d'eau, le SPI et le TWI=> modulation potentielle des capacité de migration des espèces.

- Enjeux de :
 - Robustesse des modèles et anticipations des changements potentiels de répartition des espèces forestières.
 - Valorisation des données existantes

Merci pour votre Attention



UQAT
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

	Espèces	Résolution 7		Résolution 14		Résolution 28	
		Facteurs	Caractéristiques	Facteurs	Caractéristiques	Facteurs	Caractéristiques
Ruisseau Clinchamp	ACRU	DEM (0,65) distance (0,62) hillshade (0,60)	entre 385 et 395 entre 105 et 120 Entre 139 et 140	DEM (0,62) distance (0,61)	entre 387 et 388 entre 50 et 80	DEM (0,588) distance (0,555) hillshade (0,552)	Inférieur à 0,55 Inférieur à 0,55 Inférieur à 0,55
	ACSA	aspect (0,68) DEM (0,67) hillshade (0,64)	Ouest, plat, Sud entre 370 et 378 entre 80 et 170	distance (0,74) hillshade (0,70) aspect (0,67)	entre 80 et 150 entre 117 et 170 Sud	hillshade (0,71) distance (0,66) aspect (0,66)	entre 140 et 160 Entre 150 et 160 Est et Sud
	BEAL	distance (0,83) hillshade (0,80) aspect (0,78) DEM (0,76)	entre 0 et 20 entre 160 et 240 Nord et plat entre 360 et 371	distance (0,87) DEM (0,77) hillshade (0,75) aspect (0,74)	entre 170 et 210 entre 362 et 372 entre 110 et 220 Est et Nord	distance (0,85) DEM (0,80) Plan_curv	entre 180 et 240m entre 365 et 373 concave
	PIGL	DEM (0,68) distance (0,67)	entre 367 et 370et entre 382 et 385 inférieur à 0,55	DEM (0,67) slope (0,66)	entre 386 et 389 inférieur à 0,55	distance (0,66) hillshade (0,66)	220m Inférieur à 0,55
	THOC	DEM (0,66) distance (0,64) hillshade (0,60)	entre 365 et 369 et entre 390 et 394 inférieur à 0,55 entre 205 et 220	distance (0,71)	entre 25 et 49	distance (0,64) hillshade (0,575) Plan_curv (0,57)	Entre 20 et 39 140 inférieur à 0,55
RÉFLB	ACRU	slope (0,84) TWI (0,80) SPI (0,70) hillshade (0,70)	inférieur à 0,55 entre 8 et 13 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	slope (0,75) Plan_curv (0,64) SPI (0,64) Hillshade (0,63)	entre 0 et 1,5 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	DEM (0,76) slope (0,69) distance (0,63)	Entre 149 et 152 inférieur à 0,55 Entre 260 et 280
	ACSA	DEM (0,535) pro_curv (0,527)	166 inférieur à 0,55	TWI (0,516) slope (0,512)	inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	TWI (0,516) aspect (0,513)	inférieure à 0,55 inférieur à 0,55
	BEAL	SPI (0,542) DEM (0,54) hillshade (0,535)	négatif entre 150 et 151 entre 138 et 145, 168 et 181, 198et 240	hillshade(0,545) TWI(0,541) Slope (0,54)	Entre 205 et 230 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	DEM (0,523) slope (0,521)	inférieur à 0,55 inférieur à 0,55
	THOC	TWI (0,75) distance (0,64) slope (0,61)	entre 2 et 4 inférieur en 0,55 inférieur à 0,55	SPI (0,76) Pro_curv(0,75) slope (0,71) DEM	positif inférieur à 0,55 inférieur à 0,55 Entre 148 et 152	DEM (0,75) SPI (0,65) Slope (0,60)	entre 148 et 154 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55

	espèces	Résolution 7 Facteurs	Caractéristiques	Résolution 14 Facteurs	Caractéristiques	Résolution 28 Facteurs	Caractéristiques
Sutton Feuillus	ACRU	DEM (0,82) distance (0,80)	Entre 590 et 620 entre 0 et 75 et 270 et 350	distance (0,75) DEM (0,75)	entre 0 et 100 et entre 300 et 350 entre 575 et 620	DEM (0,73) distance (0,65) SPI (0,63)	entre 590 et 615 entre 75 et 150 et 250 et 375 négatif
	ACSA	DEM (0,572) distance (0,569)	entre 530 et 550 et 620 et 670 entre 310 et 360	distance (0,541) DEM (0,541)	entre 325 et 375 entre 550 et 560	hillshade (0,529) DEM (0,529) SPI (0,518)	entre 224 et 225 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55
	BEAL	DEM (0,561) distance (0,549)	inférieur à 0,55 entre 0 et 20	slope (0,52) SPI (0,517) DEM (0,513)	entre 25 et 27 négatif inférieur à 0,55	hillshade (0,518) TWI (0,515)	entre 225 et 235 inférieur à 0,55
	PIGL	DEM (0,86) SPI (0,72) distance (0,72)	entre 540 et 610 et 680 et 690 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	DEM (0,72) TWI (0,63)	entre 540 et 610 entre 3 et 5	distance (0,73) pro_curv (0,67) DEM (0,67)	entre 80 et 375 Concave et convexe entre 540 et 640
Sutton mixte	ACSA	DEM (0,78) hillshade (0,67) distance (0,65) SPI (0,65)	entre 670 et 720 entre 120 et 260 entre 230 et 345 positif	DEM (0,74) hillshade(0,66) slope (0,65)	entre 698 et 719 entre 180 et 240 entre 17 et 28	DEM (0,70) hillshade (0,62) slope (0,62)	entre 680 et 720 entre 160 et 195 entre 23 et 25
	BEAL	DEM (0,544) Hillshade (0,528)	inférieur à 0,55 Entre 100 et 160 et entre 240 et 260	hillshade (0,510) DEM (0,508) plan_curv (0,508)	entre 230 et 240 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	distance (0,525) aspect (0,515)	inférieur à 0,55 inférieur à 0,55
	PIGL	DEM (0,78) SPI(0,73) TWI (0,72)	entre 675 et 710 positif entre 2 et 4	SPI (0,79) DEM (0,78) slope (0,78)	positif entre 680 et 700 inférieur à 0,55	hillshade (0,76) DEM (0,76) TWI (0,75) slope (0,74)	entre 185 et 199 entre 680 et 710 entre 3,5 et 8 entre 8 et 20
Sutton dominant ce résineux	BEAL	hillshade (0,55) TWI (0,52) DEM (0,517)	inférieur à 0,55 inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	DEM (0,520) distance (0,513)	inférieur à 0,55 inférieur à 0,55	pro_curv (0,528) distance (0,518) plan_curv (0,517)	inférieur à 0,55 entre 340 et 365 plat

Définition des facteurs

Facteurs	Codes*	Description et Source	Catégories				
Courbure	curv	Décrit les caractéristiques physiques d'un bassin de drainage.	1 : Concave	2 : Convexe	3 : Plat		
Courbure longitudinale	pro_curv	Détermine la direction de la pente maximale	1 : Concave	2 : Convexe	3 : Plat		
Courbure transversale	plan_curv	Détermine la direction de la pente perpendiculaire	1 : Concave	2 : Convexe	3 : Plat		
Pente	slope	Pente en degrés (Brown, 1994 ; Pinder et al. 1997 , Pfeffer et al. 2003)	<5 : très faible	<20 : faible	<40 : modérée	< 60 : forte	>60 très forte
Topographic Position Index	tpi	Compare l'altitude de chaque cellule à l'altitude moyenne du voisinage immédiat de la cellule (Jenness, 2006 ; Burnett et al. 1998 , Jumpponen et al. 1999)	+ monticule	- creux	0 plat		
Topography Wetness Index	twi	Capacité des cellules à accumuler de l'eau (Seibert et al. 2007 ; Sørensen et al. 2006)	<13: très faible	<40 modéré	40 à 73 fort		
Stream Power Index	spi	Mesure le pouvoir érosif des cours d'eaux (Burrough et al. 1998)	+ forte	- faible			
Ombrage	hill	Indique la quantité de lumière potentiellement reçue (Iverson et al. 1997 ; Tatsuhara and Antatsu, 2007)	<51 : très faible	<102 : faible	<153 : modéré	<204 : forte,	<255 très forte
Distance au cours d'eau	dist	Distance (m) euclidienne au cours d'eau le plus proche	<100 : très proche	<200 : proche	<300 : éloigné	>300 : très éloigné	
Altitude	dem	L'altitude (m) est fréquemment utilisée dans la modélisation de la distribution (Iverson et al. 2008 ; Périé et al. 2012 ; Chambers et al. 2013 ; Guisan et al. 1999 ; Hörsch, 2003)	<150 : très faible	<300 : faible	< 450 : modéré	< 600 : forte	>600 très forte
Exposition	asp	Direction de la pente descendante et du taux de variation maximal entre les cellules voisines. Corrélé à la température au sol (Lookingbill and Urban, 2003 ; Chuanyan et al. 2005 ; Ashcroft et al. 2007)	0 et 67,5 et 292,5 à 360 : Nord	112,5 et 247,5 : Sud	247,5 et 292,5 : Ouest	67,5 et 112,5 : Est Sinon : Plat	

- Dans le cadre de ce projet:

Modélisation de la niche fondamentale potentielle

=meilleure connaissance des facteurs abiotiques via les MNT

=question biotique: question centrale: comment caractériser les relations entre les espèces

= question de la caractérisation des processus écologique: manque de données nécessaires

Concept de niche

G: aire géographique étudiée

A: aire géographique regroupant les conditions abiotiques: niche fondamentale

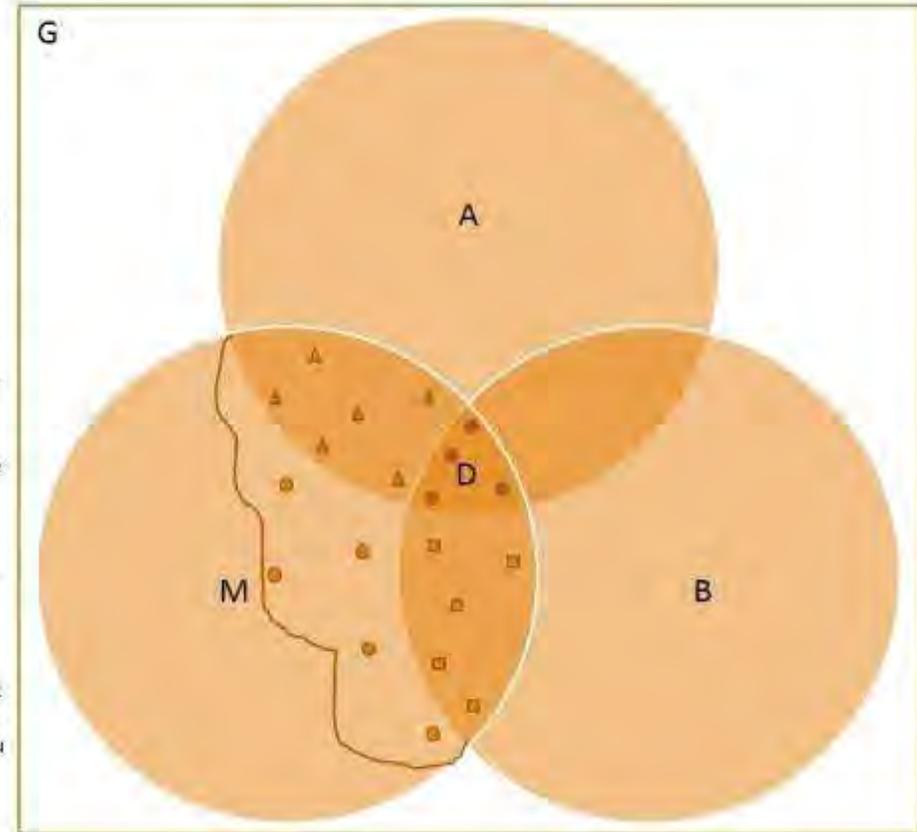
B: aire géographique où l'espèce cohabite avec d'autres espèces (facilitation et /ou compétition)
Niche réalisée= $A \cap B$ en hachuré

M: aire géographique colonisée ou colonisable par l'espèce (pas notion de qualité de l'habitat)

D est l'aire géographique potentielle de l'espèce (condition biotiques et abiotiques disponibles pour l'espèce).
Espèce est observée dans une population source (cercles pleins)

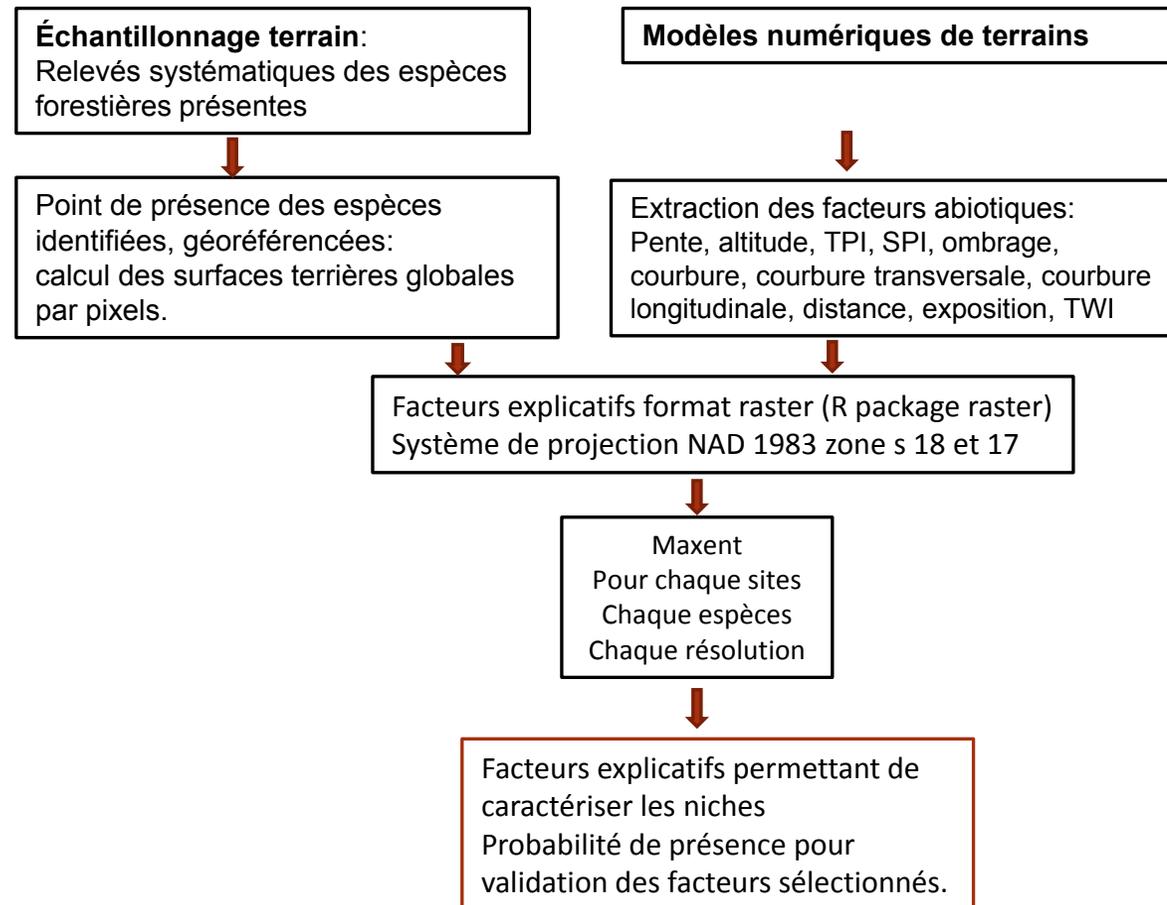
Triangles ou carrés: présence de populations puits (maintien grâce à la population source car facteur abiotiques et biotiques ne sont pas optimum)

Zone délimitée par le trait correspond à l'habitat potentiel de l'espèce (tenant compte du taux de croissance de la population et de l'ajustement du modèle de niche écologique.



Démarches méthodologiques:

- Travail sur la présence absence en intégrant les contraintes environnementales
- Permet de définir les facteurs explicatifs (sans proposer de modèles a priori)
- Permet d'obtenir des AUC et les cartes de probabilité de présence potentielle des espèces avec des marges d'erreur



Le choix de la méthode et la paramétrisation de MAXENT

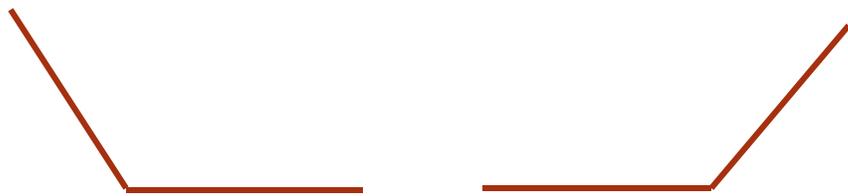
- Maxent: maximisation de l'entropie et mise en évidence des facteurs susceptibles de représenter une plus forte contrainte sur la présence des espèces
- Bootstrap: réduction des biais statistiques liés au faible nombre de répliques.
- Jackknifes: classer les facteurs par ordre d'importance dans le modèle. Contribution et quantité d'information disponible dans le facteur.
- Courbes réponses : caractériser plus précisément les niches fondamentales les plus susceptibles d'être favorables à la présence des espèces étudiées.
- Les cartes projection de présence potentielle: efficacité du modèle en terme de capacité à prédire la présence de l'espèce.

- Vérification de la corrélation.
- Pour les couples de données corrélés :

Traitement AFMD pour conserver les facteurs explicatifs avec le plus d'incidence sur la présence des espèces avec normalisation pour les facteurs quantitatifs

- Paramètres pour le modèle Maxent

= forme courbe hinge (effet seuil):

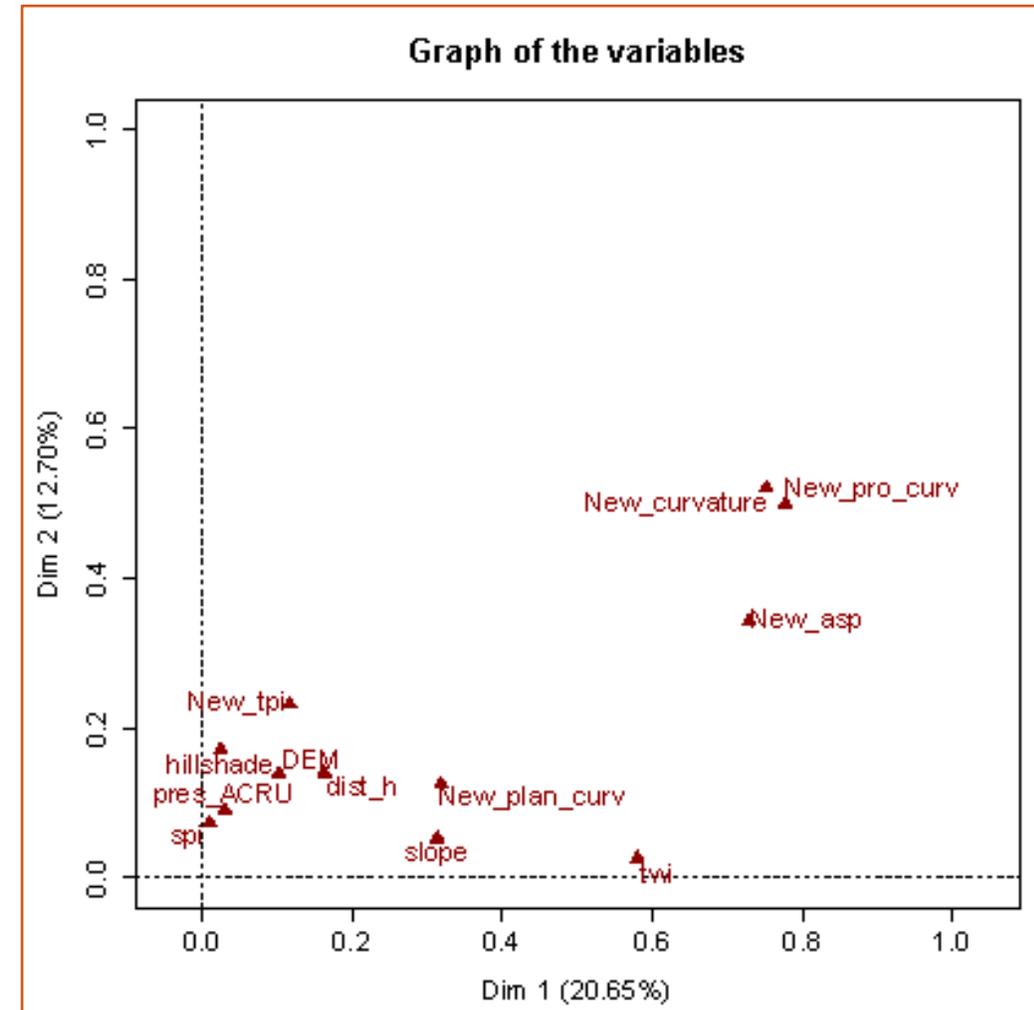


= modèle de validation bootstrap: 25 % des données conservées pour la validation

= création 10000 points aléatoires

= 15 répliques

= 5000 itérations



Corrélation entre **curv** et **pro_curv**

Choix de la paramétrisation

Type	Description en relation avec les facteurs environnementaux	Interprétation écologique de la contrainte
Linear	Le facteur lui même	La moyenne des facteurs représente les conditions moyennes de présence des espèces
Quadratic	Facteur au carré	
Product	Produit de 2 facteurs	La variation d'un facteur a une incidence sur le second. Il y a une interaction entre les deux facteurs.
Threshold 	Une fonction de type marche: permet de prendre en compte les variations suite au nœud. Équivalent piecewise constant spline	Possibilité d'ajuster avec des seuils pour chaque variables et d'intégrer cela au modèle.
Hinge 	Similaire à threshold mais avec une pente positive ou négative suite au nœud. Équivalent à piecewise linear spline	Un modèle utilisant seulement hinge correspond à piecewise linear response.

L'intégration des échelles à l'analyse

- Plus qu'une question d'échelle, une question de résolution
- Manière dont ont été construite l'analyse: traiter de manière séparée. La question de la résolution n'est pas directement intégrée dans le modèle. Chaque résolution est traitée séparément. Les analyses ne peuvent être faites qu'a posteriori.

Observations

- ⇒ Bon résultats pour les AUC globales pour l'ensemble des résolutions
- ⇒ Variation des facteurs importants en fonction des résolutions mais apparemment pas de patrons.
- Question des méthodes d'intégration des résolutions et pas pour une analyse a posteriori.

Base théorique:
Étude de la variance
résiduelle

Base théorique:
Systèmes complexes et
propriétés émergentes

