



# **Diversité des coléoptères en forêt boréale : influence du type d'hétérogénéité de l'habitat et de l'échelle spatiale**

**JANSSEN P. (U. Laval),  
FORTIN D. (U. Laval) & C. HEBERT (CFL)**

**134<sup>ème</sup> réunion annuel de la SEQ**

**25-26 octobre 2007, Le Manoir du Lac Delage, Québec**

# Introduction



CCMF, 1995, 2003; CSNF, 1998, 2003; Ministère des Ressources Naturelles, 1996; Nilsson et al., 2005



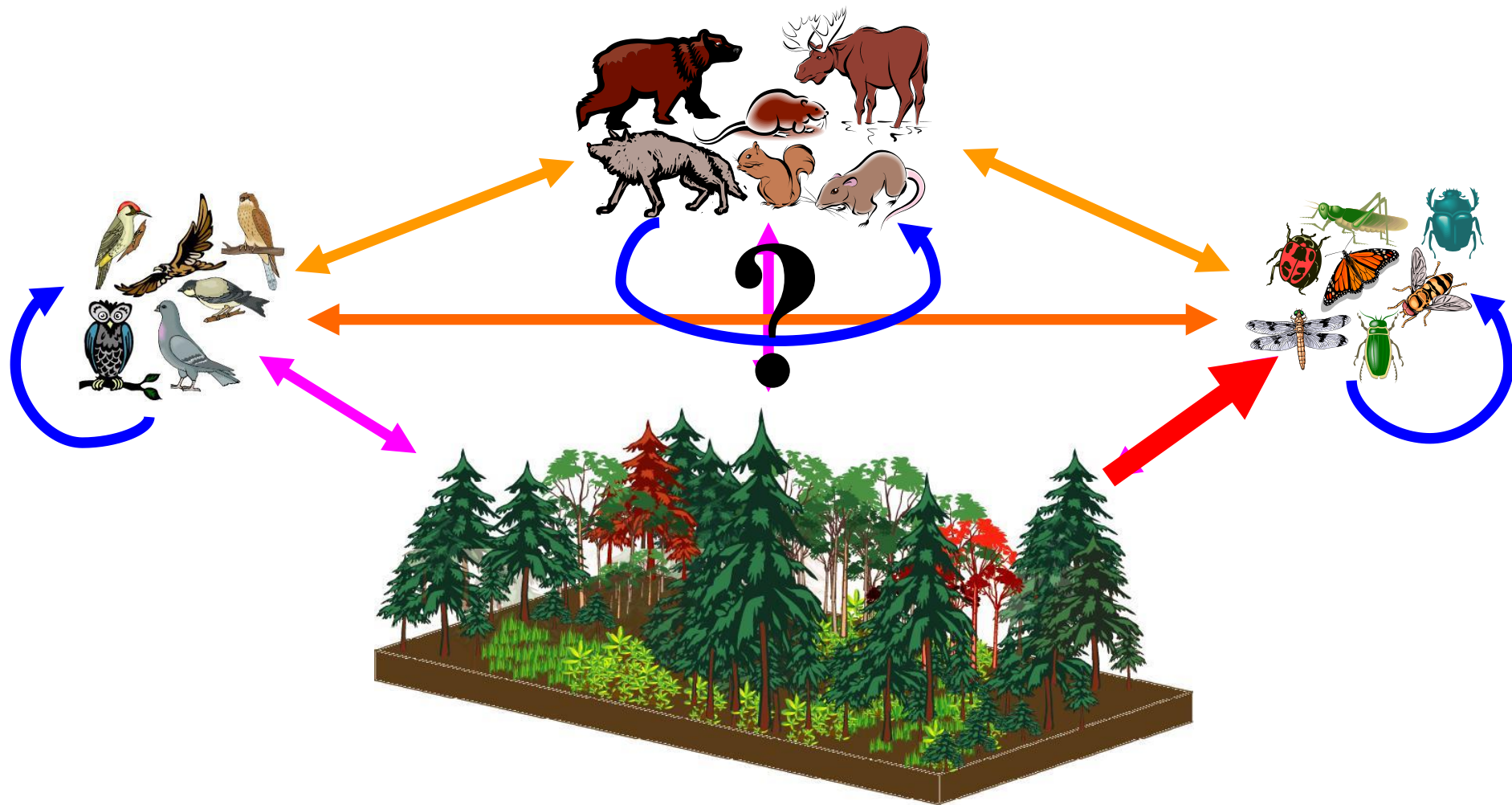
Modes de gestion recherchent la multifonctionnalité des écosystèmes :  
**approche écosystémique = s'inspirer des perturbations naturelles**



*Rauscher, 1999; Rapport Coulombe, 2004; Gareau, 2005*



# Introduction



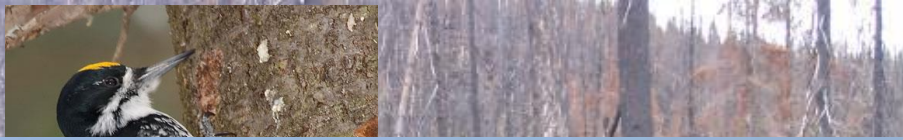
*Nilsson et al., 2001; Thompson et al., 2003*



## Comprendre dans quelle mesure l'hétérogénéité de l'habitat et l'échelle spatiale influencent la richesse en coléoptères

- Quelle est la diversité des coléoptères de la Côte-Nord?
- Existe-il un type d'hétérogénéité qui influence davantage la richesse ?
- En considération du modèle d'étude la prise en compte de l'échelle du paysage est-elle pertinente, si c'est le cas, existe-t-il une échelle préférentielle ?





- un des plus grand biome au monde;
- source d'habitats originaux;
- riche d'une biodiversité singulière;
- exploitée intensivement.



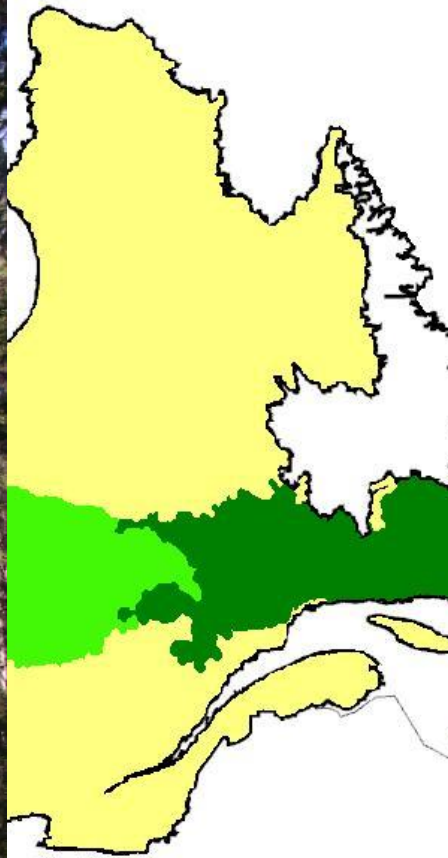
*Esseen et al., 1992; Haila, 1994; Niemelä, 1997; Larsson et Kjell, 2001; Simberloff, 2001; Haila et al., 2002; Florin et al., 2002; Kenoff, 2004; Haila et al., 2005*



## Pessière à mousses de l'Ouest



Forêt de structure régulière



## Pessière à mousses de l'Est



Forêt de structure irrégulière

Bergeron et al., 2003; Pothier et al., 2004





Terrain favorable à une **meilleure compréhension** des **facteurs**  
qui **modulent** les **patrons de biodiversité** en forêt.

*Nilsson et al., 2001; Thompson et al., 2003*





Insectes = 80% de la diversité animale.

Coléoptères groupe d'organismes:

- le mieux représenté en forêt;
- le plus diversifié;
- le mieux connu.



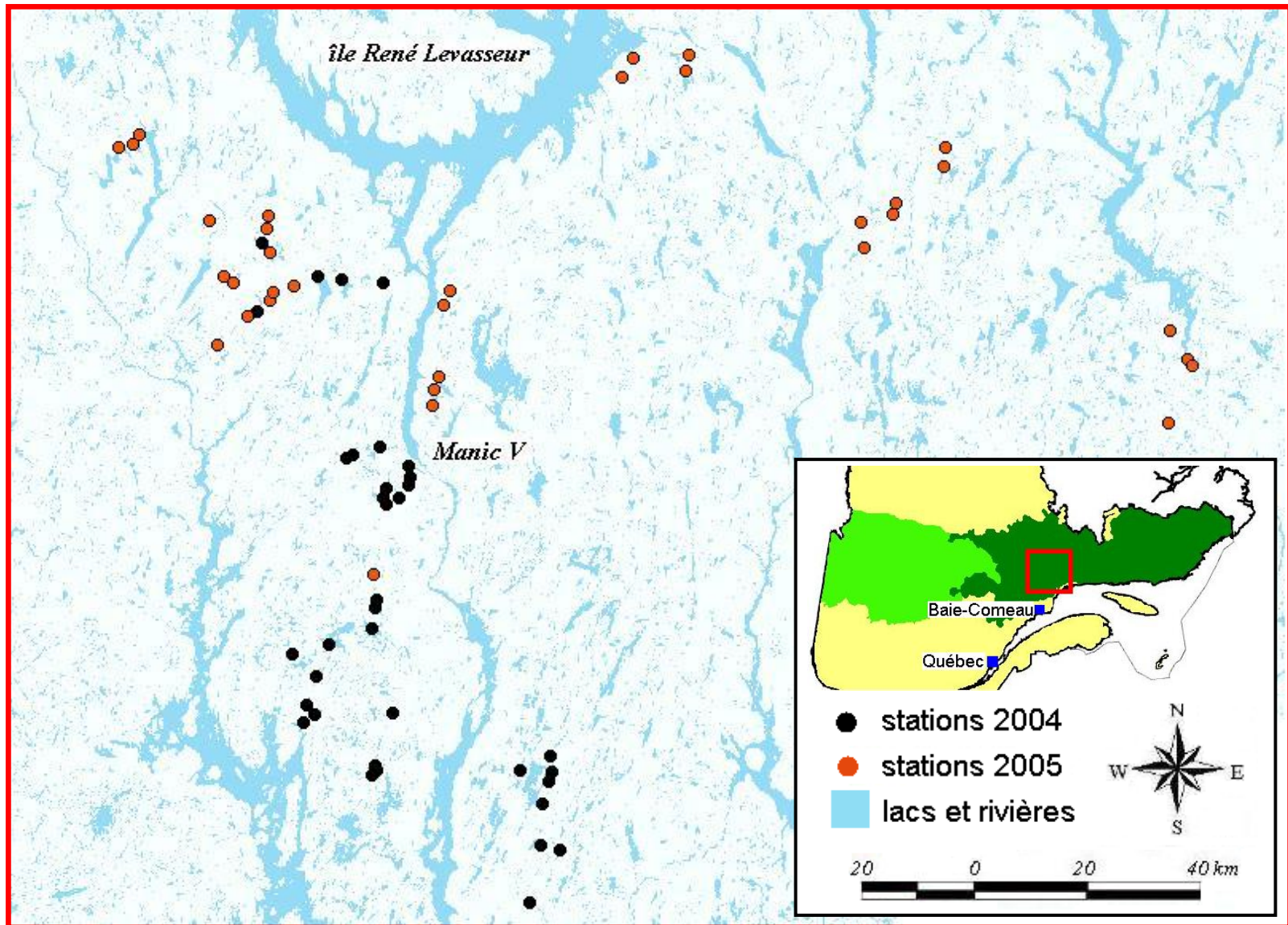
Hétérogénéité de l'habitat peu documenté:

- les coléoptères;
- les milieux naturels.

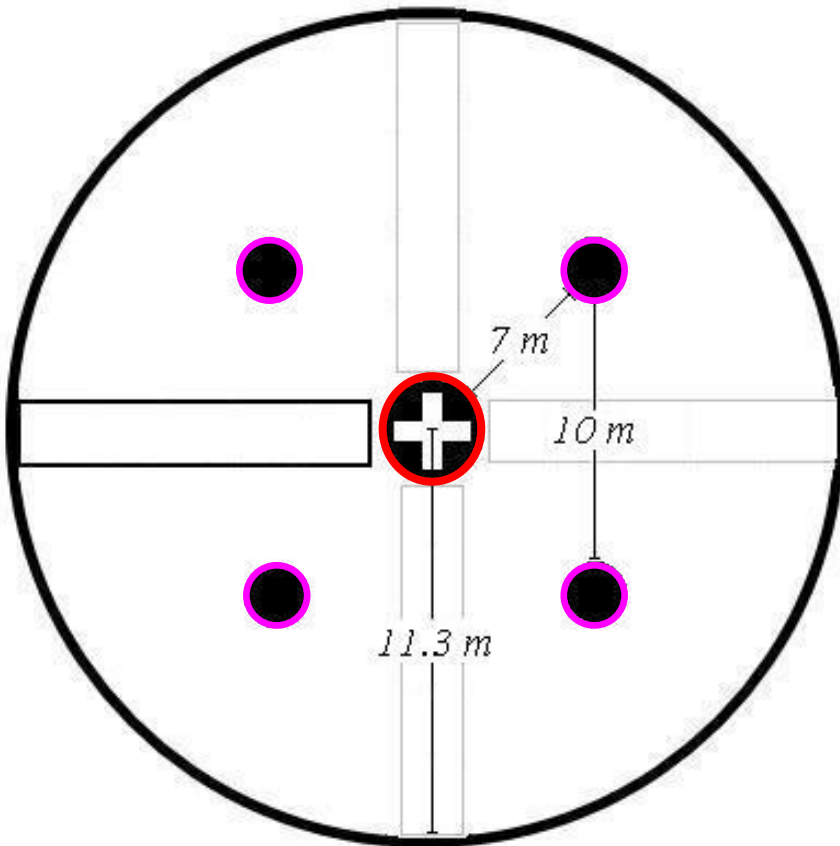
Rares études ont montré une relation positive.

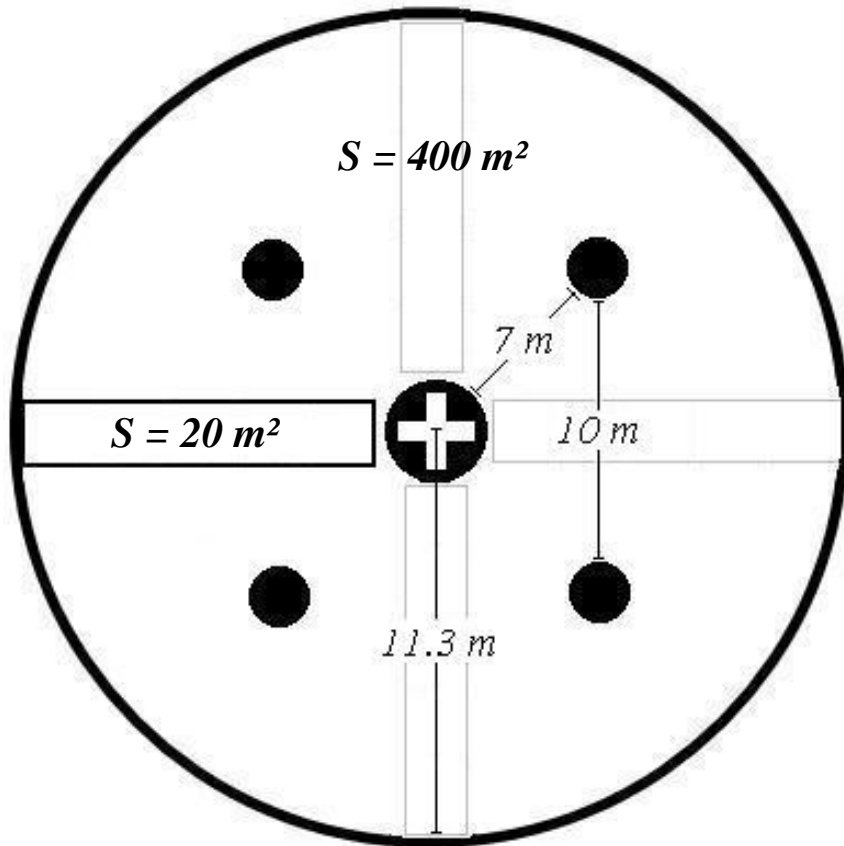
*Zerm et al., 2001; Brose, 2003; LaSaus et al., 2004*





# Méthodologie: dispositif expérimental





## Attributs

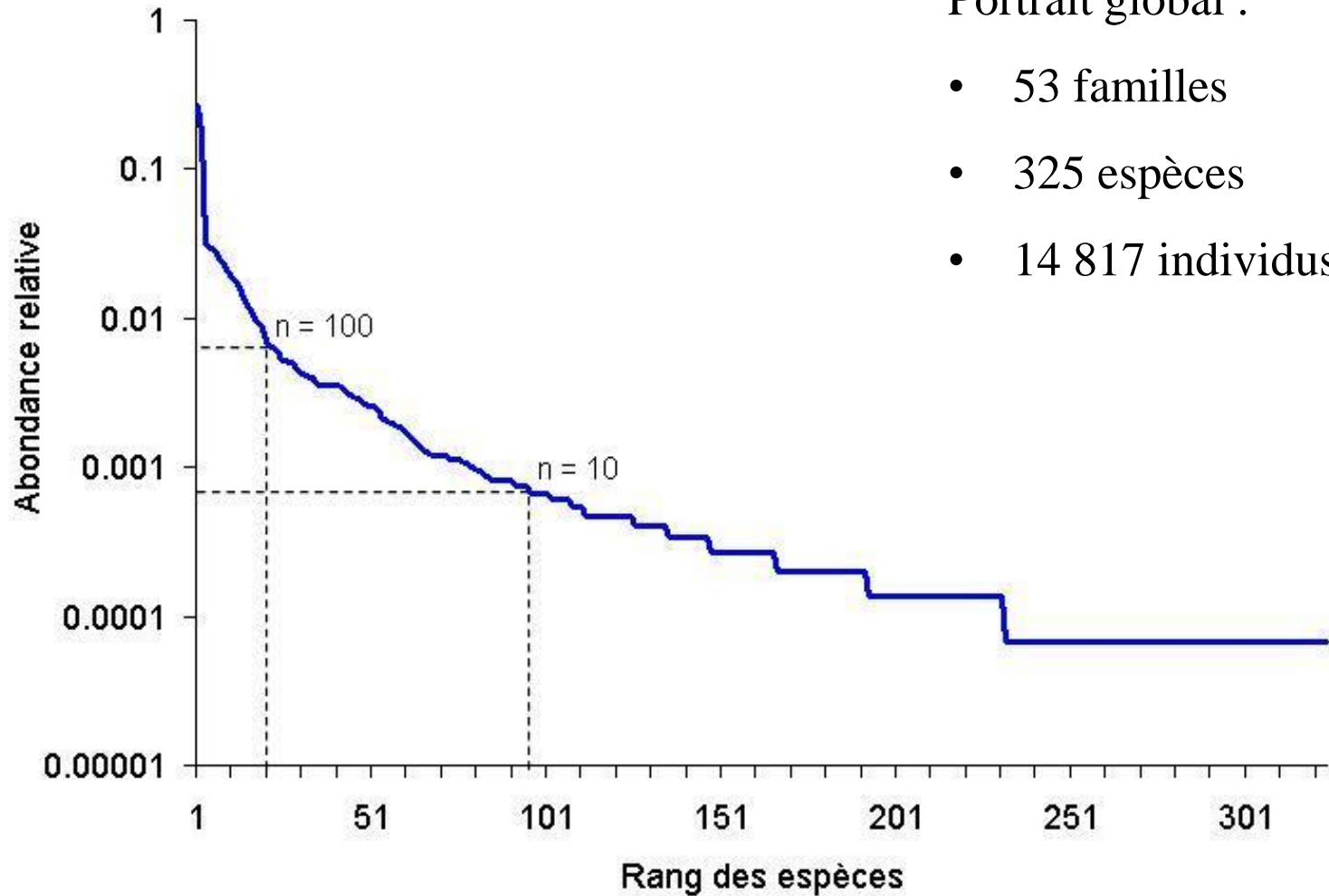
- Tiges sur pied
- Gros débris ligneux au sol
- Gaules



## Comprendre dans quelle mesure l'hétérogénéité de l'habitat et l'échelle spatiale influencent la richesse en coléoptères

- Quelle est la diversité des coléoptères de la Côte-Nord?
- Existe-il un type d'hétérogénéité qui influence davantage la richesse ?
- En considération du modèle d'étude la prise en compte de l'échelle du paysage est-elle pertinente, si c'est le cas, existe-t-il une échelle préférentielle ?

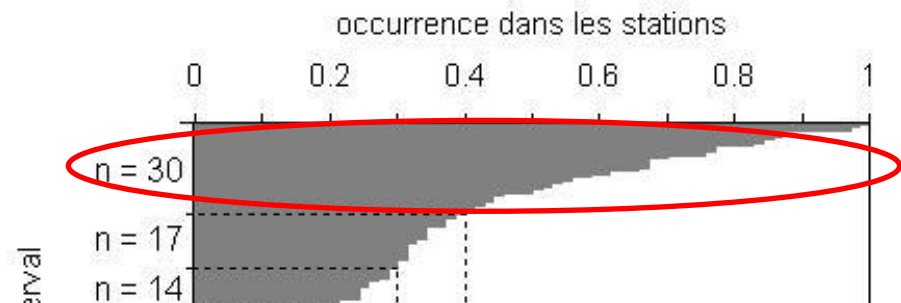




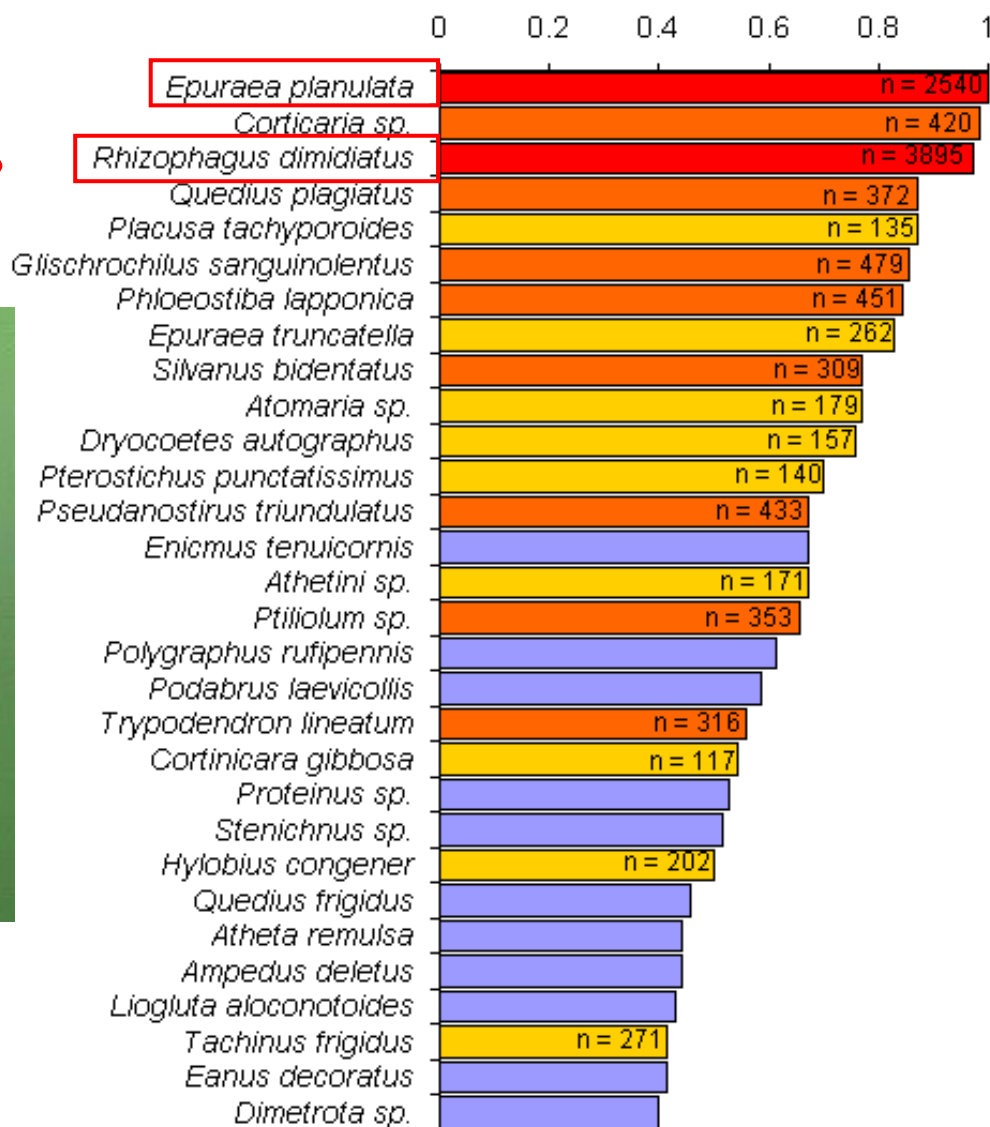
Portrait global :

- 53 familles
- 325 espèces
- 14 817 individus

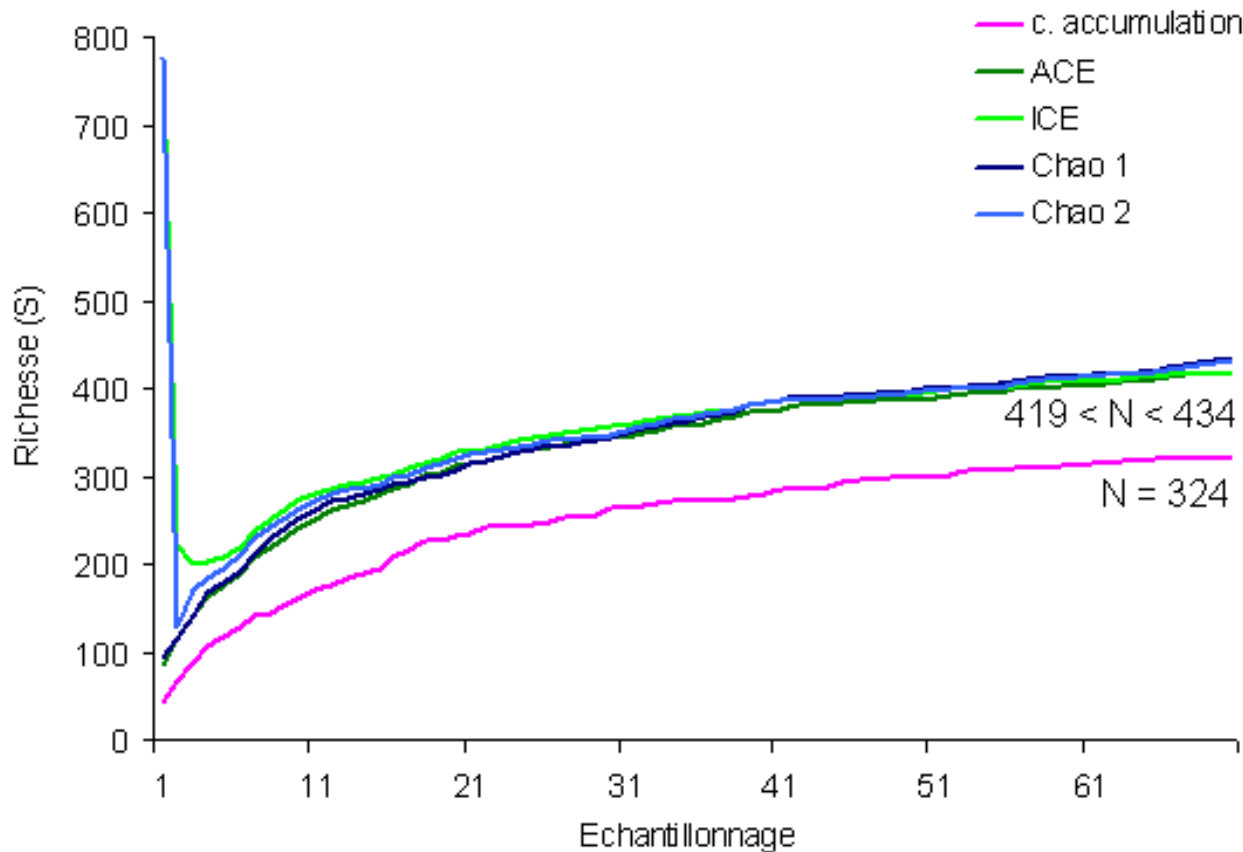




arval



Notre échantillonnage est-il représentatif de la richesse totale en espèces de coléoptères forestiers de la Côte-Nord ???



- 74.6 et 77.3% de la richesse totale;

*Magurran, 2004; Colwell's, 2005*





## Comprendre dans quelle mesure l'hétérogénéité de l'habitat et l'échelle spatiale influencent la richesse en coléoptères

- Quelle est la diversité des coléoptères de la Côte-Nord?
- Existe-il un type d'hétérogénéité qui influence davantage la richesse ?
- En considération du modèle d'étude la prise en compte de l'échelle du paysage est-elle pertinente, si c'est le cas, existe-t-il une échelle préférentielle ?



Hypothèse de l'hétérogénéité de l'habitat = concept pertinent pour expliquer  
la relation **diversification** / **hétérogénéité**



*MacArthur et MacArthur, 1961*

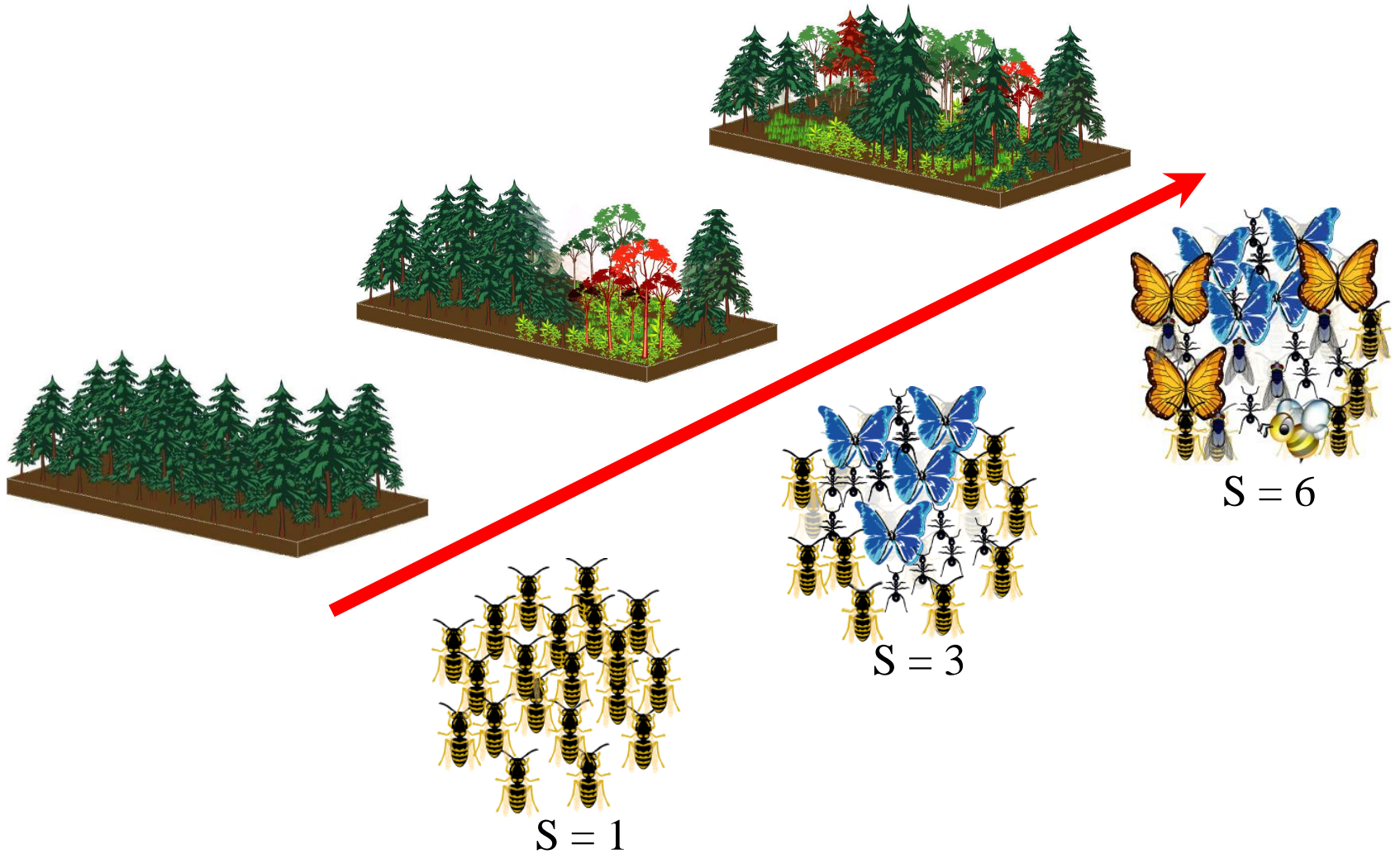




Lawton, 1983; Meko, 1970; Beal, 1961; Elser, 1974; Bazzaz, 1977



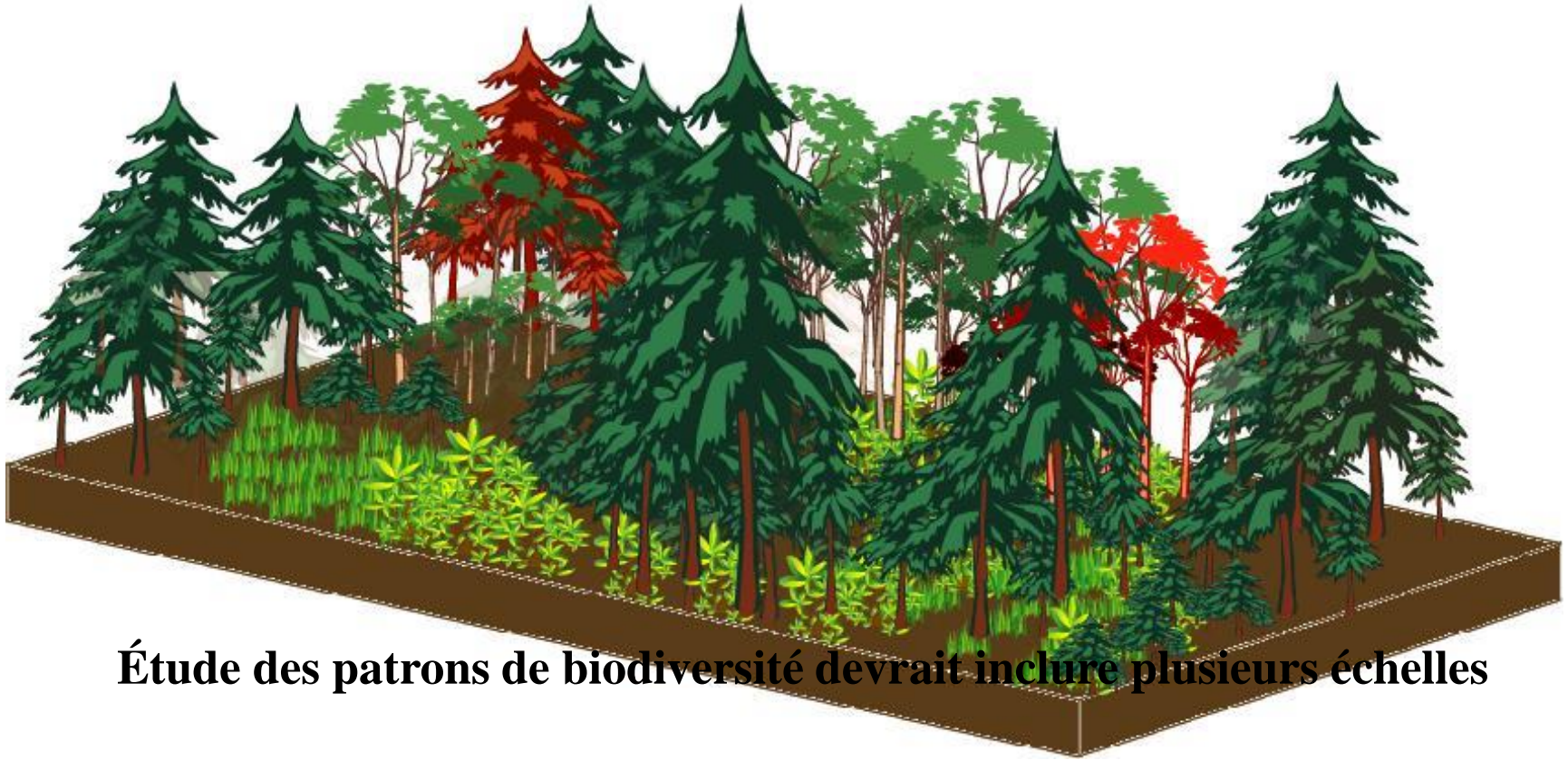
# Approche conceptuelle: l'hétérogénéité de l'habitat



*MacArthur et MacArthur, 1961; Downing 1991; Huston, 1994; Kuuluvainen 2001*



## Hétérogénéité influence les espèces à différentes échelles



Étude des patrons de biodiversité devrait inclure plusieurs échelles

Wiens 1989; Niemelä 1990, 1997; McLaughlin et Roughgarden 1993; Roslin 1999; Hamer et Hill 2000; Niemelä et al 1996; Sal 2000; Grals 2000; Moch, Magara et al; Hood, R. et al 2005





## Indices d'hétérogénéité structural

- Des gaules et tiges sur pied
  - $S$  = richesse classes de diamètres
- Des débris ligneux au sol
  - $S$  = richesse classes de diamètres



## Indices de diversité de composition

- Des gaules et tiges sur pied
  - S = richesse en essences
- Des débris ligneux au sol
  - S = richesse en essence



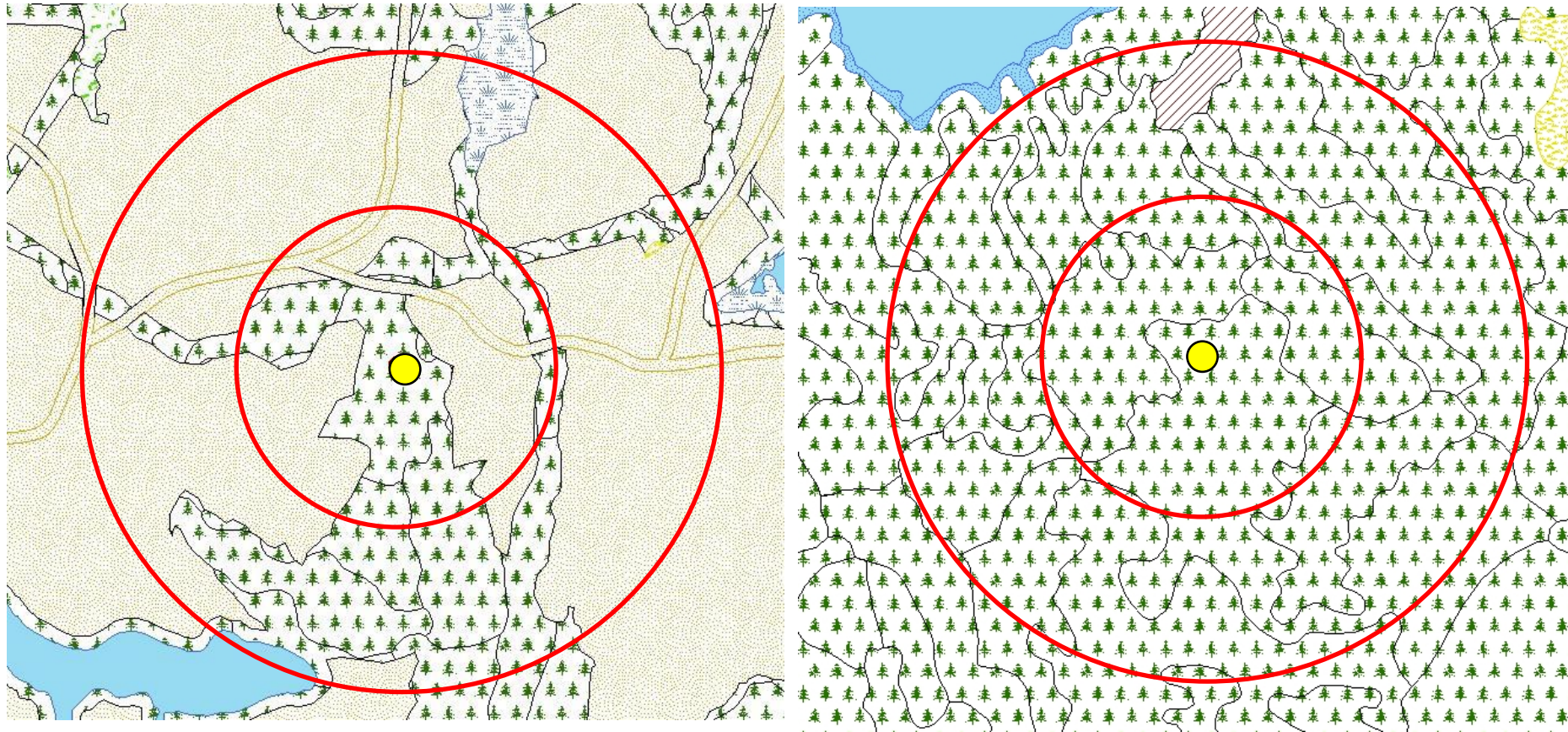


## Échelle du peuplement:








- 4 indices d'hétérogénéité;
- 8 variables associées aux attributs dominants:

	surface terrière sur pied		volume au sol
épinette noire	X	composition	X
sapin baumier	X		X
tiges: $9 < \text{DHP} < 20 \text{ cm}$	X	structure	X
tiges: $\text{DHP} > 20\text{cm}$	X		X



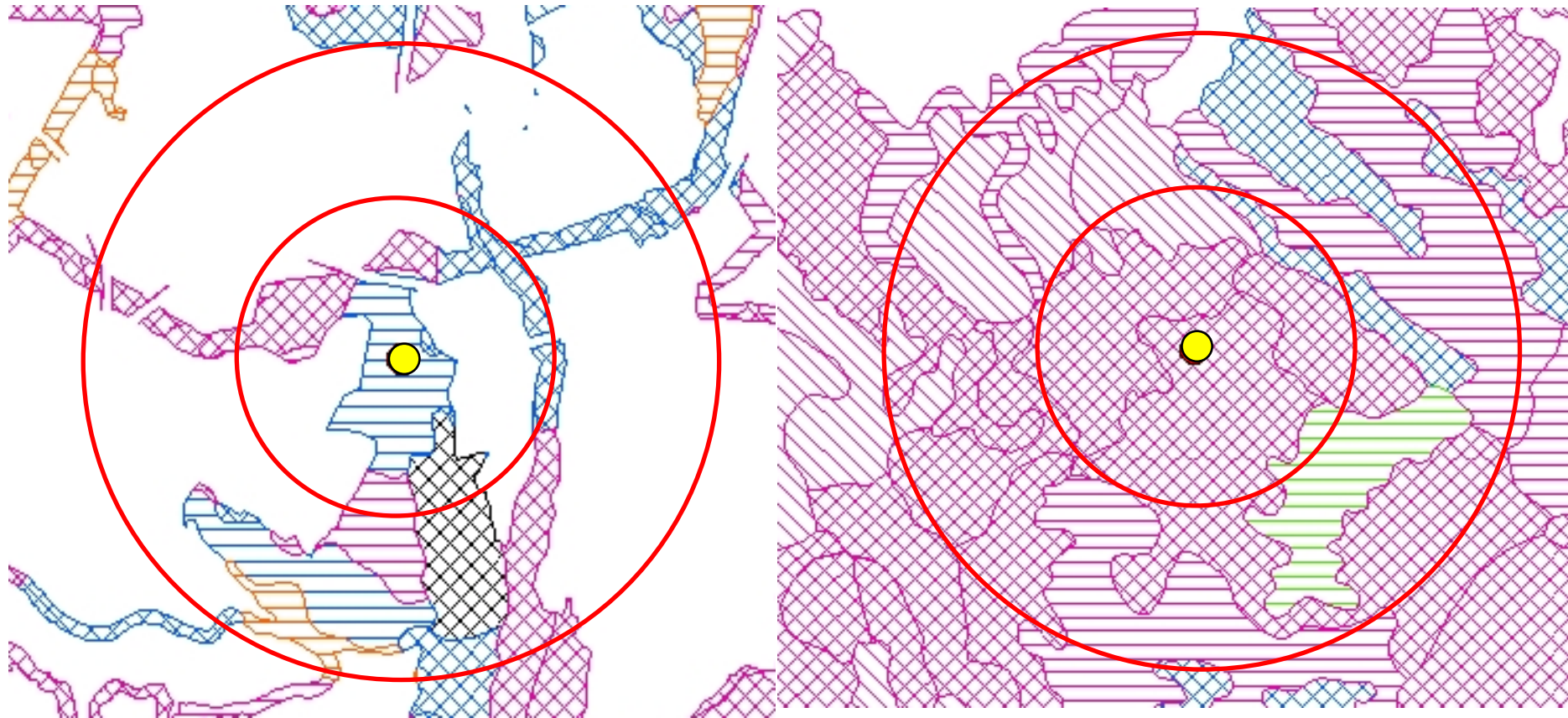


## Légende

 Eau	 Denude Humide	 Resineux	 Coupe
 Inondable	 Denude Sec	 Chablis totale	

0 105 210 420 630  
Mètres



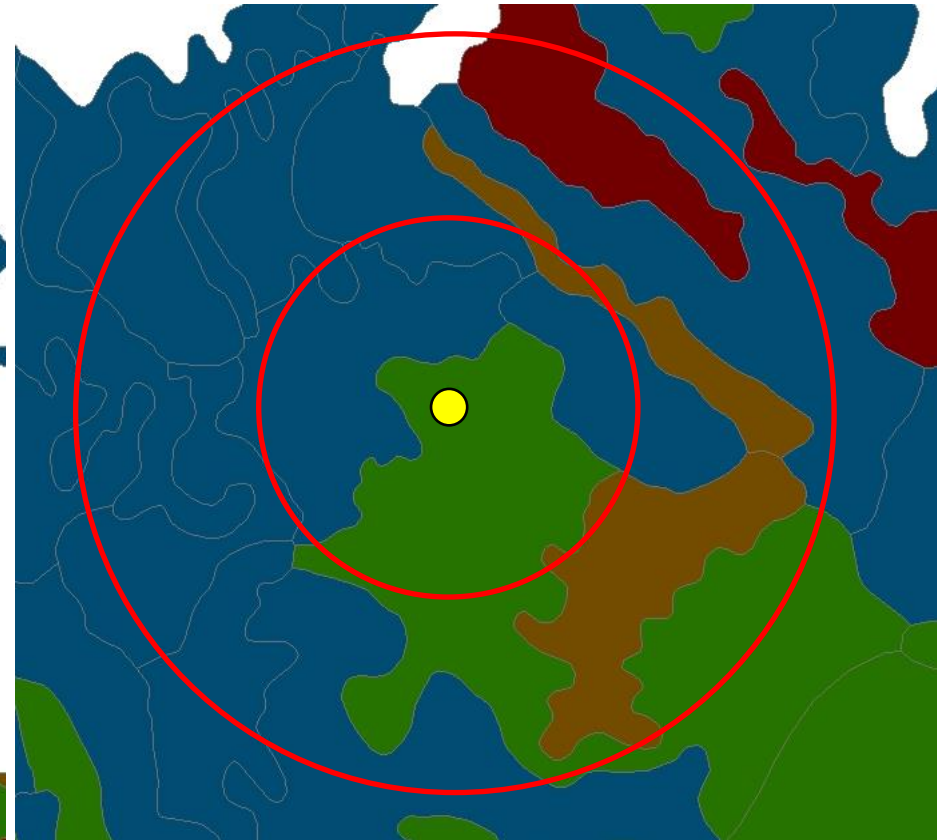
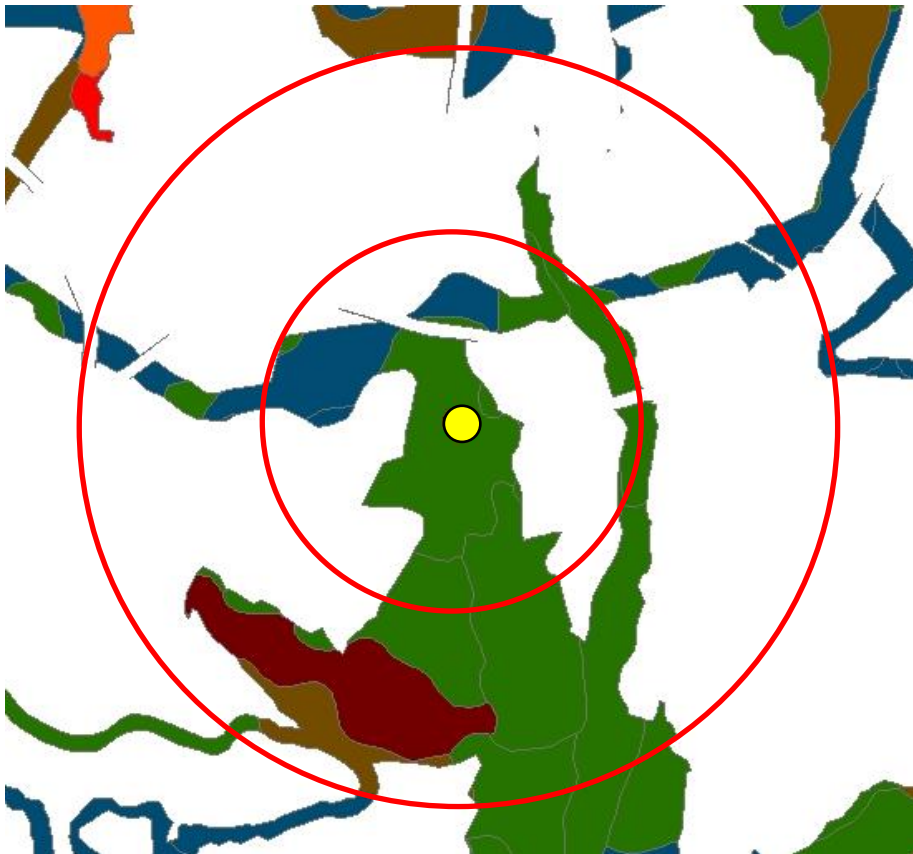


## Légende

	EqJ_A		EqV_A		InqJ_A		InqV_A		EtgJ_C
	EqJ_B		EqV_B		InqJ_B		InqV_B		EtgJ_D
	EqJ_C		EqV_C		InqJ_C		InqV_C		
	EqJ_D		EqV_D		InqJ_D		InqV_D		

0 105 210 420 630 Mètres





Légende



## Échelles du paysage et pour chacun des rayons :

- 2 indices d'hétérogénéité ;
- 4 variables associées aux attributs dominants:

	surperficie	
	400 m	800 m
pessière (EE)	X	X
pplt avec sapin (ES+SE+SS)	X	X
équien vieux	X	X
inéquien vieux	X	X

composition (green background)

structure (pink background)



## Variable dépendante

- richesse = fosses + impact :

## Variables indépendantes

- 8 indices d'hétérogénéité (4 peuplement + 4 paysages)
- 16 attributs (8 peuplement + 8 paysages)
- latitude

## Modèles de régression multiples

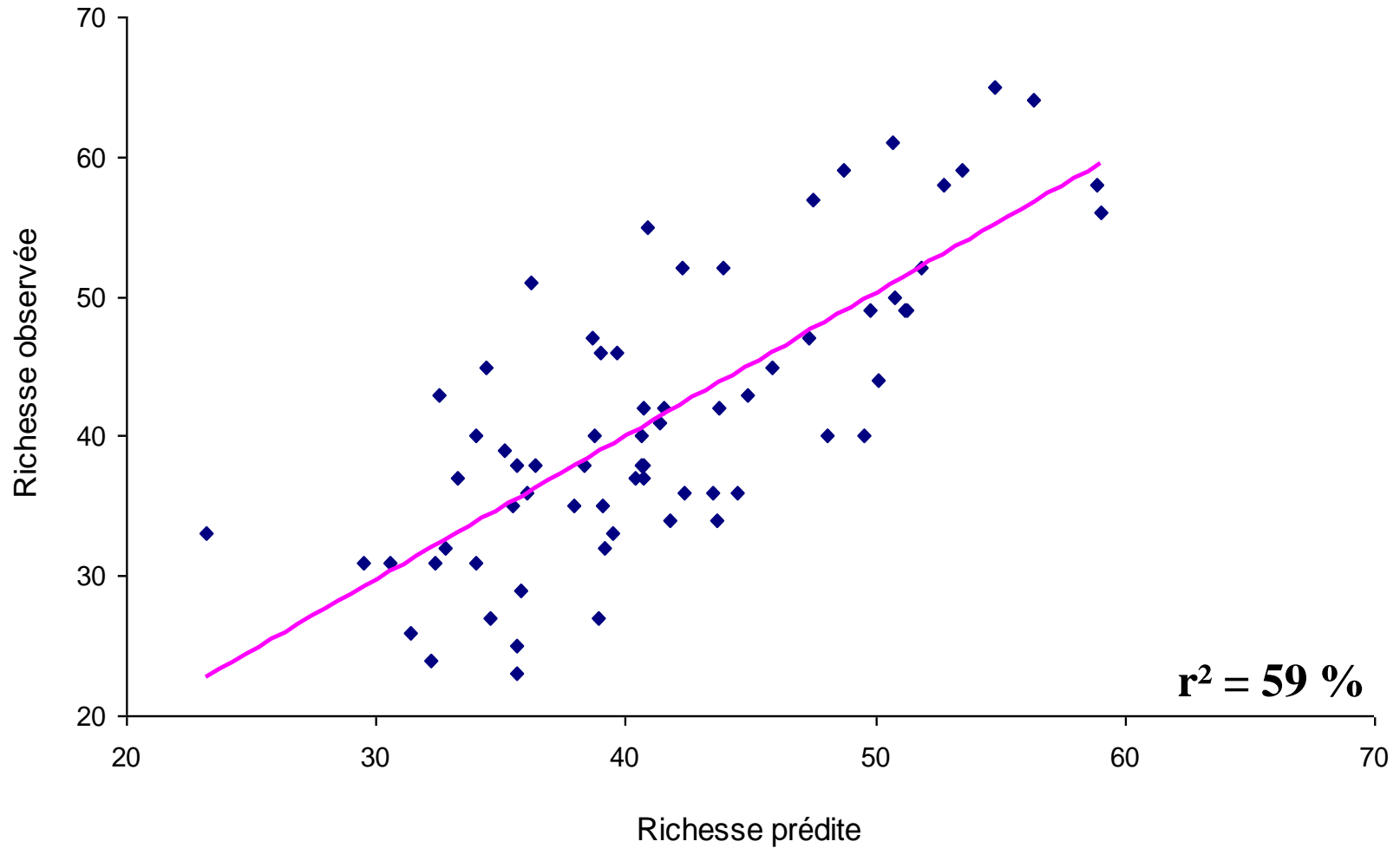
- 43 modèles *a priori*
- sélection par critère d'information d'Akaike



Var dep.	Modèles	K	Delta AICc	Poids Akaike
S	latitude spstand ststand epnstand tigesmoy	6	0.00	0.9787
S	latitude spstand epnstand sabstand	5	9.22	0.0098
S	latitude spstand epnstand essence400 ee400	6	10.20	0.0060
S	latitude spstand sabstand	4	12.99	0.0015
S	latitude spstand ststand stlog essence400 structure400	7	14.47	0.0007



$$\text{Rich} = 13.1 - 1.7E^{-06} * \text{latitude} + .067 * \text{spstand} + .02 * \text{ststand} - .062 * \text{epnstand2} + .07 * \text{tigesmoy2}$$





## Estimation des paramètres

Variables	Model averaged	Unconditional SE	Intervalle confiance 5 %	
			bas	haut
latitude	-1.74E-06	4.69E-07	-2.65E-06	-8.17E-07
spstand	0.0677	0.0143	0.0397	0.0957
ststand	0.0208	0.0121	-0.0029	0.0445
epnstand2	-0.0623	0.0132	-0.0882	-0.0364
tigesmoy2	0.0706	0.0198	0.0318	0.1094



## Comprendre dans quelle mesure l'hétérogénéité de l'habitat et l'échelle spatiale influencent la richesse en coléoptères

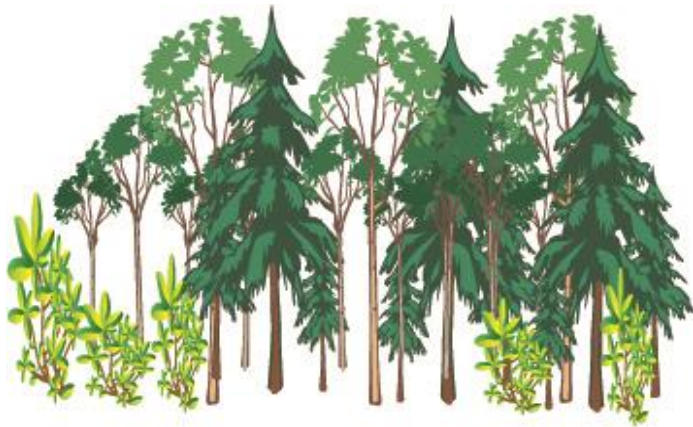
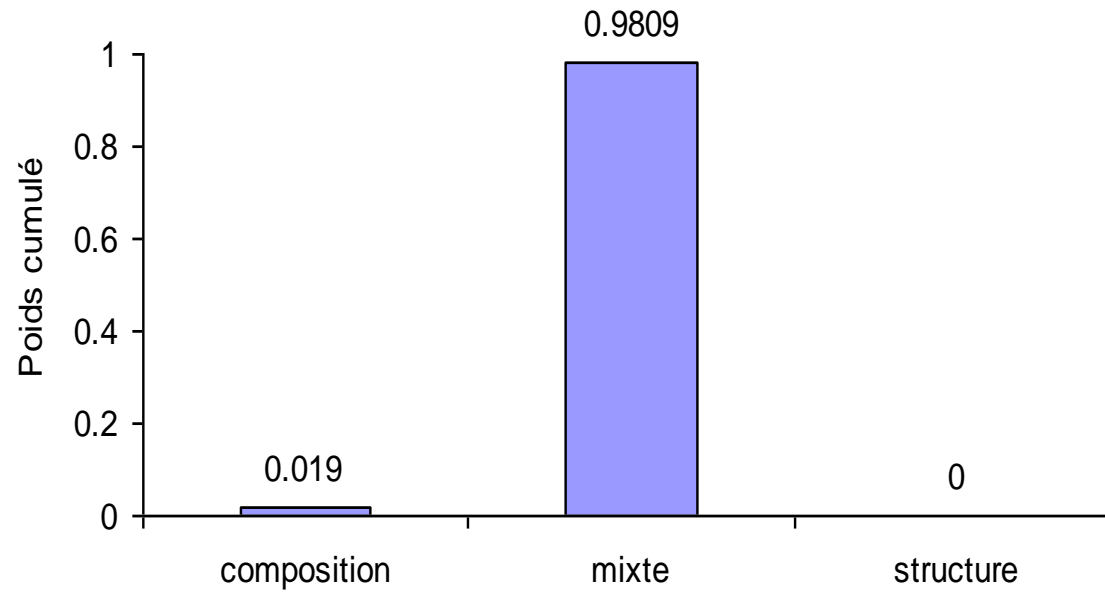
- Quelle est la diversité des coléoptères de la Côte-Nord?
- Existe-il un type d'hétérogénéité qui influence davantage la richesse ?
- En considération du modèle d'étude la prise en compte de l'échelle du paysage est-elle pertinente, si c'est le cas, existe-t-il une échelle préférentielle ?



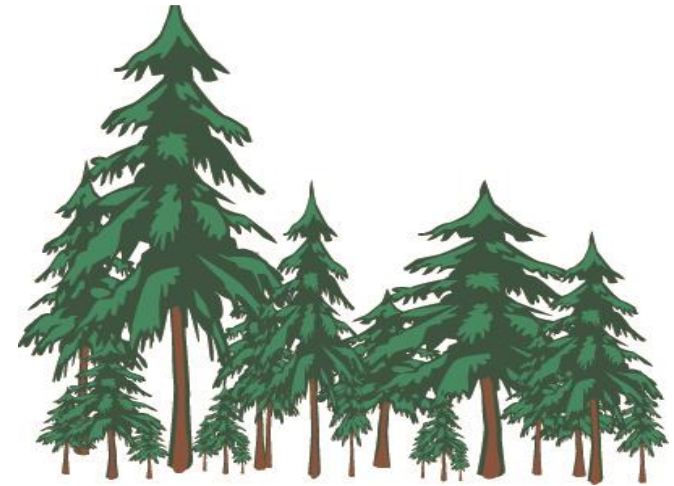
# Démarche : structurale vs composition

Var dep.	Modèles	K	Delta AICc	Poids Akaike
S	spstand ststand epnstand tigesmoy	6	0.00	0.9787
S	spstand epnstand sabstand	5	9.22	0.0098
S	spstand epnstand essence400 ee400	6	10.20	0.0060
S	spstand sabstand	4	12.99	0.0015
S	spstand ststand stlog essence400 structure400	7	14.47	0.0007
S	spstand epnstand	4	14.60	0.0007
S	spstand ststand essence400 structure400	6	14.66	0.0006
S	spstand ststand splog essence400 structure400	7	15.93	0.0003
S	spstand ststand	4	16.11	0.0003
S	spstand sabstand essence400 sx400	6	16.31	0.0003
S	spstand epnstand sabstand essence800 ee800 sx800	8	16.31	0.0003
S	spstand ststand stlog	5	16.78	0.0002
S	spstand epnstand essence800 ee800	6	16.83	0.0002
S	spstand sabstand essence800 sx800	6	17.17	0.0002
S	spstand ststand splog	5	17.77	0.0001
S	spstand ststand essence800 structure800	6	20.25	0.0000
S	spstand ststand stlog essence800 structure800	7	20.87	0.0000
S	spstand ststand splog essence800 structure800	7	21.87	0.0000
S	spstand splog essence400	5	22.03	0.0000
S	spstand splog	4	23.47	0.0000
S	spstand splog essence800	5	23.49	0.0000
S	epnstand sabstand	4	24.16	0.0000
S	ststand cwmoy	4	25.85	0.0000
S	tigesmoy tigesgros	4	26.28	0.0000
S	ststand cwdgros	4	27.46	0.0000
S	ststand tigesmoy cwmoy	5	27.88	0.0000
S	ststand stlog	4	28.38	0.0000
S	epnstand sabstand ee800 sx800	6	28.78	0.0000
S	ststand tigesmoy	4	29.21	0.0000
S	ststand stlog structure400	5	29.81	0.0000
S	tigesmoy tigesgros eqv800 inqv800	6	30.29	0.0000
S	tigesmoy tigesgros eqv400 inqv400	6	30.54	0.0000
S	ststand stlog structure800	5	30.62	0.0000
S	essence400 structure400 ee400 eqv400	6	36.53	0.0000
S	essence400 structure400	4	37.56	0.0000
S	essence800 structure800	4	41.37	0.0000
S	essence800 structure800 ee800 eqv800	6	43.31	0.0000

# Résultats : structure vs composition



+



## Comprendre dans quelle mesure l'hétérogénéité de l'habitat et l'échelle spatiale influencent la richesse en coléoptères

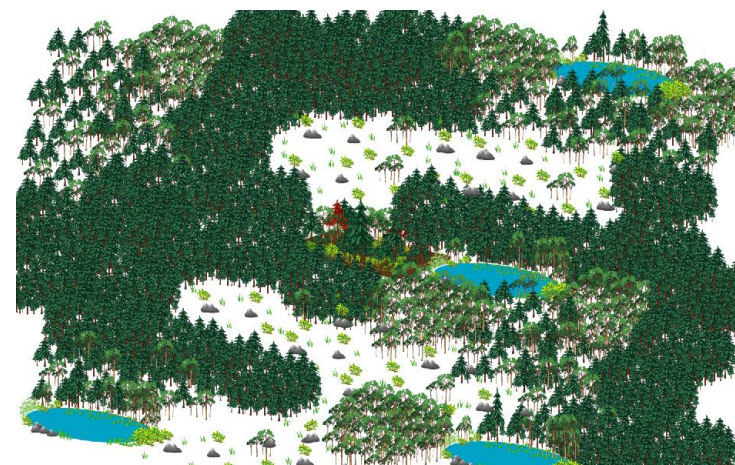
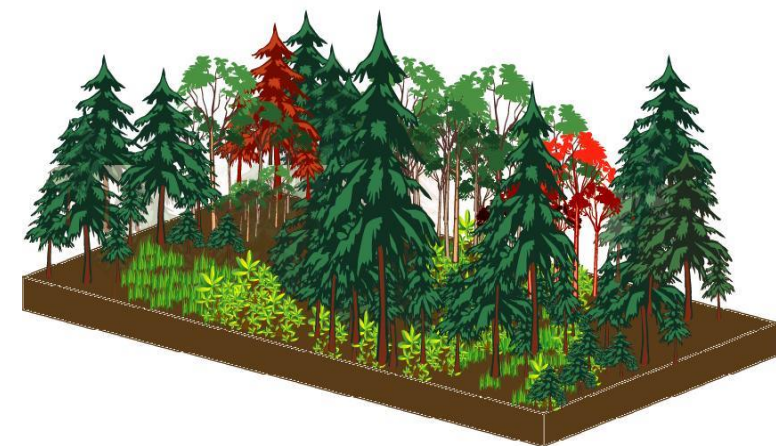
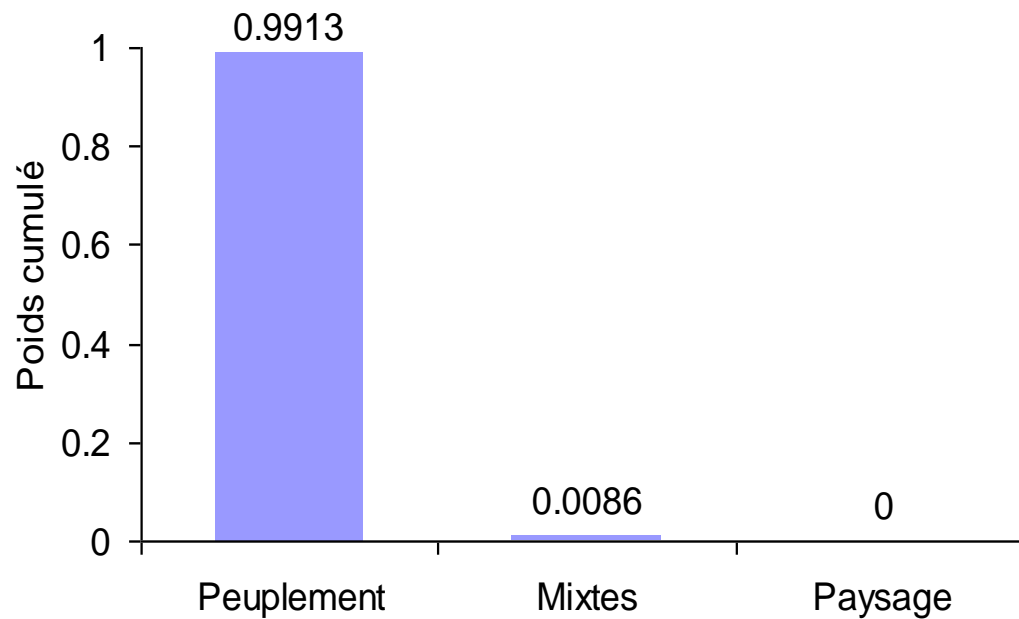
- Quelle est la diversité des coléoptères de la Côte-Nord?
- Existe-il un type d'hétérogénéité qui influence davantage la richesse ?
- En considération du modèle d'étude la prise en compte de l'échelle du paysage est-elle pertinente, si c'est le cas, existe-t-il une échelle préférentielle ?



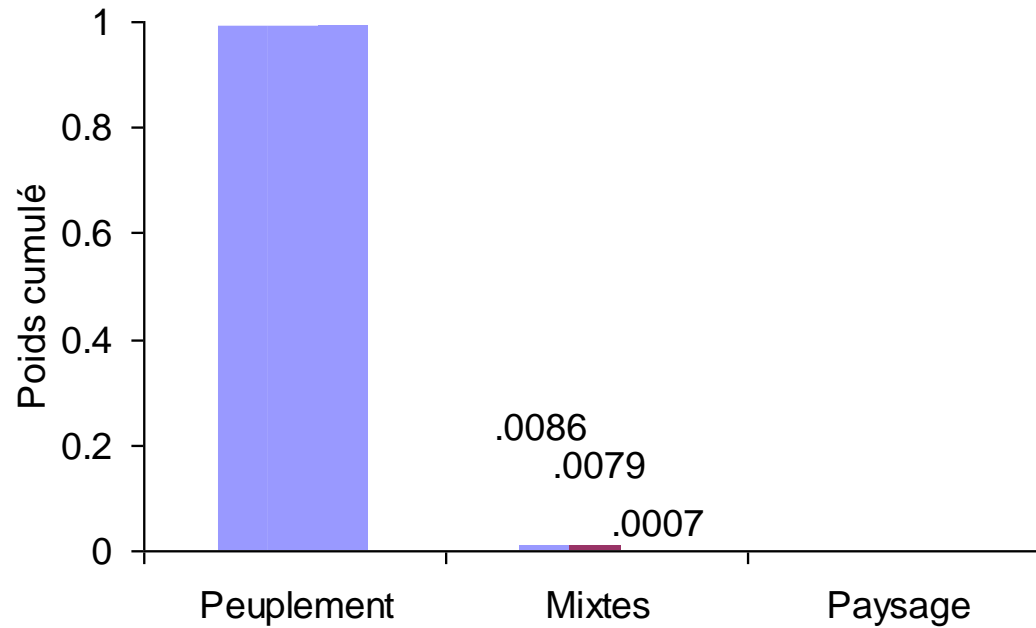
# Démarche : peuplement vs paysage

Var dep.	Modèles	K	Delta AICc	Poids Akaike
S	spstand ststand epnstand tigesmoy	6	0.00	0.9787
S	spstand epnstand sabstand	5	9.22	0.0098
S	spstand epnstand essence400 ee400	6	10.20	0.0060
S	spstand sabstand	4	12.99	0.0015
S	spstand ststand stlog essence400 structure400	7	14.47	0.0007
S	spstand epnstand	4	14.60	0.0007
S	spstand ststand essence400 structure400	6	14.66	0.0006
S	spstand ststand splog essence400 structure400	7	15.93	0.0003
S	spstand ststand	4	16.11	0.0003
S	spstand sabstand essence400 sx400	6	16.31	0.0003
S	spstand epnstand sabstand essence800 ee800 sx800	8	16.31	0.0003
S	spstand ststand stlog	5	16.78	0.0002
S	spstand epnstand essence800 ee800	6	16.83	0.0002
S	spstand sabstand essence800 sx800	6	17.17	0.0002
S	spstand ststand splog	5	17.77	0.0001
S	spstand ststand essence800 structure800	6	20.25	0.0000
S	spstand ststand stlog essence800 structure800	7	20.87	0.0000
S	spstand ststand splog essence800 structure800	7	21.87	0.0000
S	spstand splog essence400	5	22.03	0.0000
S	spstand splog	4	23.47	0.0000
S	spstand splog essence800	5	23.49	0.0000
S	epnstand sabstand	4	24.16	0.0000
S	ststand cwmoy	4	25.85	0.0000
S	tigesmoy tigesgros	4	26.28	0.0000
S	ststand cwdgros	4	27.46	0.0000
S	ststand tigesmoy cwmoy	5	27.88	0.0000
S	ststand stlog	4	28.38	0.0000
S	epnstand sabstand ee800 sx800	6	28.78	0.0000
S	ststand tigesmoy	4	29.21	0.0000
S	ststand stlog structure400	5	29.81	0.0000
S	tigesmoy tigesgros eqv800 inqv800	6	30.29	0.0000
S	tigesmoy tigesgros eqv400 inqv400	6	30.54	0.0000
S	ststand stlog structure800	5	30.62	0.0000
S	essence400 structure400 ee400 eqv400	6	36.53	0.0000
S	essence400 structure400	4	37.56	0.0000
S	essence800 structure800	4	41.37	0.0000
S	essence800 structure800 ee800 eqv800	6	43.31	0.0000

# Résultats : peuplement vs paysage



# Résultats : 400 m vs 800 m





Concept d'**hétérogénéité de l'habitat** s'applique aux coléoptères de la forêt boréale

La richesse est influencées par **différents types d'hétérogénéités** :

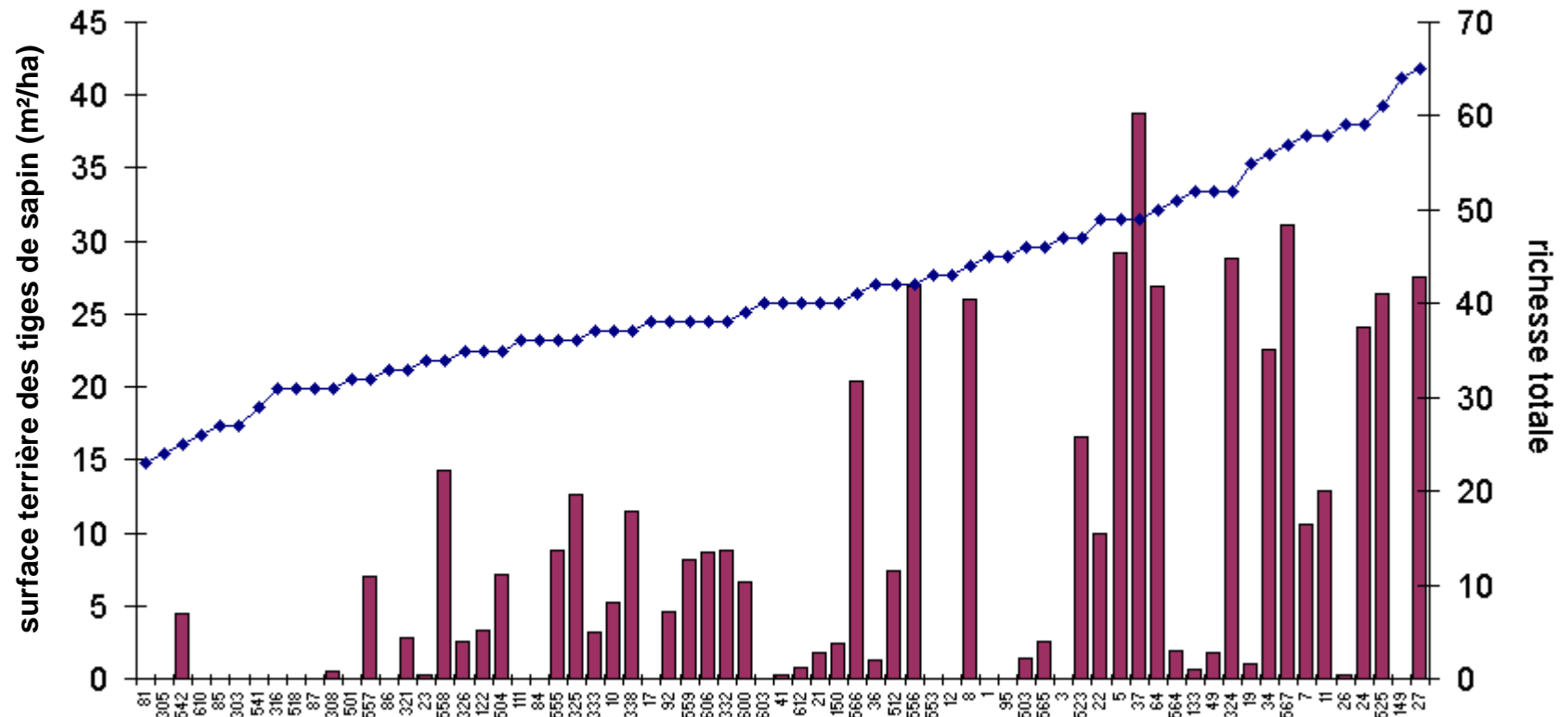


« The creation and/or maintenance of stand structural complexity is essential for biodiversity conservation in all forests... »

*Lindenmayer et al., 2006.*



# Ce qu'il faut retenir...



Concept d'hétérogénéité de l'habitat s'applique aux coléoptères de la forêt boréale

La richesse est influencées par différents types d'hétérogénéités :

- composition > structure ;

Les échelles les plus fines sont prépondérantes :

- peuplement > paysage ;
- 400 > 800 m.

Les pratiques sylvicoles devraient maintenir  
la **structure des peuplements** d'origine mais **surtout**,  
préserver la **diversité en composition** des essences forestières,  
cela à fine échelle.



BRUGEROLLE Sophie, DUBUC Yves, ETCHEVERRY Pierre,  
GERMAIN Carole, HODSON James, LEMAITRE Jérôme, MARQUIS  
Valérie, PELLETIER George, PLANTE Isabelle... et sûrement d'autres.

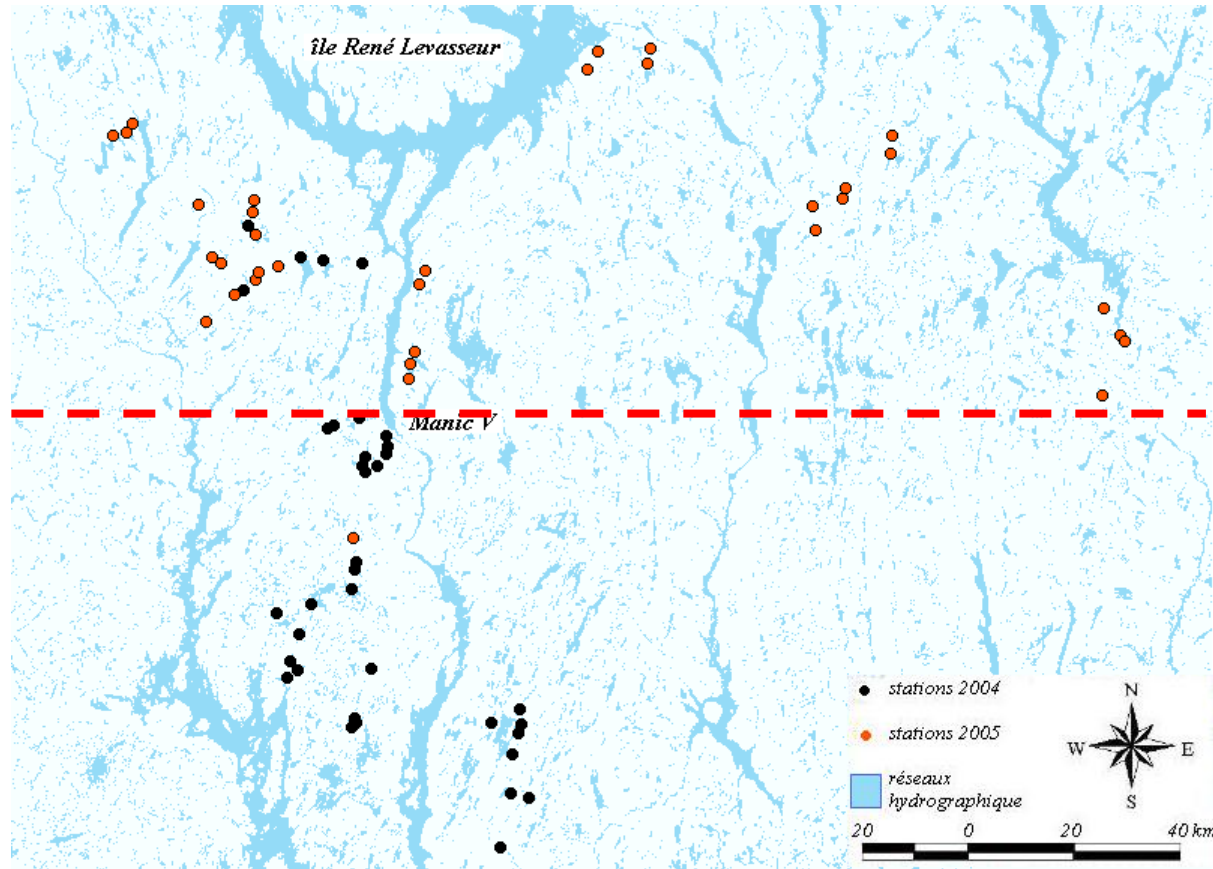
Photos coléoptères: [www.koleopterologie.de](http://www.koleopterologie.de)





## Autres variables :

- année ou latitude ???

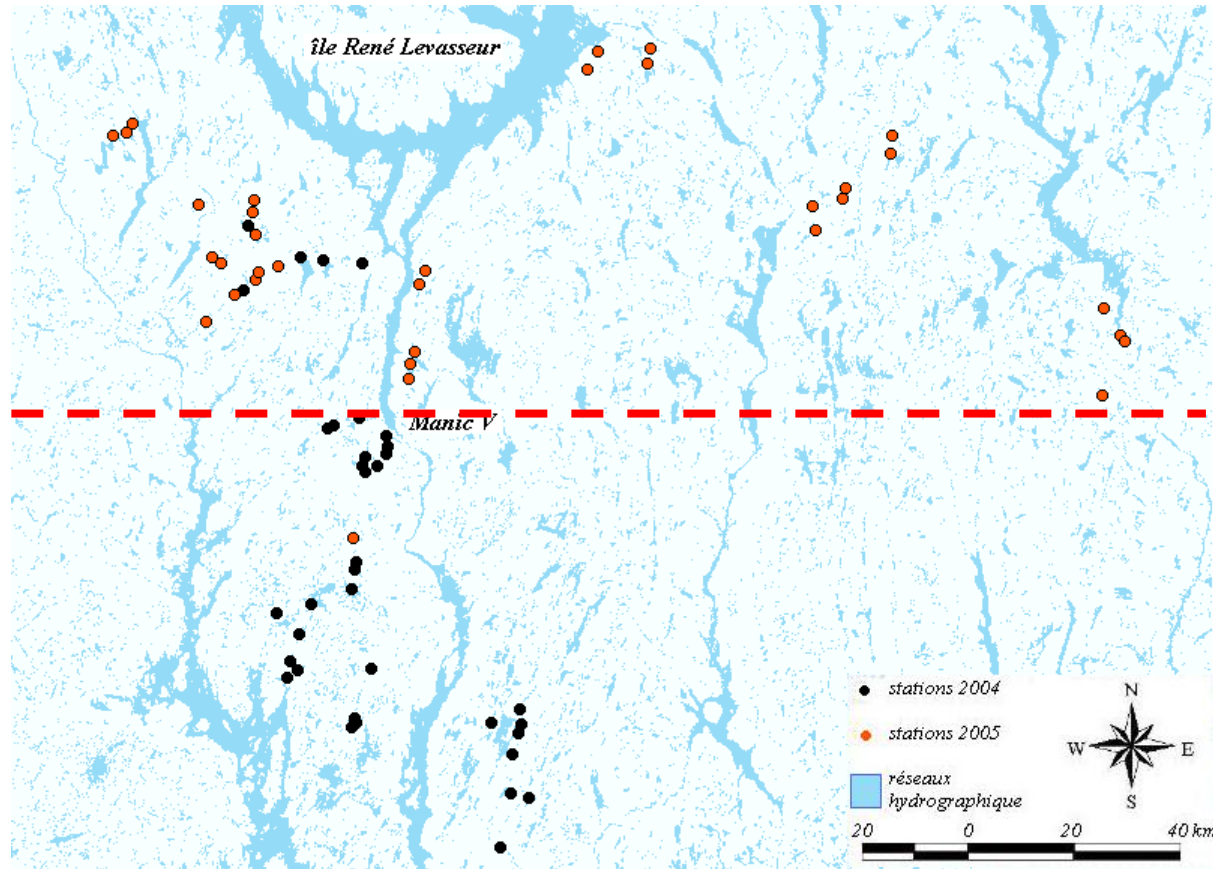


$r = 0.744$



## Autres variables :

- ~~année~~ ou latitude



$r = 0.744$



## Processus de construction des modèles :

- pour toutes les variables indépendantes, vérification :
  - distribution **homogène** des résidus
  - **normalité** dans la distribution des résidus

**transformation  $\sqrt{\quad}$  ou  $\sqrt{x + 0.5}$  des variables associées aux attributs du peuplement**

- construction **a priori** des modèles de régression multiple
- comparaison des modèles et sélection basée sur le **critère d'information d'Akaike**





## Autres considérations :

- **ajustement** du modèle **complet**
- contrôle de la **multicollinéarité** (élimination des modèles avec indice VIF > 2)

*Graham, 2003*



## Analyses d'autocorrélation spatiale



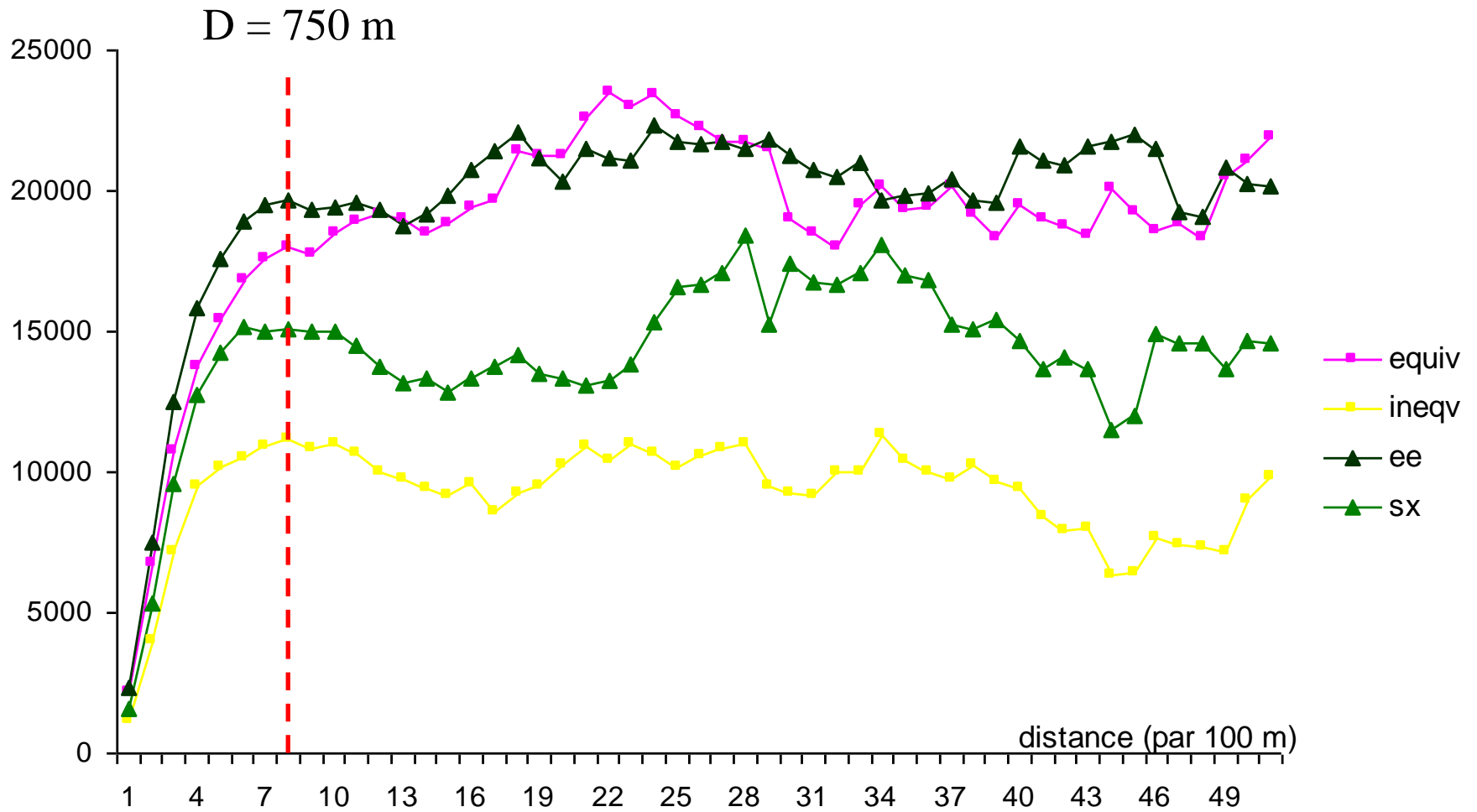
Étude **multi-échelles** implique un contrôle de l'**autocorrélation spatiale**

- distance minimale entre les stations = 2 km;
- forêt boréale irrégulière de la Côte-Nord : distance à partir de laquelle **l'hétérogénéité des valeurs est indépendante** de la localisation ???

Utilisation du **variogramme** pour nos variables du paysage

*Lichstein et al, 2002; Diniz et al, 2003*



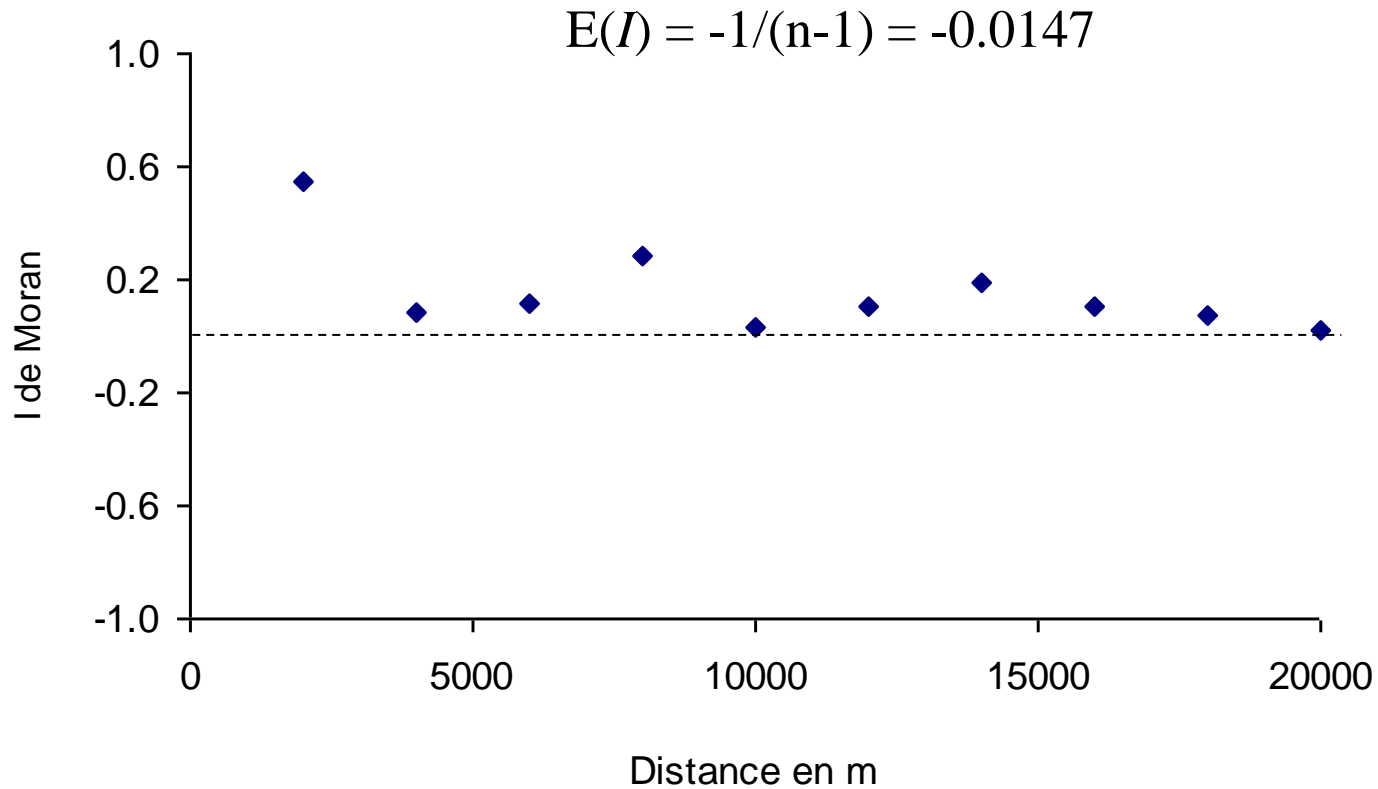


Étude **multi-échelles** implique un contrôle de l'**autocorrélation spatiale**

- distance minimale entre les stations = 2 km;
- forêt boréale irrégulière de la Côte-Nord : distance à partir de laquelle l'**hétérogénéité des valeurs est indépendante** de la localisation = **750 m**
- utilisation de l'indice ***I* de Moran** pour déterminer l'indépendance spatiale de la **richesse** et des **résidus** associés aux régressions multiples.



Correction de Bonferroni  
 $= \alpha/k = 0.005$



**Absence d'autocorrélation spatiale**

