

A large background image of a forest with tall, thin trees and green foliage. The image is split into several rectangular sections by dark blue borders.

Quels sont les éléments théoriques qui pourraient expliquer les différents types de relations entre strates forestières ?

ENV 9402 : Synthèse environnementale

Marine Pacé

Doctorat en Sciences de l'Environnement

Chaire
INDUSTRIELLE CRSG - UQAT - UQAM
**en aménagement
forestier durable**

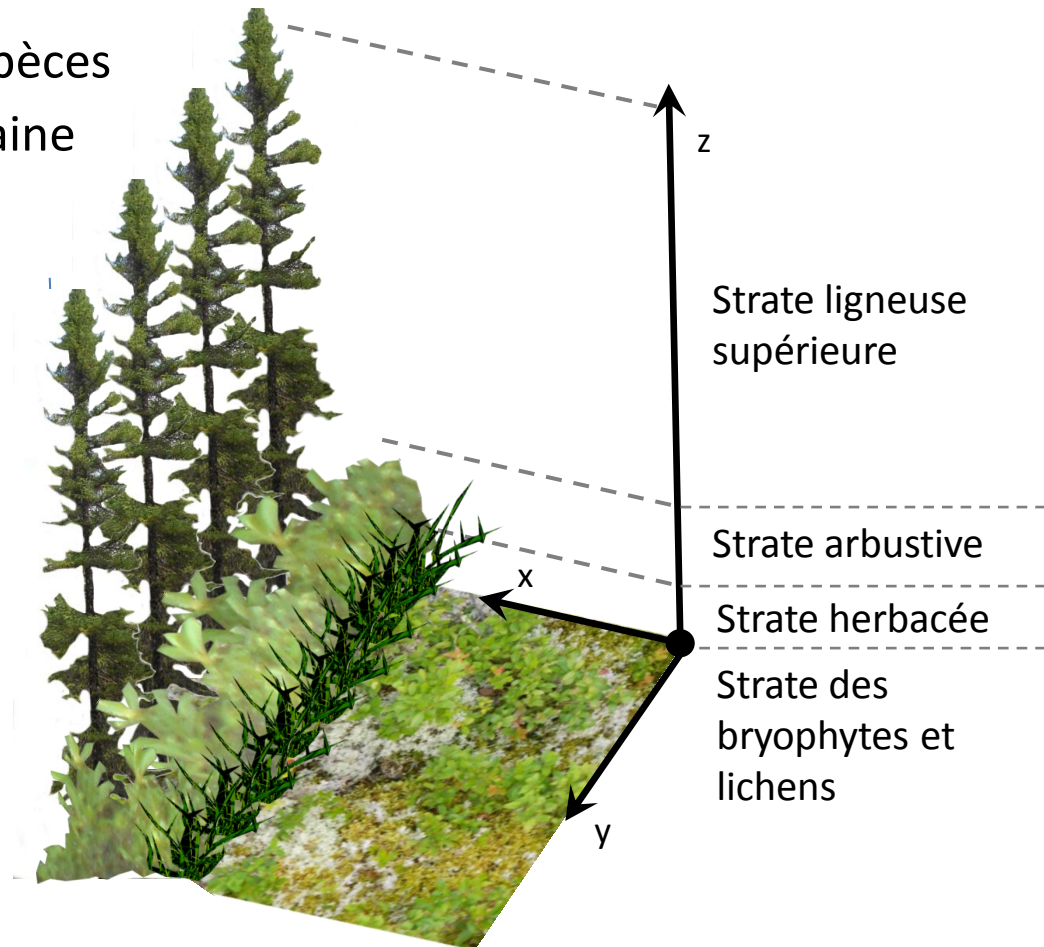
UQAT
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

Stratification forestière

Strate forestière : groupe d'espèces végétales présentant une certaine unité de forme et de hauteur

Stratification forestière

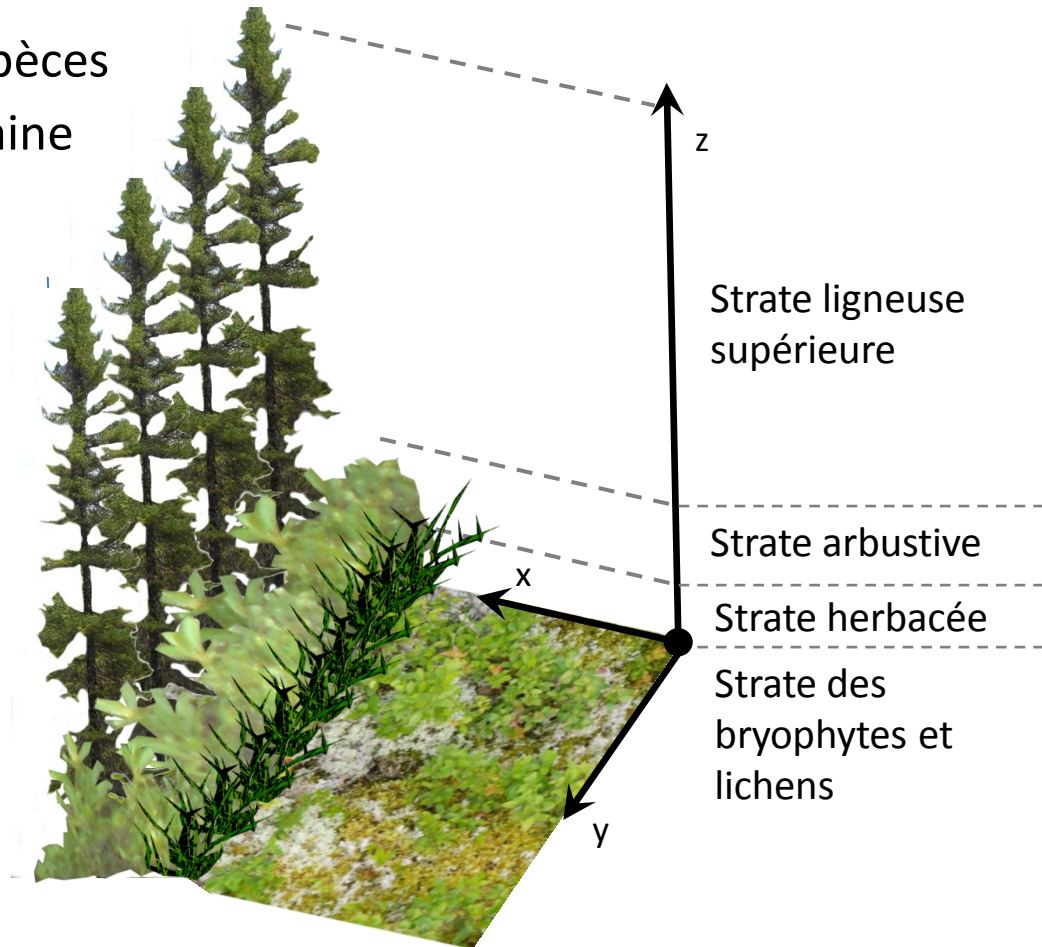
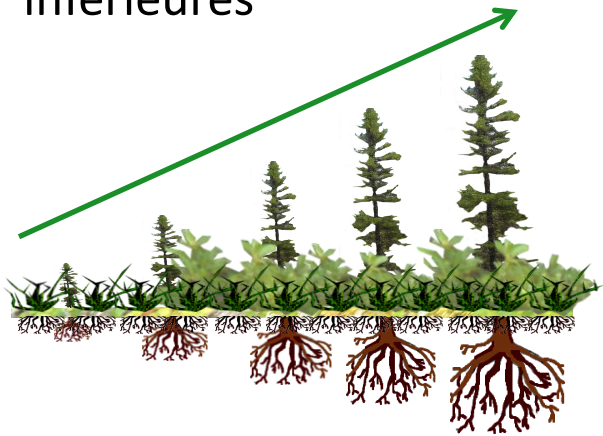
Strate forestière : groupe d'espèces végétales présentant une certaine unité de forme et de hauteur



Stratification forestière

Strate forestière : groupe d'espèces végétales présentant une certaine unité de forme et de hauteur

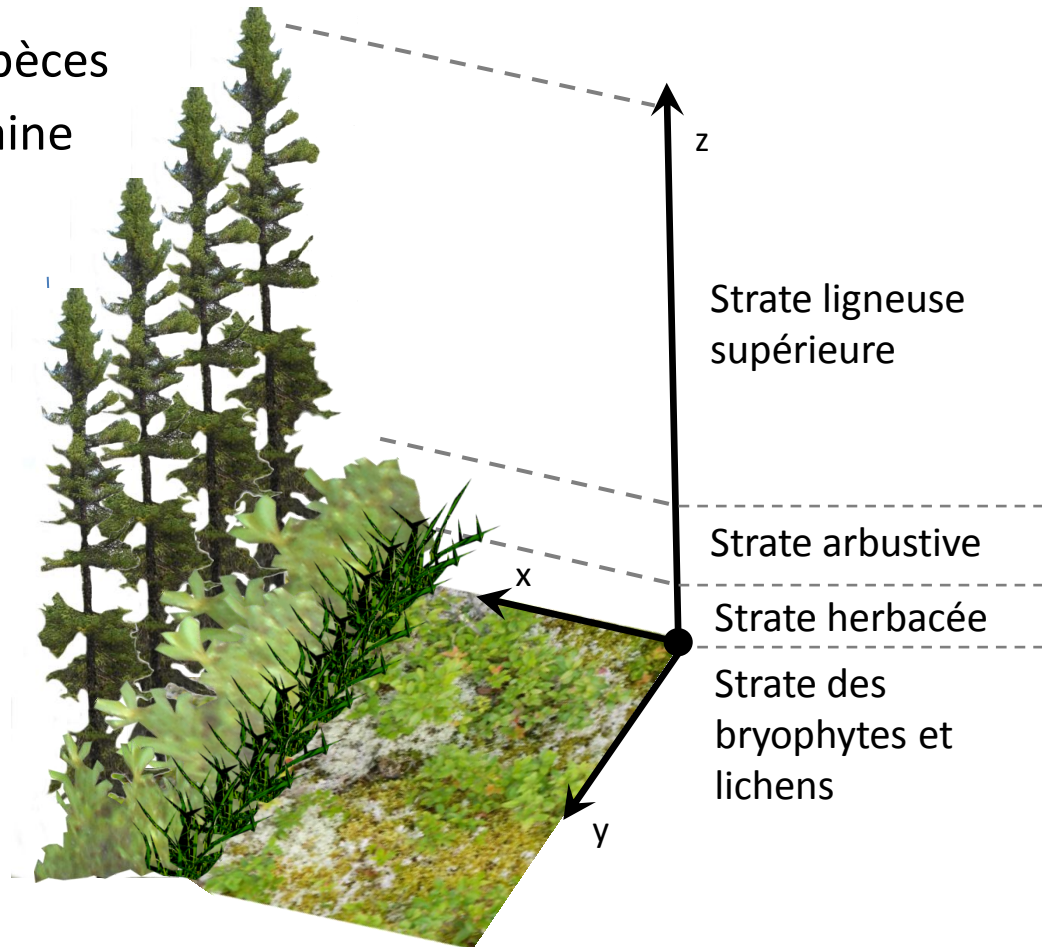
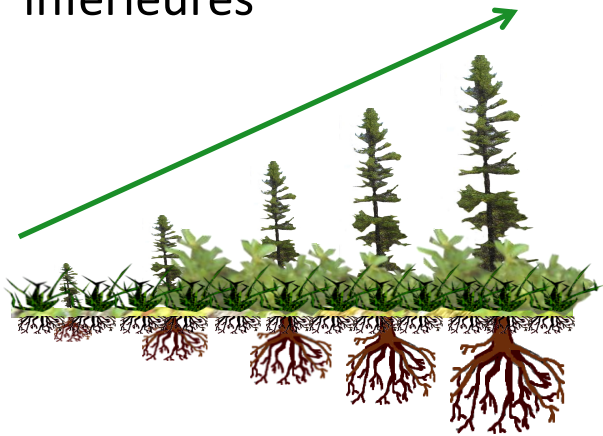
Arbres = espèces transitoires dans les strates forestières inférieures



Stratification forestière

Strate forestière : groupe d'espèces végétales présentant une certaine unité de forme et de hauteur

Arbres = espèces transitoires dans les strates forestières inférieures



➡ Strate au sens large $\neq$ groupe fonctionnel

Définition des termes de la question

Quels sont les éléments théoriques qui pourraient expliquer les différents types de relations entre **strates forestières** ?

Définition des termes de la question

Quels sont les éléments théoriques qui pourraient expliquer les différents types de **relations entre strates forestières** ?

Des résultats variables selon les études...

Liens entre strates :

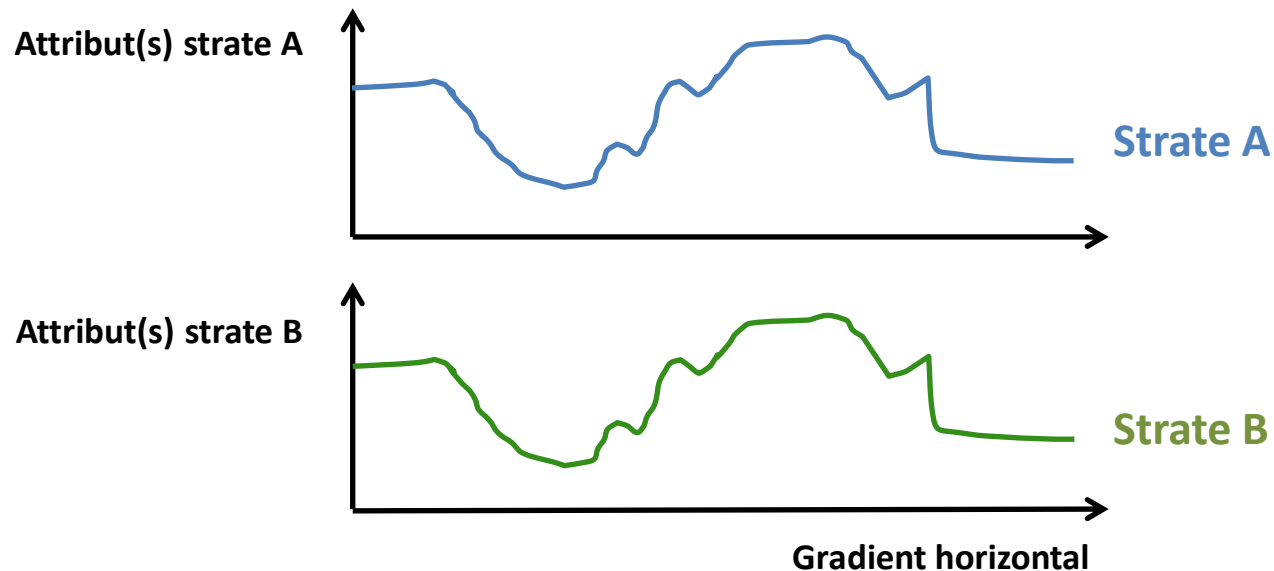
Mise en parallèle inter-strate de plusieurs types de variables

Composition spécifique, richesse spécifique, production de biomasse...

Des résultats variables selon les études...

Liens entre strates :

Mise en parallèle inter-strate de plusieurs types de variables
Composition spécifique, richesse spécifique, production de biomasse...



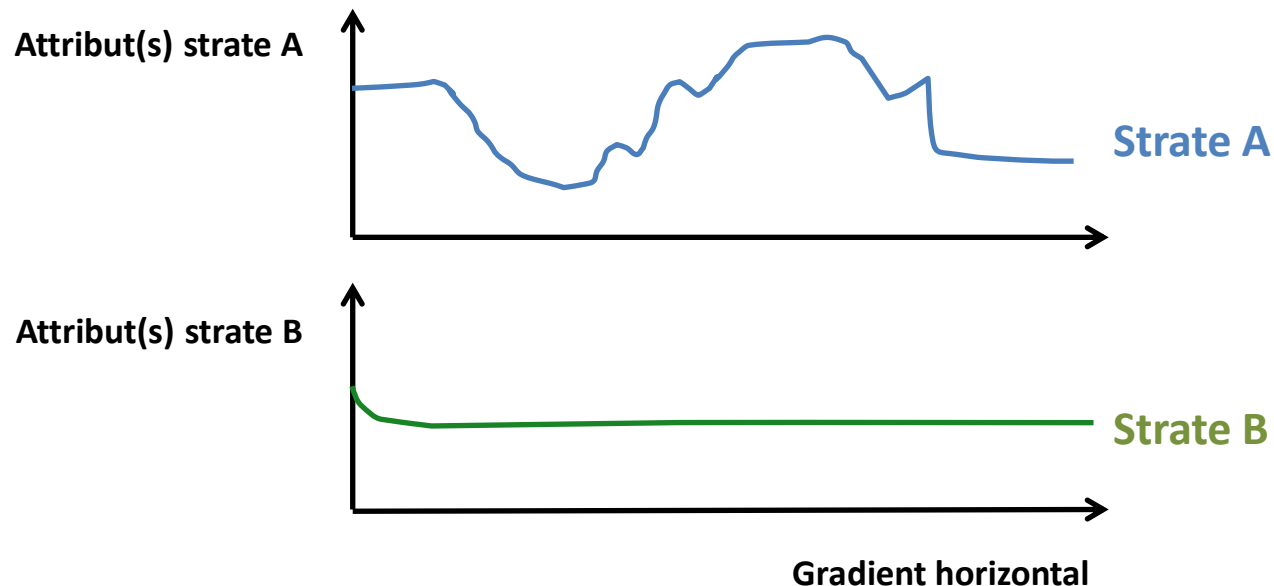
➡ Interdépendance ou covariation

Des résultats variables selon les études...

Absence de liens entre strates :

Des résultats variables selon les études...

Absence de liens entre strates :



Indépendance des variations

Problématique

Nature des relations entre strates forestières variable selon les études.

Problématique

Nature des relations entre strates forestières variable selon les études.

➔ Quels sont les éléments théoriques qui pourraient expliquer les différents types de relation entre strates forestières ?

Problématique

Nature des relations entre strates forestières variable selon les études.

➔ **Quels sont les éléments théoriques qui pourraient expliquer les différents types de relation entre strates forestières ?**

Objectifs :

1. Faire le point sur la nature des liens entre strates forestières et comprendre les facteurs à l'origine de la covariation

Problématique

Nature des relations entre strates forestières variable selon les études.

➔ **Quels sont les éléments théoriques qui pourraient expliquer les différents types de relation entre strates forestières ?**

Objectifs :

1. Faire le point sur la nature des liens entre strates forestières et comprendre les facteurs à l'origine de la covariation
2. Identifier les facteurs susceptibles de favoriser le découplage des variations entre strates forestières

Méthodes

Revue non exhaustive de la littérature existante sur les relations inter-strates :

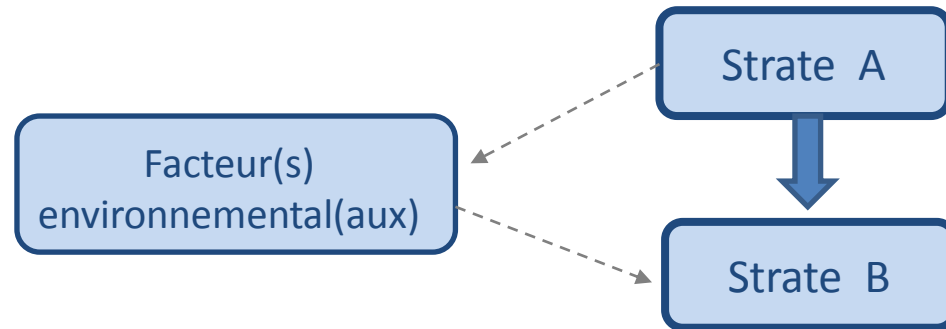
- Peu de travaux se sont intéressés à la question de manière directe
- Le nombre de travaux traitant de la question de manière indirecte est difficile à évaluer



Deux types de lien entre strates :

- Liens de cause à effet

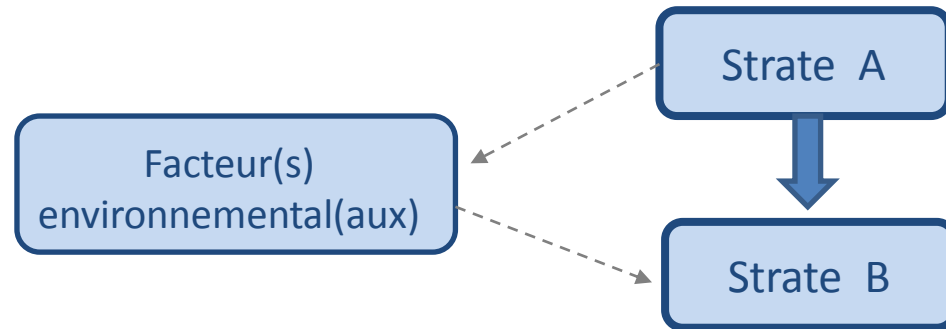
Interdépendance



Deux types de lien entre strates :

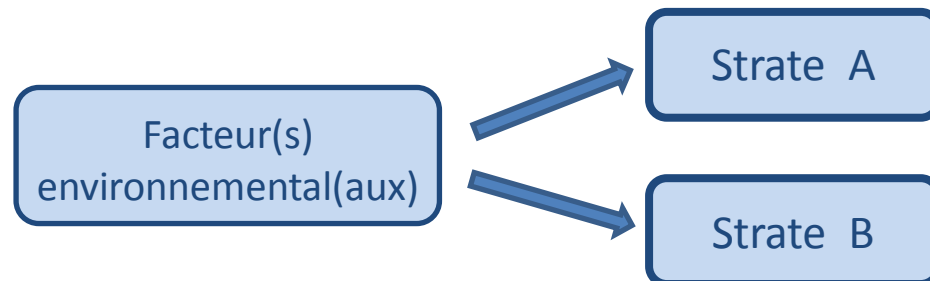
- Liens de cause à effet

Interdépendance



- Liens de simple corrélation

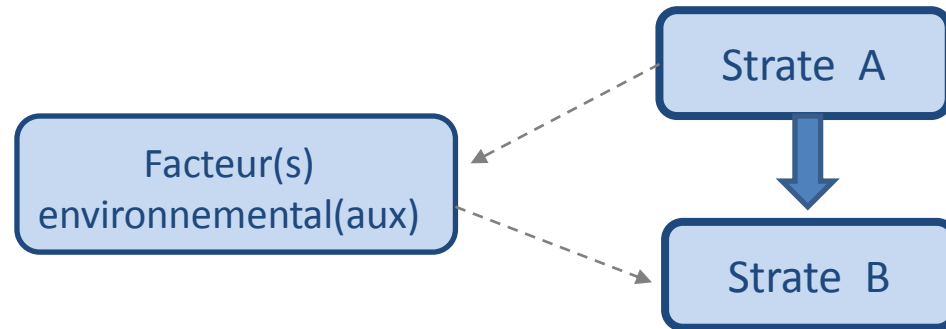
Covariation



Deux types de lien entre strates :

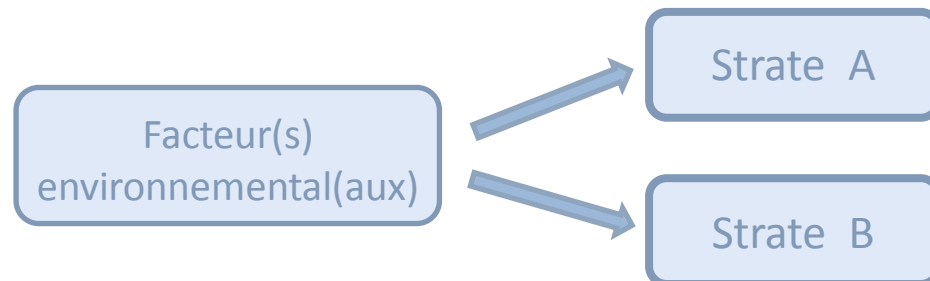
- Liens de cause à effet

Interdépendance



- Liens de simple corrélation

Covariation



Lien causal entre strates

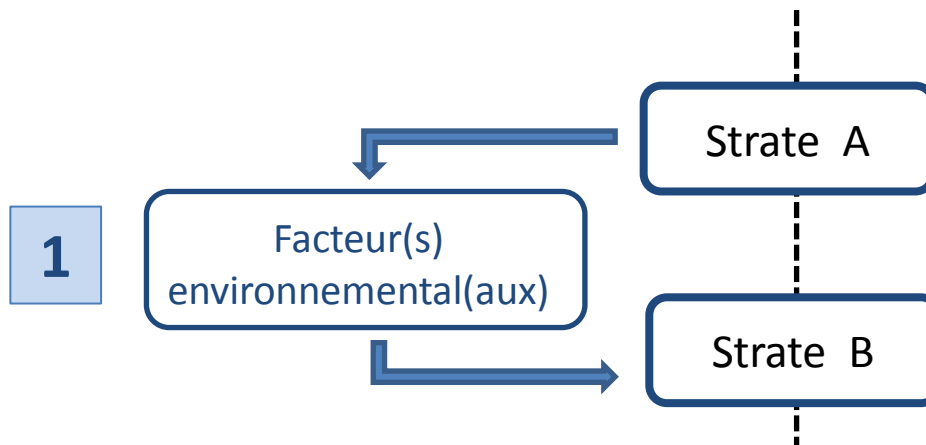
**La strate A affecte le patron d'organisation
horizontale de la strate B**

Lien causal entre strates

La strate A affecte le patron d'organisation horizontale de la strate B

Deux types de mécanismes écologiques :

1. La strate A influe sur les facteurs environnementaux structurant la strate B

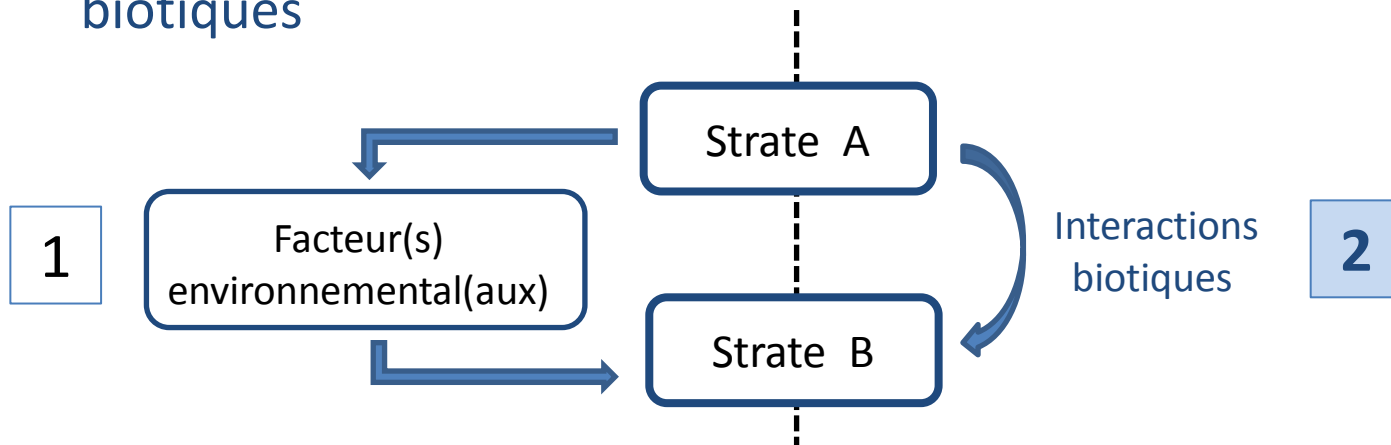


Lien causal entre strates

La strate A affecte le patron d'organisation horizontale de la strate B

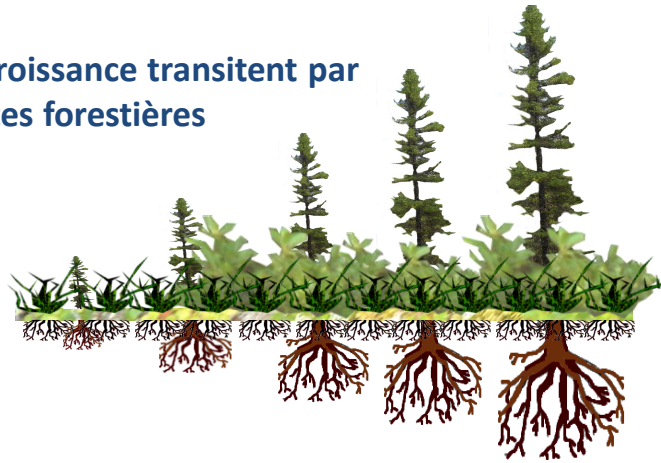
Deux types de mécanismes écologiques :

1. La strate A influe sur les facteurs environnementaux structurant la strate B
2. La strate A influe sur la strate B *via* des interactions biotiques



Liens causaux entre couvert forestier et sous-bois

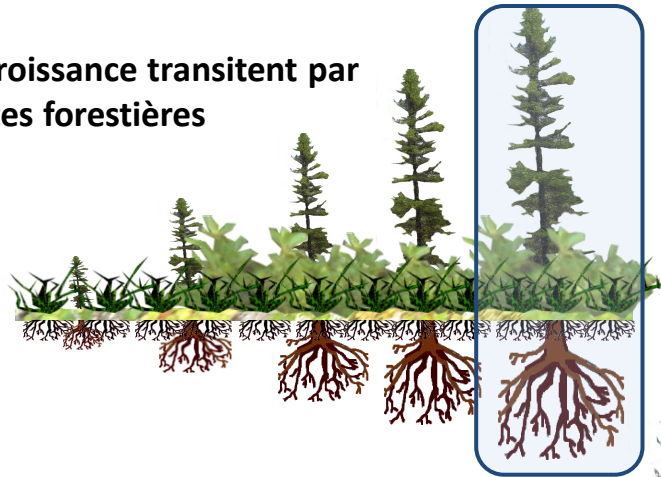
Les ligneux en croissance transitent par
différentes strates forestières



Liens causaux entre couvert forestier et sous-bois

24

Les ligneux en croissance transitent par différentes strates forestières



Effet du couvert forestier sur
les strates du sous-bois

Attributs structuraux du
peuplement :

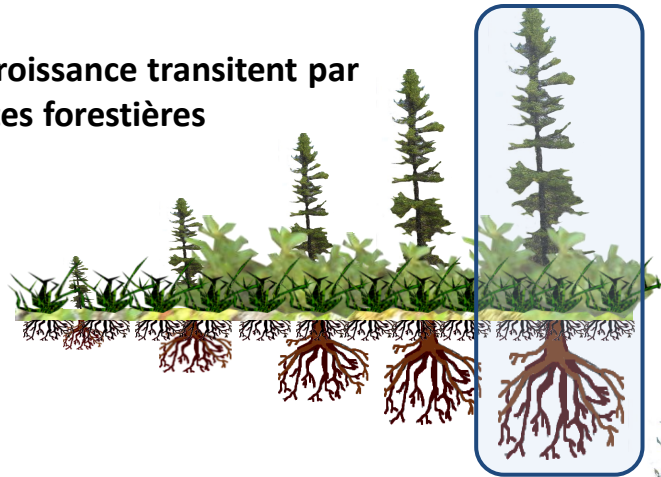
Disponibilité en lumière
Conditions microclimatiques
Filtration de l'eau de pluie
Dépôts atmosphériques



Liens causaux entre couvert forestier et sous-bois

25

Les ligneux en croissance transitent par différentes strates forestières



Effet du couvert forestier sur
les strates du sous-bois

Attributs structuraux du
peuplement :

Disponibilité en lumière
Conditions microclimatiques
Filtration de l'eau de pluie
Dépôts atmosphériques



Litière : Conditions
physico-chimiques et
biologiques du sol
forestier, allélopathie

Compétition pour les ressources : Eau et nutriments

Importance des variables mesurées

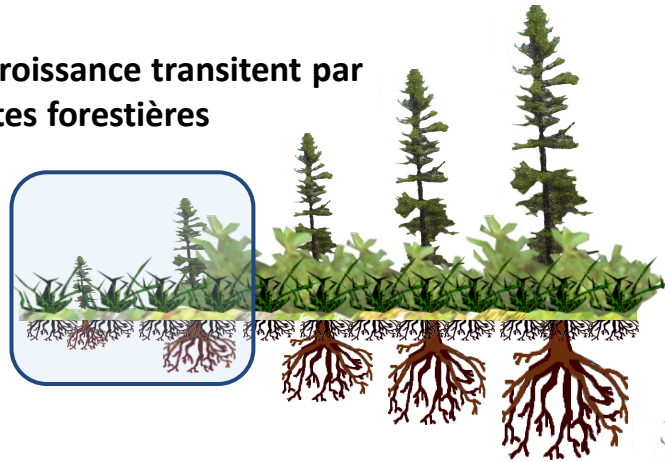
Liens causaux entre couvert forestier et strates du sous-bois

Variables mesurées		Lien	Nombre de publications recensées (non exhaustif)
Couvert	Sous-bois		
Composition spécifique	Composition spécifique	Oui	9
		Non	3
	Indices de diversité spécifique	Oui	6
		Non	2
	Abondance, biomasse, structure	Oui	6
		Non	2
Densité du peuplement ligneux Ouverture du couvert forestier	Composition spécifique	Oui	7
		Non	2
	Indices de diversité	Oui	5
	Abondance, biomasse, structure	Oui	4
		Non	1
	Floraison	Oui	1

Liens causaux entre couvert forestier et sous-bois

27

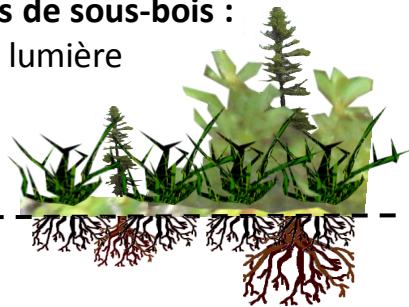
Les ligneux en croissance transitent par différentes strates forestières



**Effet des strates du sous-bois
sur la régénération ligneuse**

Structure des strates de sous-bois :

Compétition pour la lumière
Conditions
microclimatiques



**Effet du couvert forestier sur
les strates du sous-bois**

**Attributs structuraux du
peuplement :**

Disponibilité en lumière
Conditions microclimatiques
Filtration de l'eau de pluie
Dépôts atmosphériques



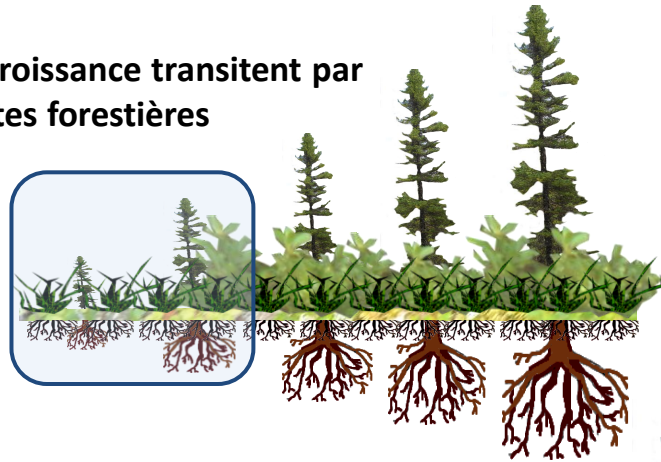
Litière : Conditions
physico-chimiques et
biologiques du sol
forestier, allélopathie

Compétition pour les ressources : Eau et nutriments

Liens causaux entre couvert forestier et sous-bois

28

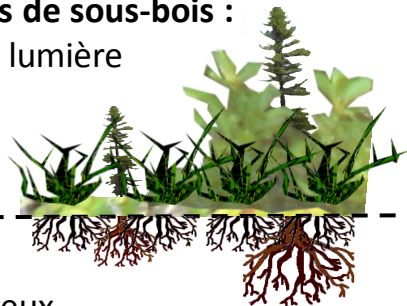
Les ligneux en croissance transitent par différentes strates forestières



Effet des strates du sous-bois sur la régénération ligneuse

Structure des strates de sous-bois :

Compétition pour la lumière
Conditions microclimatiques



Substrats pour la germination des ligneux

Litière : Conditions physico-chimiques et biologiques du sol forestier, allélopathie

Compétition pour les ressources : Eau et nutriments

Effet du couvert forestier sur les strates du sous-bois

Attributs structuraux du peuplement :

Disponibilité en lumière
Conditions microclimatiques
Filtration de l'eau de pluie
Dépôts atmosphériques



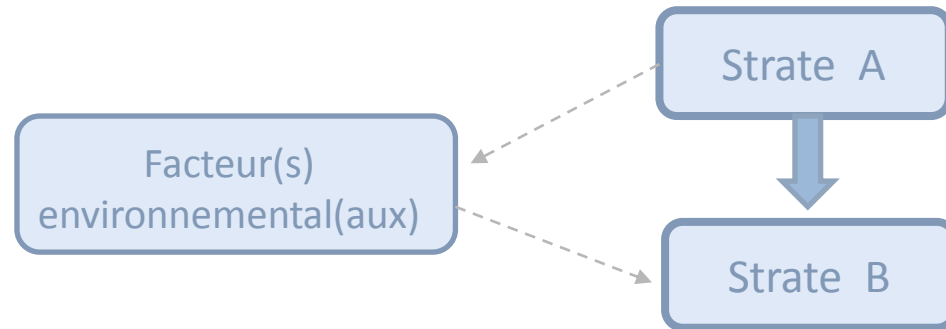
Litière : Conditions physico-chimiques et biologiques du sol forestier, allélopathie

Compétition pour les ressources : Eau et nutriments

Deux types de lien entre strates :

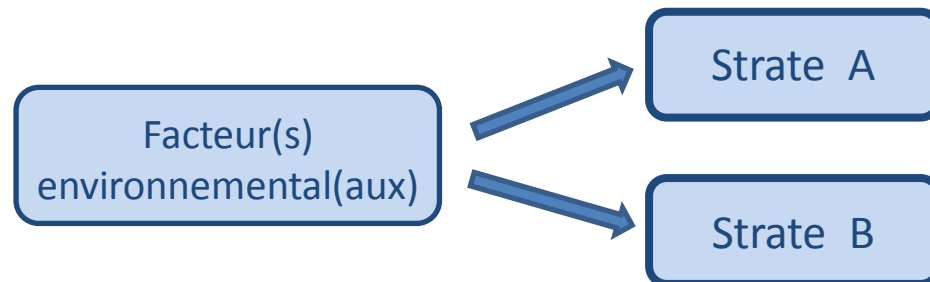
- Liens de cause à effet

Interdépendance



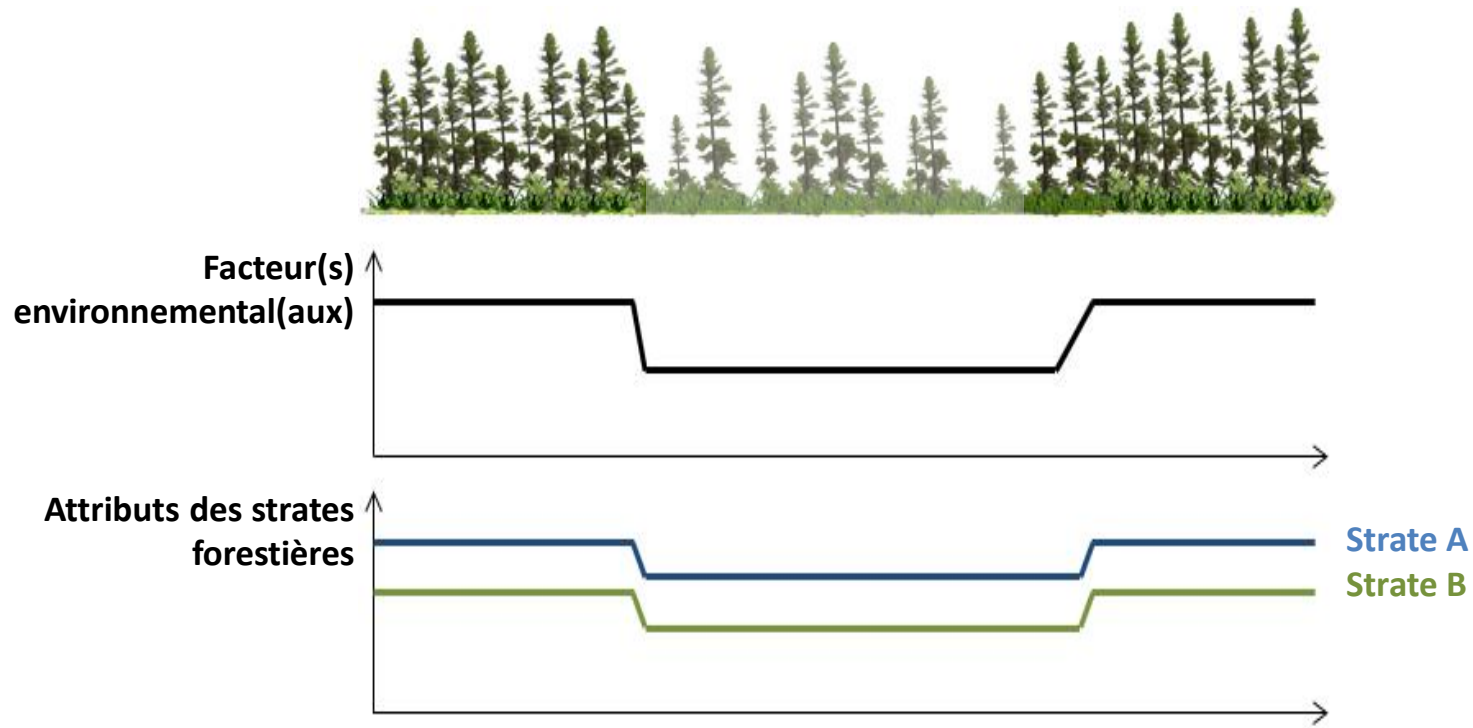
- Liens de simple corrélation

Covariation



Corrélation non causale entre strates

Les strates A et B sont structurées le long des mêmes gradients environnementaux



Exemple de facteurs environnementaux : type de dépôt de surface, paramètres climatiques, topographie ...

Corrélation non causale entre strates

La force des liens entre strates est susceptible de varier selon l'échelle :

Corrélation non causale entre strates

La force des liens entre strates est susceptible de varier selon l'échelle :

Plus la zone d'étude regroupe des sites de conditions abiotiques différentes...



Corrélation non causale entre strates

La force des liens entre strates est susceptible de varier selon l'échelle :

Plus la zone d'étude regroupe des sites de conditions abiotiques différentes,



Plus la diversité bêta est importante...

Diversité bêta = diversité spécifique le long de gradients environnementaux



Corrélation non causale entre strates

La force des liens entre strates est susceptible de varier selon l'échelle :

Plus la zone d'étude regroupe des sites de conditions abiotiques différentes,



↳ **Plus** la diversité bêta est importante,



↳ **Plus** la force des liens entre strates est grande.



Exemple d'association spécifique entre strates

La pessière noire à mousses en forêt boréale :

L'épinette noire et les mousses hypnées, une affaire qui marche...



Des liens entre strates, oui mais...

Des liens qui semblent être évidents à l'échelle du paysage, permettant de définir des types écologiques...

MAIS, des liens qui ne sont pas si évidents à l'échelle de la station forestière.

Des liens entre strates, oui mais...

Des liens qui semblent être évidents à l'échelle du paysage, permettant de définir des types écologiques...

MAIS, des liens qui ne sont pas si évidents à l'échelle de la station forestière.

Des strates forestières co-occurrentes dans le temps et l'espace, et pourtant, des liens **relativement faibles voire absents** entre les différents niveaux de végétation.

Des liens entre strates, oui mais...

Des liens qui semblent être évidents à l'échelle du paysage, permettant de définir des types écologiques...

MAIS, des liens qui ne sont pas si évidents à l'échelle de la station forestière.

Des strates forestières co-occurentes dans le temps et l'espace, et pourtant, des liens relativement faibles voire absents entre les différents niveaux de végétation.

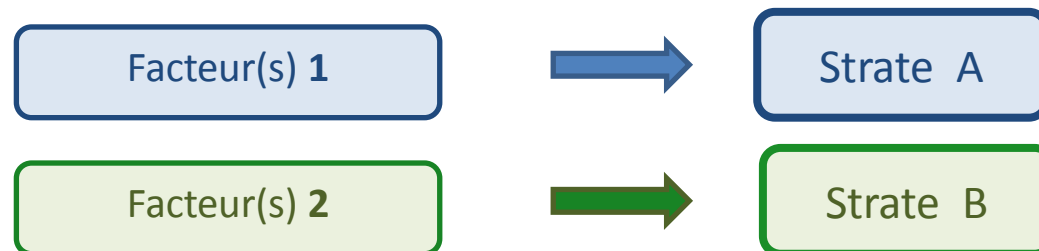


Pourquoi si peu de cohérence entre strates ?

Comment expliquer l'absence de lien entre strates ?

Indépendance des variations entre strates :

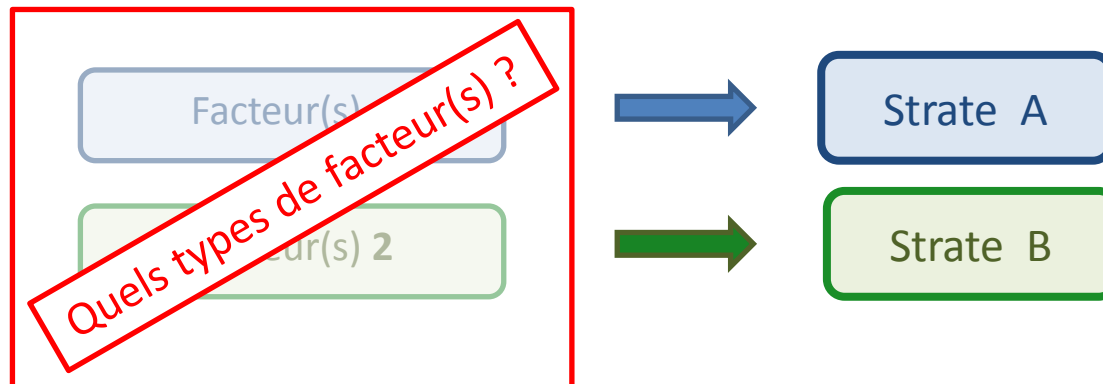
Réponse à des facteurs différents ou aux mêmes facteurs mais à des échelles différentes...



Comment expliquer l'absence de lien entre strates ?

Indépendance des variations entre strates :

Réponse à des facteurs différents ou aux mêmes facteurs mais à des échelles différentes...



Quels types de facteurs ?

Liens entre strates		Absence de lien entre strates	
Interactions biotiques	Facteurs environnementaux	Facteurs environnementaux	Facteurs stochastiques
Déterminisme			Stochasticité

Quels types de facteurs ?

Liens entre strates		Absence de lien entre strates	
Interactions biotiques	Facteurs environnementaux	Facteurs environnementaux	Facteurs stochastiques
Déterminisme			Stochasticité

Quels types de facteurs ?

Liens entre strates		Absence de lien entre strates	
Interactions biotiques	Facteurs environnementaux	Facteurs environnementaux	Facteurs stochastiques
Déterminisme			Stochasticité

Éléments théoriques expliquant l'absence de liens entre strates forestières :

1. L'absence de liens entre strates expliquée par l'intervention de facteurs environnementaux
2. Réduction des liens entre strates liée à l'intervention de facteurs stochastiques

Quels types de facteurs ?

Liens entre strates		Absence de lien entre strates	
Interactions biotiques	Facteurs environnementaux	Facteurs environnementaux	Facteurs stochastiques
Déterminisme			Stochasticité

Éléments théoriques expliquant l'absence de liens entre strates forestières :

1. L'absence de liens entre strates expliquée par l'intervention de **facteurs environnementaux**
2. Réduction des liens entre strates liée à l'intervention de facteurs stochastiques

Facteurs environnementaux

Découplage des variations entre strates et intervention de facteurs environnementaux :

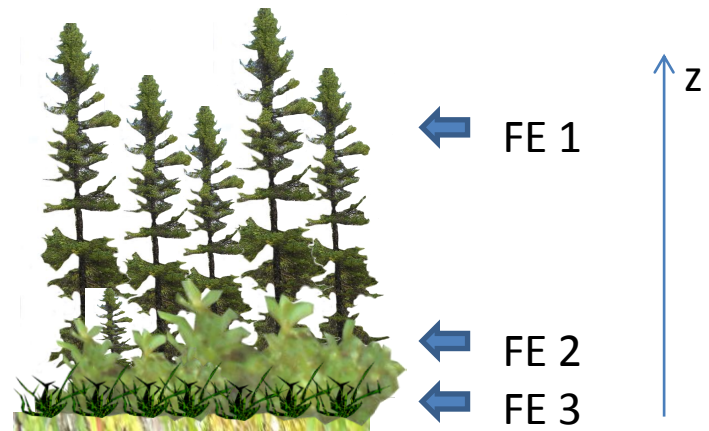
- Réponse à des gradients environnementaux différents
- Réponses différentes aux mêmes gradients environnementaux et/ou perturbations



Facteurs environnementaux

Réponse à des facteurs environnementaux opérant à des niveaux différents :

Suivant sa position verticale, le patron horizontal d'une strate de végétation peut ne pas répondre aux mêmes gradients environnementaux



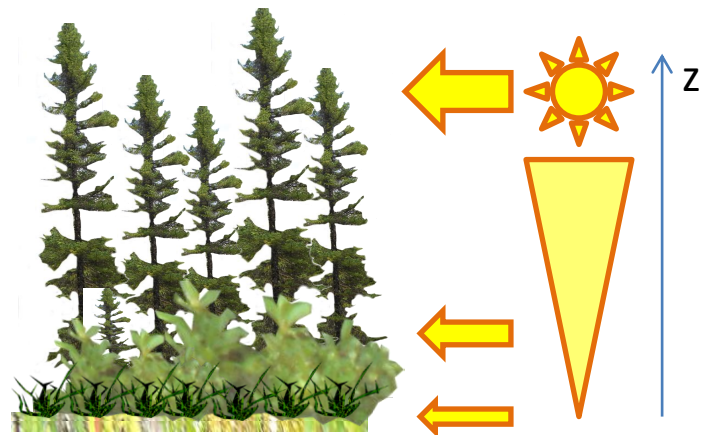
Facteurs environnementaux

Réponse à des facteurs environnementaux opérant à des niveaux différents :

Suivant sa position verticale, le patron horizontal d'une strate de végétation peut ne pas répondre aux mêmes gradients environnementaux

Exemple :

Disponibilité en lumière



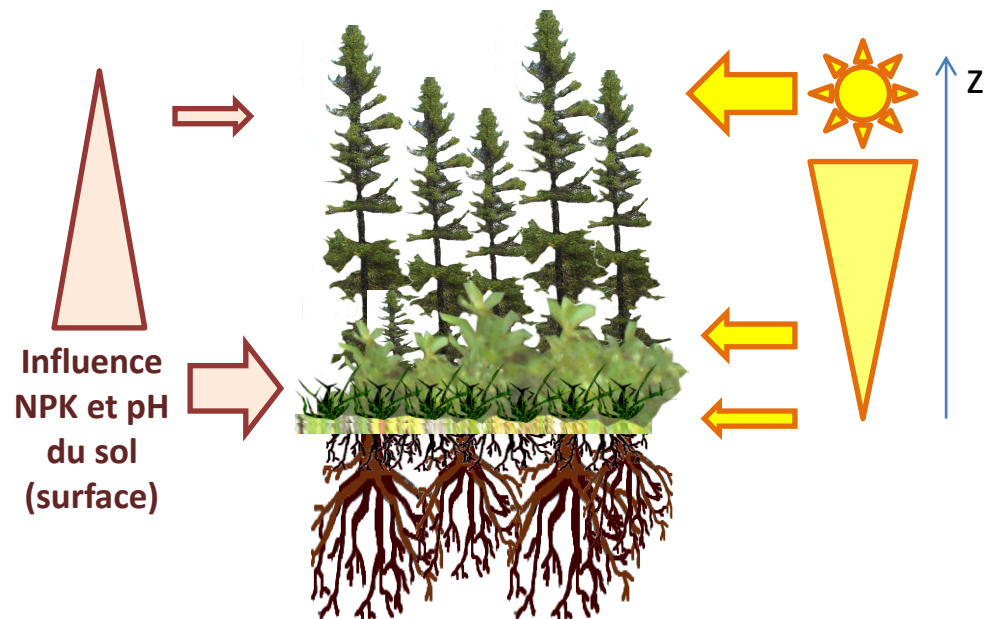
Facteurs environnementaux

Réponse à des facteurs environnementaux opérant à des niveaux différents :

Suivant sa position verticale, le patron horizontal d'une strate de végétation peut ne pas répondre aux mêmes gradients environnementaux

Exemple :

Disponibilité en lumière
Vs
Fertilité du sol (en surface)



Facteurs environnementaux

**Réponse à un même gradient environnemental mais à
des échelles spatiales différentes**

49

Contrastes de taille entre espèces de strates différentes

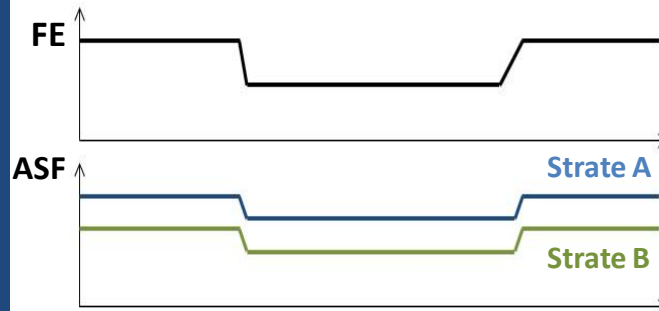
Facteurs environnementaux

Réponse à un même gradient environnemental mais à des échelles spatiales différentes

50

Contrastes de taille entre espèces de strates différentes

Echelle du paysage :
Couplage entre strates



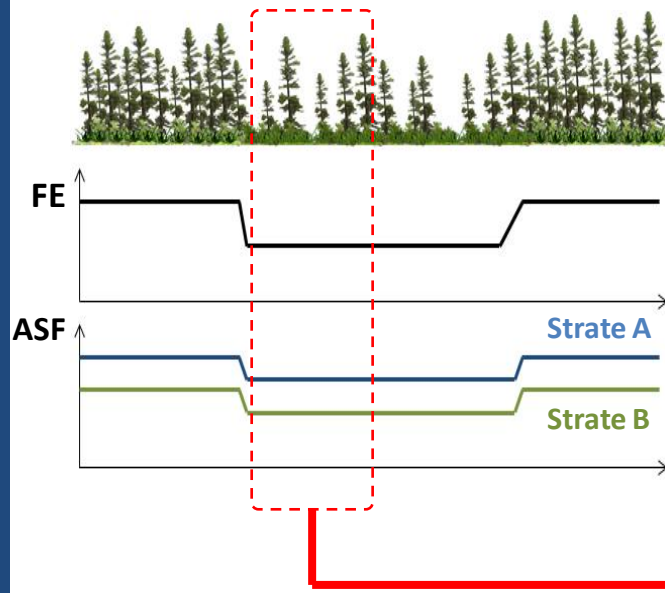
Facteurs environnementaux

Réponse à un même gradient environnemental mais à des échelles spatiales différentes

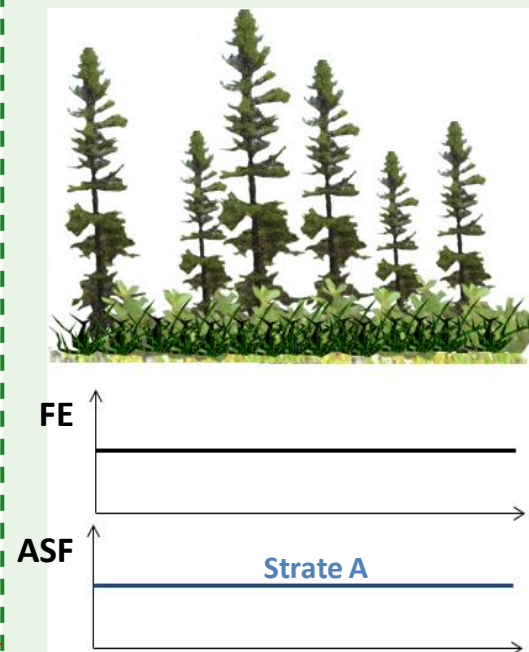
51

Contrastes de taille entre espèces de strates différentes

Echelle du paysage :
Couplage entre strates



Echelle de la station : Découplage entre strates



Echelle du peuplement ligneux

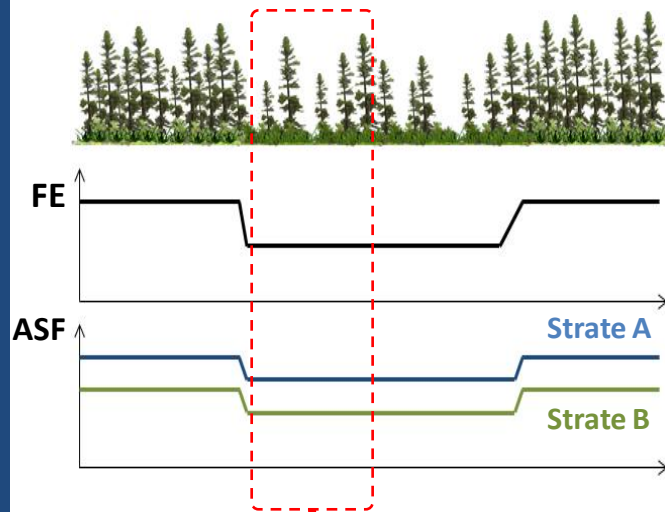
Facteurs environnementaux

Réponse à un même gradient environnemental mais à des échelles spatiales différentes

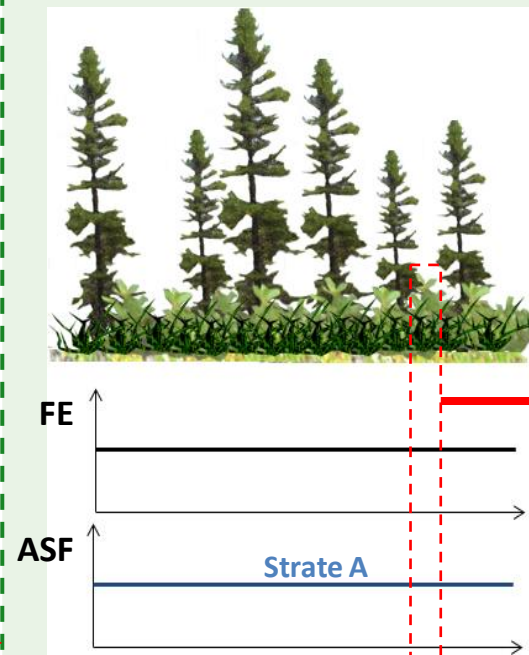
52

Contrastes de taille entre espèces de strates différentes

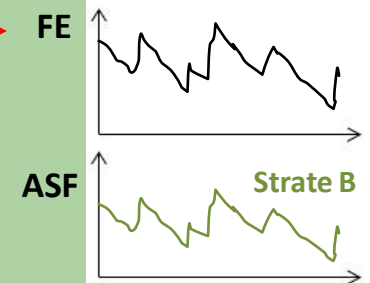
Echelle du paysage :
Couplage entre strates



Echelle de la station : Découplage entre strates



Echelle du peuplement ligneux



Echelle de la strate herbacée

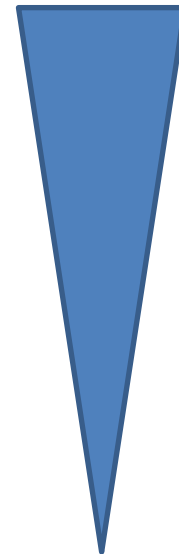
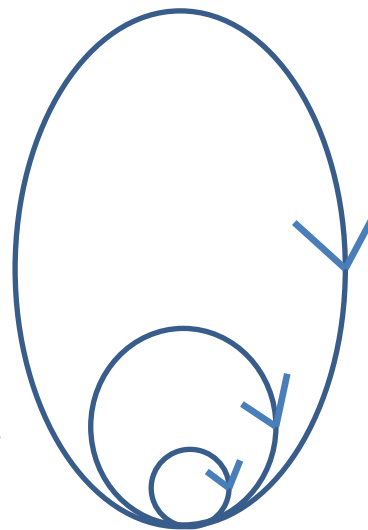
Facteurs environnementaux

Décalage temporel de réponse aux perturbations

Contrastes de cycles vie entre espèces de strates différentes



Cycles de vie



Temps de réponse
biotique après
perturbation

Facteurs environnementaux

Variations génotypiques intraspécifiques et plasticité phénotypique

Affaiblissement des associations entre espèces à 2 niveaux :

- Entre espèces d'une même strate
- **Entre espèces de strates différentes**

Facteurs environnementaux

Variations génotypiques intraspécifiques et plasticité phénotypique

Affaiblissement des associations entre espèces à 2 niveaux :

- Entre espèces d'une même strate
- **Entre espèces de strates différentes**

Recouvrement important entre habitats,

Espèces généralistes qui tolèrent une large gamme de conditions environnementales



Quels types de facteurs ?

Liens entre strates		Absence de lien entre strates	
Interactions biotiques	Facteurs environnementaux	Facteurs environnementaux	Facteurs stochastiques
Déterminisme			Stochasticité

Éléments théoriques expliquant l'absence de liens entre strates forestières :

1. **Facteurs environnementaux** : éléments de réponse compatibles avec l'approche déterministe
2. Réduction des liens entre strates liée à l'intervention de **facteurs stochastiques**

Facteurs environnementaux vs stochastiques

Pourcentage de la variance expliquée par les facteurs environnementaux :

Pour l'ensemble des études consultées, revue non exhaustive.

Variables environnementales relevées	Communauté végétale		Pourcentage (max) de la variance expliquée
	Variable(s) mesurée(s)	Strate(s) échantillonnée(s)	
Topographie, Géologie, Conditions édaphiques (pH, contenu en nutriments du sol, humidité...), Régime hydrique, Conditions climatiques, Couvert forestier, Régime de perturbations	Composition spécifique	Arbres Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 32 %
	Abondance et productivité	Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 79 %
	Indices de diversité	Arbres Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 46 %
	Floraison	Herbacées	≤ 58 %

Facteurs environnementaux vs stochastiques

Pourcentage de la variance expliquée par les facteurs environnementaux :

Pour l'ensemble des études consultées, revue non exhaustive.

Variables environnementales relevées	Communauté végétale		Pourcentage (max) de la variance expliquée
	Variable(s) mesurée(s)	Strate(s) échantillonnée(s)	
Topographie, Géologie, Conditions édaphiques (pH, contenu en nutriments du sol, humidité...), Régime hydrique, Conditions climatiques, Couvert forestier, Régime de perturbations	Composition spécifique	Arbres Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 32 %
	Abondance et productivité	Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 79 %
	Indices de diversité	Arbres Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 46 %
	Floraison	Herbacées	≤ 58 %

Facteurs environnementaux vs stochastiques

Pourcentage de la variance expliquée par les facteurs environnementaux :

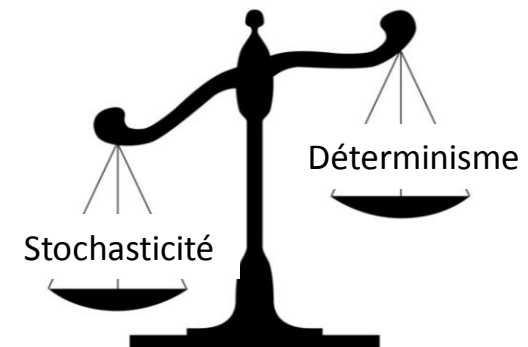
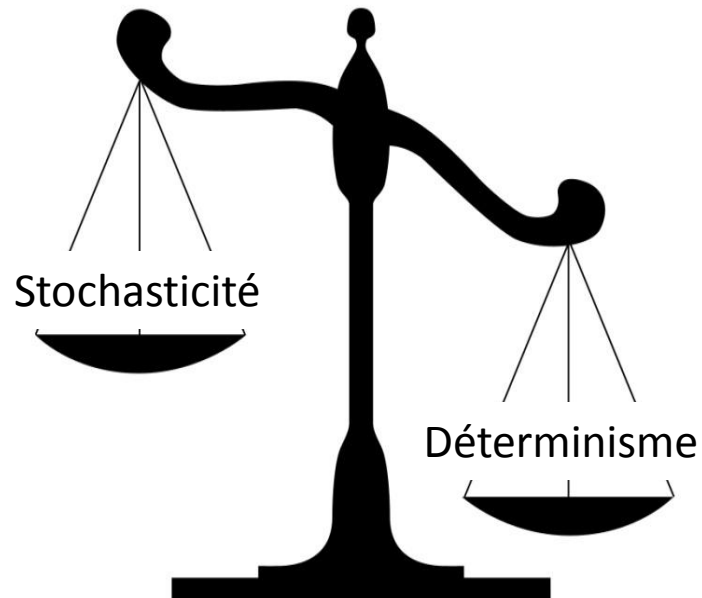
Pour l'ensemble des études consultées, revue non exhaustive.

Variables environnementales relevées	Communauté végétale		Pourcentage (max) de la variance expliquée
	Variable(s) mesurée(s)	Strate(s) échantillonnée(s)	
Topographie, Géologie, Conditions édaphiques (pH, contenu en nutriments du sol, humidité...), Régime hydrique, Conditions climatiques Couvert végétal Régime de perturbations	Composition spécifique	Arbres Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 32 %
	Diversité	Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 79 %
	Indices de diversité	Arbres Arbustes Herbacées Bryophytes	≤ 46 %
	Floraison	Herbacées	≤ 58 %

Rôle des facteurs stochastiques ?

Déterminisme vs stochasticité

Encore une question d'échelle ?

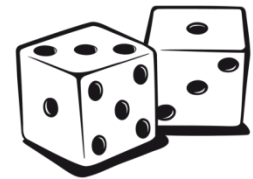


Taille de la zone d'étude
Diversité bêta

Indépendance des strates

Facteurs stochastiques

Deux sources de stochasticité :



dispersion et perturbations

- ➔ De quelle manière affectent-elles le patron de communauté ?
- ➔ Comment participent-elles au découplage des variations entre strates ?

Facteurs stochastiques

La dispersion, un processus semi-aléatoire :

Contraintes de dispersion = contexte spatial et
potentiel de dispersion des espèces

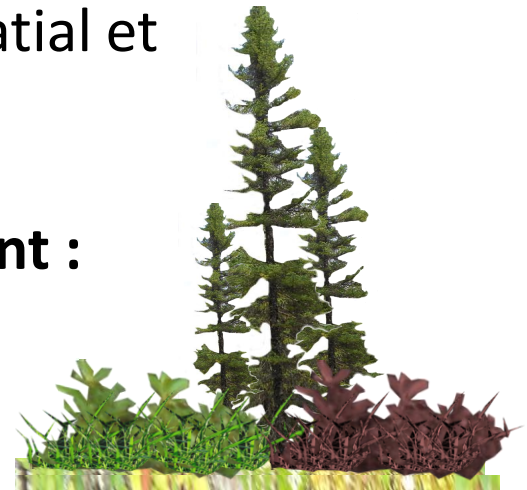
Facteurs stochastiques

La dispersion, un processus semi-aléatoire :

Contraintes de dispersion = contexte spatial et potentiel de dispersion des espèces

Les contraintes de dispersion engendrent :

1. Des effets de voisinage



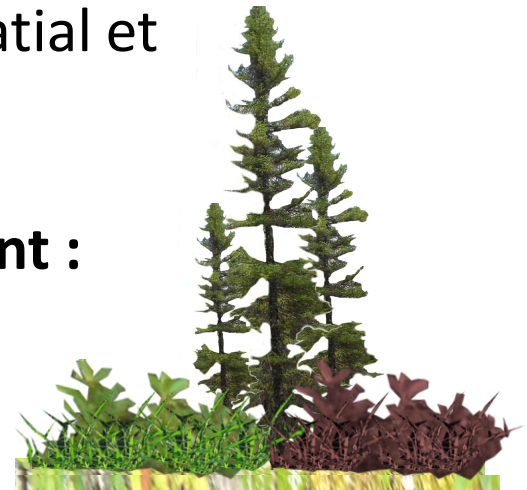
Facteurs stochastiques

La dispersion, un processus semi-aléatoire :

Contraintes de dispersion = contexte spatial et potentiel de dispersion des espèces

Les contraintes de dispersion engendrent :

1. Des effets de voisinage
2. Un délai de recolonisation après perturbation



➡ Découplage des variations compositionnelles entre strates

Facteurs stochastiques

Importance des facteurs historiques :

Les facteurs stochastiques peuvent une empreinte durable sur le patron d'une communauté.

- Historique de perturbations
- Historique de colonisation



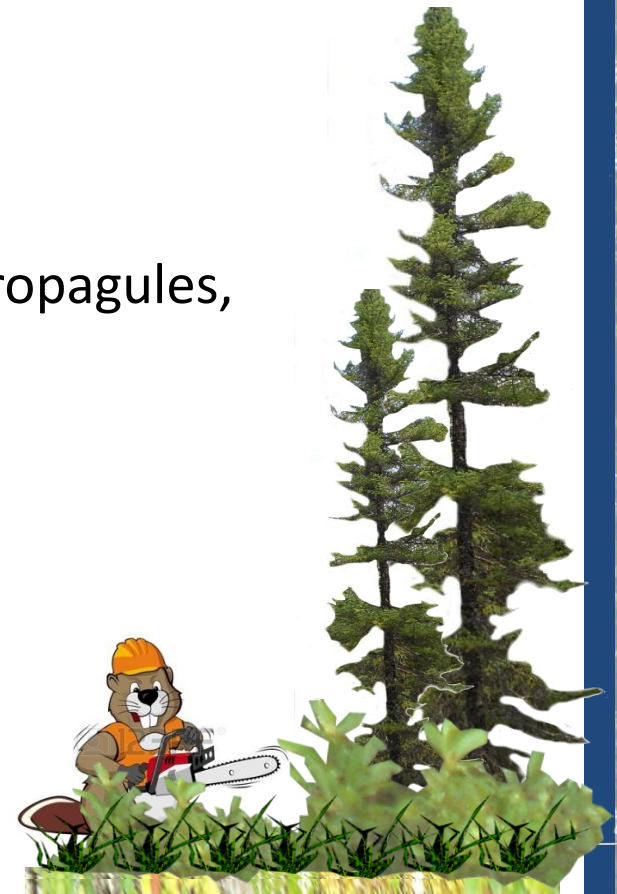
Facteurs stochastiques

Importance des facteurs historiques :

Historique de perturbations

Naturelles ou anthropiques

Influences sur la banque de graines, de propagules,
persistance de rhizomes.



Facteurs stochastiques

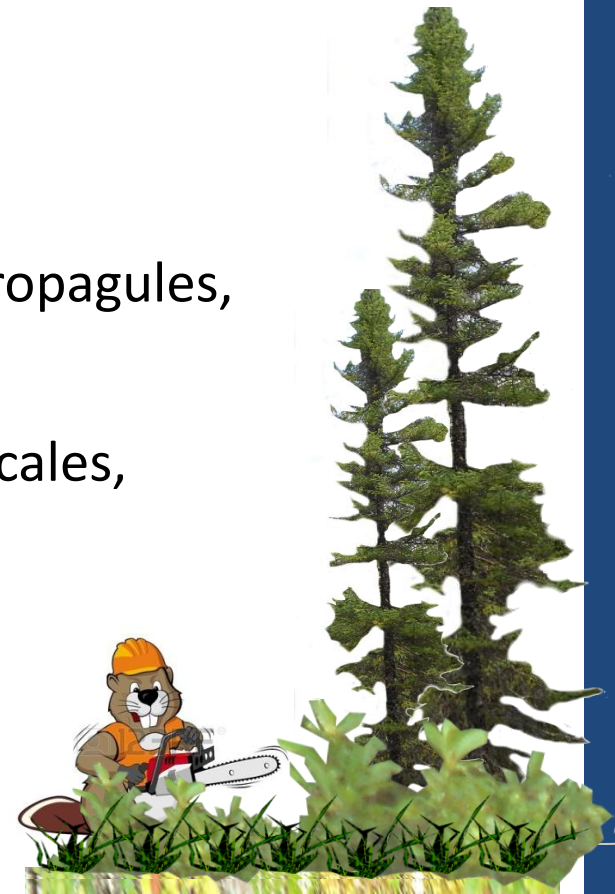
Importance des facteurs historiques :

Historique de perturbations

Naturelles ou anthropiques

Influences sur la banque de graines, de propagules, persistance de rhizomes.

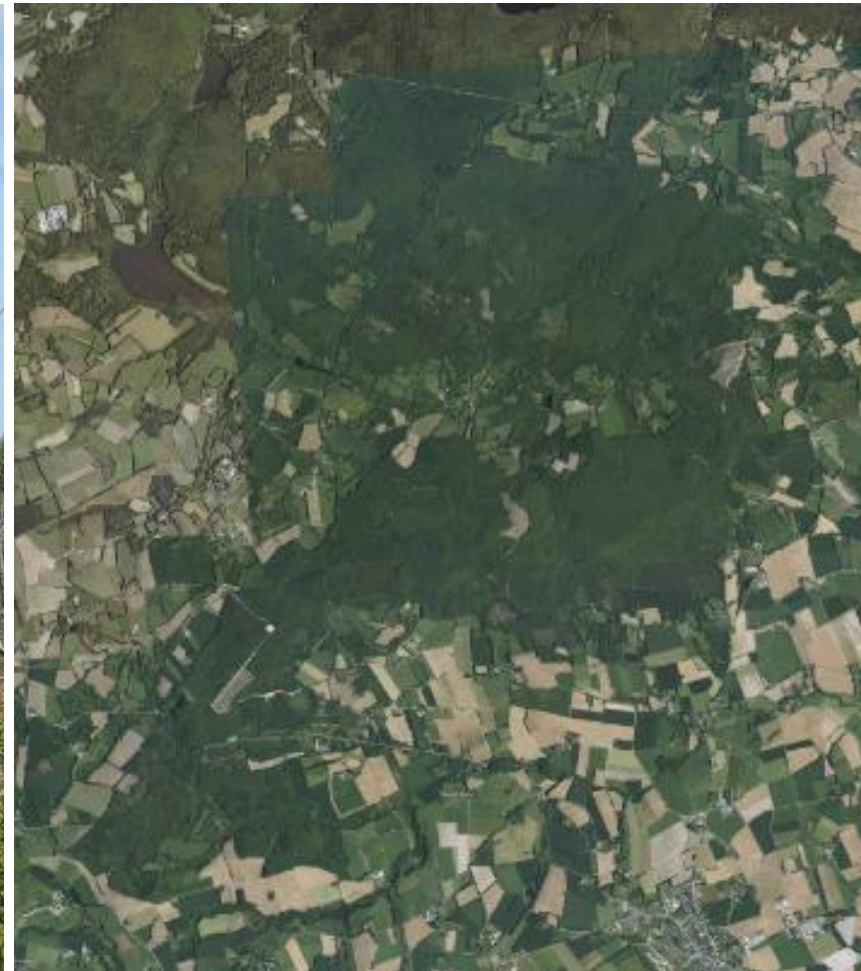
Fragmentation de l'habitat, extinctions locales, éloignement des sources génotypiques



Facteurs stochastiques



Régénération post-feu



**Fragmentation liée à la conversion
culturelle**

Facteurs stochastiques

Importance des facteurs historiques :

Historique de colonisation

Contingence historique + interactions biotiques...

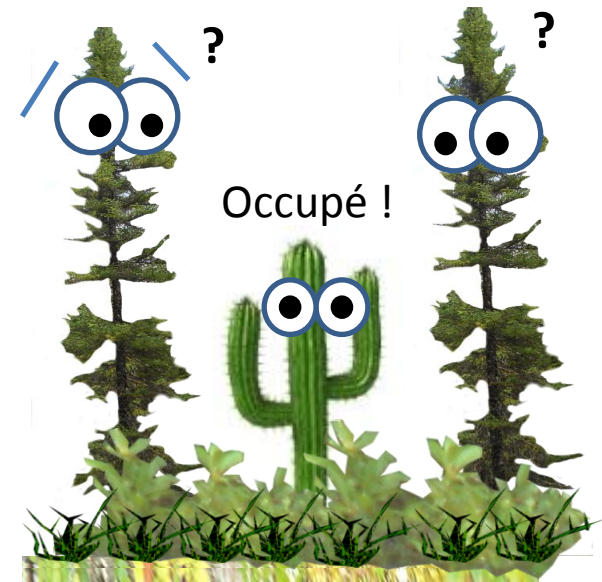
Facteurs stochastiques

Importance des facteurs historiques :

Historique de colonisation

Contingence historique + interactions biotiques...

➡ **Effets de priorité**



Bilan

Récapitulatif des types de liens possibles entre strates forestières :

Liens entre strates		
Relations causales		Relations non causales
Interactions biotiques inter- strates	Modification endogène des facteurs environnementaux	Réponses similaires aux mêmes facteurs environnementaux exogènes

Bilan

Récapitulatif des facteurs responsables du découplage des variations entre strates :

Déterminisme : Facteurs environnementaux	Stochasticité : facteurs historiques
• Réponses à des gradients environnementaux différents • Réponses aux mêmes gradients environnementaux, MAIS : - A des échelles spatiales différentes - De manière décalée dans le temps - De manière plus ou moins visible	• Historique de perturbations : Naturelles ou anthropiques • Historique d'assemblage de la communauté : - Dispersion = processus semi-aléatoire - Dynamique d'établissement

Faible pouvoir prédictif des facteurs environnementaux à l'échelle de la station = rôle important de la composante stochastique

Limites et perspectives

Une revue de la littérature non exhaustive...

La question des relations entre strates forestières est souvent abordée de manière indirecte, d'où l'impossibilité d'établir une méthode plus rigoureuse de recherches bibliographiques.

Limites et perspectives

Une revue de la littérature non exhaustive...

La question des relations entre strates forestières est souvent abordée de manière indirecte, d'où l'impossibilité d'établir une méthode plus rigoureuse de recherches bibliographiques.

On cherche souvent à mettre en évidence des liens entre strates, sans forcément se demander pourquoi l'on n'en perçoit que très peu...

Limites et perspectives

Une revue de la littérature non exhaustive...

La question des relations entre strates forestières est souvent abordée de manière indirecte, d'où l'impossibilité d'établir une méthode plus rigoureuse de recherches bibliographiques.

On cherche souvent à mettre en évidence des liens entre strates, sans forcément se demander pourquoi l'on n'en perçoit que très peu...

Les articles recensés concernent principalement des forêts à stratification simple : tempérées et boréales

Limites et perspectives

Etablir des liens entre strates, quel intérêt ?

Inférer le patron d'une communauté dans son ensemble à partir des caractéristiques d'une seule strate

Limites et perspectives

Etablir des liens entre strates, quel intérêt ?

Inférer le patron d'une communauté dans son ensemble à partir des caractéristiques d'une seule strate

MAIS, démarche envisageable uniquement en cas de liens étroits entre strates forestières,

OR, liens quantifiés jusqu'alors sont souvent très faibles et dépendent de plusieurs paramètres

Limites et perspectives

Etablir des liens entre strates, quel intérêt ?

Inférer le patron d'une communauté dans son ensemble à partir des caractéristiques d'une seule strate

MAIS, démarche envisageable uniquement en cas de liens étroits entre strates forestières,

OR, liens quantifiés jusqu'alors sont souvent très faibles et dépendent de plusieurs paramètres



La caractérisation d'une strate ne nous permet pas de nous affranchir de la caractérisation de la communauté dans son ensemble

The slide features a dark blue background with several rectangular panels showing forest scenes. At the top, there are two panels: a narrow vertical one on the left and a wider horizontal one on the right, both showing tall, thin trees. Below these, there is a large white rectangular area containing the text 'Merci de votre attention...'. Underneath the white area is another horizontal panel showing a forest floor with green undergrowth. On the right side of the slide, there is a vertical panel showing a close-up of green foliage. At the bottom, there is a wide horizontal panel showing a forest floor with green plants and moss.

Merci de votre attention...

Chaire
INDUSTRIELLE CRSG - UQAT - UQAM
**en aménagement
forestier durable**

UQAT
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE