

# **Effet des substitutions d'essence sur le fonctionnement organo-minéral de l'écosystème forestier, sur les communautés microbiennes et sur la diversité des communautés fongiques mycorhyziennes et saprophytes**

Cas du dispositif expérimental de Breuil-Morvan



*Responsables scientifiques*  
*Francis ANDREUX -*  
*UMR 1229 Université de Dijon 21000 Dijon*

*&*

*Jacques RANGER*

*INRA-UR Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers 54280 Champenoux*





## Objectifs généraux du projet

1- Etudier l'effet de la substitution d'essence forestière sur la **diversité biologique** de quelques groupes et sur le fonctionnement **biogéochimique** du sol ; identifier les **relations réciproques** entre ces paramètres.

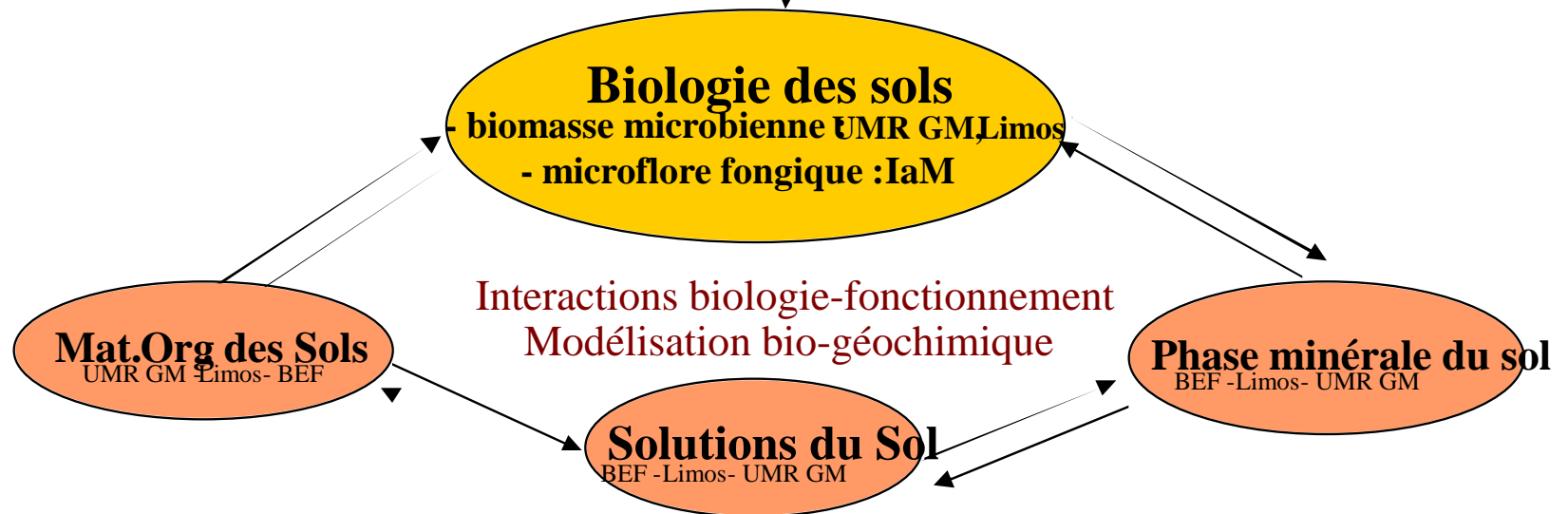
2- Améliorer les connaissances pour une **gestion durable**, rationnelle et multi-fonctionnelle des écosystèmes forestiers.

Mise en place de l'expérience de Breuil (Morvan)  
Effet des essences forestières sur l'acidification des sols  
Effet de la remédiation initiale (Bonneau Nys Gelhaye 1976)

Projet BIODIVERSITE

Effet des peuplements (BEF)

- méso, micro et pédoclimats
- apports atmosphériques
- prélèvement d'eau et de nutriments
- restitutions au sol



BEF : INRA Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers 5428 Champenoux

IaM : UMR Interactions Arbres Microorganismes INRA -UHP 54280 Champenoux; Assoc. Mycologique de Lorraine (Neufchâteau 88000)

LIMOS : Laboratoire d'étude des Interactions Microbiologie, Minéralogie, Matière Organique des Sols CNRS 54501 Ivry

UMR GM : UMR Géosol Microbiologie INRA-Université de Dijon 6, Bd Gabriel 21000 Dijon

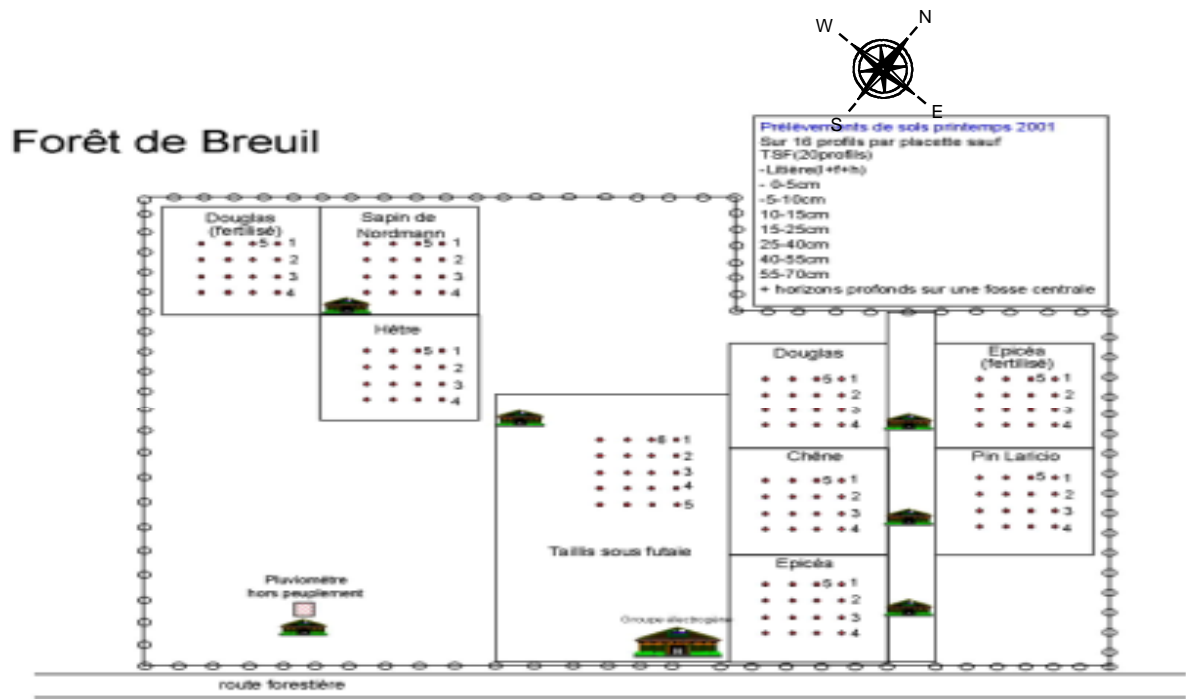
## **Méthode développée dans le projet général auquel appartient le projet 'Biodiversité et Gestion'**

- Etudier indépendamment les paramètres dans des travaux d'observation et d'expérimentation
- Développer les recherches aux interfaces entre biologie et géochimie dans des approches pluridisciplinaires :
  - projet rhizosphère
  - projet biodégradation des litières
  - projet contrôle de fonctions clés par la végétation (C & N en particulier)
- Associer des observations de terrain, l'approche réductionniste et la modélisation pour développer les connaissances en écologie fonctionnelle
- Réaliser la synthèse générale des acquis
- Transférer les connaissances vers la gestion

## Paramètres mesurés dans le projet général

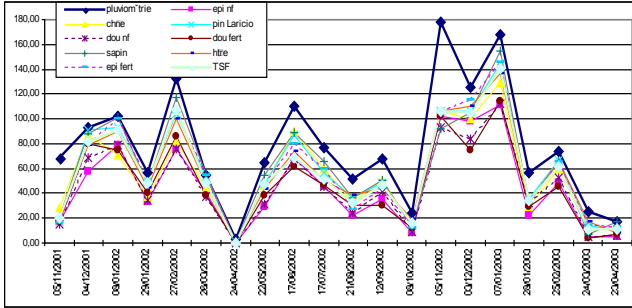
- Température et humidité de l'air
- Prélèvement de nutriments par les arbres
- Chutes de litière
- Pluies incidentes
- Pluiolessivats
- Solutions du sol
- Sols solides
- Biodégradation et minéralisation de la matière organique
- Flore fongique
- Microflore bactérienne et fongique

# Plan du site-atelier de Breuil

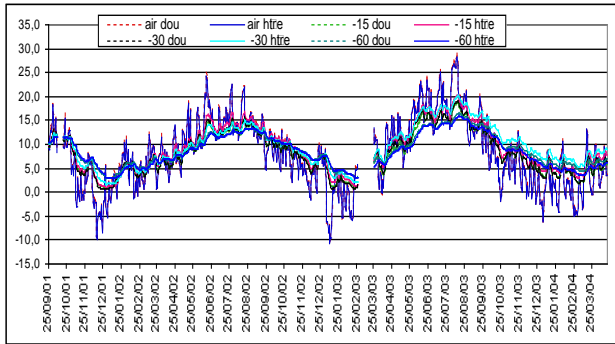


Quelques résultats.....

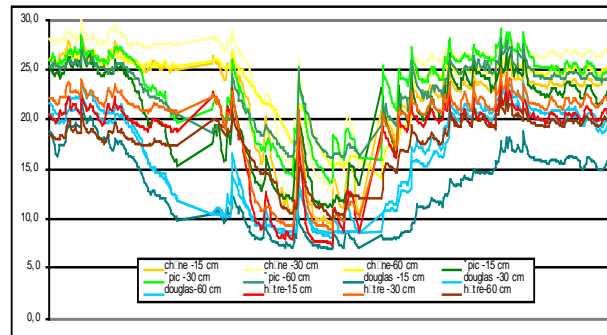
# Effets sur les paramètres physiques.....



**Interception de la pluie par les couverts**



**Température du sol**



**Humidité du sol**

*Un micro-climat moins tamponné sous les feuillus  
L'humidité du sol est plus forte sous les feuillus*

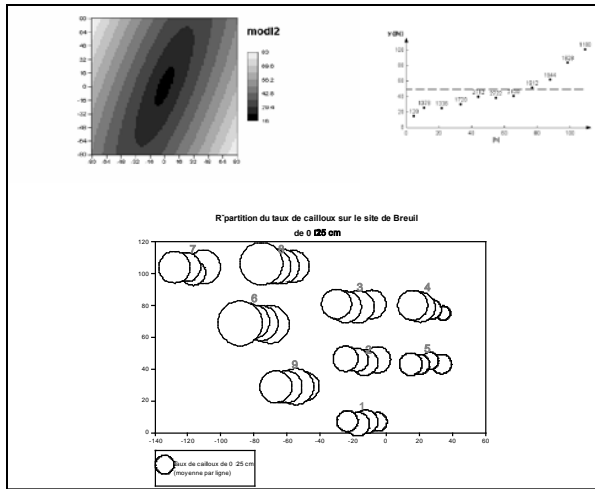


## Efficience dans l'utilisation des éléments nutritifs pour la production de biomasse

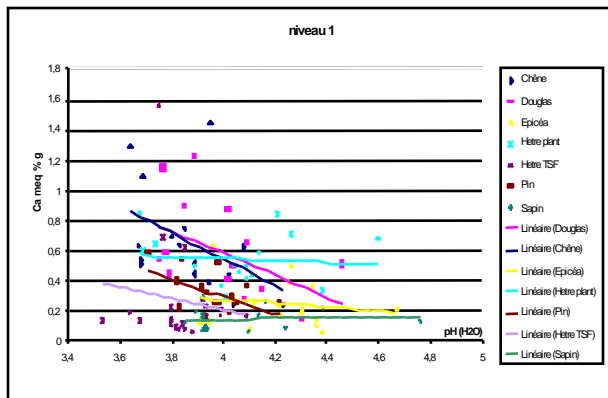
	Douglas NF	Douglas F	Epicéa NF	Epicéa F	Pin Laricio	Sapin de Nordmann	Chêne	Hêtre
N	0,90	0,94	0,72	0,88	0,67	0,35	0,32	0,49
P	7,61	6,75	6,44	5,70	7,40	3,71	5,17	6,03
K	1,05	1,16	0,81	1,00	1,01	0,44	0,67	0,83
Ca	1,34	0,96	0,89	0,51	1,57	0,79	0,69	1,02
Mg	6,31	6,45	3,92	4,90	4,64	4,55	4,74	6,36

**Données exprimées en t de biomasse produite par kg d'élément immobilisé**

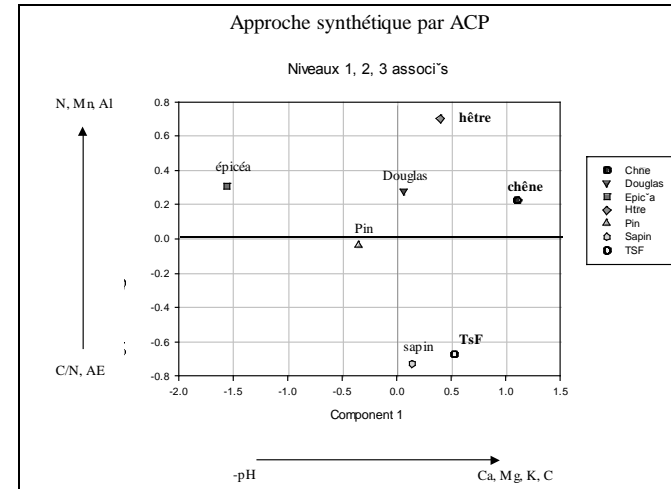
# Effet des essences sur les sols solides



Variabilité spatiale de la granulométrie



Relation entre Ca ech et pH



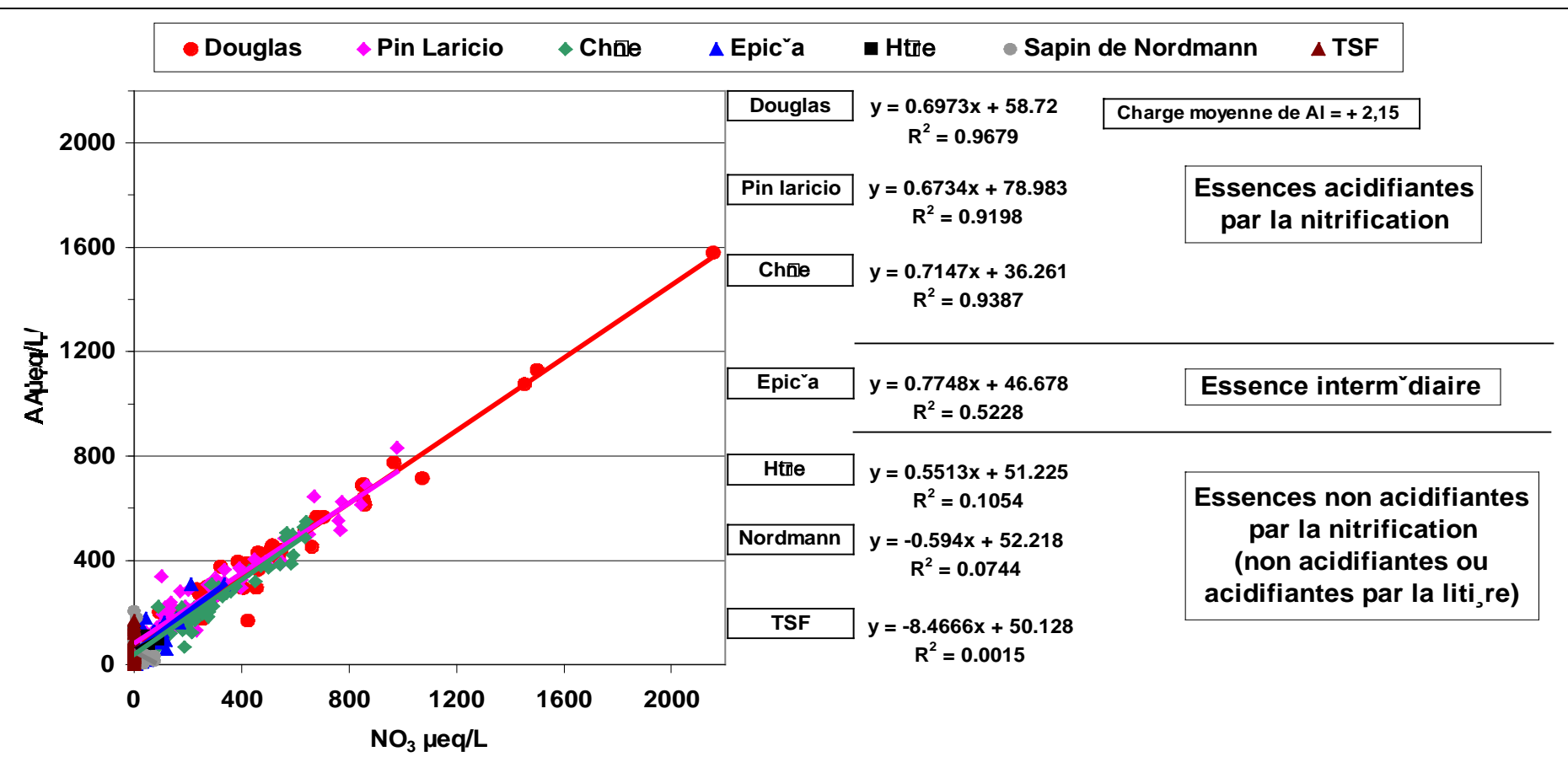
ACP sur pH, C, N et éléments échangeables

	0-25 cm			25-70 cm		
	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca
Chêne	171 c 16	23 b 20	56 c 45	236 b 21	8 a 58	9 ab 103
Hêtre	116 ab 20	19 ab 22	45 bc 35	146 a 34	13 a 50	15 ab 116
Douglas	126 ab 23	24 b 34	57 c 60	155 a 33	14 a 43	6 ab 152
Epicéa	107 a 13	19 ab 19	32 abc 57	223 b 34	14 a 30	27 b 89
Pin	113 ab 27	20 ab 25	38 bc 102	135 a 25	12 a 83	18 ab 219
Sapin	117 ab 19	16 a 18	14 a 41	121 a 18	9 a 22	3 a 86
TsF	130 b 15	24 b 29	23 ab 89	145 a 16	15 a 57	10 ab 231

XXX = valeur moyenne, a = différentiel 5% si lettre différente, xxZ:CV

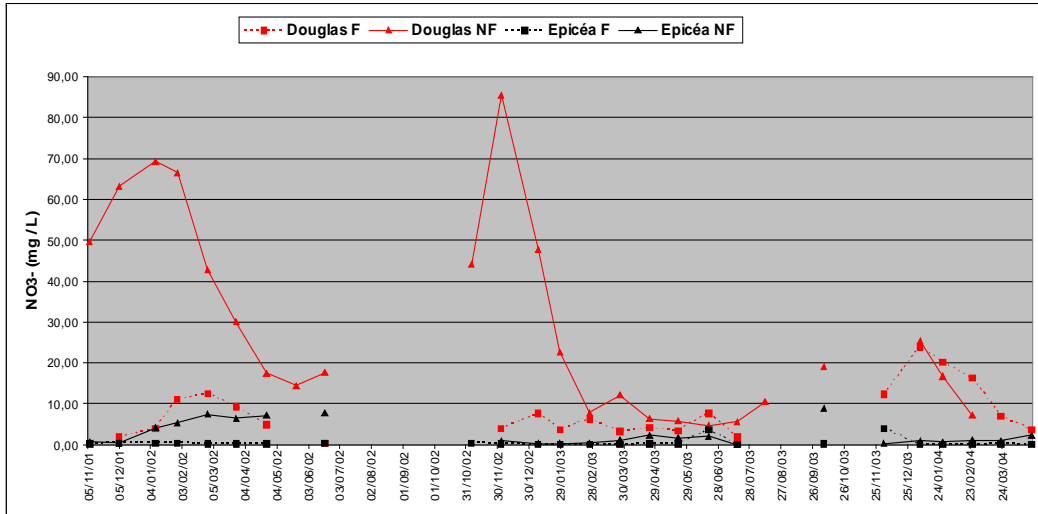
Stocks de K, Mg et Ca échangeables en fonction des essences (données en kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>)

# Effet des essences sur les solutions du sol

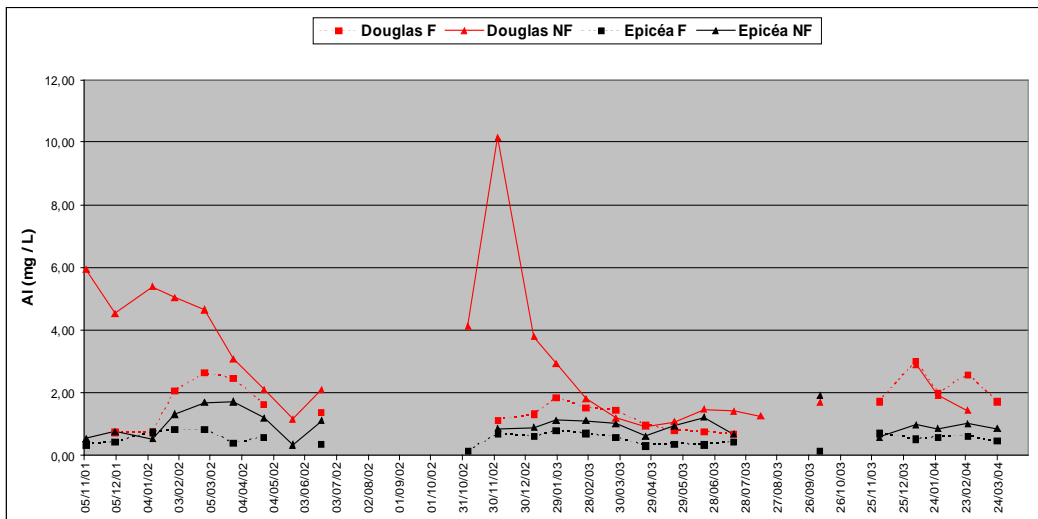


*La relation entre les concentrations en Al et en nitrate dans les solutions du sol de -15 à -60 cm, discrimine fortement les essences*

# Effet des essences et du niveau de fertilité, sur les solutions du sol



*Comparaison de l'évolution de la concentration en nitrates dans les solutions de bougies poreuses à -15 cm dans des peuplements fertilisés et non fertilisés.*

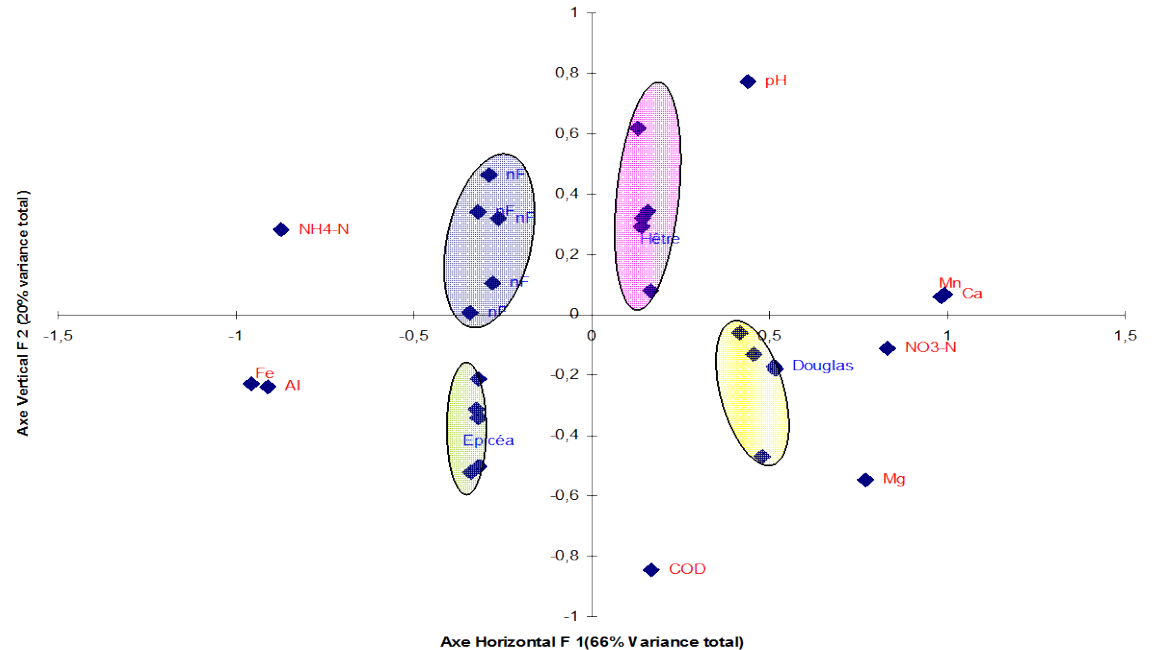


*Comparaison de l'évolution de la concentration en aluminium dans les solutions de bougies poreuses à -15 cm dans des peuplements fertilisés et non fertilisés.*

# Effet des essences sur l'activité minéralisatrice du sol

	TMR de C (années)
Fort native (TsF)	<b>9,8</b>
<b>Plantations</b>	
Epicéa	9,2
Sapin de Nordmann	8,9
Douglas	7,6
Epicéa fertilisé	7,1
Douglas fertilisé	5,3
Pin Laricio	4,5
Hêtre	3,8
Chêne	3,1

**Temps moyen de résidence du C  
dans les horizons holorganiques**



**Analyse en composantes principales des échantillons de sol, après 40  
jours d'incubation**

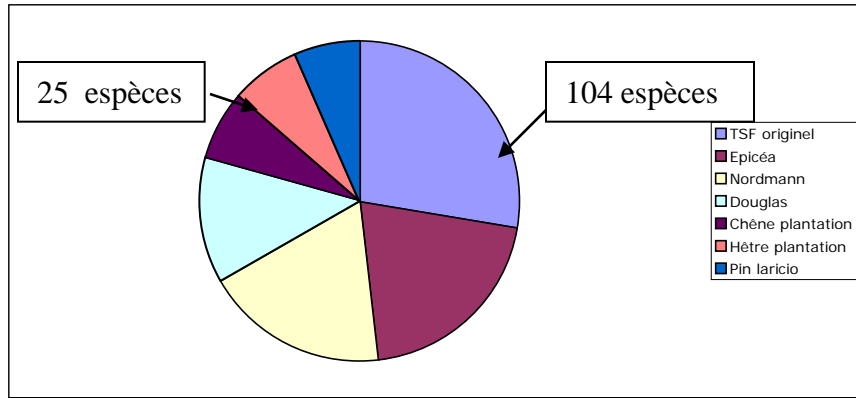
## Effet des essences sur l'activité minéralisatrice du sol

### *Plantations*

	<i>Forêt native</i>	<i>Plantations</i>				
		hêtre	chêne	épicéa	Pin laricio	Douglas
<b>Nitrification nette</b>	0.02	1.27	0.65	0.18	0.99	0.24
<b>Minéralisation nette</b>	0.34	1.22	0.56	0.93	1.07	0.85
<b>Nitrification brute</b>	0.40	1.57	2.32	2.17	5.83	4.77
<b>Minéralisation brute</b>	1.33	2.05	7.94	6.43	4.19	8.50
<b>Organisation</b>	1.39	2.40	9.70	7.67	8.95	12.4

- ... *Minéralisation et nitrification brutes et nettes limitées en forêt native*
- .... *La nitrification augmente sous plantation mais varie fortement avec les essences*
- ..... *Les index de production nettes et brutes sont très différents*
- ..... *L'organisation est corrélée à la minéralisation brute*

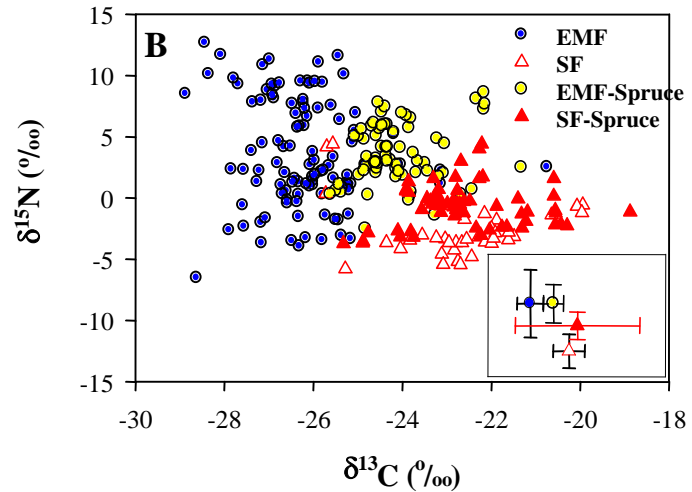
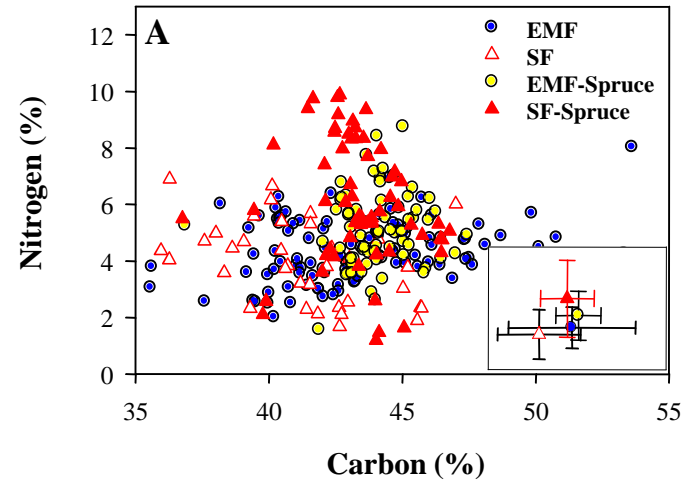
# Effet des essences sur la flore fongique



Effet de l'essence sur le nombre d'espèces de champignons

## Diversité fonctionnelle fongique :

- Un pôle de tendance saprophytique uniquement pour l'azote (genres *Laccaria* et *Russula*).
- Un pôle plutôt saprophytique pour le carbone et semi symbiotique pour l'azote (genre *Lactarius*)
- Un pôle strictement symbiotique pour l'azote et le carbone (genre *Cortinarius* et *Tricholoma*)
- Les *Bolétacées* (genres *Xerocomus* et *Boletus*) forment un ensemble assez homogène, symbiotique pour le carbone et semisymbiotique pour l'azote.



Discrimination des champignons saprophytes et mycorhiziens en fonction de la teneur en azote total et en carbone total des carpophores (A) et en fonction des  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$  (B), sous feuillus et Epicéa.

# Effet des essences sur la structuration des populations microbiennes du sol

Essence forestière	Biomasse-C mgC/kg sol*		Biomasse-C % C org*	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
Forêt native	861. <sup>a</sup> ± 221.8	373 <sup>c</sup> ± 55.8	1.13 ± 0.07	0.87 ± 0.07
Chêne	833 <sup>a</sup> ± 150.7	451 <sup>c</sup> ± 77.7	1.24 ± 0.1	0.92 ± 0.09
Epicéa	773 <sup>a,b</sup> ± 56.2	373 <sup>c</sup> ± 22.8	1.11 ± 0.21	0.96 ± 0.09
Douglas	699 <sup>b</sup> ± 83.4	312 <sup>d</sup> ± 37.5	0.91 ± 0.1	0.79 ± 0.06

\* Moyenne ± déviation standard de 3 répétitions.

Les lettres en exposant indiquent des différences significatives à  $p < 0.05$ .

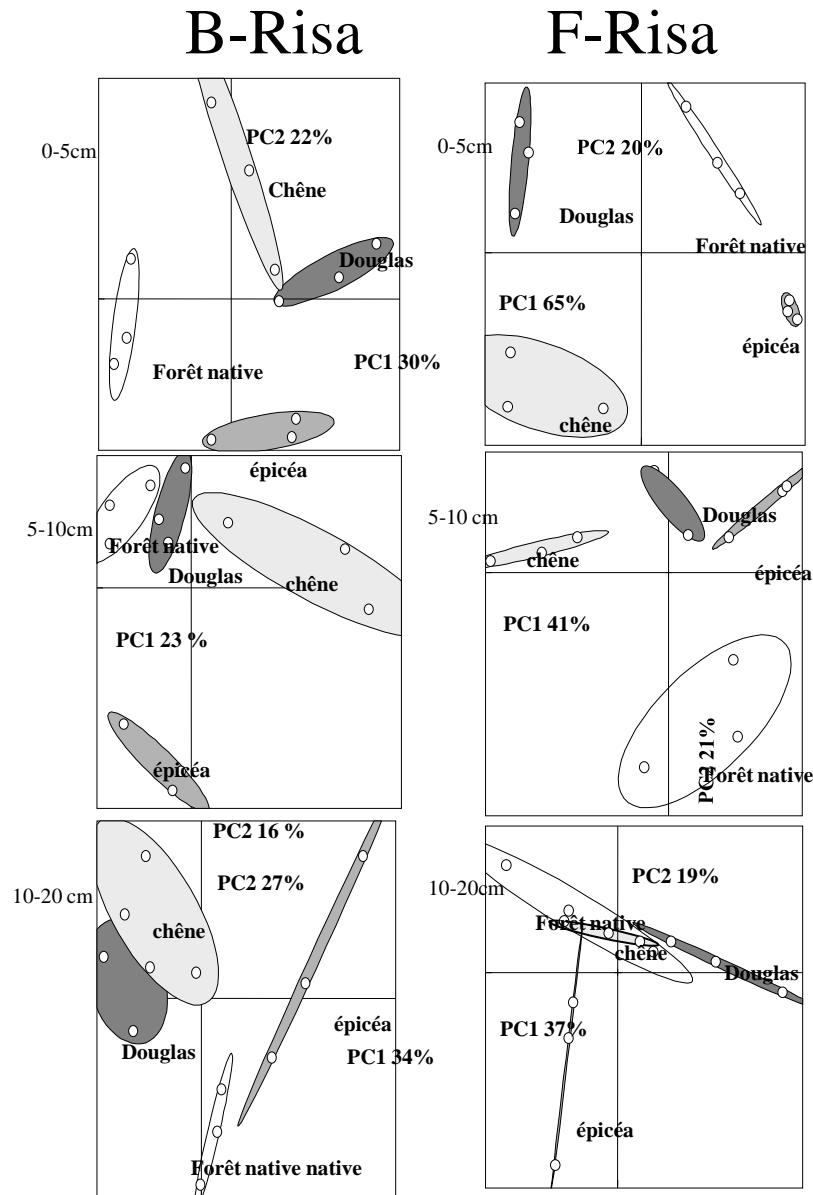
## Biomasse microbienne du sol sous chaque essence forestière

*Différence entre horizons*

*Le Douglas a la plus faible biomasse microbienne*

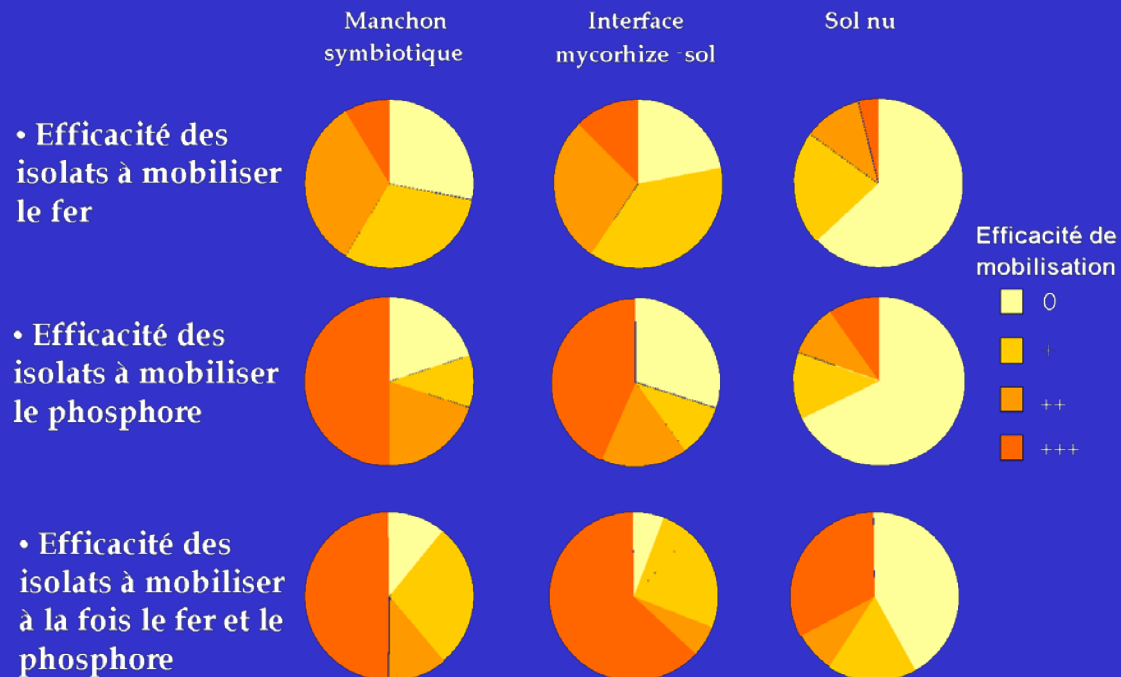


# ACP sur les profils décrivant la structure génétique des communautés bactérienne (B) et fongique (F)



# Effet des essences sur la structuration et l'activité des populations rhizosphériques

## ➤ Effet du compartiment d'origine (hor. minéral)



P. Frey-Klett, C. Calvaruso, B. Satrani, P. Ray, N. Amellal, F. Lapeyrie, J. Garbaye, M.P. Turpault, 2002

Quelques conclusions

## La structuration des communautés biologiques

Ce projet a permis d'aborder quelques une d'entre elles :

- Les peuplements forestiers
- La végétation spontanée
- La biomasse microbienne totale
- Les champignons épigés
- Les tapis mycéliens
- Les bactéries de la rhizosphère

## Les fonctions des communautés biologiques

- **Les peuplements forestiers** : effets sur l'apport d'eau et d'énergie au sol, fonction de production, de prélèvement d'éléments, de restitution de C & d'éléments
- **La biodégradation des matières organiques** : essences et apport de C & éléments au sol ; hypothèse (à tester) sur les communautés autotrophes et hétérotrophes ; (communautés impliquées pec dans projet IFB) ; mise en évidence du contrôle des populations nitrifiantes par les différentes essences ; rôle des perturbations de type coupe à blanc
- **Les champignons épigés** : structuration des populations de saprophytes en fonction des tissus dégradés, peu de variation avec les essences ; structuration des ectomycorhyziens pour l'alimentation azotée et carbonée, variation avec les essences
- **Les tapis mycéliens et les bactéries de la rhizosphère** : caractérisation de quelques fonctions spécifiques dans l'altération biologique participant à la libération des nutriments 'piégés' dans les structures minérales stables

# Les conséquences en terme de fonctionnement de l'écosystème

- **La modification des cycles biogéochimiques avec les essences** : tous les flux sont modifiés dans leurs phases BIOlogiques (liés aux organismes .....cf fonctions) et GEO-chimiques (apports externes ; pertes par drainage...cf solutions)-

- **L'évolution de la qualité des sols** : le sol de la forêt native est un Alocrisol acide et désaturé montrant une crypto-podzolisation de surface indiquant l'association de deux mécanismes, l'acidolyse faible dominante et l'acido-complexolyse limitée.

La substitution d'essence se traduit par une évolution notable des processus, avec une acidolyse plus forte sous Douglas et P. laricio (nitrification excédentaire) en apposition avec le pôle sapin, hêtre épicéa (nitrification plus limitée et nitrates consommés ; acidité liée aux AO). Le chêne a une position intermédiaire.

La fonction de recyclage par les litière est très importante conduisant à des discriminations complémentaires entre Douglas (forte capacité de recyclage) et P.laricio (capacité plus limitée de recyclage)

## Conséquences des aménagements

1- **Fonction de production** : les différences actuelles sont très fortes car Douglas et épicéa sont pratiquement à l'ACM alors que chêne et hêtre en sont loin.

Comparaison très intéressante entre Douglas et épicéa, à l'avantage du Douglas. Rôle très intéressant de la fertilisation initiale

2- **Fonction écologique** : effet actuel très important des substitutions d'essence et des perturbations, sur la biodiversité, la structuration des populations, et leur activité en termes de fonctions clés (biodégradation des MOS, minéralisation de N, altération biologique)

3- **Fonctions environnementales** : effet potentiel sur la qualité des eaux de surface (toxicité Al) ; rôle intéressant des fertilisations-amendements

# Projets complémentaires à initier

- 1- **Suivi indispensable sur le long terme** : suivi diachronique indispensable car les peuplements sont jeunes et leur structure conditionne certaines niches écologiques ; pb de maintien du site
- 2- **Investigations à différentes échelles** : nécessité d'approfondir les travaux sur le fonctionnement des horizons organiques, la rhizosphère ; projet sur le BV (Dijon)
- 3- **Poursuite des travaux sur la biodiversité fonctionnelle** : des relais sont pris dans les projets ACI-EQ (terminé), IFB et proposition à ECOGER pour identifier les populations en cause dans les fonctions de biodégradation, minéralisation de N, altération biologique.
- 4- **Poursuite des travaux sur les solutions couplage biogéochimie-transfert** : quantification des flux (projet GESSOL laon + ONF)
- 5- **Rôle d'autres groupes** : action de la faune
- 6- **Mélange d'essences** : quelques apports marginaux aux interfaces.....mais quand met-on en place un dispositif expérimental adapté aux travaux sur les cycles biogéochimiques ?
- 7- **Verrous méthodologiques - métrologie** : études d'épisodes pour identifier les découplages et les flush ; variabilité spatiale ; couplage état hydrique qualité de la solution ; gaz du sol etc....



# Conclusions générales

- 1- **L'approche in situ est indispensable à l'amélioration des connaissances en écologie quantitative**
- 2- **La qualité des dispositifs est un pré-requis indispensable**
- 3- **La pluri-disciplinarité est possible et indispensable**
- 4- **la question de la généralisation des données se pose, associant étroitement observation et modélisation.** Investigations 'limitées' pour tester l'effet des essences sur la nitrification ; association au réseau Renécofor
- 5- **Transfert vers la pratique** : contrat en cours avec ONF et peut être le PR du Morvan ; poste interface recherche-développement