

Le site-atelier de Breuil Chenue (58-Morvan)

(Plantations comparatives de feuillus et résineux en substitution à la forêt feuillue native)

Rapport Annuel 2008

Coordinateur Jacques RANGER
Coordinateur Technique : Dominique Gelhaye
INRA Centre de Nancy
54280 Champenoux
tel : 03 83 39 40 68
Fax 03 83 39 40 76
[ranger @nancy.inra.fr](mailto:ranger@nancy.inra.fr)

Participants :

UR 1138 Nancy : Chercheurs : Jacques Ranger, Marie Pierre Turpault, Delphine Derrien, Bernd Zeller ; Doctorants Techniciens : Dominique Gelhaye, Pascal Bonnaud, Gilles Nourrisson, Benoît Pollier, Séverine Bienaimé

Unité SOLS Université Catholique Louvain-la-Neuve : Bruno Delvaux, Post-Doctorant Hugues Titeux, Doctorant Florence Trum,, Technicien, André Lannoy



Vue du taillis sous futaie natif de Breuil (D Gelhaye)

Décembre 2008

Introduction générale

Rappel des objectifs

L'objectif du projet général est d'étudier l'effet de la substitution d'essence sur le fonctionnement biogéochimique et biologique de l'écosystème'.

Les observations viseront à mettre en évidence les changements au niveau des sols (phase solide, solutions, phase minérale et phase organique) et à conclure quant aux conséquences possibles pour les différentes fonctions du sol et de l'écosystème.

Les mécanismes sous-jacents seront identifiés et modélisés, et les causes, physiques (pédoclimat induit), chimiques ou biochimiques (modifications de la qualité et de la quantité des matières organiques produites), biologiques (prélèvement de la végétation, diversité et fonctionnalité des populations microbiennes et fongiques associées) seront analysées à l'échelle du sol entier et de sites fonctionnels particuliers (humus, horizons organo-minéraux, rhizosphère), et à celle de l'écosystème.

Les relations réciproques entre changements biologiques et modifications du fonctionnement biogéochimique seront analysées.

Faits marquants

- Effet des essences sur les argiles des sols et sur le sol global (thèse de Louis Mareschal soutenue en Juin 2008)
- Effet d'une éclaircie sur les solutions du sol : effet de l'essence et du niveau de fertilité (Ranger et al.)
- Fonctionnement biogéochimique in situ des humus : effet du type d'essence (post Doc H Titeux, UCL encadrement B Delvaux, J Ranger)
- Effet des essences sur le cycle du silicium (Thèse JT Cornélis, UCL co-encadrement B Delvaux, J Ranger soutenance prévue 2010)
- Essences et contrôle de nitrification (thèse Andrianarisoa Sitraka coencadrement E Dambrine et B Zeller - soutenance Février 2009)

Littérature récente sur Breuil (publications de rang A)

Cornélis, J.T., J. Ranger^b, A. Iserentant^a, B. Delvaux^a. Tree species affects the uptake of silicon by forest vegetation and the release of dissolved Si in soil (Biogeochemistry soumis)

Titeux H, Delvaux B, Ranger J. Forest floor leachates from adjacent plots of Spruce and Douglas fir exhibited contrasted composition, but identical DOC reactivity (soumis Décembre 2008)

Trum F., Titeux H, Ranger J, Delvaux B. Effect of oak, beech, spruce and Douglas fir plantations on forest floor composition, C- and N-mineralization and leachate properties (soumis Décembre 2008)

Mareschal L., Ranger J., Turpault M.P. (2008). Stoichiometry of a dissolution reaction of a trioctahedral vermiculite at pH 2.7. *Geochimica Cosmochimica Acta*. in press

Calvaruso C., Mareschal L., Leclerc E., Turpault M.P. (2008) Rapid clay weathering in the rhizosphere of Norway spruce and oak in an acid forest ecosystem. *Soil Society of American Journal*. in press

Mareschal L., Ranger J., Turpault M.P. (2008). Relation between weathering of clay minerals and nitrification rate: a rapid tree species effect. *Biogeochemistry (soumis)*.

Mareschal L., Ranger J., Turpault M.P. (2008). Forest soil properties derived from two granites (Morvan France). *Geoderma (soumis)*.

Mareschal L., Bonnaud P., Turpault M.P., Ranger J. Impact of common European tree species on fine earth chemical and physico-chemical properties: an unusual pattern. (soumis European Journal of Soil Science)

Moukoui, J., Munier-Lamy, C., Mallouhi, N., Andreux F, Ranger, J., Berthelin, J. Distribution et biodégradabilité des matières organiques des agrégats de l'horizon de subsurface sous différents peuplements forestiers. *Geoderma (soumis)*

Kurbatova, A., Moukoui, J., Béguiristain, T, Ranger, J., Berthelin, J. Diversity and decomposition ability of saprophytic fungi from temperate forest litters. *Microbial Ecology (sous presse)*.

Kubartová, A., Moukoui, J., Munier-Lamy, C., Ranger, J., Berthelin, J. & Béguiristain, T. (2007) : Microbial diversity during cellulose decomposition in different forest stands: communities and environmental conditions. *Microb. Ecol.*, (sous presse)

Jaffrain, J., Gelhay, D., Pollier, B., Bonnaud, P. Nourrisson, G., Boudot, J.P., Zeller, B. & Ranger, J. : Effect of changing forest tree species on ecosystem functioning, assessed by soil solutions. *Biogeochemistry*, (en révision)

Thèses récentes sur Breuil

KUBARTOVÁ, A. (2007) : Effect of forest tree species change on the decomposer diversity : case study of the Breuil research site (France). Doctoral thesis of faculty of Sciences, Charles University, department of Botany. Prague RT: 120 p.

MARESCHAL, L. (2008) : Effet des essences forestières sur le sol et l'altération des minéraux. Thèse de doctorat, option Géosciences de l'Université Henri Poincaré, Nancy I. Juin 2008

ANDRIANARISOA KASAINA, S. (2008) : Minéralisation de l'azote sous écosystèmes forestiers : effets des essences et du type de sol. Thèse de doctorat, option Géosciences de l'Université Henri Poincaré, Nancy I. Mars 2009

LAMOUR, F. (2008) : Effet de la fertilisation sur la croissance en diamètre et en hauteur, du Douglas, de l'Épicéa sur le site expérimental de Breuil-Chenue dans le Morvan (58) Rapport de stage pour l'obtention du diplôme de brevet de technicien supérieur agricole, option « Gestion forestière » [Champenoux] : INRA BEF: 31 p. Les bases de données actuelles sur les sites permettent d'envisager plusieurs synthèses sur le fonctionnement biogéochimique des écosystèmes forestiers. Parmi ces synthèses, l'opportunité des recrutements récents en tempéré et en tropical permet de projeter plusieurs projets sur le court et le moyen terme :

- Etude des composantes des cycles en fonction de la richesse du milieu

Les travaux sur les écosystèmes contrastés en milieu tempéré et tropical, illustrent parfaitement le concept de poids relatif des différents sous cycles dans le fonctionnement des écosystèmes. Ce concept permet d'identifier les variables clés de la durabilité des sols et des écosystèmes : par exemple, un cycle dominé par le biologique correspond à un écosystème qui peut être stable, mais qui est fragile car en équilibre relevant de pools faibles concentrés dans les horizons superficiels du sol, organiques en particulier. Les aménagements vont y prendre un aspect déterminant dans la durabilité des sols et de leurs fonctions.

Il serait intéressant de faire un article de synthèse sur le sujet en comparant les écosystèmes étudiés par les mêmes méthodes. Le panel serait le suivant : riches (Gemaingoutte Vosges), moyen (Douglas Beaujolais), pauvres (Breuil Morvan, Aubure Vosges), très pauvres (Kondi Congo, Itatinga Brésil, Louschbach, Vosges).

- Etude approfondie du cycle du calcium

Cet élément majeur reste largement méconnu au niveau de l'écosystème, car son qualificatif de majeur ne représente que la valeur absolue des flux mis en œuvre et non l'intérêt réel de l'élément pour telle ou telle fonction. Il nous semble qu'une re-définition conceptuelle est nécessaire de façon à mieux comprendre le rôle de cet élément dans l'écosystème et par conséquent l'effet des perturbations sur les processus.

La première étape serait de réaliser une étude de cas étayée par une bibliographie exhaustive. Il existe des situations connues pour lesquelles le statut Ca du sol reste énigmatique, en particulier quant à sa distribution dans le sol. Le rôle respectif de l'environnement, des essences forestières, des processus physiques (diffusion en phase solide et/ou liquide), des processus biologiques (activité des fongues) doit être précisé.

Ces observations associées à la mise en place d'expérimentations spécifiques en milieux contrastés, utilisant les outils modernes de prospection (isotopie, méthodes géophysiques...) devraient permettre d'avancer dans la compréhension des processus.

Les sites concernés sont les suivants :

- Breuil avec des données intéressantes en comparant essences et traitements amendés ou non
- Fougères qui a des réserves profondes non
- Les sites « tassement » (hors ORE) présentent l'anomalie calcium dans le profil ; un traitement amendé a été réalisé sur le site de Grand-Pays

- *Rôle de la sylviculture dans la durabilité : bilans de bilans*

Les sites ORE ont des ressources quasiment uniques pour la constitution de bilans d'éléments dans les écosystèmes forestiers. Les bilans ont été réalisés sur les sites individuels, mais la synthèse reste à faire (cf présentation M Nicolas au GIP). Quelques variables de forçage des bilans doivent pouvoir être identifiées par cette approche

- *Fertilité à court et long terme*

La récolte de plus en plus totale de la biomasse produite peut se traduire par un déséquilibre notable des écosystèmes si elle n'est pas correctement gérée en fonction des capacités des écosystèmes. Des travaux sont en cours à ce sujet, mais là encore les sites ORE ont un potentiel important pour aider à la réflexion. Le cas extrême de la manipulation des rémanents à Pointe Noire permet de réfléchir à la définition de la fertilité à court et moyen terme. C'est le cas de Breuil, amendé il y a 25 ans où l'étude détaillée des cycles permet de suivre la dynamique des éléments apportés initialement.

Une synthèse en la matière serait très utile pour étayer les projets futurs

Encadré n°1 – Effet des essences forestières sur le sol et l'altération des minéraux
encadrement Marie-Pierre Turpault et Jacques Ranger, INRA BEF

L'objectif de ce travail était de mesurer en milieu tempéré l'effet de différentes essences forestières sur un sol acide et sur sa minéralogie. Le milieu a été caractérisé de manière approfondie par une étude minéralogique quantitative et chimique de la roche mère et d'un profil de sol sous le peuplement natif. Ce travail a été réalisé sur le site expérimental de Breuil (Morvan) mis en place en 1976. Le dispositif comporte 2 blocs. Les essences étudiées sont : la forêt native constituée par un Taillis-sous-Futaie (TsF) feuillu, le chêne, le hêtre, l'épicéa commun, le Douglas, le sapin de Nordmann et le pin laricio. Plusieurs études ont été menées à différentes échelles pour caractériser l'effet des essences sur le sol avec la détermination : i) des propriétés physico-chimiques la terre fine (32 profils par essence). ii) de la minéralogie des fractions fines du sol (8 profils par essence). iii) du fonctionnement actuel des sols par incubation de vermiculites-test avec parallèlement, une expérimentation de dissolution du même minéral en milieu contrôlé. iv) des propriétés physico-chimiques et minéralogiques du sol rhizosphérique du chêne et de l'épicéa.

Les résultats indiquent que le granite est acide et très pauvre en cations alcalino-terreux. Le profil de sol conserve la signature de la roche, la CEC est faible et saturée à plus de 90% par de l'acidité d'échange. Les minéraux secondaires, issus de réactions de transformation et de néoformation, sont la kaolinite et la vermiculite hydroxy-alumineuse, la smectite et les minéraux à organisation à courte distance. Comparativement aux feuillus, les résineux provoquent une désaturation et une acidification supplémentaire du complexe d'échange de ce sol selon l'ordre suivant : épicéa \geq Pin = Douglas > TsF = chêne = hêtre. L'étude des fractions granulométriques fines montre que le Douglas et le pin provoquent une dissolution nettement plus importante de certaines phases argileuses que l'épicéa et les feuillus. Ce phénomène est la conséquence d'un découplage important entre production et consommation des nitrates induisant une acidolyse forte. L'étude des vermiculites-test montre que l'épicéa altère plus les minéraux que le TsF et le hêtre. L'altération des minéraux est plus poussée dans le sol rhizosphérique que dans le sol global, notamment sous épicéa en relation avec une nutrition azotée essentiellement sous forme ammoniacale.

Les modifications observées sur la phase solide du sol sont interprétées de manière satisfaisante par l'intégration des propriétés du cycle biogéochimique propre à chaque essence. Cette étude apporte des connaissances importantes pour les aménagistes forestiers.

Encadré n° 2– **Effet d’une éclaircie sur les solutions du sol : effet de l’essence et du niveau de fertilité** (INRA BEF J Ranger et al.)

Les peuplements résineux ont été éclaircis assez fortement de façon à leur donner une structure correspondant à une sylviculture dynamique (entre 25 et 35% d’extraction de tiges en fonction des peuplements). L’objectif étant de laisser arriver au sol une énergie plus importante, activant les microorganismes du sol, décomposeurs en particulier : le blocage du cycle biologique dans des humus peu actifs étant à craindre sur ce type de milieu où le cycle biologique joue un rôle majeur dans la fertilité actuelle du sol.

L’éclaircie a été marquée pendant l’hiver 2007 au cours du stage de BTS de Fabien Lamour (Lamour, 2008). Les observations ont porté sur les peuplements de Douglas et d’épicéa, fertilisés ou non, et sur les sols correspondants (solutions en particulier). L’objectif est de tester i- la réactivité des peuplements à une éclaircie forte et ii- la réaction du sol à cette modification de structure du peuplement.

- Les peuplements :

Le suivi des peuplements a été réalisé par des inventaires annuels des peuplements et mensuellement avec des micro-dendromètres positionnés sur une trentaine d’arbres par peuplement (une vingtaine après éclaircie) répartis sur tout le spectre des surfaces terrières.

L’analyse des résultats montre i- une très bonne réactivité des peuplements et ii- une amélioration de leur réactivité dans les peuplements amendés. Le Douglas conservant un potentiel de croissance plus fort que l’épicéa.

- Les solutions du sol :

Elles ont été récoltées en continu depuis 2001, intégrant l’éclaircie dans la série temporelle, soit depuis 7 années pleines.

Les résultats sont présentés dans la figure 1.

Un an et demi après l’éclaircie, la réaction du sol au niveau des solutions est spectaculaire et très informative :

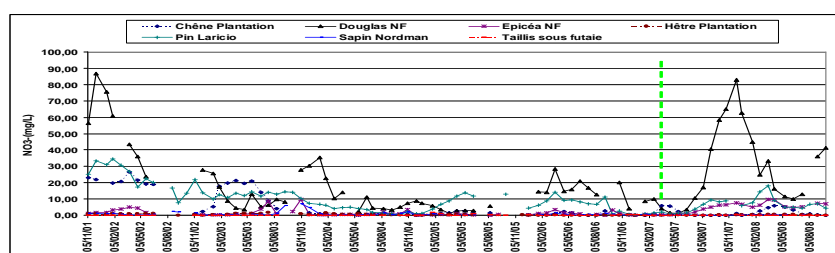
- nitrates : la série temporelle montre que l’éclaircie se traduit par une augmentation de la concentration des solutions. Le niveau d’augmentation varie avec l’essence et le traitement. L’augmentation des concentrations en nitrates des solutions du sol est nettement plus forte sous Douglas que sous épicéa et en moyenne plus faible pour les traitements amendés/fertilisés. Une concentration de plus 80 mg par litre est observée sous Douglas pendant l’hiver suivant l’éclaircie ; ce niveau est le même que la concentration observée lors des premières mesures. Un nouveau pic s’amorce à l’automne 2008.
- Aluminium : cet élément est parfaitement corrélé aux nitrates et discrimine, les espèces (épicéa<Douglas) et les traitements (fertilisé<
- Calcium : les fluctuations sont liées à l’essence (épicéa<Douglas) ; l’effet amendement n’est pas significatif. Une augmentation des concentrations n’est pas à exclure après l’éclaircie.

Ces résultats conduisent à formuler les hypothèses de travail suivantes : soit la nitrification est constante et la diminution du nombre d’arbres et donc du prélèvement conduit à une résiduelle plus forte en solution, soit la minéralisation augmente et l’excédent est drainé car i- le Douglas continue de la stimuler et ii- les conditions écologiques sont meilleures pour la minéralisation.

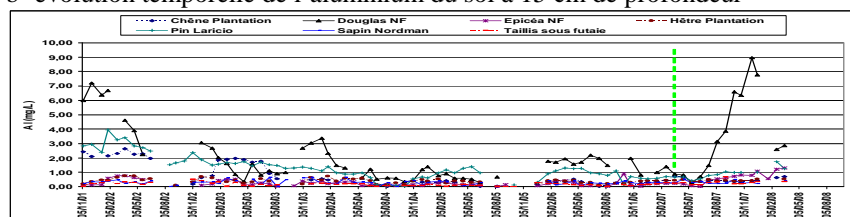
Il est impossible de trancher entre ces deux propositions, toutefois, le fait que sous épicéa, les nitrates augmentent également en solution après éclaircie, alors que l’épicéa nitrifie peu, pourrait indiquer que c’est bien l’amélioration de l’énergie arrivant au sol qui stimule la minéralisation et la nitrification.

De plus, ces résultats complètent de manière opportune la série initiale. La perturbation du sol en introduisant les capteurs est jugée importante dans les observations de terrain, et induirait des processus qui n’existent pas en fonctionnement normal. Cette question se pose à Breuil comme ailleurs, et il est souvent difficile d’y répondre. La série temporelle montre que les concentrations après la coupe d’éclaircie du Douglas sont du même ordre de grandeur que celles en début de la période d’observation. Les observations ayant été faites à Breuil après une première éclaircie, il est donc probable que l’effet perturbation soit beaucoup plus limité que ce que l’on pouvait penser, en particulier pour les essences favorisant la nitrification. Pour les autres essences, cet effet perturbation initiale était extrêmement limité.

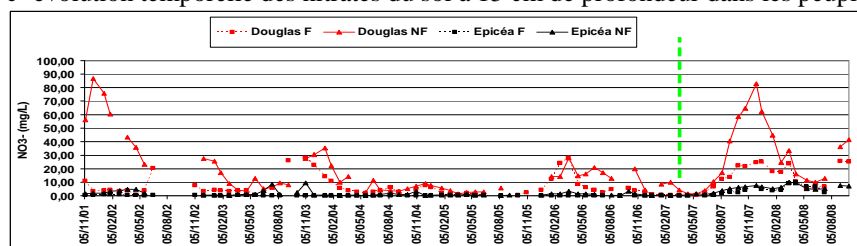
a- évolution temporelle des nitrates du sol à 15 cm de profondeur



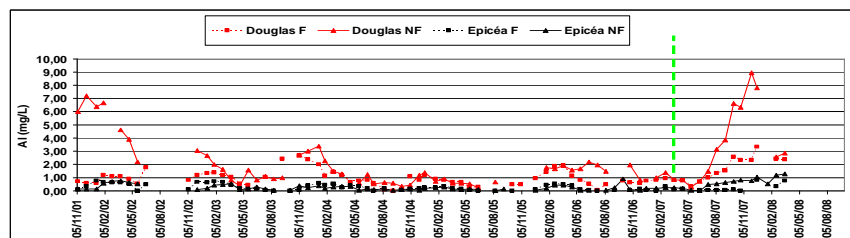
b- évolution temporelle de l'aluminium du sol à 15 cm de profondeur



c- évolution temporelle des nitrates du sol à 15 cm de profondeur dans les peuplements éclaircis



d- évolution temporelle de l'aluminium du sol à 15 cm de profondeur dans les peuplements éclaircis



e- évolution temporelle du calcium du sol à 15 cm de profondeur dans les peuplements éclaircis

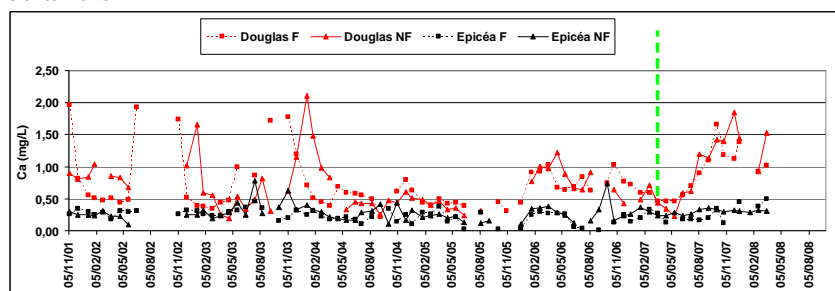


Figure : Dynamique temporelle des concentrations en solution à Breuil

Encadré n°3 – Fonctionnement biogéochimique in situ des humus : effet du type d'essence (post Doc H Titeux, UCL encadrement B Delvaux UCL et J Ranger BEF)

L'objectif de cette étude était d'étudier l'origine de la différence de fonctionnement des humus entre le Douglas et l'épicéa. Une première étude avait été réalisée en conditions contrôlées par F Trum (UCL) pour identifier le fonctionnement biogéochimique des humus sous différentes essences. De manière inattendue, la divergence entre essences apparaît dès la couche O de l'horizon holorganique. En particulier la nitrification y apparaît sous Douglas.

L'expérience in situ a mis en œuvre un dispositif très original de collecte des solutions de litière par des fibres de silice ou organiques, et un piégeage des solutions pour partie dans une enceinte maintenue légèrement au dessus de 0°C et une autre congelée immédiatement.

Ce travail montre que la composition de la solution issue des litières diverge fortement entre épicéa et Douglas, plus particulièrement pour les concentrations en nitrates et en DOC le DOC est élevé sous épicéa et les nitrates sont faibles, et l'inverse est observé sous Douglas. Les mesures de réactivité de la matière organique en solution conduisent à la conclusion que l'espèce n'affecte pas fondamentalement les propriétés principales du DOC à savoir sa densité de sites carboxyliques ou sa capacité spécifique à complexer l'aluminium.

Ces deux études permettent d'améliorer la compréhension de la divergence entre le modèle épicéa (DOC élevé et nitrates faibles) du modèle Douglas (faible DOC et nitrates élevés).

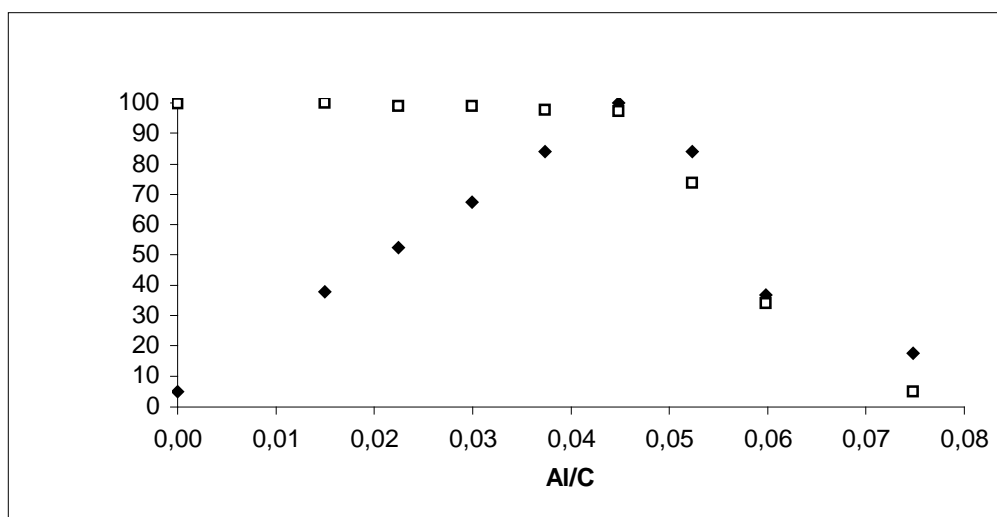


Figure : Influence du ratio Al/C des solutions avant filtration, sur la concentration en Al et l'absorbance à 260nm après filtration (Données Juin 2007)

Encadré n°4– Effet des essences sur le cycle du silicium (Thèse JT Cornélis, UCL- co-encadrement B Delvaux UCL et J Ranger BEF)

Le travail sur le silicium commencé par F Gérard a donné lieu à une publication dans *Geochimica & Cosmochimica Acta* (Gérard et al., 2007). La limite de ce travail était le peu d'observations réalisées, le concept étant plutôt de travaillé par un modèle géochimique. Ce projet a été repris avec l'Unité Sols de l'UCL, pour le site Breuil où l'on peut comparer plusieurs essences, dans une thèse co-encadrée par B Delvaux (UCL) et J Ranger (UR BEF Nancy). L'objectif est de progresser dans la connaissance de la silice biogénique, de façon à mieux contraindre l'altération minérale des silicates. La silice est un traceur de l'altération, à condition de séparer la partie biogénique : les plantes absorbent plus ou moins de Si et le recyclent sous formes de phytolites.

Un lourd travail analytique a été réalisé pour extraire les phytolites, les identifier par différentes techniques dont la morphoscopie. L'extraction de la silice biogénique et amorphe à partir des débris végétaux et dans les horizons hologéniques du sol. La teneur en Si est contrôlée par le cycle biologique en Ol alors que c'est la bioturbation qui le contrôle en Oh (horizon humifié).

Le prélèvement annuel calculé classiquement (Ranger et Bonneau, 1984). Il est très faible pour le pin laricio 2.3 kg ha⁻¹ an⁻¹, intermédiaire pour le chêne et le hêtre (~18.5 et ~23.3 kg ha⁻¹ an⁻¹ respectivement). Il est élevé pour le Douglas (~30.6 kg ha⁻¹ an⁻¹) et le plus fort pour l'épicéa (~43.5 kg ha⁻¹ an⁻¹). Le cycle biologique de Si est le plus faible pour le peuplement de Pin et correspond par ailleurs aux pertes en solution les plus fortes. Comme pour les autres éléments, les essences jouent un rôle fondamental dans le cycle de la silice des écosystèmes terrestres.

		Si content (%wt)				
		Douglas	épicéa	Pin laricio	Hêtre	Chêne
Pool organique vivant	Feuilles/aiguilles	0.529 c (9E-3)	0.455 d (5E-3)	0.022 e (3E-4)	0.743 a (5E-3)	0.545 b (2E-3)
	Branches	0.018 c (2E-4)	0.026 b (1E-4)	0.016 c (7E-4)	0.034 a (2E-3)	0.007 d (2E-4)
	Ecorce de tronc	0.019 b (5E-4)	0.021 b (1E-4)	0.011 c (8E-4)	0.148 a (1E-3)	0.011 c (1E-3)
Pool organique mort	Bois de tronc	0.004 ab (3E-5)	0.006 a (2E-3)	0.004 ab (1E-3)	0.002 b (3E-5)	0.002 b (3E-4)
	Oln	0.465 b (9E-3)	0.362 c (7E-3)	0.025 d (7E-4)	0.722 a (8E-3)	0.608 b (0.01)
	Olv	1.074 b (0.02)	0.968 b (0.01)	0.162 d (6E-3)	1.387 a (0.19)	0.685 c (0.01)
	Of	3.013 c (0.21)	2.046 e (0.03)	5.330 b (0.09)	6.316 a (0.09)	2.667 d (0.07)
		Oh	9.761 c (0.12)	5.637 d (0.14)	17.79 b (0.42)	18.43 b (0.07)
						20.57 a (0.25)

Tableau 1. : Concentration moyenne en Si des divers compartiments organiques de l'écosystème (Cornélis et al., en préparation).

La suite du projet concerne l'étude des pools biogéniques et minéraux du sol par les ratios Si/Ge, puis par isotopie, les plantes engendrant un fractionnement isotopique plus ou moins important pour cet élément. Ce travail a donné lieu à trois communications orales (Australie, 2008, Science du sol, Wien 2008, Afrique du Sud, 2008) et un article va être soumis avant la fin de l'année

Encadré n°5 – Dynamique de l’azote sous écosystème forestier : contrôle de la nitrification par les arbres (Thèse de ANDRIANARISOA Kasaina Sitiraka 2006 – 2008 – encadrement Etienne Dambrine et Bernd Zeller)

L’objectif de cette thèse est d’étudier i- comment une essence forestière influence la minéralisation de l’azote organique et la nitrification et ii- l’effet de la coupe et de la plantation sur la dynamique de l’azote dans le sol organique et minéral Trois expériences ont été lancées en 2006 dont (i) Permutation des carottes du sol entre les peuplements (8cm diamètre et 15cm profondeur) afin de voir l’effet global du peuplement sur la nitrification ; (ii) Permutation de la couche holorganique entre le TSF et le Douglas afin de voir l’influence possible de l’humus sur la nitrification ; (iii) Plantation dense (espacement 50 cm) des jeunes arbres dans une forêt native coupée à blanc.

Les résultats marquants montrent i- une forte nitrification sous Douglas, pin, Hêtre, nitrification faible ou nul sous épicéa, sapin de Nordmann, forêt native, ii- une augmentation de la nitrification dans un sol non nitrifiant permuté dans un peuplement nitrifiant, maintien de la nitrification d’un sol nitrifiant permuté dans un sol non nitrifiant et, iii- une relation positive entre le nombre de gènes exprimés (AOA) et le taux de la nitrification Cette thèse est réalisée en collaboration dans un projet associant Frank Poly, UMR 5555, Université de Lyon, Microbiologie et Biologie moléculaire (identification et activité des bactéries) et Marc Buée, UMR 1136, Inra Nancy, Microbiologie (activités enzymatiques dans le sol)