



Impact du conditionnement en lumière sur la croissance et l'architecture hydraulique de semis de deux espèces d'arbre (*Acer pseudoplatanus* et *Fraxinus excelsior*)

Benjamin Faivre-Vuillin, Erwin Dreyer, Tete Severien T. S. Barigah

► To cite this version:

Benjamin Faivre-Vuillin, Erwin Dreyer, Tete Severien T. S. Barigah. Impact du conditionnement en lumière sur la croissance et l'architecture hydraulique de semis de deux espèces d'arbre (*Acer pseudoplatanus* et *Fraxinus excelsior*). 5. Journées d'Ecologie Fonctionnelle, Mar 2003, Nancy, France. hal-02763676

HAL Id: hal-02763676

<https://hal.inrae.fr/hal-02763676>

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



V^{èmes} Journées d'Ecologie Fonctionnelle

Nancy, 12-14 Mars 2003

Programme et résumés



Mardi 11 mars

16:00 - Accueil des participants et installation des posters (jusqu'à 22:30).

19:30 – Dîner

Mercredi 12 mars

08:00 - Accueil des retardataires

08:15 - Ouverture des JEF 2003

08:20 - Qu'est ce que l'écologie fonctionnelle ? - *B. Saugier*.

SESSION 1 CYCLE DU CARBONE DANS LES ECOSYSTEMES

Animateurs : Christian Amblard et Georges Stora

08:40 - (1C1) Cycle du carbone en prairie, diversité fonctionnelle et environnement global - *J-F. Soussana, E. Ceschia, C. Cochard, F. Louault, F. Teyssonneire, P. Loiseau*

09:00 - (1C2) Flux et bilan de carbone dans des écosystèmes forestiers feuillus tempérés : Déterminisme des flux et variations temporelles. - *A. Granier, N. Breda, B. Longdoz*

09:20 - (1C3) Premier bilan des émissions de gaz à effet de serre en prairie pâturée dans le cadre du programme Greengrass - *E. Ceschia, P. Berbigier, J-M. Bonnefond, C. Henault, P. Laville, P. Cellier, C. Martin, C. Pinares-Patino, S. Saltes, J-F. Soussana*

09:40 - (1C4) Evolution de la signature isotopique des corégones au cours de l'eutrophisation et de la restauration des lacs alpins : modifications de l'origine de carbone du réseau trophique pélagique et hysteresis. - *M-E. Perga, D. Gerdeaux*

10:00 - **Pause café**

10:30 - (1C5) Contrôle ascendant et descendant de la structure de la communauté bactérienne dans la zone euphotique d'un lac - réservoir d'eau douce. - *L. Jardillier, D. Boucher, M. Basset, C. Amblard, M. Richardot, D. Debroas*

10:50 - (1C6) Modélisation de l'assimilation photosynthétique : de la feuille au couvert herbacé de jachère. - *M. Gouasmi, P. Mordelet, J-C. Calvet, V. Le Dantec, V. Demarez, P. Gastellu-Etchegorry, T. Lamaze*

11:10 - (1C7) Etude des effets des changements climatiques des 50 dernières années sur la photosynthèse, la transpiration et la production nette d'une hêtraie à Hesse : approche par modélisation. – *D. Hendrick, E. Dufrêne, A. Granier*

11:30 - (1C8) Efficacité de l'utilisation du rayonnement utile à la photosynthèse : variabilité et contrôles sur les zones tempérées, boréales et arctiques. - *L. Kergoat, S. Lafont, A. Arneth, V. Le Dantec, B. Saugier*

11:50 - (1C9) Déterminisme métabolique de la composition isotopique du CO₂ produit lors de la respiration à l'obscurité chez *Phaseolus vulgaris* L. - *S. Nogues, G. Tcherkez, G. Cornic, F-W. Badeck, J. Ghashghaie*

12:10 - (1C10) Interactions entre dynamiques de C et de N au cours de la décomposition de résidus végétaux dans les sols. - *S. Recous, B. Mary, B. Nicolardot, P. Garnier*

12:45 - **Pause déjeuner**

Mercredi 12 mars après-midi

SESSION 2 INTERACTIONS BIOLOGIE-SOLS-SÉDIMENTS

Animateurs : Benoît Jaillard et Corinne Leyval

- 14:00** - (2C1) Comment améliorer la prise en compte de la composante microbienne dans la compréhension du fonctionnement des écosystèmes? Place du concept de communauté fonctionnelle. - *R. Lensi*
- 14:20** - (2C2) Rhizosphère et écologie fonctionnelle. - *C. Robin, M-P. Turpault*
- 14:40** - (2C3) Variations spatiales et saisonnières de l'activité dénitrifiante et respiratoire dans la zone non saturée du sol. - *P. Cannavo, A. Richaume, F. Lafolie*
- 15:00** - (2C4) Traitement des eaux de drainage de maïsiculture dans les Landes de Gascogne. Etude en réacteurs pilotes potentiels de dénitrification du sol en conditions contrôlées (température et carbone organique dissous) et optimisation de l'apport de COD. - *V. Clavé, M. Torre, F. Delmas, J-C. Chossat, Y. Legat*
- 15:20** - (2C5) Mutualisme et compétition dans la rhizosphère : modélisation des interactions entre les plantes et les microorganismes du sol à l'aide d'un modèle semi-mécaniste couplé carbone/azote. - *X. Raynaud, J-C. Lata, P. Leadley*
- 15:40** - (2C6) Réponse des communautés microbiennes fonctionnelles du sol aux perturbations liées aux pratiques agricoles : le cas du pâturage. - *X. Le Roux, A-K Patra, L. Abbadie, A. Clays, V. Degrange, S. Grayston, P. Loiseau, F. Louault, S. Mahmood, S. Nazaret, L. Philippot, F. Poly, J-I Prosser, A. Richaume*
- 16:00** - (2C7) Complémentarité fonctionnelle des différents types de racines fines dans une hêtraie pure. - *J. Garbaye, M. Buée*

16:20 - Pause café

17:00 - 18h30 **Visite des Posters des Sessions 1 & 2**

19:00 - Dîner

20:15 - 22:00 **Table ronde autour d'une bière : « Pérennité, diversité, complexité des processus fonctionnels, et forêt : quelques spécificités de l'écologie forestière »**

1. Mais où sont nos forêts d'antan ? Dynamiques à long terme des écosystèmes forestiers. *J-L. Dupouey*
 2. La mémoire des forêts: impact des usages anciens sur les forêts actuelles. *E. Dambrine*
 3. La productivité des forêts augmente régulièrement: constat, causes, conséquences ? *J-C. Hervé*
 4. Du carbone assimilé à la formation d'un tronc : comment modéliser la croissance des arbres en peuplement ? *J-M. Ottorini, N. Le Goff*
 5. Les forêts naturelles en Europe: qu'en reste t il? *A. Schnitzler*
-

Jeudi 13 mars**Session 2 INTERACTIONS BIOLOGIE-SOLS-SÉDIMENTS (suite)**

Animateurs : Jean-Jacques Brun et Jacques Ranger

- 08:20** - (2C8) Effects of tree species diversity on litter quality and decomposition - *S. Hättenschwiler*
- 08:40** - (2C9) Effets directs et indirects d'une augmentation de la concentration en CO₂ sur la production, la qualité du fourrage et la décomposition de la litière d'une prairie permanente soumise à deux rythmes d'exploitation. - *F. Teyssonneyre, C. Picon-Cochard, V. Allard, J.-F. Soussana*
- 09:00** - (2C10) Contribution des glucides, lipides et protides à l'évolution géochimique du sol, suite à un apport de vinasse de rhumerie. Conséquences sur la mobilisation de métaux. - *N. Pautremat, P. Renault, P. Cazevieille, S. Marlet*
- 09:20** - (2C11) Variabilité de la minéralisation potentielle du 2,4-D dans des agrégats millimétriques. - *L. Vieublé Gonod, C. Chenu, G. Soulas*
- 09:40** - (2C12) De la révolution industrielle au dysfonctionnement des ruisseaux forestiers : application au massif vosgien. - *F. Guérol, O. Dangles, G. Tixier, V. Felten*

10:00 - Pause café

- 10:30** - (2C13) Comment évaluer la "santé" des cours d'eau en utilisant un indicateur de l'intégrité fonctionnelle de l'écosystème ? - *A. Lecerf, E. Chauvet, J.-Y. Charcosset*
- 10:50** - (2C14) Rôles des huîtres cultivées dans le fonctionnement écologique d'une vasière intertidale (bassin de Marennes-Oléron) : étude du réseau trophique par analyse inverse. - *N. Niquil, D. Leguerrier, A. Petiau, A. Bodoy*
-

Session 3 DIVERSITÉ ET DYNAMIQUE DES ECOSYSTÈMES

Animateurs : Daniel Gerdeaux et Sandra Lavorel

- 11:20** - (3C1) Réponse structurale des communautés de diatomées benthiques à l'anthropisation des systèmes aquatiques. Application d'un réseau artificiel de neurones au cas du bassin Adour-Garonne. - *J. Tison, M. Coste, F. Delmas, J.-L. Giraudel, S. Lek, Y.-S. Park*
- 11:40** - (3C2) Réponses du peuplement de collemboles à un cycle sylvogénique : relation avec les performances microbiennes. - *M. Chauvat, A. Zaitsev, A. Pflug, V. Wolters.*
- 12:00** - (3C3) Diversité fonctionnelle des champignons ectomycorhiziens et saprophytes dans une chênaie-hêtraie du Morvan par la mesure de l'abondance naturelle du ¹³C et du ¹⁵N. - *B. Zeller, F. Le Tacon, C. Bréchet, J.-P. Maurice*
- 12:20** - (3C4) Diversité interspécifique de δ¹³C des arbres de la forêt tropicale humide guyanaise et rôle dans le fonctionnement de l'écosystème. - *D. Bonal, D. Sabatier, J.-F. Molino, A. Franc, J.-M. Guehl*

12:45 - Pause déjeuner

Jeudi 13 mars après-midi

14:00 - (3C5) Morphologies et dynamiques des zones de transgression forêt savane. Apport du modèle FORSAT. - *C. Favier, M-A. Dubois*

14:20 - (3C6) Dominance et compétition entre graminées structurantes d'écosystèmes herbacés collinéens. - *P. Liancourt, E. Corcket, R. Michalet*

14:40 - (3C7) Relation entre la pollution atmosphérique caractérisée par les concentrations en NO₂ et l'abondance et la diversité des thécamoebiens de mousses dans le région de Besançon. - *Nguyen-Viet, D. Gilbert, N. Bernard, E.A.D. Mitchell, P-M. Badot*

15:00 - (3C8) Diversité biophysique et fonctionnement des hydrosystèmes. - *P. Vervier, M. Gérino, J-M. Sanchez-Pérez, S. Sauvage, A. Dauta, L. Gauthier, A. Mangin*

15:20 - (3C9) Effets de l'enrichissement en nutriments sur les systèmes trophiques : l'évolution peut-elle assécher la cascade trophique ? - *N. Loeuille, M. Loreau*

15:40 - (3C9) Importance of the community structure on the diversity-stability relationship in fluctuating environments. - *B. Descamps, A. Gonzales*

16:00 - Pause café

16:30 - 18:00 **Visite des Posters des Sessions 3 & 4**

18:00 - 19:15 **Table ronde : Perspectives et Projets pour l' Ecologie**

Avec Jean-Baptiste Bergé, Jean-Claude Bertrand, Bernard Delay et André Mariotti

20:00 - Apéritif - Sonnerie aux Trompes - Buffet

Vendredi 14 mars**Session 4 ECOPHYSIOLOGIE ET RÉPONSES AUX CONTRAINTES DE L'ENVIRONNEMENT**

Animateurs : Gilbert Aussenac et Eric Dufrêne

08:30 - (4C1) Etude de la variabilité spatiale et temporelle du fonctionnement du couvert herbacé en zone sahélienne : exemple du Gourma malien après la sécheresse de 1984 - *Y. Tracol, E. Mougin, P. Hiernaux*

08:50 - (4C2) Apport d'un couplage entre un modèle de végétation et un modèle hydrologique en milieu Sahélien. - *N. Boulain, B. Cappelaere, L. Séguis, J. Gignoux*

09:10 - (4C3) Relation croissance-mortalité chez le Hêtre et le Chêne pubescent. - *G. Kunstler, J. Lepart, T. Curt, B. Prévosto, M. Bouchaud*

09:30 - (4C4) Effets directs et indirects de la canopée sur les interactions Molinie - régénération forestière : approche expérimentale de la compétition racinaire dans une chênaie sessile des Alpes du Nord. - *J-P. Pages, J-J. Brun, R. Michalet*

09:50 - (4C5) Effet des conditions atmosphériques et des hétérogénéités de surface dans la simulation de l'interception du rayonnement d'un couvert végétal. Impact sur le fonctionnement. - *S. Duthoit, V. Demarez, G. Marty, V. Le Dantec*

10:10 - Pause café

10:40 - (4C6) Relations dose-réponse de l'impact de l'ozone sur les végétaux ? - *D. Le Thiec et P. Dizengremel*

11:00 - (4C7) Variabilité ecophysiologique et génétique de l'efficacité d'utilisation de l'eau des chênes pédonculé et sessile. - *O. Brendel, C. Saintagne, D. Le Thiec, T. Barreneche, C. Plomion, S. Ponton, J-L. Dupouey, E. Dreyer, A. Kremer, J-M. Guehl*

11:20 - (4C8) Relations entre surfacique massique des feuilles et index de plastochrone foliaire chez 31 clones de Peuplier - *N. Marron, M. Villar, E. Dreyer, D. Delay, E. Boudouresque, J.-M. Petit, F. M. Delmotte, J.-M. Guehl, et F. Brignolas.*

11:40 – 12:30 Bilan des JEF 2003

12:45 - Pause déjeuner

14:00 – Fin des JEF 2003 et départs en Navette vers la gare.

RESUMES

Communications de la Session 1.

CYCLE DU CARBONE DANS LES ECOSYSTEMES

1C1

Cycle du carbone en prairie, diversité fonctionnelle et environnement global

Jean-Francois Soussana, Eric Ceschia, Catherine Cochard, Frédérique Louault, Florence Teyssonneyre et Pierre Loiseau *Erreur! Signet non défini.*

Equipe Fonctionnement et Gestion de l'Ecosystème Prairial, Unité d'Agronomie, INRA Clermont-Ferrand, France.

A l'échelle globale, les modèles couplant le cycle du carbone, la circulation générale et le climat montrent que le devenir des puits de carbone continentaux est susceptible d'affecter fortement l'intensité du changement climatique. On suppose généralement que ces puits, qui correspondent à la productivité nette des biomes, seraient renforcés par l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ mais réduits par le réchauffement du climat.

Dans le cas d'écosystèmes herbacés comme les parcours ou les prairies, les stocks de carbone sont essentiellement souterrains. La productivité primaire nette de ces biomes dépend de leur gestion par l'élevage, de l'état des ressources et d'interactions biotiques qui contribuent à la régulation des flux couplés du carbone et de l'azote et aux échanges nets de gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, CH₄) avec l'atmosphère.

A partir de résultats expérimentaux obtenus dans des microcosmes prairiaux, nous montrons qu'il n'y a probablement pas d'effet univoque des variables de forçage atmosphérique ou climatique sur les flux de CO₂, d'une part, et sur les stocks et les temps de résidence du carbone dans différentes fractions organiques du sol, d'autre part. Des facteurs soumis à la gestion agricole comme la disponibilité des ressources (azote), le degré de perturbation (fauche, pâturage) et la diversité végétale (gaminées ou légumineuses) affectent également le cycle du carbone en prairie et interagissent avec les effets de l'augmentation du CO₂ atmosphérique et de la température.

De plus, un certain nombre de régulations écosystémiques lient cycles du carbone, cycle de l'azote et diversité fonctionnelle dans une prairie semi-naturelle. Le cycle de l'azote tend à se réguler *via* les fluctuations des populations de légumineuses. Le cycle du carbone tend à se réguler par des variations des traits fonctionnels végétaux (SLA, proportion et nature des parois) qui conditionnent la vitesse de croissance et la vitesse de décomposition dans le sol.

Nous concluons qu'il sera nécessaire de développer des modèles couplant la dynamique des populations et les flux de carbone et d'azote afin de pouvoir comprendre et prédire les réponses des écosystème prairiaux au changement global. De premiers résultats de telles simulations sont donnés à partir du modèle GEMINI (Grassland Ecosystem Model with INdividual based Interactions) développé par l'équipe.

1C2

**Flux et bilan de carbone dans des écosystèmes feuillus tempérés.
Déterminisme des flux et variations temporelles.****A. Granier, N. Bréda, B. Longdoz**UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières, 54280 Champenoux.
agranier@nancy.inra.fr

Cet exposé fait la synthèse de mesures réalisées pendant 6 années dans un site-atelier d'étude du fonctionnement hydrique et carboné d'un écosystème forestier à base de hêtres, situé en forêt de Hesse. Les variations journalières et saisonnières de ces flux présentent une forte similitude avec les échanges gazeux, transpiration, photosynthèse et respiration mesurés à l'échelle de la feuille. On peut ainsi définir deux principaux flux de carbone, l'assimilation photosynthétique (GPP) et la respiration de l'écosystème (Reco). Ce dernier terme peut lui-même être décomposé en deux flux de respiration : celui qui provient du sol, représentant environ les 2/3 de Reco et le flux de respiration de l'ensemble des organes aériens. La résultante de ces flux correspond à la variation de stock de carbone dans l'écosystème. Le site de Hesse incorpore de 100 à 500 g C m⁻² an⁻¹ selon les années, valeur en moyenne proche des estimations d'accroissement du peuplement forestier. Cette variation inter-annuelle du bilan net de carbone est très élevée par rapport à ce qui est observé sur d'autres sites qui disposent de longues séries de mesures, comme la hêtraie de Sorø au Danemark où la forêt feuillue mélangée de Harvard aux USA. Une étude de l'impact des différentes sources de variabilité a été entreprise. Les effets du climat (rayonnement, température, sécheresse édaphique) sont analysés au moyen des fonctions de réponse des flux élémentaires GPP et Reco. Une partie seulement de la variabilité inter-annuelle du bilan de carbone est expliquée par ces variables. La prise en compte des variations de l'indice foliaire consécutives aux contraintes hydriques et à la gestion sylvicole (éclaircie) permet d'améliorer l'interprétation des variations du bilan de carbone.

Mots clefs: *bilan de carbone ; assimilation photosynthétique ; couvert forestier ; efficience de l'eau ; respiration ; indice foliaire ; phénologie ; contrainte hydrique ; gestion sylvicole*

1C3

Premier Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre en Prairie Pâturée dans le cadre du Programme Greengrass

E. Ceschia (1), P. Berbigier (2), J.M. Bonnefond (2), C. Henault (3), P. Laville (4), P. Cellier (4), C. Martin (5), C. Pinares-Patiño (5), S. Saltes (1), J.F. Soussana (1)

(1) INRA, Unité d'Agronomie, 234 Avenue du Brézet - F 63039 Clermont-Ferrand

(2) INRA, Unité de Bioclimatologie - 71, avenue Edouard Bourleaux BP 81 - 33883 Villenave-d'Ornon cedex

(3) UMR INRA-Univ. de Bourgogne : Microbiologie des sols - 17, rue Sully BV 86510 - 21065 Dijon cedex

(4) INRA, Unité de Recherche "Environnement et Grandes Cultures" - 78850 Thiverval – Grignon

(5) INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores - Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

Le programme européen GREENGRASS a pour objectif d'établir un inventaire détaillé de la contribution nette des prairies aux flux des trois principaux gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O) et d'évaluer les possibilités de réduction de ces émissions par des adaptations des systèmes d'élevage. C'est pour répondre à ces attentes qu'un site expérimental a été mis en place à Laqueuille (Puy de Dôme) sur une prairie semi-naturelle début 2002. Le site est constitué de deux parcelles, l'une gérée de manière intensive (fertilisation et pâturage intensif), l'autre de manière extensive (pas de fertilisation, pâturage extensif). Des mesures de flux net de CO_2 sont effectuées en continu sur les deux parcelles par la technique des fluctuations turbulentes. Les flux de N_2O , liés à l'activité microbienne du sol, sont mesurés lors de campagnes saisonnières en utilisant des cuvettes fixes (+ analyse des échantillons de gaz prélevés par CPG), ou lors de campagnes ponctuelles (utilisation de chambres couplées à une TDL) afin d'étudier la variabilité spatiale des flux. Enfin, les émissions de méthane (CH_4) et de CO_2 par les vaches au pâturage sont mesurées par la technique de dilution d'un gaz traceur (SF_6) à l'aide d'un système de collecte des gaz éruptés et expirés (licol + capillaire + boîte de collecte des gaz) placé sur la tête et le cou de l'animal. Les résultats de la première saison de mesure indiquent que les flux de N_2O étaient relativement faibles ($8.75 \text{ g N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ au maximum), mais près de 3 fois supérieures sur la parcelle intensive par rapport à l'extensive, avec des maxima en Juillet et Septembre. La variabilité spatiale des flux était très importante. Les émissions moyennes de méthane par les animaux étaient de $0.46 \text{ g CH}_4 \text{ j}^{-1} \text{ kg PV}^{-1}$ et différaient peu au cours de la saison ou d'un traitement à l'autre et ce malgré des qualités de fourrage différentes. Enfin, les deux parcelles étaient des puits de CO_2 au moins entre Mai et Septembre. Pour les mois de Juillet et Septembre, la fixation de CO_2 était 15 et 39% plus faibles sur la parcelle Intensive. Une incertitude demeure cependant sur les mesures de flux de CO_2 effectuées par la technique des corrélations turbulentes. La part de CO_2 d'origine animale prise en compte dans les mesures de flux n'est pas connue. Les mesures effectuées par la technique du SF_6 montrent que les émissions de CO_2 par les bovins représentent une part très importante des flux nets de CO_2 . Le bilan des émissions des trois gaz, exprimé en terme de pouvoir de réchauffement en équivalent CO_2 , fait apparaître que pour le mois de Juillet, les émissions représentaient entre -240 et $-120 \text{ kg C/CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ pour le traitement Extensif et entre -100 et $+120 \text{ kg C/CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ pour le traitement Intensif selon la prise en compte ou non des gaz d'origine animale par les mâts de mesure. Le rapport CH_4/CO_2 étant constant dans les boîtes de prélèvements des gaz sur animaux, l'utilisation d'un système de collecte témoin, placé à proximité du mât, devrait permettre, en utilisant le CH_4 comme traceur, de calculer la part de CO_2 d'origine animale qui est pris en compte dans la mesure des flux totaux de CO_2 par la technique des fluctuations turbulentes.

Mots clefs: gaz à effet de serre ; prairies ; cycle du carbone ; corrélations turbulentes ; flux de CO_2 ; CH_4 ; N_2O ; bovins.

1C4

Evolution de la signature isotopique des corégones au cours de l'eutrophisation et de la restauration des lacs alpins : modifications de l'origine de carbone du réseau trophique pélagique et hysteresis.***M. E. Perga M.E. et D. Gerdeaux.***

Les lacs Léman, d'Annecy et de Constance ont subi, comme beaucoup d'autres lacs, une pression anthropique croissante qui a conduit à l'eutrophisation à partir des années 50. Les concentrations en nutriments ont été multipliées, en moyenne, par trois, jusqu'à ce que des mesures d'assainissement soient prises à la fin des années 70. Depuis, les concentrations en nutriments tendent vers leur valeur originelle. Parmi les modifications du réseau trophique au cours de l'eutrophisation, beaucoup ne sont pas immédiatement réversibles (changements des structures algales ou piscicoles....). Nous nous sommes intéressés aux modifications dans l'origine du carbone soutenant le réseau pélagique. Les isotopes stables ^{13}C , ^{15}N sont des outils d'étude des réseaux trophiques. La signature ^{13}C permet notamment d'estimer l'origine du carbone inorganique : atmosphère ou issu des processus de minéralisation. Les signatures isotopiques sont traditionnellement mesurées les tissus musculaires des poissons. Nous avons développé la technique permettant d'utiliser les écailles comme support de mesures afin de pouvoir mener des études rétrospectives sur des collections d'écailles couvrant des périodes de 1946 à 2001. Les résultats montrent qu'au cours de l'eutrophisation, le réseau trophique pélagique des lacs a de plus en plus exploité le carbone atmosphérique, le recyclage interne n'étant plus assez efficace pour soutenir une production primaire croissante. Au cours de la restauration, le réseau trophique est à nouveau de plus en plus soutenu par son carbone interne. Cependant, les résultats suggèrent l'existence d'un phénomène d'hystéresis au cours de la re-oligotrophisation.

1C5

Contrôle ascendant et descendant de la structure de la communauté bactérienne dans la zone euphotique d'un lac - réservoir d'eau douce.

L. Jardillier, D. Boucher, M. Basset, C. Amblard, M. Richardot, D. Debroas

Université Blaise Pascal – Laboratoire de Biologie des Protistes UMR CNRS 6023, 63177 Aubière.
didier.debroas@free.fr

Les changements temporels de la structure de la communauté bactérienne de la zone euphotique d'un lac - réservoir (Sep – France) ainsi que l'impact des ressources et de la prédation sur ces populations ont été étudiées en utilisant la technique d'hybridation in situ (FISH) pour les Eubactéries et trois de leurs sous-groupes. En outre, cette approche a été complétée par la mise en œuvre d'une technique de fingerprint (T-RFLP). La croissance et les taux de mortalité des différents sous-groupes ont été mesurés lors d'expériences réalisées en sacs à dialyse en présence ou absence de prédateurs.

Les taux de mortalité des différents groupes et sous-classes observés sont significativement différents, les alfa - protéobactéries (ALF) présentent les plus forts taux de mortalité (maximum : $1,76 \text{ j}^{-1}$). Les bêta - proteobactéries (BET) semblent être moins consommées par les organismes bactériivores et la prédation conduit à de larges variations pour les taux de mortalité du groupe des Cytophaga - Flavobacterium (C/F).

La succession d'organismes bactériivores (*Dinobryon* sp. et Cladocera) pourrait expliquer les différences de mortalité observées. Par ailleurs, les différentes analyses statistiques tendent à montrer que la croissance des principaux groupes bactériens ainsi que la diversité bactérienne dépendent fortement de la matière organique excrétée par le phytoplancton.

Ces différents résultats mettent en évidence que la structure des populations bactériennes dépend d'un impact combiné de la nature des ressources et de l'activité de prédation potentiellement sélective des organismes bactériivores. Afin de vérifier ces conclusions, des expériences en microcosmes ont été réalisées où l'intensité et la nature de la prédation d'une part, et les apports en nutriments d'autres part, étaient contrôlés. Les résultats des différents paramètres étudiés, similaires à ceux des sacs à dialyse, obtenus lors de ces expériences seront discutés.

Mots clefs : bactéries ; diversité ; contrôle ascendant ; contrôle descendant ; Réservoir ; FISH ; T-RFLP

1C6

Modélisation de l'assimilation photosynthétique : de la feuille au couvert herbacé de jachère.

M. Gouasmi (1), P. Mordelet (1), J.C. Calvet (2), V. Le Dantec (1), V. Demarez (1), P. Gastellu-Etchegorry (1), T. Lamaze (1)

(1) Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère (CESBIO), UMR 5126 (CNES-CNRS-IRD), Université Paul Sabatier, 18 Av. E. Belin – 31401 Toulouse Cedex 4. cesbi4R1@cict.fr.

(2) Météo-France/CNRM, 42 Av. G. Coriolis – 31057 Toulouse Cedex 1. calvet@meteo.fr.

L'activité photosynthétique est simulée par le modèle de Collatz lui-même basé sur une modélisation biochimique classique de la photosynthèse (Farquhar *et al.*, 1980, *Planta*, 149, 78 - 90). Les simulations dépendent de variables qui sont : la vitesse maximale de carboxylation (V_{mo}), le rendement quantique, l'éclairement incident, la température et l'humidité relative à l'échelle foliaire, et de plus à l'échelle du couvert végétal : le LAI et l'angle zénithal. L'objet d'étude est une jeune jachère du sud-ouest de la France où l'espèce dominante du couvert herbacé est la potentille. A l'échelle de la feuille, pour une plage donnée d'éclairements, la moyenne des prédictions du modèle correspond assez bien à la moyenne des observations. Néanmoins, individuellement, les observations sont fortement dispersées et les écarts avec les simulations peuvent être très importants. Les représentations sont meilleures pour les assimilations de valeurs faibles et moyennes comparées aux fortes assimilations. Par rapport à la modélisation initiale, une amélioration notable est apportée si des valeurs saisonnières de V_{mo} sont utilisées et non plus une valeur constante tout au long de l'année. Une étude de sensibilité montre qu'aux forts éclairements, le paramètre explicatif de la dispersion est principalement la température dont l'impact est sous estimée par le modèle. A l'échelle du couvert herbacé, le modèle s'avère incapable de prédire les fortes assimilations. Dans ce cas, également, l'effet température semble devoir être mis en cause puisque les assimilations élevées s'observent généralement dans des conditions d'éclairements intenses associés à de fortes températures. Une comparaison des flux nets de CO_2 estimés sur des placettes par des mesures d'échanges gazeux ou sur une parcelle par la méthode d'Eddy Covariance confirme l'impact de la température. Quelques difficultés de la modélisation à l'échelle des couverts végétaux sont abordées.

Mots clefs: modèles de photosynthèse ; échelle foliaire versus échelle du couvert ; strate herbacée

1C7

Etude des effets des changements climatiques des 50 dernières années sur la photosynthèse, la transpiration et la production nette d'une Hêtraie à Hesse : approche par modélisation.**D. Hendrik(1), E. Dufrêne(1), A. Granier(2)**

(1) Ecologie, Systématique et Evolution, Equipe écophysiologie végétale Université Paris-Sud Bât362, 91405 Orsay Cedex hendrik.davi@ese.u-psud.fr

(2) UMR INRA UHP « Ecologie, Ecophysiologie Forestières », 54 280 Champenoux

Depuis 1750, la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone a augmenté de 31% (source IPCC) et la température a augmenté en moyenne de 0.7°C sur 100 ans. Plus localement, de 1956 à 1997 Lebourgeois et al.(1) trouvent, sur 68 stations françaises, une augmentation de 1.2°C de la température moyenne. Notre objectif est d'étudier sur un site particulier l'effet de ces changements climatiques sur le fonctionnement d'une Hêtraie. Pour s'affranchir des effets peuplements, nous étudierons un peuplement théorique qui ne change pas au cours du temps et qui correspond au site carboeuroflux de la forêt de Hesse. Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé un modèle développé au laboratoire (CASTANEA) qui permet de simuler la photosynthèse, la respiration autotrophe et hétérotrophe, l'évapotranspiration et le bilan hydrique d'écosystèmes forestiers. La capacité du modèle à reproduire l'effet de la variabilité du climat est testée sur 3 ans à Hesse par comparaison aux flux mesurés par eddy covariance. La simulation est ensuite réalisée sur 50 ans à partir de données météorologiques journalières mesurées à la station météorologique la plus proche de Hesse. Nous constatons une augmentation des pluies annuelles, du rayonnement global et de la température moyenne annuelle. Nous simulons en conséquence une augmentation de la durée de végétation. Ceci entraîne une augmentation de la transpiration, de la photosynthèse et de la respiration mais l'échange net de CO₂ de l'écosystème reste inchangé. Dans la continuité de ce travail, deux perspectives se dégagent : Afin de valider notre approche, il sera nécessaire de comparer à des mesures de croissances et donc d'incorporer les évolutions réelles des peuplements (fertilisation azotée, gestion forestière et effet de l'âge). Enfin ultérieurement, cette étude devra être réalisée sur plusieurs sites, afin de vérifier ces conclusions à une échelle plus large.

Mots clefs : *modèles fonctionnels ; Hêtre ; changements climatiques*

(1) Lebourgeois F. Granier A. Breda N. Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1976 et 1997 : réflexion en terme de conséquences pour les écosystèmes forestiers. Ann. For. Sci 58 (2001) 733-754

1C8

Efficacité de l'utilisation du rayonnement utile à la photosynthèse: Variabilité et contrôles sur les zones tempérées, boréales et arctiques.

L. Kergoat (1), S. Lafont (1), A. Arneith (2), V. Le Dantec(1) and B. Saugier (3)

(1)CESBIO (CNRS/CNES/UPS/IRD) 18 Av E. Belin, 31401 Toulouse, France,
laurent.kergoat@cesbio.cnes.fr

(2) MPI Hamburg, Germany,

(3) ESE Orsay, France

Le développement des réseaux de mesures de flux de CO₂ au-dessus des couverts permet d'élaborer et de valider des modèles de cycle du carbone au niveau de l'écosystème mais aussi d'étudier le caractère général des concepts utilisés. Parmi ces concepts, l'efficacité de l'utilisation du rayonnement (Light-Use Efficiency, LUE) permet de caractériser les différents systèmes. Elle est aussi à la base des modèles de photosynthèse utilisant la télédétection spatiale. Nous présentons ici l'analyse du LUE de plus de 50 écosystèmes situés en zone tempérée, boréale ou arctique. Nous commentons les patrons à grande échelle de l'absorption et de l'utilisation du rayonnement utile à la photosynthèse par la végétation. Nous montrons que le LUE varie fortement sur l'ensemble des sites, mais que cette variabilité est largement reliée aux différences d'azote foliaire des plantes dominant chaque système, et de température moyenne annuelle. Malgré leur grande diversité de structure, les écosystèmes considérés montrent donc une forte convergence de leur fonctionnement photosynthétique. Nous commentons ces relations en fonction des types fonctionnels de plantes, de l'azote foliaire et de l'hétérogénéité à l'échelle du paysage. Enfin, nous discutons de la capacité des modèles de photosynthèse actuels à reproduire ces résultats.

Mots clefs : *flux de CO₂, LUE, Efficience d'utilisation du rayonnement*

1C9

Diversité interspécifique de $\delta^{13}\text{C}$ des arbres de la forêt tropicale humide guyanaise et rôle dans le fonctionnement de l'écosystème**D. Bonal (1), D. Sabatier (2), J-F. Molino (2), A. Franc (3), J-M. Guehl (4)**

(1) INRA Kourou, UMR Ecologie des Forêts de Guyane, BP 709 97387 Kourou Cedex, Guyane Française bonal.d@kourou.cirad.fr

(2) IRD, UMR AMAP, TA 40 / PS2 34398 Montpellier Cedex 5

(3) INRA Paris, 19, Avenue du Maine 75 732 Paris Cedex 15

(4) INRA Nancy, UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières, 54280 Champenoux

L'objectif de ce travail était de caractériser l'organisation spatiale de la diversité interspécifique de la composition isotopique du carbone foliaire ($\delta^{13}\text{C}$), une grandeur sans dimension (‰) linéairement et positivement liée à l'efficacité d'utilisation de l'eau (rapport taux d'assimilation de CO_2 /conductance stomatique pour la vapeur d'eau = A/g_s). Des études antérieures ont permis de mettre en évidence l'existence (i) d'une très grande variabilité interspécifique de ce trait en forêt tropicale humide guyanaise (correspondant à des variations du simple au triple pour A/g_s) et (ii) d'une relation entre $\delta^{13}\text{C}$ et l'appartenance aux différents groupes écologiques de tolérance à l'ombrage (espèces héliophiles, hémio-tolérantes et tolérantes). Existe-t-il une structure dans l'assemblage des espèces présentant des traits fonctionnels contrastés ? La notion d'aire minimale a-t-elle un sens au plan fonctionnel (pour $\delta^{13}\text{C}$) à l'échelle d'un peuplement (climat et sol peu variables). Des différences de fonctionnement entre espèces et les gradients géographiques de composition floristique (à l'échelle régionale) peuvent-elles engendrer des différences de fonctionnement de l'écosystème, indépendamment des facteurs environnementaux liés aux sites ? Nous présentons des résultats obtenus dans 2 peuplements (Bafog et Saül) en forêt tropicale humide guyanaise distants de plusieurs centaines de kms et très contrastés du point de vue de leur composition floristique et du régime de perturbation anthropique. Dans les 2 sites étudiés, nous montrons qu'il n'existe pas de structuration spatiale horizontale, entre arbres, du $\delta^{13}\text{C}$. Ce résultat est en accord avec la théorie de la dérive écologique proposée par Hubbell (Science 203 :1299-1309), selon laquelle les traits démographiques ou fonctionnels, dans un écosystème aussi complexe que la forêt tropicale humide, sont associés de façon aléatoire. Nous montrons également que pour cet écosystème, il existe une aire fonctionnelle minimale (proche de 0.6 ha) pour la discrimination isotopique intégrée à l'échelle du peuplement (Δ_A , une), et que cette variable dépend d'une part de facteurs environnementaux, mais également de la composition floristique du peuplement

Mots clefs : *forêt tropicale humide, discrimination isotopique du carbone, diversité fonctionnelle, organisation spatiale, écosystème.*

1C10

Déterminisme métabolique de la composition isotopique du CO₂ produit lors de la respiration à l'obscurité chez *Phaseolus vulgaris* L.**S. Nogués, G. Tcherkez, G. Cornic, F.-W. Badeck & J. Ghashghaie**Laboratoire d'écophysiologie végétale, Bâtiment 362, Université Paris XI, 91405 Orsay, France
salvador.nogues@ese.u-psud.fr

La discrimination isotopique contre le ¹³C lors de l'assimilation photosynthétique du CO₂ a été très étudiée et des modèles ont été développés (Farquhar *et al.*, 1989). Une version simplifiée de ces modèles, qui ne prend pas en compte la discrimination lors de la respiration, a été validée pour quelques espèces ; par conséquent, il a été conclu que la discrimination lors des processus respiratoires est négligeable et ne modifie pas de façon significative la discrimination nette mesurée lors de l'assimilation photosynthétique du CO₂. Cependant, la signature isotopique de la plante intègre non seulement les discriminations qui se produisent à la lumière lors de la photosynthèse, de la photorespiration et de la respiration s.s., mais aussi la discrimination qui peut se produire lors de la respiration pendant la nuit. Une éventuelle discrimination lors de la respiration pendant la nuit dégageant du CO₂ enrichi ou appauvri en ¹³C par rapport au CO₂ fixé pendant la journée devrait donc modifier la signature isotopique de la matière organique restante par rapport aux valeurs prédites par les modèles. Les données de la littérature à ce sujet sont peu nombreuses et contradictoires. Nous avons récemment montré que le CO₂ produit par la respiration est enrichi en ¹³C (environ 6‰) par rapport au saccharose chez des feuilles intactes de *Phaseolus vulgaris* L., quelque soit l'âge et l'état hydrique des feuilles, indiquant qu'une discrimination constante contre le ¹²C se produit lors des processus respiratoires chez cette espèce (Duranceau *et al.*, 1999). Cet enrichissement peut s'expliquer par (i) une distribution hétérogène du ¹³C au sein des molécules d'hexoses (Rossmann *et al.*, 1991), couplée (ii) au branchement des voies métaboliques. En effet, la distribution des isotopes du carbone dans le glucose est telle que le pyruvate issu de la glycolyse est riche en ¹³C en position C-1, et pauvre en ¹³C sur les deux autres positions. La décarboxylation du pyruvate produit du CO₂, héritant de l'atome en position C-1 et par conséquent riche en ¹³C, et de l'acétyl-CoA, héritant des deux autres positions. Ce dernier est ensuite dégradé en CO₂ (pauvre en ¹³C) via le cycle de Krebs, ou dirigé vers la synthèse de composés tels que les acides gras. Si une partie de l'acétyl-CoA est effectivement déviée vers la biosynthèse des acides gras, le CO₂ issu de la décarboxylation du pyruvate est en proportion plus important, de telle sorte que le CO₂ produit par la respiration à l'obscurité est enrichi en ¹³C par rapport au substrat qu'est le saccharose. Ainsi, la signature du CO₂ produit par la respiration est sous la dépendance des flux métaboliques, donc est variable selon les espèces et les conditions hydriques, comme cela a été montré (Ghashghaie *et al.*, 2001). Nous avons observé que (i) l'enrichissement en ¹³C du CO₂ par rapport à la matière organique est une fonction linéaire décroissante du flux respiratoire, notamment lorsque ce dernier varie par le biais de la température ; (ii) en outre, lors d'une période prolongée d'obscurité, la signature isotopique du CO₂ respiré décroît, se rapprochant finalement de celle des acides gras et (iii) la signature isotopique du CO₂ respiré est linéairement reliée au quotient respiratoire (Tcherkez *et al.* 2003). Pris globalement, ces éléments constituent des arguments en faveur de l'hypothèse selon laquelle l'utilisation différentielle des substrats (saccharose ou acides gras), c'est-à-dire l'origine et la destinée de l'acétyl-CoA déterminent pour une large part la signature isotopique du CO₂ produit à l'obscurité par la respiration.

1C11

Interactions entre dynamiques de C et de N au cours de la décomposition de résidus végétaux dans les sols

S. Recous (1), B. Mary (1), B. Nicolardot (2), P. Garnier (1)

(1) INRA, Agronomie Laon-Reims-Mons, rue F. Christ, 02007 Laon cedex,

(2) INRA Agronomie Laon-Reims-Mons, Esplanade Roland Garros, BP 224, 51686 Reims, recous@laon.inra.fr

La matière organique des sols est à la fois une source et un puits de nutriments pour les plantes, et la prédiction de la disponibilité des nutriments associés à sa minéralisation est cruciale, notamment dans les systèmes de culture où l'apport de nutriments au sol est principalement ou seulement basée sur la restitution de résidus végétaux. D'autre part la matière organique du sol est aussi puits et source de carbone et sa dynamique est à prendre en compte dans le cadre du changement climatique global. Durant la décomposition de la matière organique, l'assimilation simultanée de carbone (C) et d'azote (N) par la microflore hétérotrophe du sol, explique le couplage étroit du cycle interne de l'azote du sol (minéralisation-organisation) avec le cycle du carbone. Ces interactions sont multiples. L'utilisation du traçage isotopique ^{15}N basée sur les principes de dilution/enrichissement isotopique, combinée à la modélisation, a montré que les flux d'azote associés au turnover des matières organiques sont très élevés et beaucoup plus élevés que les flux nets résultants. En situations de disponibilité non limitante en azote, la décomposition des résidus végétaux et la dynamique du carbone et de l'azote qui lui sont associés est sous le contrôle des caractéristiques chimiques et physiques des résidus végétaux. Plusieurs formalismes décrivant de manière plus ou moins simple la *qualité* des résidus végétaux sont adoptés dans les modèles, et leur capacité à décrire les évolutions du carbone et de l'azote est discutée. Cependant en raison des besoins élevés en N des organismes décomposeurs, la disponibilité en azote (azote minéral du sol + azote des résidus végétaux) contrôle donc très souvent la croissance des hétérotrophes, et donc la dynamique du carbone.

L'impact de ces interactions entre dynamique du carbone et de l'azote est important à considérer pour analyser et prédire les conséquences des modes d'occupation des sols (grandes cultures, prairies, forêt), des pratiques culturales (travail/non travail du sol; cultures intermédiaires, fertilisation) à court et long terme sur les cycles biogéochimiques du C et de N.

Mots clefs: *azote; carbone ; décomposition ; résidus végétaux; modélisation; sol*

Communications de la Session 2.

INTERACTIONS BIOLOGIE-SOLS-SÉDIMENTS

2C1

Comment améliorer la prise en compte de la composante microbienne dans la compréhension du fonctionnement des écosystèmes ? Place du concept de communauté fonctionnelle.**R. Lensi**

L'objet microbien est largement sous-représenté dans les approches intégrées visant à mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes et, *a fortiori*, celles relatives aux interactions entre les sociétés humaines et leur environnement.

Deux raisons principales peuvent expliquer ce constat, l'une d'ordre scientifique, l'autre d'ordre culturel :

- (1) il est à l'évidence plus aisé de détecter, caractériser, et dénombrer les macroorganismes que les microorganismes. Les développements méthodologiques récents de l'Ecologie Microbienne ont cependant largement contribué à améliorer nos possibilités d'appréhender les microorganismes dans leur milieu naturel et auraient dû permettre une insertion rapide de l'objet microbien dans des approches systémiques. Cette insertion était notamment justifiée par le rôle majeur joué par ces organismes dans les flux de matière et d'énergie et par leurs extraordinaires particularismes (diversité et flexibilité métabolique, temps de génération) leur conférant un statut de remarquables modèles écologiques. C'est donc la raison d'ordre culturel qui constitue probablement encore le frein principal :
- (2) les cursus de formation suivis par les chercheurs se réclamant de la « microbiologie environnementale » - plus « microbiologiques » qu'« écologiques » - ont conduit ce champ disciplinaire à se développer en marge des concepts et théories de l'Ecologie en général et de l'Ecologie Fonctionnelle, en particulier. Les laboratoires porteurs de cette discipline sont donc, tout au moins en France, peu imprégnés de « culture écologique ».

L'objectif de cet exposé est donc de proposer des démarches visant à améliorer la prise en compte de l'objet microbien dans (1) une approche intégrée du fonctionnement des écosystèmes et (2) l'établissement de diagnostics de l'état des milieux et, en particulier de l'état des sols (notamment, en terme de résistance et résilience des milieux complexes après perturbations). Il sera notamment question : (1) des logiques conceptuelles devant conduire à l'élaboration des biodescripteurs performants de l'état et/ou de la stabilité des écosystèmes soumis à des perturbations (anthropiques ou non) et de la faisabilité technique des propositions, (2) de la pertinence de la notion de communautés microbiennes fonctionnelles dans la mise en place d'outils de diagnostic.

En fin d'exposé seront également abordées (1) les possibilités de « manipuler » cet objet dans une optique d'ingénierie écologique, (2) les démarches scientifiques qui pourraient être adoptées pour rendre cet objet efficace à la fois en tant qu'outil de diagnostic et d'ingénierie, (3) les difficultés pratiques liées à une démarche de manipulation directe des microorganismes à des échelles compatibles avec les approches d'ingénierie et (4) les possibilités d'envisager des manipulations « indirectes » des microorganismes *via* la manipulation d'autres composantes (physico-chimiques ou biotiques) des éco ou anthroposystèmes. Ces points seront brièvement illustrés par une étude menée dans les savanes d'Afrique de l'Ouest, mettant en jeu la dynamique de la végétation, un processus microbien du sol et le fonctionnement global de l'écosystème.

2C2

Rhizosphère et écologie fonctionnelle**C. Robin (1) et M-P. Turpault (2)**

(1) U.M.R. INRA-INPL(ENSAIA) Agronomie et Environnement Nancy-Colmar, BP 172, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex Christophe.Robin@ensaia.inpl-nancy.fr

(2) UR INRA Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers 54280 Champenoux
turpault@nancy.inra.fr

La croissance des plantes, la production des écosystèmes et les équilibres environnementaux dépendent de la capacité des plantes et des micro-organismes associés à s'adapter à leur environnement. Cette adaptation résulte des interactions entre les racines et les composantes biotiques et abiotiques du sol qui se déroulent dans un volume de sol restreint autour des racines, la rhizosphère. Des échanges d'énergie, de matière (eau, minéraux, carbone, gaz) et de signaux moléculaires se déroulent dans cet environnement, induisant des processus particuliers, différents de ceux du sol pris dans sa globalité, en nature et en intensité : croissance microbienne, symbiose, minéralisation de la matière organique, altération des minéraux par acidification ou complexation, cycle des minéraux, prélèvements par la plante,...

C'est en se développant dans le sol, que les racines vivantes créent cet environnement dont la genèse et le maintien présentent une dynamique spatio-temporelle, liée à la croissance et à la mortalité des racines. Les racines libèrent dans la rhizosphère des composés organiques (rhizodépôts) représentant de 5 à 40% de l'assimilation nette de C par la photosynthèse. Les significations écologiques de la libération de quantités importantes de C à proximité des racines restent encore à élucider. On sait cependant que ces composés de nature diverse (sucres, acides aminés et organiques, vitamines, hormones, débris cellulaires) stimulent l'activité biologique dans la rhizosphère car ils constituent les substrats énergétiques nécessaires au développement des micro-organismes et à leur activité. Ces micro-organismes peuvent jouer un rôle essentiel dans la nutrition minérale et le stockage de carbone dans les sols via la minéralisation de la matière organique et dans l'altération des minéraux du sol ou la dépollution (phytoremédiation, dégradation de pesticides,...).

Malgré de réels progrès réalisés pour les études *in situ* de la rhizosphère, des percées méthodologiques majeures restent à accomplir pour comprendre les interactions multiples qui siègent dans la rhizosphère.

Ainsi, la compréhension du fonctionnement de cette interface particulièrement complexe entre le végétal, le sol et les micro-organismes contribue à la compréhension du fonctionnement des écosystèmes naturels et cultivés et à leur gestion durable (biodiversité, qualité des eaux et des sols...)

Mots clefs: *rhizosphère, sol, flux de composés organiques, rhizodéposition, flux de minéraux, développement microbien, dynamique spatio-temporelle*

2C3

Variations spatiales et saisonnières de l'activité dénitrifiante et respiratoire dans la zone non saturée du sol.

P. Cannavo (1&2), A. Richaume (3), F. Lafolie (1)

(1) Unité Climat sol et Environnement, INRA Avignon, Bâtiment Sol, Domaine S^t-Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9. cannavo@avignon.inra.fr

(2) UAPV, Laboratoire d'Hydrogéologie, 74 rue Louis Pasteur, 84029 Avignon cedex 1.

(3) UCB – Lyon I, Ecologie Microbienne, Bâtiment Gregor Mendel, UMR-CNRS 5557, 43 Bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne cedex.

L'objectif de cette étude est de caractériser les dynamiques saisonnières des bactéries hétérotrophes et dénitrifiantes, ainsi que les variations de leurs activités respiratoire et dénitrifiante sur l'ensemble de la zone non saturée d'un site du comtat Venaissin (84) dont la nappe est polluée en nitrate. La zone non saturée avait une épaisseur moyenne de 2.5 m dans une zone de bas fond susceptible de connaître des périodes d'anoxie. L'expérimentation de 8 mois a débuté lors de l'enfouissement des résidus de récolte du maïs (fin octobre 2001) et s'est terminée début mai 2002. Le sol était nu durant cette expérimentation. L'activité respiratoire et l'activité dénitrifiante semi-potentielle (ADSP) (où la matière organique est le facteur limitant) ont été mesurés mensuellement au laboratoire lors de prélèvements de sol dans quatre horizons définis pédologiquement (0-30, 30-60, 60-100 et 100-160). Parallèlement, les dénombrements de bactéries hétérotrophes et dénitrifiantes ont été effectués (méthode MPN). Pour comprendre leur distribution verticale et saisonnière, des mesures d'accompagnement ont réalisées. Pour cela, différents capteurs ont été implantés pour suivre (1) les flux hydriques tous les 20 cm de profondeur jusqu'à 220 cm et la température du sol en continu, (2) l'atmosphère du sol (CO₂, O₂, N₂ et N₂O), et (3) la solution du sol (NO₃⁻ et COD principalement). La décomposition et le lessivage du carbone organique dissous (COD) issu de ces résidus ont été suivis afin notamment d'établir une relation entre quantité et qualité du substrat C et l'activité microbienne correspondante dans le profil de sol. Les résultats montrent que l'activité microbienne a été fortement influencée par les facteurs climatiques (T°C et précipitations), régulant les concentrations en NO₃⁻ et COD où localement des conditions dénitrifiantes ont été favorisées. La communauté dénitrifiante semble avoir été plus sensible à la qualité du COD que la communauté hétérotrophe, au cours de l'expérimentation, cette dernière s'adaptant mieux aux conditions environnementales. Ce travail débouche actuellement sur l'ajout d'une description des transferts de gaz et des différents types de matières organiques à l'échelle du profil à un modèle couplant les transferts de soluté et les cycle de C et N (P.A.S.T.I.S.).

Mots clefs: *activité dénitrifiante, respiration microbienne, bactéries hétérotrophes et dénitrifiantes, zone non saturé, gaz, carbone organique dissous.*

2C4

Traitement des eaux de drainage de maïsiculture dans les Landes de Gascogne. Etude en réacteurs pilotes du potentiel de dénitrification du sol en conditions contrôlées (température et carbone organique dissous) et optimisation de l'apport de COD.

Valérie Clavé¹, Mathieu Torre¹, François Delmas¹, Jean-Claude Chossat², Yves Legat².

Cemagref groupement de Bordeaux, 50, avenue de Verdun, 33612 Gazinet Cestas CEDEX

¹ Unité de Recherche Qualité des Eaux, (valerie.clave@bordeaux.cemagref.fr)

² Unité de Recherche Ouvrages et Réseaux Hydrauliques.

Depuis plusieurs années, le Bassin d'Arcachon est sujet aux problèmes d'eutrophisation, conséquence de l'agriculture intensive existant au niveau des différents bassins versants. Depuis, sont apparues les premières proliférations d'algues vertes provoquées par l'enrichissement de ce milieu aquatique, causé par l'emploi abusif d'importantes quantités d'engrais azotés (notamment pour les cultures de maïs et de colza). En 2002, deux campagnes de suivi ont été réalisées afin d'étudier l'influence de deux facteurs de contrôle (température et carbone organique dissous COD) (première campagne) et d'optimiser l'apport de COD à une température imposée (18°C) (deuxième campagne). Elles font directement suite à deux expérimentations qui avaient confirmé l'existence du phénomène biologique de dénitrification dans l'Ecosystème Sableux Landais, processus s'étant présenté comme étant un outil potentiel de dépollution. Ces deux campagnes de suivi ont été menées ex situ grâce à l'utilisation de six réacteurs pilotes reproduisant le massif sableux filtrant de l'Ecosystème Sableux Landais. L'ultime objectif des deux campagnes de mesures était de parvenir à estimer les conditions limitantes des deux facteurs de contrôle (température et COD) et d'augmenter le rendement des processus d'abattement de la teneur en nitrate présente dans ces eaux de drainage.

Le premier volet de l'étude a été d'étudier le potentiel de dénitrification du sol sableux landais en conditions contrôlées (température et carbone organique dissous). Pour ceci, cette première campagne de suivi a été menée sous deux températures de consigne (10 et 20°C) et différentes concentrations de COD imposées (facteur évalué comme étant le facteur limitant principal de la dénitrification biologique). A 10°C, les abattements obtenus sont trop faibles et démontrent que cette température inhibe l'activité dénitrifiante. A 20°C, les résultats sont assez prometteurs. A une concentration en entrée aux environs de 50 mg/l de nitrates, une dose de COD de 30 mg/l semble suffisante pour engendrer l'augmentation de l'activité dénitrifiante. La deuxième campagne, réalisée à 18°C, a été utile pour l'affinement du paramètre COD et pour vérifier si les résultats obtenus lors de la première campagne se renouvelaient. A 18°C, pour une eau chargée de 50 mg/l de nitrates, 30 mg/l de COD semblent correspondre à un abattement total de l'azote minéral en solution. Pour une dose de 100 mg/l de nitrates, une dose d'environ 45 à 50 mg/l de COD entraînerait un abattement total de ce même azote minéral. Cet abattement est le résultat du déroulement combiné de plusieurs phénomènes biologiques (RDNA, dénitrifications autotrophe et hétérotrophe), déroulement déterminée par la valeur du rapport Carbone/Azote. Cette approche purement expérimentale sera utile pour aboutir au dimensionnement puis à l'aménagement d'un futur outil rustique de traitement de la pollution azotée existante sur la région des Landes de Gascogne.

Mots clés: agriculture intensive, eutrophisation, Bassin d'Arcachon, Ecosystème Sableux Landais, zones ripariennes, drainage, lessivage, réacteurs pilotes, dénitrifications biologiques dissimilative et assimilative, dénitrifications autotrophe et hétérotrophe, température, Carbone Organique Dissous, abattement, optimisation des facteurs de contrôle, rapport C/N.

2C5

Mutualisme et compétition dans la rhizosphère : Modélisation des interactions entre les plantes et les microorganismes du sol à l'aide d'un modèle semi-mécaniste, couplé carbone azote

Xavier RAYNAUD, Jean-Christophe LATA & Paul LEADLEY

Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, b,t 362, Université Paris-Sud XI, 91405 ORSAY CEDEX, xavier.raynaud@ese.u-psud.fr

Nous avons construit un modèle de compétition entre les plantes et les bactéries dans la rhizosphère en ajoutant une dynamique des microbes du sol à un modèle mécaniste d'absorption des plantes [1, 3]. Le modèle bactérien a été réalisé dans le but de simuler des flux de minéralisation, d'immobilisation et de nitrification variables dans le temps et dans l'espace, processus qui ne sont pas pris en compte classiquement dans ce type de modèle. Le modèle se base sur des relations physiologiques caractéristiques des grands groupes bactériens du sol. Certaines de ces relations sont générales pour l'ensemble des bactéries du sol (e.g. assimilation de l'azote) alors que d'autres sont spécifiques des bactéries ammonifiantes (comme la libération dans le milieu extérieur d'enzymes de dégradation de la matière organique) ou des bactéries nitrifiantes (comme l'absorption du CO₂ par le biais d'un flux de nitrification).

L'analyse de sensibilité du modèle met en évidence l'importance des interactions entre les plantes et les bactéries du sol sur l'ensemble des processus liés aux activités bactériennes. L'existence de relations antagonistes dans ces interactions : compétition pour la nutrition azotée, mutualisme pour la nutrition carbonée permet aux plantes de réduire la compétition pour les ressources minérales en limitant la croissance des populations bactériennes à proximité de la racine tout en permettant une minéralisation de la matière organique, processus nécessaire au renouvellement de l'azote minéral dans le sol. Ainsi, les paramètres d'exsudation de carbone par la plante jouent un rôle prépondérant pour son absorption de l'azote minéral. Tant que la plante fournit du carbone assimilable, les bactéries à proximité de la racine l'immobilisent avec l'azote minéral du sol puis, lorsqu'elles redeviennent limitées par la disponibilité en carbone celles-ci libèrent de l'azote minéral dans des quantités pouvant être supérieures aux quantités initialement prélevées au sol. La capacité d'absorption de l'azote par la plante a un rôle moindre dans cette absorption bien qu'il existe une compétition intense entre les bactéries et les racines pour l'acquisition de l'azote minéral.

Les premiers résultats semblent donc être en accord avec l'hypothèse de Clarholm [2] qui suppose que la minéralisation de la matière organique se fait soit en raison d'une forte prédation par les protozoaires soit suite à une réduction des exsudats carbonés des plantes.

Mots clés : Rhizosphère, compétition, exsudation, bactéries, minéralisation, immobilisation, nitrification, modèle.

1. Barber, S. A. et M. Silberbush : 1984, Plant root morphology and nutrient uptake. In : S. Barber et D. Bouldin (eds.) : *Roots, nutrients and water influx, and plant growth*. Madison, Wisconsin, USA : American Society of Agronomy, pp. 65-87. Special publication 49.
2. Clarholm, M. : 1985, Possible roles for roots, bacteria, protozoa and fungi in supplying nitrogen to plants. *Ecological Interactions in Soil* **4**, 355-365.
3. Leadley, P. W., J. F. Reynolds, et F. S. Chapin, III : 1997, A model of nitrogen uptake by *Eriophorum vaginatum* roots in the field : Ecological implications. *Ecological Monographs* **67**(1), 1-22.

2C6

Réponses des communautés microbiennes fonctionnelles du sol aux perturbations liées aux pratiques agricoles : le cas du pâturage

Le Roux X. (1), Patra A.K. (1), Abbadie L. (2), Clays A. (1), Degrange V. (1), Grayston S. (3), Loiseau P. (4) & Louault F. (5), Mahmood S. (5), Nazaret S. (1), Philippot L. (6), Poly F. (1), Prosser J.I. (6) & Richaume A. (1)

¹ UMR 5557 Ecologie Microbienne (CNRS-Université Lyon 1, USC INRA), bat. 741, 43 boulevard du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne, France

² UMR 7625 Ecologie (CNRS-Université Paris 6-ENS), 45 rue d'Ulm, 75005 Paris, France

³ Macaulay Land Use Research Institute, Craigiebuckler, Aberdeen AB15 8QH, Scotland

⁴ Unité d'Agronomie (INRA), site de Crouel, 234 avenue du Brézet, 63039 Clermont Ferrand, France

⁵ Department of Molecular and Cell Biology, University of Aberdeen, Institute of Medical Sciences, Foresterhill, Aberdeen AB25 2ZD, Scotland

⁶ Laboratoire de Microbiologie des Sols (INRA), 17 rue Sully - B.P. 86510, 21065 Dijon, France

L'effet des herbivores sur le recyclage de l'azote dans le système sol-plantes, et particulièrement leur effet stimulant sur la nitrification et la dénitrification, ont déjà été largement étudiés dans divers écosystèmes prairiaux. Cependant, aucune étude n'a pour l'instant identifié à quels niveaux les communautés microbiennes fonctionnelles contrôlant ces flux d'azote sont affectées par le pâturage : activité, densité et/ou biodiversité.

Nous avons étudié ces trois paramètres pour (1) la communauté microbiennes totale du sol, et (2) trois groupes fonctionnels microbiens: nitrifiants, dénitrifiants et fixateurs libres, dans des sites subissant des régimes de pâturage contrastés. Nos résultats montrent (1) une stimulation de toutes les activités mesurées, et particulièrement de la nitrification et (2) une plus forte densité de cellules pour chacune des communautés étudiées dans les situations de fort pâturage. En outre, les indices de diversité utilisés sur la communauté totale (PLFA, RISA) et sur les communautés fonctionnelles (PCR-RFLP ou DGGE ciblant des gènes spécifiques de ces communautés) montrent que le pâturage affecte profondément les communautés microbiennes y compris dans leur diversité.

Il est enfin montré que ces effets du pâturage ne s'expliquent pas par les changements de composition botanique générés, sur le long terme, par les divers régimes de pâturage. Ces résultats montrent l'ampleur des changements subis par les communautés microbiennes sous l'effet du pâturage et permettent de discuter la réponse de ces communautés et du fonctionnement du sol lors de changement de mode de gestion des prairies.

Mots clefs: *biodiversité, cycles de l'azote, dénitrification, fixation d'azote, groupes fonctionnels microbiens, nitrification, perturbations*

2C7

Complémentarité fonctionnelle des différents types de racines fines dans une hêtraie pure

J. Garbaye, M. Buée

UMR INRA-UHP 1136 Interactions Arbres-Microorganismes, Centre INRA de Nancy, 54280 Champenoux garbaye@nancy.inra.fr

L'alimentation hydrominérale de la majorité des espèces ligneuses des forêts tempérées et boréales est en grande partie dépendante des racines fines superficielles, pour l'essentiel concentrées dans les horizons supérieurs holorganiques et organo-minéraux du sol. Ces racines fines absorbantes sont des organes symbiotiques mixtes plante-champignon (les ectomycorhizes, ou ECM) qui présentent une très grande diversité de forme et de couleur selon l'espèce du champignon associé. Les travaux expérimentaux réalisés sur ces champignons en culture pure ou sur des synthèses obtenues sur de jeunes semis en conditions contrôlées ont révélé une très grande variété de fonctionnement en termes de mobilisation et d'absorption des nutriments, ce qui suggère qu'une grande diversité fonctionnelle existe également au sein des communautés d'ECM dans les écosystèmes forestiers. Ceci pose également la question des mécanismes adaptatifs qui justifient et entretiennent une telle complexité.

Nous avons abordé l'analyse de cette diversité dans une futaie pure de hêtre (*Fagus silvatica*) de 80 ans en suivant l'activité des ECM au cours des saisons (y compris en période hivernale) et en réponse aux fluctuations des conditions environnementales (température et potentiel hydrique du sol). Sur la base de critères morphologiques et moléculaires (analyse de l'ITS de l'ADN ribosomique nucléaire du partenaire fongique), les morphotypes dominants d'ECM, prélevés *in situ*, ont été classés par genres. Le potentiel métabolique des morphotypes les plus représentés a été quantifié en mesurant individuellement la réduction par les ECM du MTS (un sel de tetrazolium) en formazan soluble grâce à un test colorimétrique en plaque de microtitration à 96 puits. Une fonction caractéristique des associations mycorhiziennes, la mobilisation du phosphore organique par sécrétion de phosphatases acides, a également été individuellement quantifiée.

Les résultats mettent en évidence une très grande diversité génétique des champignons symbiotiques et révèlent une diversité temporelle et une dynamique de croissance et de renouvellement des ectomycorhizes au cours des saisons. Par exemple, pendant l'hiver 2001-2002, un morphotype dû au genre *Clavulina* était particulièrement abondant. La fréquence de ce morphotype a considérablement régressé en période estivale sèche au profit de *Cenococcum geophilum*, peu abondant en hiver et connu par ailleurs pour son adaptation aux bas potentiels hydriques. Les résultats montrent également des profils d'activité variables (en termes de rapport activité MTS/activité phosphatase) et caractéristiques des morphotypes.

Cette approche fournit donc de nouveaux éléments descriptifs de la diversité fonctionnelle des racines fines, et permet d'en discuter sous l'angle de la biodiversité et de la résilience du peuplement forestier face aux contraintes environnementales.

Mots clefs : forêt, racines, ectomycorhizes,

2C8

Effects of tree species diversity on litter quality and decomposition.***S. Haettenschwiler***

Institute of Botany University of Basel, Schoenbeinstrasse 6 CH-4056 Basel, Switzerland.
Stephan.haettenschwiler@unibas.ch

The conversion of dead organic matter into CO₂ and inorganic nutrients available for plant and microbial uptake is a fundamentally important ecosystem process. Plant litter quality has a major influence on decomposition within a particular ecosystem as it has convincingly been demonstrated in many detailed studies on litter decay and nutrient release from predominantly monospecific litter material. Since most terrestrial ecosystems are composed of a variety of different plant species, each of which contributing to the annual litter input, it is evident that the composition of the litter pool has a strong impact on the overall litter decomposition. In this presentation I will summarize the current knowledge on the functional significance of tree species diversity for litter quality and decomposition in forest ecosystems. It is shown that litter quality and decay rates vary tremendously among co-occurring tree species. Limited evidence suggests that synergistic or antagonistic litter mixture effects on mass loss and mineralization do likely occur and need to be taken into account to accurately predict decomposition at the ecosystem level. The relationship between litter diversity and process rate, however, does not yet appear to be predictable. (1) interactions between litter diversity and higher trophic levels of decomposer organisms, (2) nutrient translocation among litter species and (3) litter species-specific polyphenol control over decomposition might explain distinct litter mixture effects. A comprehensive analysis of these underlying mechanisms for diversity effects would substantially improve our understanding of the functional significance of litter diversity for decomposition processes.

Key words: *ecosystem functioning ; decomposition ; biodiversity ; nutrient cycling*

2C9

Effets directs et indirects d'une augmentation de la concentration en CO₂ sur la production, la qualité du fourrage et la décomposition de la litière d'une prairie permanente soumis à deux rythmes d'exploitation.

F. Teyssonneyre (1), C. Picon-Cochard (1), V. Allard (2), J.-F. Soussana (1)

(1) INRA Agronomie, 234 av. du Brezet, 63 000 Clermont-ferrand, teyssone@clermont.inra.fr

(2) LAE-ENSAIA, av de la foret de Haye, 54500 Vandoeuvre

Des monolithes d'une prairie permanente ont été (ou non) soumis durant 3 ans (juillet 1998-juin 2001) à une augmentation de concentration en CO₂ (600 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$) à l'aide d'un système d'enrichissement à l'air libre (mini-FACE). Par ailleurs ces monolithes étaient soumis à deux rythmes d'exploitation (3 ou 6 coupes par an). Nous avons suivi l'impact de l'augmentation du CO₂ sur la composition botanique, la production, la digestibilité du fourrage et la décomposition de la litière aérienne.

- En 1999, l'augmentation de la concentration en CO₂ a entraîné le développement des légumineuses en coupes fréquentes et des dicotylédones en coupes peu fréquentes. En 2000, le développement des légumineuses sous l'effet du CO₂ a pu être observé quel que soit le régime de coupe.

- L'augmentation de la concentration en CO₂ n'a pas augmenté la production aérienne des monolithes en 1999. En 2000, nous avons observé une augmentation de la production aérienne (+26%) et des exportations d'azote (+30%), en tendance ces effets étaient plus importants en coupes fréquentes. Ce délai de réponse a été attribué au temps nécessaire à l'établissement des légumineuses résultant en un apport supplémentaire d'azote permettant la réponse au CO₂ d'une communauté dont la croissance était limitée par l'azote.

- Au printemps 1999, l'augmentation de la concentration en CO₂ a entraîné une augmentation de la digestibilité des fourrages via des effets directs du CO₂ sur les concentrations en sucres solubles et via des effets indirects résultant du développement des dicotylédones plus digests et d'une diminution de la fraction des tiges.

- En coupes fréquentes, l'augmentation de la concentration en CO₂ a entraîné une diminution du C/N de la litière aérienne malgré le développement des légumineuses. Cet effet a été attribué à l'augmentation de la concentration en sucre soluble qui a induit une augmentation de la vitesse de dégradation de cette litière. Ces effets ont été moins importants en coupes peu fréquentes, à ce rythme de coupe nous n'avons, en effet, pas observé d'augmentation de la concentration en sucre pour les dicotylédones.

Finalement, les impacts de l'augmentation de la concentration en CO₂ sur certains processus majeurs de la prairie permanente (production aérienne, herbivorie, décomposition de la matière organique) pourraient en grande partie dépendre d'impacts indirects via les changements de composition botanique.

Mots clefs : *concentration atmosphérique en CO₂, prairie permanente, composition botanique, production, digestibilité, litière.*

2C10

Contribution des glucides, protides et lipides à l'évolution géochimique du sol, suite à un apport de vinasse de rhumerie; Conséquences sur la mobilisation de métaux.

N. Pautremat (1), P. Renault (2), P. Cazevieille (1), S. Marlet (1)

(1) CIRAD-AMIS, Programme Agronomie, TA 40/01, Av. Agropolis 34398 Montpellier Cedex 5.
pautremat@cirad.fr

(2) Unité "Climat, Sol et Environnement", INRA, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9.

L'épandage de déchets organiques liquides s'intensifie et permet, avec leur élimination, d'enrichir le sol en nutriments minéraux et composés organiques. Toutefois, il peut engendrer des conditions anaérobies transitoires favorables à la mobilisation des métaux. Dans ces conditions, les activités microbiennes sont le moteur des évolutions géochimiques via l'installation de conditions réductrices, le changement du pH de la solution, les productions nettes de ligands (minéraux et organiques), et l'altération de minéraux. Les modèles décrivant les processus prépondérants doivent alors distinguer explicitement activités microbiennes et réactivité géochimique abiotique. Maintenir leur opérationnalité suppose de hiérarchiser au préalable les besoins de description des grandes voies du catabolisme anaérobie des composés organiques (glucides, lipides protides). A cette fin, nous avons mené un travail expérimental basé sur des incubations en batch et en anaérobiose de boues d'un sol volcanique de la Réunion, riche en Cr et Ni, additionné ou non d'une vinasse de rhumerie. Quatre traitements ont été réalisés : (i) témoin (sol naturel), (ii) sol stérilisé + vinasse stérilisée, (iii) sol naturel + vinasse stérilisée, et (iv) sol naturel + vinasse naturelle. A quelques dates (0, 7 et 21 j), nous avons suivi les quantités totales de glucides, protides et lipides en solution. A plus petits intervalles de temps incluant ces mêmes dates, nous avons suivi des variables indicatrices des métabolismes ou des modifications du milieu (gaz, solutés organiques et minéraux dont éléments métalliques, E_H , pH). La vinasse ne contenait que peu de lipides. Avec le sol, leur concentration en solution s'est très vite stabilisée. Les glucides, initialement deux fois plus abondants que les protides, ont disparu en 7 jours tandis que les protides étaient toujours abondants en fin d'incubation. La disparition des glucides a été associée à des fermentations importantes avec accumulation d'acétate pouvant complexer les métaux. La concentration de ce dernier a décru à partir de 7 j et semblait directement associée à la production de méthane. Avant 7 j d'incubation, une mobilisation des éléments métalliques majeurs (Fe et Mn) par réduction microbienne, sans phase initiale de latence, a été observée. Au delà du 7^{ème} jour, nous avons constaté une disparition partielle de ces métaux. Ce phénomène a été attribué à la précipitation de ces éléments, favorisée par des changements de spéciation en solution suite à la disparition de l'acétate. Le comportement du Cr était très fortement corrélé aux comportements de Fe et plus particulièrement de Mn. En contraste, la durée de mobilisation initiale de Ni est apparue plus brève que Fe, Mn et Cr et la disparition finale simultanément plus précoce et brève (entre les dates 4 j et 7 j). Les concentrations maximales du Cr et du Ni en solution sont restées inférieures à 0.01% et 0.21% respectivement de la concentration maximale en Mn. Ainsi dans nos conditions expérimentales, les glucides ont été l'acteur premier de la réduction des métaux. La participation des protides et des corps microbiens morts reste à mieux cerner.

Mots clefs: *sol ; anaérobiose ; métaux ; réduction microbienne ; vinasse ; incubation.*

2C11

Variabilité de la minéralisation potentielle du 2,4-D dans des agrégats millimétriques

L. Vieublé Gonod (1), C. Chenu (1), G. Soulas (2)

(1) INRA, Science du Sol, Rte de St Cyr 78026 Versailles. lvieuble@versailles.inra.fr

(2) UMR INRA-Université de Bourgogne : Microbiologie des sols, 17, rue Sully BV 86510, 21065 Dijon cedex

La matrice du sol, par sa texture et sa structure, induit une hétérogénéité spatiale de la matière organique et des microorganismes. La matrice solide du sol peut favoriser ou non la biodégradation en contrôlant l'accessibilité et la disponibilité des molécules carbonées pour les microorganismes d'une part et les conditions locales (disponibilité en O₂, H₂O...) d'autre part. Toutefois, l'importance relative des mécanismes et les facteurs qui contrôlent ces mécanismes restent mal connus et par conséquent, il est difficile d'établir des relations entre la biodégradation et les caractéristiques d'un sol et les pratiques culturales. Une des voies pour mieux comprendre la biodégradation est d'étudier l'hétérogénéité des caractéristiques du sol et des activités microbiennes, notamment à l'échelle millimétrique. Le but de ce travail était donc de décrire la variabilité spatiale de la minéralisation potentielle à l'échelle des agrégats du sol et d'en identifier des facteurs explicatifs.

Pour ce faire, nous avons comparé le potentiel de minéralisation de l'acide dichlorophénoxyacétique (2,4-D) d'agrégats individuels, tamisés à partir d'un sol cultivé et séparés en trois classes de taille (2-3.15, 3.15-5 et 5-7 mm). Les agrégats ont été amendés individuellement (96 répétitions par classe de taille) avec du 2,4-D marqué au ¹⁴C avant d'être incubés à 20°C. Le CO₂ dégagé au cours du temps était piégé localement au niveau d'un filtre imbibé d'hydroxyde de baryum et le ¹⁴C-CO₂ dégagé a été dosé à l'aide d'un Phosphorimager. Nous avons également étudié l'impact de la constitution des agrégats (texture, teneurs en C, N et matières organiques particulières), de la structure des agrégats et de la biomasse microbienne dégradante sur la minéralisation.

Nous avons mis en évidence :

- Une hétérogénéité de la minéralisation entre les trois classes de taille d'agrégats : les agrégats 2-3.15 mm minéralisent significativement moins que les agrégats plus gros et ce, tout au long de l'incubation ($P = 0.05$). Cette hétérogénéité entre agrégats de différentes tailles s'expliquerait essentiellement par une distribution hétérogène des microorganismes dégradants.

- Une importante hétérogénéité de la minéralisation entre agrégats de même taille : les CV% varient entre 30 et 70% selon la classe de taille d'agrégats. L'hétérogénéité spatiale intra-classe de taille des potentiels de dégradation du 2,4-D pourrait être mise en relation avec une distribution spatiale hétérogène des microorganismes dégradants et du C disponible (quantité, nature).

La localisation dans le sol de ces zones à fort potentiel minéralisant, ie abritant de nombreux microorganismes dégradants, pourrait contrôler la probabilité de contact entre les microorganismes décomposeurs et les substrats à dégrader et ainsi avoir un impact plus ou moins important sur la minéralisation.

Mots clefs: *Minéralisation, Microorganismes, Agrégats, 2,4-D, Variabilité*

2C12

De la révolution industrielle au dysfonctionnement des ruisseaux forestiers : application au massif vosgien

F. Guérol (1), O. Dangles (2), G. Tixier(1), V. Felten (1)

(1) Laboratoire Biodiversité et Fonctionnement des Ecosystèmes, Université de Metz
guerold@sciences.univ-metz.fr

(2) Institut de Recherche sur la Biologie des Insectes. CNRS UMR 6035. Université de Tours

Depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, la consommation mondiale d'énergies fossiles n'a cessé de croître induisant, par le biais des émissions, un changement global de la composition de l'atmosphère. Parmi, les effets de ce changement global, les dépôts atmosphériques acides ont altéré les écosystèmes terrestres et aquatiques dans de nombreuses régions sensibles de l'hémisphère nord. L'une des conséquences les plus marquantes réside sans nul doute dans l'érosion drastique de la biodiversité des écosystèmes d'eau courante drainant des bassins versants situés pourtant en amont de toutes activités anthropiques polluantes.

Dans le massif vosgien, l'acidification des eaux de surface représente la première cause de dégradation des ruisseaux forestiers de montagne. La composition taxonomique des communautés d'invertébrés aquatiques est sévèrement affectée et la structure fonctionnelle considérablement modifiée. Il en résulte un ralentissement marqué de la dégradation de la matière organique allochtone, processus fonctionnel structurant et d'importance majeur dans ce type d'écosystème. Malgré les dispositions internationales mises en œuvre depuis près de 20 ans pour réduire les émissions de SO₂ et NO_x dans l'atmosphère, la situation dans le massif vosgien demeure critique et aucune évolution allant dans le sens d'une restauration progressive n'est actuellement observée.

Mots clés : *dépôts acides, écosystèmes aquatiques, biodiversité, dégradation de la matière organique*

2C13

Comment évaluer la « santé » des cours d'eau en utilisant un indicateur de l'intégrité fonctionnelle de l'écosystème ?

A. Lecerf, E. Chauvet, J.-Y. Charcosset

LADYBIO, Laboratoire Dynamique de la Biodiversité, Centre National de Recherche Scientifique et Université Paul Sabatier 3055 Toulouse. lecerf@ecolog.cnrs.fr

La pollution des eaux et plus généralement l'anthropisation des bassins versants affectent considérablement l'intégrité écologique des cours d'eau. En contrepartie, des efforts sont consentis pour préserver, restaurer et gérer les milieux aquatiques dans une optique de protection de la ressource en eau et de la conservation de la biodiversité. Afin de rendre compte de l'efficacité de ces actions, les gestionnaires de cours d'eau ont régulièrement recours à des outils diagnostic de la qualité écologique. Aussi nombreuses soient-elles, les méthodes normalisées ne fournissent que des informations incomplètes de l'état de « santé » de l'écosystème dans la mesure où l'aspect fonctionnel est négligé au profit de la description des structures (*e.g.* structure des peuplements d'invertébrés benthiques).

Depuis la directive cadre sur l'eau (2000/60/EC), il devient urgent pour les gestionnaires de disposer d'un outil capable d'évaluer l'intégrité fonctionnelle des cours d'eau au sein de l'Union Européenne. Ainsi, proposons-nous une méthode adaptée, basée sur le suivi de la décomposition des litières. Le choix de ce processus comme indicateur est justifié par son rôle majeur dans le fonctionnement des ruisseaux forestiers et par sa sensibilité déjà connue aux stress anthropiques.

Dans un premier temps, une procédure standardisée originale est mise au point en collaboration avec un consortium d'équipes de recherche européennes(2) afin d'optimiser la sensibilité et la répétabilité de la méthode. Une deuxième étape consiste à tester sa capacité à mettre en évidence l'effet de deux types de perturbation sur le fonctionnement de ruisseaux du Sud-ouest de la France : l'enrichissement des eaux en nutriments (phosphate, nitrate) et la modification de la végétation riveraine. Sur la base de nos résultats, nous montrons que notre indicateur est en mesure de discriminer les sites de références des sites perturbés. Finalement, une grille provisoire de qualité est proposée, en attendant les résultats d'investigations similaires effectuées dans d'autres écorégions.

(2) projet européen RIVFUNCTION

Mots-clés : *intégrité écologique, indicateur fonctionnel, cours d'eau, décomposition des litières.*

2C14

Rôle des huîtres cultivées dans le fonctionnement écologique d'une vasière intertidale (bassin de Marennes-Oléron) : étude du réseau trophique par analyse inverse.

Niquil (1), D. Leguerrier (1), A. Petiau (1), A. Bodoy (2)

(1) Laboratoire de Biologie et Environnement Marins, EA 3168, Université de La Rochelle, av. M. Crépeau 17042 La Rochelle Cedex. nniquil@univ-lr.fr.

(2) CREMA (CNRS-IFREMER) BP5 17137 L'Houmeau

Les études de réseau trophique ont pour objectif de comprendre le fonctionnement des écosystèmes à travers l'observation des échanges de matière organique entre les composantes de la biocénose. Ces études consistent à rassembler un maximum d'information sur des compartiments fonctionnels définis au préalable. L'analyse inverse est une technique numérique visant à combler les lacunes en estimant par le calcul les valeurs de flux inconnus. L'objectif de ce travail est de caractériser le fonctionnement écologique de la vasière Est du Bassin de Marennes-Oléron en s'intéressant plus particulièrement au rôle joué par l'homme à travers les cultures très anciennes d'huîtres qui s'y trouvent. Indépendamment des modifications physiques du milieu provoquées par la présence des tables de culture, les huîtres peuvent jouer par deux voies sur le réseau trophique : compétition directe vis à vis de la nourriture planctonique et modification du couplage fond-colonne d'eau par sédimentation des biodépôts. La modélisation du réseau trophique montre la dominance de ce dernier processus. Ces deux actions combinées se traduisent par une diminution de la nourriture planctonique disponible au profit d'une source benthique de nourriture, ainsi qu'une augmentation du recyclage avec un réseau fortement basé sur les détritus. Enfin, la présence des huîtres se traduit par une modification de la nourriture disponible pour les exportateurs potentiels de matière du système : les poissons et les oiseaux.

Mots clefs: *vasière intertidale ; cultures d'huîtres ; modèle de réseau trophique ; couplage benthos-pelagos*

Communications de la Session 3.

DIVERSITÉ ET DYNAMIQUE DES ECOSYSTÈMES

3C1

Réponse structurale des communautés de diatomées benthiques à l'anthropisation des systèmes aquatiques : Application d'un réseau artificiel de neurones au cas du bassin Adour-Garonne.**J.TISON*, M.COSTE*, F.DELMAS*, J.L.GIRAUDEL**, S.LEK**, Y.S.PARK****

* Cemagref Bordeaux, Unité de Recherche Qualité des Eaux, 50 av. de Verdun, 33610 Cestas

**CESAC, UMR 5576, CNRS - Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 33062 Toulouse
juliette.tison@bordeaux.cemagref.fr

La pertinence des indices diatomiques, actuellement largement utilisés pour la surveillance de la qualité des rivières (Prygiel et al., 1999), dépend beaucoup de notre capacité à distinguer les variations naturelles observées au sein de ces communautés algales des variations d'origine anthropique. Or la Directive Européenne sur l'Eau (Parlement Européen, 2000), exigeant que les pays membres atteignent le "bon état écologique" pour leur cours d'eau d'ici 15 ans, suppose que l'on sache correctement caractériser cet état écologique. La recherche actuelle se penche donc sur l'étude de l'effet des paramètres environnementaux sur la structure des assemblages diatomiques, afin d'aboutir à la définition de zones écologiquement homogènes, pour lesquelles seront décrits des assemblages-types caractérisant des situations de référence ainsi que des situations anthropisées.

La base de données pilote explorée dans ce but concerne le bassin Adour-Garonne (Sud-Ouest de la France) et comporte 118 stations d'échantillonnage, finement décrites du point de vue de leurs caractéristiques environnementales et des communautés de diatomées qu'elles abritent. L'utilisation combinée d'un réseau artificiel de neurones (Self Organizing Map algorithm, Kohonen, 1995) et du Structuring Index (Giraudel et Lek, 2002) afin d'explorer ce jeu de données nous a permis 1) de dresser une typologie des sites considérés, 2) de caractériser pour chaque écorégion ainsi mise en évidence un cortège diatomique type avec ses caractéristiques écologiques (proportions d'espèces oligotrophes à hypereutrophes, acidophiles à alcaliphiles...) et donc 3) de décrire la réponse structurale et fonctionnelle (changements des caractéristiques autoécologiques) des communautés aux variations des conditions environnementales. Cette démarche fait partie intégrante du programme européen de recherche 5^{ème} PCRD PAEQANN et constitue un axe privilégié de développement en bio-indication diatomique de la qualité des écosystèmes aquatiques lotiques. En effet, ces travaux remettent partiellement en cause les indices classiques d'évaluation de la qualité de l'eau (exclusivement basés sur la physico-chimie des eaux), en leur substituant un système de notation fondé sur la comparaison des communautés attendues (définies à partir de leur appartenance écorégionale) avec les communautés échantillonnées.

Mots-clés : *Diatomées, Self Organizing Maps, Structuring Index, écorégions, Directive Européenne sur l'Eau, anthropisation.*

Giraudel, J.L. and Lek, S., 2002. The Structuring Index: a tool for analysing Self-Organizing Map. <http://aquaeco.ups-tlse.fr/Results/workshop/SlideRome/Giraudel.htm>

Kohonen, T., 1995. Self-Organizing Maps, volume 30 of Springer Series in Information Sciences}. Springer, Berlin, Heidelberg. (Second Extended Edition 1997).

Parlement Européen, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. O.J.L327, 72p.

Prygiel, J., Coste, M., Bukowska, J., 1999. Review of the major diatom-based techniques for the quality assessment in rivers – State of the art in Europe. In: J. Prygiel, Whitton B.A. and Bukowska J., Use of Algae for Monitoring Rivers III. Agence de l'Eau Artois-Picardie ISBN 2-9502083-5-5.

3C2

Réponses du peuplement de collemboles à un cycle sylvogénétique : relation avec les performances microbiennes.**M. Chauvat, A. Zaitsev, A. Pflug, V. Wolters.**

Justus Liebig University, Department of Animal Ecology, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Giessen, Germany. matthieu.chauvat@allzool.bio.uni-giessen.de

Dans le cadre du projet européen FORCAST (Forest Carbon and Nitrogen Trajectories) nous avons étudié les changements fonctionnels intervenant au sein des organismes décomposeurs du sol au cours d'un cycle sylvogénétique. Les organismes décomposeurs représentent un maillon essentiel du fonctionnement de l'écosystème forestier en intervenant principalement dans les flux de carbone et d'azote dans le sol. En cela il était intéressant d'observer et de comprendre les réactions du système « décomposeur » en réponse à un type de management forestier. Le site d'étude, une chronoséquence de *Picea abies* composée de quatre classes d'âge (5, 25, 45 et 95 ans), est situé en forêt de Tharandt (Allemagne). Au sein de cette chronoséquence, le peuplement de collemboles, choisis comme groupe faunistique modèle, et de nombreux paramètres microbiens ont été analysés. Notre étude a révélé l'effet significatif du facteur classe d'âge sur les performances microbiennes ainsi que sur la structure fonctionnelle du peuplement de collemboles. Les classes d'âges intermédiaires (25 ans et 45 ans) étant caractérisées par une décroissance de la biodiversité et de l'abondance de certaines formes écologiques. A l'inverse, ces deux paramètres semblent stimulés au cours du stade de la régénération de *Picea abies* (5 ans). Ces changements faunistiques sont accompagnés par de remarquables variations des performances microbiennes. L'activité métabolique, le quotient métabolique (qCO₂) et la biomasse fongique étant eux aussi fortement stimulés lors de la régénération. Stimulation qui se traduit par une forte minéralisation du carbone à ce stade.

Ces changements quantitatifs et qualitatifs au sein de la communauté des « décomposeurs » contribuent activement à modifier les divers processus se déroulant au sein de l'écosystème sol, notamment les flux de carbone et d'azote. En outre, du fait des nombreuses interactions et « feed back » occurring dans le système sol, ces changements peuvent vraisemblablement affecter aussi la vitalité des arbres.

Mots clefs: *performance microbienne ; collemboles ; chronoséquence ; flux de carbone et d'azote ; diversité fonctionnelle.*

3C3

DIVERSITE FONCTIONNELLE DES CHAMPIGNONS ECTOMYCORHIZIENS ET SAPROPHYTES DANS UNE CHENAIE-HETRAIE DU MORVAN PAR LA MESURE DE L'ABONDANCE NATURELLE DU ^{13}C ET DU ^{15}N .**B. Zeller (1), F. Le Tacon (2), C. Bréchet (3) J.P. Maurice (4)**

(1) Unité de Recherche Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, Centre INRA de Nancy, 54790 Champenoux France
zeller@nancy.inra.fr

(2) Unité Mixte de Recherches 1136 INRA-Nancy/Université Henri Poincaré Interactions Arbres Micro-Organismes, Centre INRA de Nancy, 54790 Champenoux France.

(3) Unité Mixte de Recherches INRA-Nancy/Université Henri Poincaré Ecologie et Ecophysiologie Forestière, Centre INRA de Nancy, 54790 Champenoux France.

(4) Groupe mycologique Vosgien, 18 bis, place des Cordeliers, 88 300 Neufchateau France

La diversité fonctionnelle des champignons supérieurs épigés d'une Hêtraie-chênaie du Morvan (France) a été déterminée par l'inventaire des carpophores présents dans les différentes niches écologiques, puis par mesure de l'abondance naturelle du ^{13}C et du ^{15}N dans différents compartiments de l'écosystème (feuilles, racines, bois, sol, carpophores, mycorhizes, mycélium). Les tissus vivants des arbres ont un $\delta^{13}\text{C}$ compris entre $-26,4\text{‰}$ et $-28,6\text{‰}$ et un $\delta^{15}\text{N}$ variant de $-3,5\text{‰}$ à $-4,8\text{‰}$. Il n'y a pas de différence significative entre le Chêne et le Hêtre, ni entre les différents compartiments de l'arbre (feuilles, racines ou bois). Le $\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique n'est pas modifié quand elle arrive au sol, ou lorsqu'elle est incorporée dans les différents horizons du sol. Il reste compris entre -27 et -28‰ . Le $\delta^{15}\text{N}$ est peu modifié dans les horizons organiques L, F et H, mais augmente significativement dans l'horizon A1. Il continue à augmenter dans les horizons minéraux pour atteindre $+5\text{‰}$ à 30 cm de profondeur. Les carpophores des champignons saprophytes se distinguent très significativement de ceux des champignons ectomycorhiziens à la fois par leur $\delta^{13}\text{C}$ et leur $\delta^{15}\text{N}$.

Les champignons saprophytes modifient fortement la composition isotopique du carbone qu'ils utilisent, probablement par cellulolyse et ligninolyse. Ils modifient également la composition isotopique de l'azote, mais dans une moindre mesure et sans que l'on puisse distinguer des différences entre groupes écologiques sauf pour les terricoles. Il est possible de distinguer trois groupes en fonction de la discrimination de ^{13}C et de ^{15}N dans les carpophores :

- Les terricoles qui ne modifient que peu la composition isotopique du carbone, mais plus celle de l'azote, probablement en raison de l'acquisition qu'ils en font dans les horizons A1.

- Les saprophytes à caractère pathogène (*Armillaria*, *Fomitopsis*) qui discriminent fortement le ^{13}C

- Un groupe non différencié comprenant les follicoles, les lignicoles et les détriticoles.

Les champignons ectomycorhiziens présentent une très grande variabilité à la fois pour leur $\delta^{13}\text{C}$ et leur $\delta^{15}\text{N}$. Certains (*Tricholoma*, *Boletus*, *Russula* et à degré moindre *Cortinarius*) semblent dépendre essentiellement de l'arbre pour l'acquisition du carbone et ont un $\delta^{13}\text{C}$ voisin de celui des tissus de la plante hôte. A l'inverse, les espèces du genre *Lactarius* ont un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de -25‰ , ce qui laisse supposer qu'ils font l'acquisition d'une partie de leur carbone par l'intermédiaire des processus de cellulolyse et de ligninolyse. L'analyse de la discrimination de l'azote et du carbone des fines racines aux

mycorhizes permet d'apporter une confirmation. Contrairement à celles des Cortinaires ou de *Tricholoma sciodes*, les mycorhizes de Lactaires présentent en effet, par rapport aux fines racines de Hêtre, un enrichissement en ^{13}C ce qui laisse supposer que les Lactaires ont un comportement partiellement saprophyte.

La variabilité du $\delta^{15}\text{N}$ des carpophores des champignons ectomycorhiziens est plus difficile à interpréter. Certains, comme les Laccaires ou certains Lactaires, ont un $\delta^{15}\text{N}$ négatif, identique à celui des saprophytes. Ils pourraient donc acquérir une partie de leur azote à partir de la litière. Cependant, comme tous les tissus de l'arbre hôte ont un $\delta^{15}\text{N}$ négatif, il n'est pas possible de trancher dans un sens ou dans l'autre.

L'enrichissement très élevé en ^{15}N observé chez les Cortinaires, les Tricholomes ou les Hydnum qui ont un $\delta^{15}\text{N}$ voisin de + 10 ‰ est également difficile à interpréter.

Les mycorhizes de Lactaires, de Cortinaires ou de *Tricholoma sciodes* présentent toutes un enrichissement identique en ^{15}N par rapport aux fines racines de Hêtre, ce qui semble être un caractère commun à divers champignons ectomycorhiziens. Chez *Tricholoma sciodes*, où nous avons pu prélever du mycélium extra matriciel, cet enrichissement est encore observé lorsque l'on passe des mycorhizes au mycélium extramatriciel, puis de ce mycélium extramatriciel au carpophore. Le $\delta^{15}\text{N}$ atteint ainsi +7 ‰ dans le pied et +12 ‰ dans les lamelles.

La forte discrimination du ^{15}N observée dans les carpophores de certains champignons ectomycorhiziens, comme les Tricholomes, les Cortinaires ou les Hydnum, semble donc plus être une conséquence d'un métabolisme particulier au moment de la fructification qu'une signature liée à un mode particulier d'acquisition de l'azote.

Les champignons ectomycorhiziens Basidiomycètes ont évolué à partir de Basidiomycètes saprophytes. La différenciation a commencé entre 50 et 100 millions d'années. Elle ne semble pas terminée. Il existe en effet tous les intermédiaires entre champignons saprophytes et ectomycorhiziens strictes, si on les compare en termes de discrimination du ^{15}N ou du ^{13}C . Les genres *Lactarius* et *Russula*, qui sont proches phylogéniquement et ont la même niche écologique dans les horizons organiques, semblent avoir commencé à diverger sur le plan fonctionnel. Tout en ayant le même comportement que les Russules en termes de discrimination du ^{15}N , les Lactaires semblent avoir gardé un comportement plus saprophyte que les Russules pour l'acquisition du carbone.

3C4

**Morphologies et dynamiques des zones de transgression forêt savane.
Apport du modèle FORSAT.**

C. Favier, M.A. Dubois

Service de Physique de l'Etat Condensé, CEA Saclay Orme des merisiers 91191 Gif sur Yvette.
cfavier@cea.fr.

L'évolution relative des zones de forêt et de savane sous les tropiques est d'un enjeu considérable tant du point de vue local (conditions de vie des populations) que global. Les mêmes processus sont partout à l'œuvre : installation d'espèces forestières en savane et feux courants. La variation des paramètres de ces processus est-elle suffisante pour reproduire les différentes formes de transgression observées ? Pour le déterminer, nous avons développé un modèle de la dynamique forêt-savane : FORSAT est un réseau d'automates cellulaires stochastiques ; l'espace est divisé en cellules qui peuvent prendre quatre états de végétation (herbes, pousses de pionniers, pionniers, forêt) et les transitions entre ces états sont stochastiques. Deux processus principaux sont pris en compte : la succession en tenant compte de la dispersion des graines, et le feu courant de savane. Trois dynamiques distinctes sont possibles: a) afforestation en bloc ; b) apparition puis coalescence de bosquets en savane ; c) simple progression ou régression de la lisière.

L'effet de la variation de la fréquence des feux (c'est-à-dire de la pression anthropique) est similaire à l'effet de la variation des facteurs climat et sol. La transition entre les dynamiques rapides (afforestation et coalescence) et la dynamique lente (progression) est très brutale : une variation minime de la fréquence des feux autour d'un seuil critique peut provoquer des changements considérables dans la vitesse d'afforestation. La forme et le nombre de bosquets en savane sont largement influencés par la dispersion respectivement proche et lointaine des pionniers de forêt.

Mots clefs: *interface forêt savane ; modèle ; feu ; pionniers.*

3C5

Dominance et compétition entre graminées structurantes d'écosystèmes herbacés collinéens.

P. Liancourt (1), E. Corcket (1), R. Michalet (2)

(1) Laboratoire d'ECologie Alpine, UMR CNRS 5553, Université Joseph Fourier 38041 Grenoble Cedex 9. pierre.liancourt@ujf-grenoble.fr

(2) UMR BIOGECO INRA-Université Bordeaux 1, Laboratoire d'Ecologie des Communautés, avenue des Facultés, 33405 Talence.

Dans les paysages herbacés collinéens, trois types d'espèces sont susceptibles de dominer : le Brome érigé (*Bromus erectus*), dans les milieux secs et infertiles, le Brachypode rupestre (*Brachypodium rupestre*) en situation mésophile et pauvre en nutriments et le Fromental (*Arrhenatherum elatius*) dans les prairies fertiles. Le modèle de Grime (1977) suggère différents types de stratégies pour ces espèces : le Brome est tolérant au stress (S) et sensible à la compétition, le Brachypode présente une stratégie intermédiaire entre tolérant au Stress et Compétiteur (C), et le Fromental est un compétiteur. Ce travail a pour but de tester, dans une communauté à Brachypode, l'hypothèse selon laquelle la réponse à la compétition de ces espèces en fonction de différents niveaux de nutriments permettrait de prévoir la dominance dans cette communauté.

Pour cela, des jeunes individus de Brome érigé, de Brachypode rupestre et de Fromental ont été transplantés au sein d'un dispositif expérimental de terrain croisant l'étude de la compétition par éclaircie et l'ajout de nutriments (NPK). Des mesures de croissance et de survie ont été réalisées sur les jeunes plants pour estimer l'intensité de compétition qu'ils subissent et des relevés de biomasses spécifiques ont été effectués dans chaque parcelle pour appréhender l'évolution de la composition floristique.

Nos résultats montrent que la compétition est intense pour la croissance dans toutes les parcelles mais que celle-ci augmente pour la survie avec la fertilisation pour les trois espèces. Même sans compétition, les taux de survie du Brome et du Fromental sont faibles (50%) alors que ceux du Brachypode sont forts (80 %). Le Brachypode monopolise l'espace, quelque soit le niveau de nutriments. Enfin la biomasse relative des autres espèces décroît dans les parcelles fertilisées.

Les mécanismes pouvant expliquer la dominance du Brachypode ne semblent pas mettre en jeu une meilleure capacité à exploiter les ressources, la réponse à la compétition ne différant pas entre les trois espèces. Ces résultats suggèrent l'existence d'interactions de type interférence comme l'allélopathie qui assurerait le succès de cette espèce en diminuant la survie des autres espèces.

Mots clefs : *Brachypode, Brome, Fromental, compétition, dominance, stratégie.*

3C6

Relation entre la pollution atmosphérique caractérisée par les concentrations en NO₂ et l'abondance et la diversité des thécamoebiens de mousses dans la région de Besançon

H. Nguyen-Viet (1), D. Gilbert (1), N. Bernard (1), E.A.D. Mitchell (2), P-M. Badot (1)

(1) Laboratoire de Biologie et Ecophysiologie, USC INRA, EA 3184, Université de Franche-Comté, place Leclerc, F-25030, Besançon, France

(2) Department of Biological Sciences, University of Alaska Anchorage, AK 99508, USA

hung.nguyen-viet@univ-fcomte.fr

Différents groupes d'organismes comme les lichens et les bryophytes ont été utilisés comme bioindicateurs de la pollution atmosphérique. En revanche, l'intérêt de l'utilisation des protistes dans ce but est encore mal défini alors que ces microorganismes sont connus pour être de bons bioindicateurs de la qualité des milieux aquatiques ou terrestres. L'objet de cette étude a donc été de mettre en évidence la relation entre la pollution atmosphérique en NO₂ et la diversité et l'abondance des thécamoebiens vivant dans la mousse *Tortula ruralis* (Hedw.) dans une zone urbaine (Besançon) et dans une zone rurale (Marnay) en Franche-Comté.

Les concentrations en NO₂ atmosphérique ont varié entre 48 µg/m³ au centre ville et 7 µg/m³ dans les zones alentours. Le nombre d'espèces de thécamoebiens a été significativement moins élevé au centre ville (34.8 µgNO₂.m⁻³; 5.0 espèces) que dans les zones moins polluées autour de centre ville (14.6 µgNO₂.m⁻³; 6.0 espèces) mais la diversité (indice Shannon H') et l'abondance totale des amibes n'ont pas varié entre les deux zones. De plus, l'analyse canonique des correspondances (ACC) a relevé une structure significativement différente de la communauté entre les deux zones. Dans cette ACC, les trois espèces (*Centropyxis minuta*-type, *Corythion dubium*-type, and *Nebela tincta*-type) ont été positivement corrélées aux [NO₂] et une espèce (*Paraquadrula irregularis*) a été négativement corrélées aux [NO₂].

Un test t, utilisé pour comparer la densité des individus par espèce, a montré que la différence entre les deux zones a été significative pour une seule espèce *P. irregularis*, (P<0.001) qui était absente de tous les échantillons à la périphérie et présente dans la plupart de ceux du centre ville, et légèrement significative pour une autre espèce, *Diffflugia pristis*-type, espèce plus abondante dans les échantillons au centre ville (P=0.057).

Ces résultats sont particulièrement intéressants parce que le niveau de la pollution mesuré était très bas. D'autres travaux plus approfondis, notamment en atmosphère contrôlée, sont nécessaires pour préciser l'impact des polluants atmosphériques sur la diversité des thécamoebiens.

Mots clefs: Pollution de l'air ; NO₂; Thécamoebiens ; Bioindicateurs ; Bryophyte ; Diversité spécifique ; Abondance.

3C7

Diversité Biophysique et fonctionnement des hydrosystèmes.

P. Vervier; M. Gérino, J.M. Sanchez Pérez, S. Sauvage, A. Dauta, L. Gauthier et A. Mangin.

Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes. UMR CNRS / Univ. Toulouse III, 29, rue J. marvig
31055 toulouse Cédex. vervier@ecolog.cnrs.fr.

Les concepts "river continuum concept", "serial discontinuity concept" ou "spiralling concept" montrent clairement qu'au sein des hydrosystèmes, selon le concept développé par l'Université de Lyon, les caractéristiques physiques et biologiques interagissent étroitement dans le cadre de leur fonctionnement. Pour prendre en compte ces interactions, nous proposons de relier les caractéristiques biologiques et physiques impliquées dans le fonctionnement en utilisant les concepts de "Compartiment Fonctionnel (CF)" et de "diversité bio-physique". Les compartiments fonctionnels sont les sites biologiquement actifs dans la transformation des flux de matière et d'énergie qui circulent au sein du paysage ; ces sites sont définis par leurs composantes biologiques et physiques et sont principalement représentés par des interfaces. Les composantes physiques correspondent d'une part aux caractéristiques géomorphologiques, hydrologiques et granulométriques qui contrôlent les flux traversant ces interfaces et d'autre part aux types d'échange qui existent entre le flux principal dans la colonne d'eau et les compartiments biologiques. Les composantes biologiques des compartiments fonctionnels intègrent l'ensemble de la communauté en place y compris les micro-organismes.

La diversité bio-physique du cours d'eau est alors définie par le nombre, la fréquence et l'agencement des différents compartiments fonctionnels au sein du paysage fluvial.

Ce modèle constitue une base conceptuelle pour considérer les relations entre la diversité physique et biologique et le fonctionnement d'un hydrosystème. Les concepts développés à l'échelle des espèces sont transposés à celle du paysage.

Mots clefs: *concept ; hydrosystèmes ; interfaces ; modélisation.*

3C8

**Effets de l'enrichissement en nutriments sur les systèmes trophiques:
L'évolution peut-elle assécher la cascade trophique?**

N. Loeuille et M. Loreau

Laboratoire d'écologie, ENS, 46 rue d'Ulm, 75005 Paris, leuille@biologie.ens.fr

Cette présentation montre comment la dynamique évolutive peut modifier les modèles classiques évaluant les effets de l'enrichissement sur une chaîne trophique. L'issue d'un modèle écologique classique de chaîne trophique est comparée avec celles de modèle équivalents, mais incorporant l'évolution des plantes, des herbivores, séparément ou simultanément. Lorsque seuls les herbivores évoluent, les résultats sont similaires aux résultats du modèle ne comprenant pas d'évolution. Lorsque seules les plantes évoluent, l'enrichissement en nutriment provoque une augmentation conjointe en biomasse des différents niveaux trophiques. Lorsque les deux évoluent, même si les deux précédents résultats restent prédominants, beaucoup d'autres issues deviennent également possibles. C'est alors la relation entre les traits phénotypiques et leurs coûts qui conduit à l'une des issues plutôt qu'à une autre. Ce travail souligne donc le besoin de travaux expérimentaux portant sur de tels coûts, sous peine de ne pouvoir prédire les effets à long-terme de l'enrichissement sur la chaîne trophique considérée.

mots clefs: *enrichissement en nutriment, cascade trophique, coevolution plante-herbivore, dynamique adaptative.*

3C9

Importance of the community structure on the diversity-stability relationship in fluctuating environments

B. Descamps and A. Gonzalez

Fonctionnement et Evolution des Systèmes Ecologiques, UMR 7625, CNRS, Ecole Normale Supérieure, 46 rue d'Ulm, F-75230 Paris Cedex 05, France. bdescamp@biologie.ens.fr; gonzalez@biologie.ens.fr

The prediction of a stabilising effect of increasing species richness in a fluctuating environment has remained largely untested. We conducted an experiment to examine population and community stability of a planktonic aquatic assemblage, with algal diversity ranging from one to six species, under constant and fluctuating temperatures. Temperature dependent resource competition led to a highly asymmetric community structure where algal community biomass was principally determined by the dominant species. Increasing algal species richness increased the variability of population abundance and growth rates. For a given level of species richness, temperature fluctuations induced lower community covariance and thus stabilised community biomass. Increasing species richness did not enhance this buffering effect and induced increased community covariance. These experimental results confirm recent theoretical studies suggesting a stabilising effect of environmental fluctuations. They also support the theoretical prediction that increasing species diversity may be of limited value for community stability in highly asymmetric communities.

Keywords: Insurance hypothesis, diversity-stability relation, aquatic microcosm, environmental variability

Communications de la Session 4.

ECOPHYSIOLOGIE ET RÉPONSES AUX CONTRAINTES DE L'ENVIRONNEMENT

4C1

Etude de la variabilité spatiale et temporelle du fonctionnement du couvert herbacé en zone Sahélienne : Exemple du Gourma malien après la sécheresse de 1984.

Y. Tracol (1), E. Mougin (1), P. Hiernaux (2).

(1) Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère (CESBIO) CNES/CNRS/UPS bpi 2801 - 18 avenue Edouard Belin 31055 Toulouse Cedex 4 yann.tracol@cesbio.cnes.fr

(2) Centre for Agriculture in the Tropics and Subtropics - University of Hohenheim (790) 70593 Stuttgart - Germany

Le développement du couvert végétal au Sahel dépend étroitement de l'amplitude et de la distribution temporelle des précipitations pendant l'hivernage (juin / septembre). La forte variabilité spatiale et temporelle observée entraîne une production végétale variable en terme de rendement et composition floristique. En revanche, la saisonnalité comme la forte variabilité entraînées par la mousson en Afrique de l'Ouest contribuent à la très forte dominance des herbacées annuelles et la faible représentation des espèces ligneuses.

Conçu pour une utilisation en milieu Sahélien, le modèle STEP utilise les mesures de terrain effectuées, comme la masse herbacée aérienne depuis 1984 (année de très grande sécheresse) et ceci jusqu'en 2002. Les entrées de STEP sont issues de mesures sur une quinzaine de sites sableux, d'une surface unitaire d'environ 1 x 1 km², répartis le long d'un axe nord-sud partant de la transition saharo-sahélienne (~ 17°N) à la transition sahélo-soudanienne (~ 14°N).

L'analyse de la variabilité du fonctionnement du couvert effectuée à l'aide d'un modèle mécaniste permet de dériver des indicateurs du fonctionnement comme l'efficacité d'utilisation de l'eau et de la lumière respectivement notées WUE (g DM/mm) et LUE (g /MJ PAR).

C'est principalement à l'aide de ces derniers que les points suivants seront développés : mise en évidence de la variation inter-annuelle de la productivité et des efficacités puis l'analyse en parallèle de l'évolution de paramètres biotiques (composition floristique, diversité...) et abiotique (précipitations) susceptibles d'apporter une aide à la compréhension des variations observées. Enfin, l'interprétation de ces variations est réalisée en analysant les liens possibles entre les types fonctionnels, la diversité et les indicateurs du fonctionnement.

Mots clefs: milieux semi-arides, Sahel, production herbacée, modélisation, variabilité spatio-temporelle.

4C2

Apport d'un couplage entre un modèle de végétation et un modèle hydrologique en milieu Sahélien

N.Boulain (1), B.Cappelaere (2), L.Séguis (2), J.Gignoux (1)

(1) Fonctionnement et Evolution des Systèmes Ecologiques UMR 7625 , Ecole Normale Supérieure, 46 rue d'Ulm, 75230 Paris cedex 05 Boulain@biologie.ens.fr

(2) U.M.R. Hydrosociences - Maison des Sciences de l'Eau , Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex ORSTOM), B.P. 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, France

Le changement de couvert végétal modifie les transferts hydriques dans un écosystème. Le passage d'une couverture « naturelle » à une végétation de culture bouleverse non seulement le rapport infiltration à ruissellement, mais aussi la profondeur de prélèvement de l'eau par les chevelus racinaires. En zone semi-aride ces changements peuvent avoir des conséquences plus rapides et plus prononcées notamment par une dégradation rapide des sols. Pour comprendre les interactions entre fonctionnement de la végétation et processus climatiques et hydrologiques, des modèles de simulation à l'échelle du petit bassin versant sont nécessaires. L'utilisation couplée d'un modèle de végétation 3D spatialement explicite et d'un modèle hydrologique distribué à bases physiques doit permettre de mettre en évidence les effets des changements de couvert végétal. Le modèle de végétation TREEGRASS (Simioni et al. ,2000) a été développé pour étudier les relations entre herbes et arbres en savane humide puis adapté au contexte sahélien. Le modèle hydrologique r.water.fea (Vieux et Gaur, 1994), a été adapté au cas sahélien pour un bassin versant au Niger, il est de type événementiel et l'évapotranspiration et le drainage profond de l'eau du sol entre deux averses ne sont pas simulés.

Les deux modèles fonctionnent à des échelles différentes de temps et d'espace: le modèle hydrologique simule des écoulements à l'échelle du bassin versant pour des périodes de quelques heures (événements pluvieux) avec un pas de temps égal à la minute. Le modèle de végétation simule une saison entière avec un pas de temps journalier pour une parcelle de l'ordre de l'hectare. Ces différences d'échelles spatiales et temporelles permettent un couplage non intégratif des modèles: 1) le modèle TREEGRASS calcule journalièrement la production primaire, et l'évapotranspiration pour chaque classe de végétation représentative du bassin; 2) il transfère avant chaque événement pluvieux les teneurs en eau du sol au modèle hydrologique qui va 3) calculer pendant la pluie les écoulements, puis 4) retransférer au modèle de végétation les nouvelles teneurs en eau du sol pour chaque pixel du bassin. Le couplage de ces deux modèles doit permettre : 1) de prendre en compte la dynamique saisonnière de la végétation et ses éventuels effets sur les écoulements pour le modèle hydrologique ; 2) de mieux prédire la disponibilité en eau pour la végétation en prenant en compte en plus des apports directs (pluie) les apports indirects dus au ruissellement amont.

Mots clés : *modèle hydrologique; Modèle de végétation; couplage; biomasse; évapotranspiration; ruissellement.*

4C3

Relation croissance-mortalité chez le Hêtre et le Chêne pubescent

G. Kunstler (1,2) J. Lepart (1) T. Curt (2) B. Prévosto (2) M. Bouchaud (2)

(1) Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE) CNRS, 1919 route de Mende 34293 Montpellier cedex 5

(2) Cemagref Clermont-Ferrand, 24, avenue des Landais BP 50085 63172 Aubière cedex 1

georges.kunstler@clermont.cemagref.fr

Estimer la mortalité des arbres forestiers aux stades juvéniles est important pour prédire la dynamique forestière, mais reste difficile du fait de la complexité des facteurs biotiques et abiotiques en jeu. La majorité des modèles forestiers base la détermination de la mortalité des individus sur des caractéristiques dendrométriques comme le taux de croissance radiale au cours des dernières années, mais le plus souvent la relation utilisée est identique pour toutes les espèces. Nous nous sommes intéressés à la variabilité interspécifique de la relation croissance-mortalité, pour le Hêtre et le Chêne pubescent. Dans les grands Causses, ce sont les deux espèces dominantes susceptibles de s'installer spontanément dans les stades avancés des dynamiques forestières post-culturelles, mais elles montrent des taux d'installation variables en fonction des milieux (à découvert ou sous peuplements de pin de densité variable).

Le but de cette étude est de :

- (1) comparer les patrons de croissance en diamètre d'individus morts et d'individus vivants pour les deux espèces ;
- (2) comparer les deux espèces pour la relation croissance-mortalité ;
- (3) construire un modèle statistique permettant de déterminer une probabilité de mortalité pour les deux espèces.

Nous avons sélectionné plus de 150 individus de chaque espèce (Chêne, Hêtre) vivants et morts dans la forêt domaniale de l'Escandorgue (Hérault). Le taux de mortalité de chaque espèce a été estimé par le suivi de placettes permanentes et par le comptage des individus récemment morts et des individus vivants le long d'un transect (de 46 placettes). La comparaison des patrons de croissance en diamètre des individus morts et des individus vivants montre que, chez les deux espèces, la plupart des arbres morts présentent une croissance réduite au cours des dernières années précédant la mort de l'arbre. La comparaison des deux espèces pour la relation croissance-mortalité montre que pour le Hêtre la réduction de croissance des individus morts est plus forte que pour le Chêne. Un modèle statistique (obtenu par un traitement bayésien et une méthode de maximisation de la vraisemblance) permettant de déterminer, pour les deux espèces, une probabilité de mortalité en fonction du patron de croissance passée, montre que le taux global de mortalité du chêne est significativement plus élevé que celui du hêtre. Les implications de ces premiers résultats pour la dynamique du Hêtre et du Chêne sur les Causses sont discutées par rapport à la variabilité de leur installation entre milieux.

Mots clefs: *Fagus sylvatica* ; *Quercus humilis* ; mortalité ; croissance

4C4

Effets directs et indirects de la canopée sur les interactions Molinie - régénération forestière : approche expérimentale de la compétition racinaire dans une chênaie sessile des Alpes du Nord***J.-P. Pages (1), J.-J. Brun (1) et R. Michalet (2)***

(1) Cemagref, Unité de Recherche Ecosystèmes et Paysages Montagnards, 2 rue de la Papeterie, BP 76, 38402 Saint Martin d'Hères cedex

(2) UMR BIOGECO INRA-Université de Bordeaux 1, Laboratoire d'Ecologie des Communautés, avenue des Facultés, 33405 Talence

jean-philippe.pages@cemagref.fr

L'ouverture de la strate arborée (chablis, coupe) induit une augmentation des niveaux de lumière et de disponibilité en nutriments, ce qui provoque dans de nombreux cas la prolifération de plantes herbacées. Ces espèces compétitives à forte croissance inhibent la régénération forestière, ce qui pourrait expliquer une fréquence moins importante des semis dans les ouvertures que sous forêt. La modification par les arbres adultes des interactions compétitives entre les herbacées et la régénération vers des interactions apparemment positives est appelée facilitation indirecte. L'objectif de cette étude est de tester l'importance des interactions racinaires, et des traits fonctionnels des semis dans ce processus de facilitation indirecte. Dans une chênaie sessile, des plants de cinq espèces (*Abies alba*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatanus* et *Quercus petraea*) sont plantés avec ou sans canopée forestière. Dans chacune de ces deux modalités, les traitements suivants sont mis en place : avec la Molinie (racines et feuilles), avec la Molinie sans les feuilles (placage au sol avec un filet) et sans Molinie. Ce dispositif est répété dans quatre blocs. Des mesures de biomasses des parties aériennes et souterraines des plants forestiers sont effectuées trois ans après plantation (1999-2002). Les premiers résultats montrent que les plants forestiers subissent une compétition additionnelle très forte au niveau global. Bien que la compétition due à la Molinie soit très faible sous la canopée forestière, l'effet indirect positif, lié à la diminution de la compétition produite par la Molinie sur les semis sous forêt, n'est pas assez important pour compenser l'effet direct négatif dû à l'ombre forestière. Les traits fonctionnels des semis semblent jouer un rôle dans leur propension à être indirectement facilités.

Mots clefs : compétition additionnelle ; compétition racinaire ; facilitation indirecte ; traits fonctionnels ; forêt feuillue.

4C5

Effet des conditions atmosphériques et des hétérogénéités de surface dans la simulation de l'interception du rayonnement d'un couvert végétal. Impact sur le fonctionnement.

S. Duthoit, V. Demarez, G. Marty, V. Le Dantec.

Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère, 18 avenue E. Belin, 31401 Toulouse.

sylvie.duthoit@cesbio.cnes.fr

Il est aujourd'hui indispensable de comprendre le fonctionnement de la végétation, dans le but d'évaluer le rôle joué par les surfaces continentales dans le cycle du carbone.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés au processus d'interception du Rayonnement Photosynthétiquement Actif (PAR) dans un couvert végétal hétérogène. L'assimilation de carbone d'un couvert est étroitement liée au PAR intercepté par les feuilles, et l'efficacité de cette interception dépend à la fois de l'architecture du couvert (orientation des feuilles, surface foliaire) et de la composition du rayonnement incident (% de rayonnement diffus).

Les mesures de rayonnement et d'indice de surface foliaire (LAI) effectuées sur notre site (friche constituée de jeunes frênes) nous ont permis (1) de suivre le bilan radiatif au cours de la mise en place des feuilles et (2) de tester trois modèles différents. Le premier modèle simule la composition du rayonnement incident à partir d'équations empiriques (Spitters et al., 1981). Le deuxième est un modèle semi-empirique simple (Kuusk, 1995 ; Nilson, 1971) qui prédit la fraction de PAR intercepté par la canopée (f_{IPAR}); l'hétérogénéité du couvert est prise en compte avec un coefficient d'agrégation des feuilles (λ). Le dernier modèle, plus complexe, prend en compte la structure tridimensionnelle du couvert dans la simulation du f_{IPAR} (DART, Gastellu et al, 1995) ; il nécessite de ce fait beaucoup de paramètres d'entrée.

Concernant le rayonnement incident, les premiers résultats montrent que les équations de Spitters ne sont pas valables pour notre site, particulièrement en ce qui concerne l'estimation de la fraction de rayonnement diffus. Ces équations sont communément employées par la communauté scientifique, notamment dans les modèles de photosynthèse. Les premiers tests de sensibilité montrent que l'impact sur la prédiction de la photosynthèse d'un couvert pourrait être significatif.

Les simulations du f_{IPAR} avec le modèle semi-empirique et le modèle DART sont satisfaisantes lorsque le ciel est dégagé ou variable. Par contre, nous observons clairement un problème lors des journées couvertes : les mesures de f_{IPAR} montrent une anisotropie du rayonnement en début et fin de journée, même lorsque la totalité du rayonnement est diffus. Ainsi, il semble que le rayonnement diffus présente des effets directionnels que les modèles ne peuvent reproduire. Avec le modèle DART, l'utilisation d'un module atmosphérique pourrait permettre une simulation de cette anisotropie du rayonnement diffus.

Mots clés : *couvert hétérogène, mesures, modèles, PAR, photosynthèse.*

4C6

Relations dose – réponse de l'impact de l'ozone sur les végétaux.***D. Le Thiec et P. Dizengremel***

UMR 1137 INRA – UHP Nancy 1 Ecologie et Ecophysiologie Forestières

Les indices d'exposition à l'ozone pour la végétation qui ont été utilisés jusqu'à présent par l'Union Européenne sont basés sur la concentration d'ozone dans l'air entourant les feuilles et les aiguilles (AOT40 = dose cumulée sur un pas de temps horaire au-dessus d'une concentration de 40 ppb). Cependant il est reconnu que ce sont seulement les molécules d'ozone entrant à travers les stomates dans les cellules foliaires qui sont dangereuses pour les plantes. Dès leur contact avec les membranes cellulaires, les molécules d'ozone sont à l'origine d'espèces actives d'oxygène (EAO) particulièrement agressives. Les systèmes de détoxification des plantes sont capables d'éliminer ces radicaux libres (EAO) résultant de la transformation de l'ozone, accompagnés d'un coût pour la plante. Afin d'établir un indice d'exposition à l'ozone, qui soit en relation directe avec les effets escomptés, l'impact à une exposition à l'ozone devrait être décrite comme une entrée cumulée d'ozone (CUO), basée sur l'estimation du flux à travers les stomates (à partir de modèles de conductance stomatique). Nous présentons ici les premiers résultats d'une étude sur les relations CUO – perte de biomasse chez de jeunes arbres, étude qui compare ces relations avec celles qui sont existantes pour l'AOT40. Les analyses obtenues en régression n'augmentent pas sensiblement les relations avec les pertes de biomasse. Pour les conifères, les fonctions exposition - réponse sont similaires, que ce soit avec l'AOT40 ou le CUO. Pour les feuillus, les fonctions exposition - réponse sont moins bien corrélées en utilisant le CUO, par comparaison avec l'AOT40. Nous en concluons que le modèle de flux d'ozone a besoin d'être amélioré, en particulier les valeurs de $g_{\max}$ (conductance) pour toutes les espèces et, surtout, il apparaît nécessaire d'intégrer une composante biologique "résistance cellulaire" dans le modèle (potentiel de détoxification et/ou potentiel de carboxylation basé sur les enzymes RubisCo, PEPc ...). Ces points sont actuellement traités dans un projet (BioPollAtm) interdisciplinaire réunissant bioclimatologues, agronomes et physiologistes.

4C7

Variabilité écophysiological et génétique de l'efficacité d'utilisation de l'eau des chênes pédonculé et sessile

O. Brendel (1), C. Saintagne (2), D. Lethiec (1), T. Barreneche (2), C. Plomion (2), S. Ponton (1), J-L. Dupouey (1), E. Dreyer (1), A Kremer (2), J-M. Guehl (1).

(1) UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiological Forestières, 54280 Champenoux.

(2) UMR BIOGECO, INRA, 69 route d'Arcachon, 33612 CESTAS Cédex.

brendel@nancy.inra.fr

Les différences en exigences écologiques entre chêne sessile (*Quercus petraea* L.) et chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) sont bien établies. Ainsi, le chêne pédonculé est plus sensible à la sécheresse que le chêne sessile. Toutefois, jusqu'à présent on n'a pu mettre en évidence que peu de différences entre ces deux espèces en termes de traits écophysiologicals. L'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE), définie soit comme la quantité de carbone accumulée par unité d'eau transpirée, soit comme le rapport taux d'assimilation de CO₂/conductance stomatique pour la vapeur d'eau (A/g_s), peut être estimée par une simple mesure de la composition isotopique en carbone dans le matériel végétal ($\delta^{13}\text{C}$) qui est linéairement et positivement liée à A/g_s. Nos travaux ont permis de montrer que le chêne sessile se caractérise par des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$, et donc de WUE, plus élevées que le chêne pédonculé. Cependant une variabilité intra-spécifique de $\delta^{13}\text{C}$ très élevée a également été notée pour les deux espèces, qui pourrait être en partie de nature génétique. Dans un premier temps, les recherches concernant cet objectif sont concentrées sur le chêne pédonculé, pour ensuite pouvoir cerner la différence entre les deux espèces de chênes. Une famille de pleins frères de chêne pédonculé a été cartographiée. Cette famille a été utilisée pour détecter des QTLs (quantitative trait loci) pour le $\delta^{13}\text{C}$ foliaire. Grâce à l'obtention de copies végétatives, permettant l'installation d'un même génotype dans différents environnements, nous avons pu tester la stabilité des QTLs sous différents environnements. Des QTLs significatifs majeurs (pourcentage de variabilité phénotypique expliquée >20%) ont été détectés pour le $\delta^{13}\text{C}$, montrant un déterminisme génétique de ce caractère par un faible nombre de composantes mendéliens à effet forts. Plusieurs autres caractères pouvant déterminer WUE ont été mesurés pour mieux pouvoir caractériser, à travers des co-localisations, les fonctions des régions génomiques détectées : A, g_s, N et chlorophylle foliaire.

4C8

Relation entre surface massique des feuilles et index de plastochrone foliaire chez 31 clones de *Populus x euramericana* - Lien avec la croissance, la productivité et la discrimination isotopique du carbone

N. Marron (1), M. Villar (2), E. Dreyer (3), D. Delay (1), E. Boudouresque (1), J.-M. Petit (1), F. M. Delmotte (1), J.-M. Guehl (3), et F. Brignolas (1).

(1) Laboratoire Biologie des Ligneux et des Grandes Cultures, UPRES EA 1207, UFR Faculté des Sciences, Université d'Orléans, rue de Chartres, BP 6759, 45067 Orléans Cedex 02, France

(2) UR INRA "Amélioration des Arbres Forestiers", INRA Orléans, 45160 Ardon, France

(3) UMR INRA-UHP "Ecologie et Ecophysiologie Forestières", INRA Nancy, 54380 Champenoux, France

Les relations entre surface massique des feuilles (specific leaf area, SLA, $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$) et leur index de plastochrone foliaire (leaf plastochron index, LPI) ont été établies sur 31 clones de *Populus x euramericana* (*Populus deltoides* $\times$ *P. nigra*) à partir de boutures âgées de 2 mois. Les liens entre variabilité interclonale des relations $\text{SLA}=\text{f}(\text{LPI})$, croissance, productivité et la discrimination isotopique du carbone (Δ), grandeur linéairement et négativement liée à efficacité d'utilisation de l'eau au niveau foliaire (rapport taux d'assimilation de CO_2 /conductance stomatique pour la vapeur d'eau), ont ensuite été estimés.

Six boutures de chaque clone ont été cultivées pendant 1 mois, dans une serre chauffée et éclairée, en conditions hydrique et minérale non limitantes. A 2 dates espacées de 3 semaines, les relations $\text{SLA}=\text{f}(\text{LPI})$ ont été établies pour 3 boutures de chaque clone. La croissance des boutures a été suivie au cours de ce mois (vitesses d'apparition des feuilles, vitesses d'étalement) et leur productivité (biomasse) a été mesurée en fin d'expérience. La discrimination isotopique du carbone des feuilles a également été mesurée, au début et à la fin de l'expérience,

Pour tous les clones, les relations $\text{SLA}=\text{f}(\text{LPI})$ avaient l'allure de polynômes d'ordre 3-, ce qui a permis de distinguer 3 phases au cours de la vie de la feuille, depuis son émergence jusqu'à sa sénescence. D'abord, une augmentation des SLA traduisait l'étalement des feuilles, puis une diminution, après leur phase de croissance, indiquait un accroissement de densité et/ou d'épaisseur. Enfin, une nouvelle phase d'augmentation de SLA indiquait probablement une re-mobilisation de matière depuis la feuille avant sa sénescence. La variabilité interclonale de ces relations a été décrite par analyse en composantes principales (ACP). Plus de 80% de la variabilité interclonale était expliquée par les 2 premières composantes de l'ACP ($\text{F1} \times \text{F2}$). Les clones étaient séparés le long de l'axe F1 en fonction du nombre de feuilles en croissance portées par la tige et le long de l'axe F2 en fonction de la densité et/ou épaisseur de leurs feuilles. Les variables indicatrices de la croissance, de la productivité et de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Δ) ont été projetées en tant que variables supplémentaires dans les plans des ACP établis à partir des relations $\text{SLA}=\text{f}(\text{LPI})$. Les corrélations significatives observées entre ces variables et F1 montrent clairement que, pour les peupliers euraméricains, la variabilité interclonale des relations entre SLA et LPI est indicatrice de la variabilité interclonale des paramètres de croissance, de productivité et d'efficacité d'utilisation de l'eau. Elles montrent également l'existence d'une relation négative entre productivité et efficacité d'utilisation de l'eau chez les peupliers euraméricains.

Posters de la Session 1.

CYCLE DU CARBONE DANS LES ECOSYSTÈMES

1P1

Utilisation de la télédétection hyperspectrale pour la détermination de caractéristiques des couverts végétaux (chlorophylle, masse surfacique, LAI)

G. Le Maire (1), C. François (1), E. Dufrêne (1), N. Bréda (2)

(1) Ecologie, Systématique et Evolution, Université Paris-Sud Bât362, 91405 Orsay Cedex

(2) Unité Ecophysiologie, Equipe Phytoécologie, INRA-Centre de Nancy, 54 280 Champenoux
guerric.le-maire@ese.u-psud.fr

Ce travail est une recherche en amont pour trouver et tester des méthodes de traitement des données satellites : il s'agit de trouver des indices de végétation calculés à partir du spectre de réflectance hyperspectral et directement reliés à des caractéristiques du couvert végétal. Nous avons utilisé des modèles numériques de réflectance foliaire (PROSPECT) et de réflectance du couvert végétal (PROSPECT+SAIL). Nous avons également effectué des mesures de réflectances sur des feuilles, sur un mini-couvert de hêtre (Orsay) et sur un couvert forestier (forêt de Hesse, Nancy). Nous avons testé les principaux indices de la littérature sur ces mesures et sur une large base de données simulées, et en avons conçu de nouveaux (recherche systématique des meilleures longueurs d'onde, utilisation de la dérivée de la réflectance). Nous avons montré que des améliorations du modèle PROSPECT sont nécessaires pour obtenir une meilleure corrélation entre les spectres simulés et les spectres expérimentaux si on veut pouvoir utiliser la base de données simulées de manière prédictive ou pour élaborer de nouveaux indices. Nos résultats sur les données expérimentales au niveau du couvert montrent qu'il est possible d'obtenir la teneur en chlorophylle de façon relativement précise (précision de 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) pour tous les types de couverts décidus ainsi que le LAI pour le mini-couvert (précision de 0.6 m^2/m^2). Nous voulons ensuite utiliser PROSPECT+SAIL pour rechercher et tester de nouveaux indices sur un nombre important de spectres simulés.

Mots clefs: *télédétection ; réflectance ; couverts végétaux ; chlorophylle ; LAI*

1P2

Un protocole d'étude du cycle du carbone d'un écosystème forestier. Exemple : une hêtraie de plaine atlantique.

S. Huet (1), C. Nys (2), F. Forgeard (1)

(1) Equipe Dynamique des Communautés, UMR CNRS ECOBIO, Université de Rennes1, Complexe Scientifique de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex. sandrine.huet@univ-rennes1.fr

(2) Equipe Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, Centre INRA Nancy, 54280 Champenoux.

Dans le contexte(actuel) de l'élévation de la teneur en CO2 atmosphérique il s'avère pertinent de comprendre le fonctionnement et d'établir le bilan carboné des écosystèmes forestiers.

L'étude du cycle du carbone d'un écosystème forestier repose sur la prise en compte de deux points principaux :

1) Il est important de définir ce que l'on désigne par "écosystème forestier". Selon l'échelle spatiale de perception, un écosystème forestier peu, par exemple, s'élargir à un biome (forêt tropicale, forêt tempérée,) ou se limiter à un peuplement forestier et son sol.

2) A l'échelle du peuplement, il est nécessaire de définir les stocks, les flux internes, et les flux entrants et sortants entre l'écosystème et son environnement immédiat. ~~(De même,)~~ selon l'échelle la précision de compartimentation, l'étude peut se limiter à la prise en compte d'une seule entité stock aérien, stock souterrain, flux gazeux entrant, flux gazeux sortant, flux liquide entrant, flux liquide sortant, flux interne de la végétation vers le sol. A l'opposé, cette étude peut s'affiner par la sous-compartimentation de ces entités. Par exemple, l'arbre peut être compartimenté en entités physiologiques (feuilles, bourgeons, ...) et sylvicoles (bois fort, bois de chauffage, ...). ~~(De même,)~~ La végétation aérienne peut s'élargir à la prise en compte de la végétation de sous-bois en distinguant des espèces ou des groupements d'espèces. Ceci permet de préciser quantitativement le devenir divers des stocks de bois après les exploitations, notamment de prendre en compte la diversité fonctionnelle d'espèces végétales peut être appréhendée, et de mieux gérer le devenir des stocks de bois. L'étude de ces flux et de ces stocks doit prendre en compte l'existence des variations spatiales (~~kilométriques,~~ métriques, décimétriques, ...) et temporelles (annuelles, saisonnières, ...).

Dans le cas de l'étude simultanée d'écosystèmes forestiers se limitant aux peuplements équiennes et à leur sol, mais d'âges différents, l'information relativement précise acquise peut contribuer à la connaissance du cycle du carbone à une échelle temporelle et spatiale plus grande (révolution forestière, massif forestier, ...). Ces extrapolations envisagées doivent pouvoir s'appuyer sur un respect de conditions stationnelles bien caractérisées (ex : la chronoséquence).

Cette présentation s'appuiera sur l'étude du site atelier " Hêtraie de plaine" en forêt de Fougères (35), mis en place par l'INRA de Nancy, le GIP ECOFOR et l'ONF.

Mots clefs : *carbone, cycle, Fagus sylvatica, végétation de sous-bois, compartimentation, chronoséquence*

1P3

Investigating carbon demand for oil palm growth and development in different environments using phenological data.**E. Lamade (1), I. E. Setiyo (2), G. Nizinski (3)**

(1) CIRAD, Montpellier, France, lamade@cirad.fr

(2) IOPRI (Indonesian Oil Palm Research Institute) iopri@idola.net.id

(3) IRD, Montpellier, France nizinski@melusine.mpl.ird.fr

Clear evidence has been brought recently the implication of internal trophic level in the seasonal reproductive trends of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Henson, 1999 ; Lamade et al. 2000, Noordwijk et al., 2001 : WalNulCAS). Depending on biotic and abiotic conditions, oil palm, a monocotyledon dioic, produced alternatively male or female inflorescence in each leaf axil (Hartley, 1988). The trophic state of each palm tree whatever environment is the result of the balance between sources supply and carbon demand. Until now, several simulation models (Kraalingen et al. 1989 : OPSIMM, Dufrêne, 1989 : NWRAYGBH, Harahap, 1998) have helped to a clear quantification, at the year scale, of the potential level of source supply in different environment and for different genotypes related to an evaluation of potential yield. Most of them as SIMPALM (Lamade and Bonnot, 1994, Lamade et al. 1996) are based on ecophysiological characteristic as maximum photosynthetic rates, apparent quantum efficiency and canopy parameters as leaf area index (Dufrêne, 1989, Harahap, 1998). Carbon demand in these model was often estimated from classical calculation cost (Penning de Vries et al., 1983) of annual increment of the standing biomass without distinguishing the competition between growing organs which may lead to different switches and priorities rules even in humid tropic environment. Very few have considered seasonal variations in the growth and the development of oil palm and as a consequence, a possible variation in the demand which, combined to the carbon supply rate, is susceptible to provok a change in the internal trophic balance along the year. The annual variation of this trophic balance could be at the origin of specific switches and threshold governing organogenesis and oil palm sexualisation. On that base, a (stochastic) model predicting the sex of the new forthcoming inflorescence was elaborated from severe leaf and flower pruning experiment by Jones (1997). It is the reason why, in a preliminary step to established a comprehensive development and phenological model for oil palm totally based on the seasonal evolution of an internal trophic index, we have investigated seasonal carbon demand variation from precise informations obtained with daily phenological recordings, along a minimum of 4 years until 6 years. Environmental and genetic comparisons will be also investigated through the study of two constrasting sites, one in North Sumatra (Indonesia) in potential conditions for this crop, the second in Ivory Cost which in dryer conditions, and two distinct families (Deli x La Mé and Deli x Yangambi). Elaboration of a new simulation model : PHENOPALM, totally based on phenological variation is the final objective of this present study.

Key words : phenology, oil palm, carbon demand, internal trophic level, simulation model

1P4

Comparaison des effets court-terme et long-terme de l'élévation en CO₂ atmosphérique sur l'activité photosynthétique d'une graminée prairiale

Allard V.¹, Montpied P.², Robin C.¹, Dreyer E.² Soussana J-F.⁴, Grieu P.³ et Guckert A.¹

¹ U.M.R. INRA-INPL(ENSAIA) Agronomie et Environnement Nancy-Colmar, BP 172, 54505 Vandoeuvre lès Nancy cedex, France,
e-mail: vincent.allard@ensaia.inpl-nancy.fr

² UMR INRA-UHP, Ecologie et écophysiologie forestière 54 280 Champenoux

³ ENSAT - Avenue de l'Agrobiopole - BP 107 Auzeville-Tolosane 31326 Castanet-Tolosan Cedex

⁴ INRA-Agronomie, Fonctionnement et Gestion de l'Ecosystème prairial 234 av. du Brézet, 63000 Clermont-Fd

L'utilisation massive d'énergies fossiles induit une forte augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂, concentration dont les modèles prévoient le doublement avant la fin de ce siècle. Le CO₂ est le substrat primaire de la photosynthèse or celle-ci est limitée par la concentration actuelle en CO₂. De ce fait, une des réponses caractéristiques des végétaux soumis à une atmosphère enrichie est, une plus grande assimilation de carbone, se traduisant le plus souvent par une augmentation de biomasse. Cependant ce flux plus élevé de carbone dans la plante crée un déséquilibre vis à vis des autres minéraux, principalement l'azote, dont la disponibilité n'augmente pas. Les plantes soumises à une atmosphère enrichie en CO₂ voient donc leur capacité photosynthétique diminuer rapidement du fait d'une réallocation de leurs ressources azotées depuis les protéines photosynthétiques vers d'autres compartiments métaboliques devenus plus limitants. Ce phénomène est nommé acclimatation négative de la photosynthèse. Toutefois, lorsque l'on s'intéresse non plus à une plante isolée mais à un système plante/sol, d'autres phénomènes peuvent intervenir et modifier la réponse des plantes au CO₂. Ainsi, il est notamment possible que la qualité et/ou la quantité de matière organique retournant vers le sol soient altérées. Toute modification du cycle de l'azote peut donc exercer une rétro-action sur la plante et éventuellement sur sa capacité photosynthétique.

Notre objectif dans cette étude était donc de comparer les effets court-terme du CO₂, qui agissent directement sur le métabolisme des plantes et ceux, long-terme qui interviennent via une modification des propriétés du sol. Pour se faire, nous avons à disposition des échantillons de sols provenant d'un système FACE (Free Air CO₂ Enrichment) en Nouvelle-Zélande installé sur une prairie permanente et simulant un enrichissement en CO₂ depuis 5 ans. Nous avons mis en culture sur ce sol une graminée prairiale, *Lolium perenne*, sous atmosphère enrichie ou non en CO₂. Il est apparu que l'acclimatation négative de la photosynthèse était moins marquée sur le sol ayant subi un enrichissement du fait d'une probable plus grande disponibilité en azote.

Cette étude met de plus l'accent sur l'importance majeures des rétro-actions entre le sol et les plantes. Il est donc important de les prendre en compte dans le cadre de l'étude du fonctionnement des écosystèmes terrestres sous CO₂ élevé.

Mots-clefs : enrichissement en CO₂, *Lolium*, photosynthèse, acclimatation.

1P5

Modulation par la lumière du coût de construction chez les jeunes semis de chêne pédonculé (*Quercus robur* L).

S. Barthod (1), F. Huc (1,2), B. Alaoui-Sossé (1), T. Barigah (2), E. Dreyer (2), D. Epron (1)

(1) Université de Franche-Comté, Laboratoire de Biologie et Ecophysiologie, EA 3184 USC INRA, Pôle universitaire B.P. 71427, 25 211 Montbéliard CEDEX
sandrine.barthod@pu-pm.univ-fcomte.fr

(2) Unité Mixte de Recherches, INRA -UHP "Ecologie et Ecophysiologie Forestières", Centre INRA Nancy, F 54280 Champenoux

La capacité des jeunes semis à diminuer les pertes de carbone par respiration et à augmenter l'interception du rayonnement lumineux constitue une composante à part entière de leur aptitude à tolérer l'ombrage. Néanmoins, les feuilles sont les organes présentant les coûts de construction les plus élevés, en raison notamment de leur teneur en protéine liée à leur activité photosynthétique. Leur déploiement nécessite également la mise en place de structures plus ou moins lignifiées donc plus ou moins coûteuses. Un compromis entre la diminution des pertes respiratoires, le maintien de la capacité photosynthétique et l'augmentation de la surface d'interception doit donc exister. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence une éventuelle plasticité phénotypique du coût de construction chez le chêne pédonculé cultivé sous différents niveaux d'ombrage.

La récolte de 6 ou 7 semis par traitement lumineux (8, 18, 48 % du rayonnement solaire) a eu lieu à trois dates différentes durant l'été. Après lyophilisation, les feuilles, les tiges, les racines pivot et les racines fines sont pesées puis broyées. Le coût de construction de chaque organe a été déterminé à partir de leur teneur en carbone (1) et indépendamment à partir de la chaleur de combustion (2). Le coût de construction de la plante entière est calculé en pondérant le coût de construction de chaque organe par la biomasse relative.

Il existe des différences marquées de coût de construction entre les différents organes de la plante, les feuilles sont les organes les plus coûteux à produire, en relation avec une teneur en azote organique plus élevée. Pour les feuilles et les tiges, le coût de construction est significativement plus important lorsque l'ombrage est fort en raison d'une plus forte teneur en azote organique. Néanmoins, les différences de coût de construction dues aux divers climats lumineux sont inférieures à 1 %. En raison de l'absence de modification de la biomasse relative des différents organes, l'effet de l'ombrage sur le coût de construction de la plante entière est également faible. Lorsqu'il est exprimé par unité de surface, pour évaluer le coût associé au déploiement des surfaces assimilatrices, le coût de construction des feuilles ou de la plante entière diminue très fortement avec l'ombrage, en raison d'une forte augmentation de la surface spécifique des feuilles. Ceci indique que chez le chêne pédonculé, l'acclimatation à l'ombrage résulte principalement d'une augmentation de la surface spécifique des feuilles.

(1) Vertregt N & Penning de Vries FWT (1987) J. Theor. Biol. 128, 109-119.

(2) Williams et al. (1987 Plant Cell Environ., 10, 725-734

Mots clefs : *coût de construction; plasticité phénotypique; tolérance à l'ombrage, lumière*

1P6

Photosynthèse et respiration des tiges de hêtre (*Fagus sylvatica*): aspects écophysologiques et anatomiques.**D. Berveiller, C. Damesin**

Laboratoire d'Ecologie Systématique et Evolution ; département d'Ecophysologie végétale, Université Paris Sud XI 91405 Orsay.

daniel.berveiller@ese.u-psud.fr, claire.damesin@ese.u-psud.fr

Les premières observations de l'existence de tissus chlorophylliens dans la tige ont été publiées au début du siècle dernier (Schneider, 1903 ; Cannon, 1908) mais ce n'est que dans les années 1990 que l'hypothèse d'une contribution de la photosynthèse des tiges au bilan total du carbone de la plante a été émise. Dans cette optique, le suivi de la respiration et de la photosynthèse ainsi que le pourcentage de refixation ont été estimés pour des tiges de l'année chez le hêtre (*Fagus sylvatica*) au cours de la saison de végétation 2000-2001. Pour une tige moyenne, la respiration annuelle est estimée à 0,5 g C dont 55% est attribué à la respiration d'entretien. L'assimilation annuelle, quant à elle, représente 0,2 g C et compense la respiration de croissance. Afin de déterminer les tissus participant à cette fixation de carbone, des observations en microscopie à épifluorescence ont été réalisées. Elles ont permis de mettre en évidence la présence des cellules chlorophylliennes dans les rayons ligneux ainsi que dans le parenchyme médullaire. Leur localisation en profondeur de la tige peut paraître surprenante sachant que 0,01 % de la lumière incidente atteint le centre (Pfanzen *et al.*, 2002). Cependant la proximité des vaisseaux peut être avantageuse aux cellules chlorophylliennes car ils sont une source potentielle de carbone (CO₂, HCO₃⁻ ou malate ?) pour la photosynthèse comme cela a été récemment montré chez des herbacées (Hibberd & Quick, 2002). Des mesures d'activités PEPc, RubisCO et EM-NAD(P) sont envisagées afin de déterminer le rôle éventuel de ces enzymes dans l'acquisition de carbone des tiges.

Mots clefs: *photosynthèse, tiges, bilan carboné, chlorophylle, hêtre*

Schneider C.K. (1903) Dendrologische winterstudien. Fisher, Jena

Cannon W. (1908) The topography of the chlorophyll apparatus in desert plants. Carnegie Institution Washington Publication 1998.

Pfanzen H., Aschan G., Langenfeld-Heyser R., Wittmann C., Loose M. (2002) Ecology and ecophysiology of tree stems : cortical and wood photosynthesis. *Naturwissenschaften*, **89** : 147-162

Hibberd J.M. & Quick W.P. (2002) Characteristics of C4 photosynthesis in stems and petioles of C3 flowering plants. *Nature* **415** : 451-454

1P7

Variabilité intra-spécifique des réponses des échanges gazeux foliaires et de la discrimination isotopique du carbone à l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ chez le chêne pédonculé

X. Torti (1), D. Le Thiec (1), O. Brendel (1), E. Dreyer (1), P. Dizengremel (1), C. Saintagne (2), A. Kremer (2), J-M. Guehl (1)

(1) UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières, 54280 Champenoux.

(2) UMR BIOGECO, INRA, 69 route d'Arcachon, 33612 CESTAS Cédex,

Xaviere.Torti@scbiol.uhp-nancy.fr

La réponse des échanges gazeux foliaires de CO₂ et H₂O à l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ (serres maintenues à 360 et à 700 ppm de CO₂) durant l'année 2001 a été étudiée pour une famille de pleins-frères de chêne pédonculé comprenant 183 individus de génotypes distincts âgés de 3 ans. Des mesures d'échanges gazeux foliaires (taux d'assimilation nette de CO₂ (A) et conductance stomatique (g_s) à la vapeur d'eau) ont été effectuées à différents moments de la saison de végétation. La discrimination isotopique contre le carbone 13 (Δ), une grandeur sans dimension (‰), constituant une évaluation intégrée dans le temps de C_i/C_a (rapport des concentrations intercellulaire et atmosphérique en CO₂) ainsi que de A/g_s (= efficacité d'utilisation de l'eau intrinsèque) a été mesurée sur la cellulose extraite de la tige (pousse de l'année uniquement) en fin de saison. Les plants croissant sous fort CO₂ présentaient en moyenne des valeurs de A plus élevées, ainsi que des valeurs de g_s plus faibles, comparativement aux plants croissant sous CO₂ actuel (360 vpm). Les valeurs de Δ n'ont, en moyenne, pas été affectés par la concentration en CO₂, indiquant une constance du rapport C_i/C_a et une augmentation de A/g_s proportionnelle à celle de C_a. Pour chacune des grandeurs A, g_s et Δ une très grande variabilité individuelle était observée pour les deux concentrations en CO₂. En outre, l'analyse de ces données à l'aide des outils de génétique quantitative moléculaire nous a permis de trouver plusieurs QTLs (Quantitative Trait Loci) associés à Δ , indiquant qu'une part importante des réponses phénotypiques observée est déterminée au niveau génétique.

1P8

Bilan carboné d'une tourbière à sphaigne (*Sphagnum* sp.) exploitée : mesure et modélisation des échanges nets de CO₂.

E. Bortoluzzi (1,2), D. Epron (2), D. Gilbert (2) et A. Buttler (1)

(1) Université de Franche-comté, UMR CNRS Chronoécologie, La Bouloie, 25 030 Besançon CEDEX estelle.bortoluzzi@wanadoo.fr

(2) Université de Franche-comté, Laboratoire de Biologie et Ecophysiologie, EA 3184 USC INRA, Place Leclerc, 25 030 Besançon CEDEX

Les tourbières à sphaigne possèdent un large potentiel d'accumulation de tourbes en raison d'une faible vitesse de décomposition des litières (1), et constituent actuellement un stock de carbone considérable (2). La restauration des tourbières exploitées, dans le but de rétablir le système acrotelm-catotelm garantissant l'accumulation de matières organiques est un enjeu majeur à l'échelle européenne dans le contexte de la séquestration du carbone et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. (3) Il a été montré que les conditions de post-exploitation sont déterminantes pour les processus de succession et de rétablissement des sphaignes, et donc de l'accumulation du carbone. Dans ces écosystèmes humides, l'accumulation du carbone résulte d'un écart minime entre la photosynthèse, la respiration autotrophe et l'activité des décomposeurs, que les processus soient aérobie ou anaérobie. Les objectifs de ce travail étaient de mesurer les échanges nets de CO₂ (photosynthèse de la strate muscinale et respiration totale de l'écosystème) d'une tourbière à sphaigne.

Les échanges gazeux ont été mesurés à l'aide de tubes de plexiglas de 18,6 cm de diamètre avec un analyseur de gaz infrarouge. La température de surface, à 10 et 50 cm de profondeur, le niveau de la nappe, l'intensité lumineuse et l'humidité de surface des sphaignes ont été relevés. La diversité végétale a été appréhendée autour de chaque tube sur une surface de 1 m².

Les premiers résultats obtenus, encore préliminaires, montrent une forte influence des variations saisonnières de la température sur la respiration totale alors que l'état d'hydratation des sphaignes conditionnent fortement leur photosynthèse. Les variations diurnes des échanges nets de CO₂ sont correctement expliquées par les variations de l'intensité lumineuse et de la température de surface. Différents modèles ont été testés pour rendre compte de ces variations. A terme, l'objectif est de pouvoir établir le bilan carboné d'une tourbière aux différents stades du processus de restauration.

(1) Gorham, E. (1991). Transactions of the Royal Society of Canada, 6, 199-208.

(2) Thormann, M.N., Szumigalski, A.R. and Bayley, S.E. (1999). Wetlands, 19, 305-317.

(3) Schimel, J.P. (1995). Biogeochemistry, 28, 183.

1P9

Rôle du climat sur la décomposition des litières et la séquestration de la matière organique dans les humus de forêts de Conifères

C. Kurz-Besson (1), M.M. Coûteaux (2), C. Ribeiro (3), J. Romanya (4)

(1) Instituto Superior de Agronomia, DBEB, Tapada de Ajuda, 1349-017 Lisboa (Portugal)

(2) Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, C.N.R.S., 1919 Route de Mende, F-34293 Montpellier Cedex 05 (France)

(3) Escola Superior Agrária de Coimbra, Coimbra (Portugal)

(4) Departamento de Biologia Vegetal, Universitat de Barcelona, 645 Diagonal, SP-08028 Barcelona (Spain) couteaux@cefe.cnrs-mop.fr

La décomposition des litières de Pins a été étudiée dans un transect climatique européen de 8 sites forestiers depuis la Suède, en climat boréal, jusqu'en Espagne caractérisé par un climat méditerranéen sec et au Portugal caractérisé par un climat atlantique doux. La décomposition a été mesurée *in situ* par une méthode d'observation directe. Trois espèces de Pins ont été étudiées : le Pin sylvestre, le Pin maritime et le Pin d'Alep. La quantité de matière organique dans l'horizon organique de surface A0 varie de 2.3 à 17.5 t ha⁻¹ selon les sites et est liée à l'importance de la chute de litière et à sa vitesse de décomposition. La chute de litière varie de 0.9 en Suède à 3.36 t ha⁻¹ an⁻¹ en climat méditerranéen. La perte en poids des litières a été mesurée en rapportant le poids d'un mètre de litière en décomposition au poids d'un mètre de litière sénescence fraîchement tombée. L'âge des litières a été déterminée dans 5 strates successives à partir de la chute annuelle de litière, la masse des strates et la perte en poids des litières dans les strates. Un modèle asymptotique a été ajusté aux données de masse restante en fonction du temps. Des fonctions de réponses de la décomposition au climat ont permis de mettre en évidence et de quantifier le rôle du climat sur la décomposition. Pour la température, la fonction de Van't Hoff a été choisie : $r(T) = Q_{10}^{(T-T_{ref})/10}$. La fonction de réponse à l'humidité est basée sur le déficit hydrique (DEF = PET - AET) et s'exprime par la relation $r(H) = (DEF_{lim} - DEF) / DEF_{lim}$ où DEF_{lim} est le seuil de déficit au-delà duquel la décomposition est nulle. L'effet combiné de la température et de l'humidité est exprimé par le produit des deux fonctions. Les résultats montrent que la vitesse de décomposition, le temps de résidence dans les strates et la masse des strates sont fortement corrélées avec la fonction combinée $r(T) * r(H)$. On a ajusté un modèle asymptotique aux données de masse restante en fonction du temps pondéré par la fonction de réponse combinée. Les courbes de décomposition obtenues, signifiant une décomposition dans des conditions climatiques optimales, tendent à se superposer indiquant que la différence de vitesse de décomposition entre les différents sites s'explique bien par le climat. On a pu donc ajuster un modèle général de décomposition des litières de Pins en fonction du climat : MR (masse restante) = $66^{e^{-1.58[r(T)*r(H)]}} + 34$. A partir de divers scénarios, on a pu évaluer l'impact des changements climatiques sur la vitesse de décomposition en fonction des zones climatiques et montrer comment l'effet de l'élévation de la température peut être contrebalancé par celui de l'augmentation du déficit hydrique en particulier dans les régions boréales ou atlantique où, aujourd'hui, le déficit hydrique est faible. Par contre, dans les régions où, aujourd'hui, le déficit est déjà important comme en région méditerranéenne, une augmentation du déficit hydrique n'accentuerait pas de manière sensible l'effet de la sécheresse estivale alors que l'augmentation de la température pourrait accentuer la décomposition en période hivernale.

Mots clefs: décomposition, litière de Pins, climat, matière organique du sol, changements globaux

1P10

Partitioning the annual carbon balance of maritime pine forest between respiratory and assimilatory components.

Delzon S., Berbigier P., Bernier F., Bonnefond J-M, Bosc A., Burlett R., Guédon M., Medlyn B., Porté A., Roy C., Sartore M., Trichet P., Loustau D.

INRA, Unité de Recherches Forestières de Cestas, 69 Route d'Arcachon, F-33612 Cestas, France ;
loustau@pierroton.inra.fr

This presentation gives a complete picture of the partitioning of the annual carbon budget of a 28-year old maritime pine stand among assimilatory and respiratory components. The carbon fluxes have been measured in a forest from 1996 onwards together with the detailed determination of annual changes in of aboveground biomass stocks. The net carbon flux measured by eddy covariance was decomposed between assimilation and respiration using a simple hyperbolic model applied on half hourly values week by week (EC). In addition respiratory and assimilatory components of the carbon budget were determined independently (U). Respiratory components were calculated mainly based on chamber measurements operated during several consecutive years and upscaled at the stand level using a range of scaling variables derived from allometric survey, air temperature, soil temperature and soil moisture. Similarly, the assimilatory flux was estimated using leaf-level information collected on the understorey and tree canopy and upscaled at the stand level using the MAESTRA model. Depending on years, the mean annual GPP was estimated from EC between 20.2 and 22.5, RE to 15.2 and 16.8, resulting in a NEE close to 5.0-5.7 tC.ha⁻¹, 64-76% being allocated to the increment in aboveground biomass (2.8-3.9 tC.ha⁻¹). The chamber based values integrated at the stand level (U) added to a GPP of 23.3 (12% from understorey) and RE 14.6 18.9 tC.ha⁻¹. The ecosystem respiration was partitioned almost equally between the aboveground (7.6-10.0 tC.ha⁻¹) and soil respiration (7.0 - 9.0 tC.ha⁻¹). Maintenance respiration of the woody parts (4.2-5.5) was the dominant component of aboveground respiration, foliage accounting for 1.7 - 2.0 and growth respiration to 1.7 - 2.5 altogether. Inter-annual fluctuations in the NEE were largely explained by changes in the net carbon uptake by the biomass increment, i.e. tree growth.

1P11

Variations spatiales de la respiration du sol d'une hêtraie.**J. Ngao, A. Granier, F. Willm, O. Bouriaud**

UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière, Centre INRA de Nancy 54280 Champenoux, France ;
ngao@nancy.inra.fr

L'objectif de ce travail est d'étudier les variations spatiales du flux de CO₂ du sol, composante principale de la respiration de l'écosystème, à différentes échelles ainsi que les facteurs les influençant. Une meilleure prise en compte de ces variations spatiales permettrait d'améliorer l'estimation de la valeur moyenne de la respiration du sol (R_{sol}) de l'échelle de la parcelle à celle de la forêt. Des mesures de R_{sol} , de la température (T_{-10}) et du contenu volumique en eau (θ_v) du sol ont été réalisées dans trois parcelles (Hesse 1 : perchis hêtre de 35 ans ; Hesse 2 : régénération de hêtre de 12 ans ; Hesse 3 : zone de sol nu post-tempête) situées dans la forêt de Hesse (57). Les mesures de R_{sol} ont été conduites à l'aide d'une chambre fermée dynamique reliée à un IRGA. La comparaison inter-parcelle s'appuie sur des mesures effectuées toute l'année, tandis que la variabilité intra-parcelle de R_{sol} a été caractérisée pour seulement certaines dates. Il semble que la parcelle Hesse 1 ait un flux de CO₂ du sol plus important que les parcelles Hesse 2 et Hesse 3. Ces parcelles diffèrent également d'après les valeurs de T_{-10} et θ_v . Un modèle de type $R_{sol} = A \cdot \theta_v \cdot e^{(B \cdot T_{-10})}$ a été ajusté sur les données des parcelles Hesse 1 et Hesse 2. Cela nous a permis une comparaison des deux parcelles discutée dans le poster. A l'intérieur de la parcelle Hesse 1, nous avons réparti les valeurs de R_{sol} en deux groupes (groupe 1 : sol de type Brunisol rédoxique ; groupe 2 : sol de type Brunisol Rédoxisol). Les valeurs de R_{sol} du groupe 1 sont significativement supérieures à R_{sol} du groupe 2 pour certaines périodes de l'année ($p < 0.05$). La mesure systématique de R_{sol} aux 42 points du maillage de la parcelle (échelle de la dizaine de mètres) a permis le calcul d'un semivariogramme (début de l'été). L'autocorrélation spatiale n'a pas été mise en évidence : Il y a donc absence de structure spatiale de R_{sol} . Une cartographie par une simple interpolation linéaire (ne s'appuyant pas sur le semivariogramme) est proposée. Dans la parcelle Hesse 2, une source de variation de R_{sol} proviendrait de la structure en bandes de la parcelle. Pour certaines campagnes, le flux de CO₂ du sol est significativement plus fort dans les cloisonnements que dans les bandes. Les travaux forestiers conduits dans la parcelle sembleraient avoir eu un impact sur la structure et le fonctionnement du sol. Les variogrammes calculés pour certains transects n'ont pas de forme particulière, ce qui soulignerait une absence d'autocorrélation spatiale.

Mots clefs : Contenu en eau ; Hêtraie ; Modèle ; Respiration du sol ; Saison ; Semivariance ; Température ; Variabilité spatiale

1P12

Estimation de la contribution de la décomposition de la litière au flux de CO₂ du sol d'une hêtraie en utilisant de la litière appauvrie en ¹³C.

J. Ngao (1), D. Epron (2), C. Bréchet (1), J.M. Guehl (1) et A. Granier (1)

(1) UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestière, Centre INRA de Nancy 54280 Champenoux, France

(2) Laboratoire de Biologie et Ecophysiologie, Université de Franche-Comté, 25211 Montbéliard cedex, France, daniel.epron@pu-pm.univ-fcomte.fr

La respiration du sol représente la majeure partie de la respiration de l'écosystème en forêt tempérée et de faibles variations peuvent altérer fortement la production nette de l'écosystème. Le flux de CO₂ du sol provient à la fois de la décomposition de la litière (feuilles et racines), de la matière organique (M.O.) du sol ainsi que de la respiration des racines. De précédentes études ont révélé l'importante contribution des racines au flux total de CO₂ du sol, tandis que celle des litières a été peu estimée. Toutefois, la partition du flux de carbone du sol en ses différentes composantes est nécessaire pour analyser et modéliser ce flux et ses réponses au climat ou aux perturbations.

Notre objectif a été d'estimer la contribution de la décomposition des feuilles de litières (F_L) au flux de carbone du sol (F) d'une hêtraie. Nous avons comparé la composition isotopique du CO₂ provenant d'un sol couvert soit par des feuilles de litière normales soit par des feuilles appauvries en ¹³C à l'aide d'un système de prélèvements d'air réalisés in situ. En assumant la conservation de masse et le non-fractionnement isotopique durant la décomposition de la litière, le rapport F_L/F est calculé en résolvant :

$$F_L/F = (\delta R_M - \delta S_M) / (\delta L_M - \delta S_M) = (\delta R_C - \delta S_C) / (\delta L_C - \delta S_C)$$

δ étant la composition en ¹³C du CO₂ du sol (R), du CO₂ produit par la décomposition de la litière (L) et du CO₂ produit par les processus du sol (S) incluant la respiration des racines et de la rhizosphère, décomposition de la M.O. du sol. Les indices M et C font respectivement références aux mesures sur litière marquées et contrôle.

Les mesures ont révélé que le rapport R_L/R suit une évolution saisonnière, variant entre 1% (début du printemps et mi-automne) et 10% (été). La confiance de nos estimations est discutée dans le poster.

Mots clefs : *Décomposition, Flux de CO₂, Litière, Matière organique du sol, Système de prélèvement d'air, δ¹³C*

1P13

Influence de la localisation des résidus de culture sur les processus hydrodynamiques et les dynamiques du C et N dans le sol

Filip Coppens ^(1,2), Patricia Garnier ⁽¹⁾, Sylvie Recous ⁽¹⁾, Roel Merckx ⁽²⁾

(1) INRA, Unité d'Agronomie Laon - Reims - Mons, rue Fernand Christ, 02007 Laon Cedex, France

(2) K.U.Leuven, Department of Land Management, Kasteelpark Arenberg 20, 3001 Heverlee, Belgique

Coppens@laon.inra.fr

La localisation initiale des résidus de culture dans le sol influence les dynamiques du carbone et de l'azote à court et à long terme. L'objectif de ce travail est d'évaluer selon quelles modalités et avec quelle dynamique la localisation de ces résidus interagit avec l'activité microbienne, l'agrégation et les propriétés hydrodynamiques du sol et comment ces interactions affectent en retour la décomposition.

Au cours d'une première étape, un sol limoneux a été incubé pendant 9 semaines à 20°C, compacté dans des colonnes de 25 cm et a subi 3 cycles de dessiccation – humectation. Des résidus de colza marqués ¹³C et ¹⁵N ont été incorporés ou laissés à la surface du sol. Plusieurs paramètres ont été suivis : la vitesse d'évaporation, l'humidité, le potentiel matriciel de l'eau et la composition de la solution du sol aux différentes profondeurs dans les colonnes. La respiration du sol et la décomposition des résidus ont été déterminées par le flux de CO₂ et les concentrations du ¹³C-CO₂ à la surface du sol. Pendant l'incubation, 3 séries de colonnes ont été sacrifiées pour déterminer l'activité de la biomasse microbienne, la distribution des tailles d'agrégats et la distribution du ¹³C et ¹⁵N dans chaque fraction d'agrégats.

Les sorties environnementales du travail sont liées à l'amélioration de la structure du sol, la réduction des émissions des gaz d'effet de serre, l'augmentation de la séquestration du carbone et la diminution du lessivage des nitrates.

Mots clefs : *résidus de culture ; localisation ; décomposition ; propriétés hydrodynamiques ; agrégation*

1P14

Variabilité spatiale du flux de carbone provenant du sol en forêt : comparaison de plusieurs stations hydromorphes en forêt de Chaux.

G. Vincent, E. Lucot, P. M. Badot, D. Epron

Laboratoire de biologie et écophysiologie, USC INRA, Université de Franche-Comté ; Place Leclerc, 25030 Besançon cedex. gaelle.vincent@univ-fcomte.fr

La séquestration du carbone dans les écosystèmes résulte d'une différence souvent minime entre la fixation photosynthétique et les pertes par respiration. La respiration du sol étant une des principales composantes de la respiration totale de l'écosystème forestier, elle contribue de manière importante au bilan carboné des forêts (1). La respiration du sol varie dans le temps et la variabilité annuelle est bien expliquée par des modèles faisant intervenir la température et l'humidité du sol (2). Ces facteurs cependant ne suffisent pas à expliquer la variabilité à une échelle de temps plus longue, ou la variabilité spatiale. Or celle-ci, souvent très forte, doit être prise en compte pour évaluer le puits de carbone que constituent les écosystèmes forestiers à l'échelle du massif voire de la région. Notre objectif est donc de décrire la variabilité spatiale rencontrée au sein d'un massif forestier, puis de l'expliquer par un ou plusieurs facteurs dépendant du site, en relation avec l'hétérogénéité du couvert végétal et la variabilité des caractéristiques édaphiques.

Les neuf stations étudiées se situent en forêt de Chaux (Jura), où le fonctionnement des sols est conditionné essentiellement par la dynamique des nappes. La caractérisation des stations est basée sur un suivi piézométrique et par un suivi de la température du sol, par une estimation de la surface terrière, de l'indice foliaire et par une description de la végétation et du type d'humus. Le flux de carbone provenant du sol est mesuré à l'aide à un système fermé dynamique (chambre couplée à un analyseur de gaz infrarouge). De manière à appréhender la variabilité spatiale au sein du massif, l'échantillonnage est de type stratifié, avec trois placettes par stations et seize points de mesures par placette.

Les trois premières campagnes de mesure de respiration du sol ont été effectuées en juin, lors de la descente des nappes, en septembre, dans des conditions de sol chaud et sec, et en décembre-janvier, avec des sols froids et des nappes hautes. La variabilité au sein d'une station est forte, mais on constate néanmoins des différences entre les stations. De plus, la dimension temporelle de la variabilité spatiale apparaît nettement après ces trois campagnes.

La suite de l'étude vise à relier la variabilité spatiale à des caractéristiques stationnelles telles que la biomasse microbienne, le pH, les teneurs en carbone et azote, la densité apparente, la texture et la CEC, ainsi que la biomasse de racines fines et leur taux de renouvellement.

Mots clefs : *cycle du carbone, déterminants environnementaux et biologiques de la respiration du sol.*

(1) Janssens I.A. *et al.* 2001. *Global Change Biology* 7, 269-278.

(2) Epron D. *et al.* 1999. *Ann. For. Sci.* 56, 221-226.

Posters de la Session 2.

INTERACTIONS BIOLOGIE-SOLS-SÉDIMENTS

2P1

Trajectoire dynamique d'une futaie régulière de hêtre : Incidence de la composition de la canopée sur l'interface sol-végétation.***Michaël Aubert; Fabrice Bureau; Didier Alard***

Université de Rouen, Groupe de recherche ECODIV F-76821 Mont Saint Aignan Cedex

michael.aubert@univ-rouen.fr

En Haute-Normandie, le traitement des hêtraies sur limons en futaie régulière pure est à l'origine du développement quasi-systématique des formes d'humus à tendance moder et à l'élimination de certaines espèces végétales caractéristiques des conditions stationnelles.

Au moyen d'une approche synchronique, nous observons les patrons de variation de l'épisolum humifère et de la diversité végétale au cours du cycle sylvicole d'une hêtraie pure et d'une hêtraie - charmaie. Les caractéristiques de l'épisolum humifère sont d'ordre (i) morphologique (épaisseurs des horizons OL, OF, OH et A) et (ii) chimique (pH_{KCl} , $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et ΔpH). Six mesures de diversité sont utilisées, rendant compte de la structure des communautés (richesse spécifique, indice de Shannon et indice d'équitabilité) et de leur composition (indice de similarité, indices d'hétérogénéité à l'échelle du peuplement et à l'échelle de la strate herbacée).

Les patrons de variations de l'épisolum humifère révèlent l'alternance de phases d'accumulation (durant la maturation des peuplements) et d'incorporation (lors des phases de régénération) de la matière organique dans les deux forêts. Cependant, sous hêtraie pure, le développement des formes d'humus de type moder durant la phase d'accumulation est plus important et, est accompagné d'une acidification de l'horizon A. Les patrons de variations de la diversité floristique sont sensiblement équivalents pour les deux forêts. Les indices rendant compte de la composition des communautés révèlent (i) une forte similarité de composition des assemblages d'espèces entre les stades dynamique de la hêtraie pure ; et (ii) une très forte hétérogénéité à l'échelle de la strate herbacée pour les deux forêts. La comparaison de la composition floristique révèle une plus forte occurrence des espèces acidiphiles dans la hêtraie pure.

2P2

Effet de l'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère sur la libération de carbone et d'azote dans la rhizosphère d'une graminée prairiale : le ray-grass (*Lolium perenne*)

S. Bazot (1), L. Ulff (1), H. Blum (2), C. Nguyen (1), C. Robin (1).

(1) Equipe Rhizosphère, UMR INPL-INRA « Agronomie et Environnement » ENSAIA, 54505 Vandoeuvre-les-Nancy, France.

(2) Institute of Plant Sciences, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), 8092 Zürich, Suisse.

Les prairies recouvrent 50 % de la Surface Agricole Utile et ont une grande importance agronomique. De plus, elles stockent une part importante du carbone des écosystèmes terrestres (16%). Les premiers centimètres de sol étant fortement colonisés par les racines, la rhizosphère a un rôle essentiel dans le cycle du carbone des écosystèmes prairiaux. La rhizosphère est liée au fonctionnement des parties aériennes des plantes et à leurs interactions avec l'environnement. L'effet de l'augmentation de la concentration en CO₂ sur le bilan de carbone du système plante-sol a fait l'objet de nombreuses études. Il a notamment été montré que ce bilan n'était pas équilibré, les entrées de carbone dans le système plante-sol sont supérieures aux sorties. Dans ce contexte la rhizosphère est très peu prise en compte. Pourtant en raison de la libération de composés organiques par les racines (rhizodéposition), la rhizosphère contribue à la dynamique du carbone dans le sol. L'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique peut modifier la rhizodéposition, en quantité et nature des composés libérés dans la rhizosphère (rapport C/N). Il en résulte des éventuelles compétitions entre la plante et les microorganismes vis à vis de l'azote, pouvant conduire à son immobilisation et à une moindre disponibilité pour la plante. L'azote étant un élément nutritif important, sa disponibilité au niveau de la rhizosphère est peu étudiée et doit être considérée.

Dans ce contexte nous nous intéressons aux effets du CO₂ sur la libération de carbone et d'azote dans la rhizosphère du ray-grass en conditions naturelles. Nous avons utilisé le dispositif d'enrichissement en CO₂ à l'air libre (système FACE) situé à la station expérimentale de l'ETH de Zürich à Eschikon en Suisse. Dans ce système, certaines parcelles sont soumises à des niveaux ambiants en CO₂ (360 vpm) et d'autres à des niveaux élevés en CO₂ (600 vpm). Un dispositif distribue le CO₂ de manière homogène sur l'ensemble de la parcelle. Deux niveaux de fertilisation sont également apportés (140 et 560 KgNha⁻¹). Ce système permet de se placer dans des conditions naturelles proches d'une réalité agronomique où les plantes sont soumises aux aléas environnementaux.

La répartition du carbone et de l'azote dans les différents compartiments composant le système plante-sol est suivie grâce à l'utilisation du carbone 14 et de l'azote 15. La production de biomasse végétale est déterminée. La répartition du ¹⁴C et de ¹⁵N est analysée dans les plantes, le sol adhérent aux racines (rhizosphérique), le sol non adhérent, la biomasse microbienne, permettant d'établir des bilans de répartition du C et de N dans le système plante-sol. Le sol est un puits pour le CO₂. Peut-il contrebalancer l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique ? A travers la rhizodéposition et son action sur le sol, le fonctionnement de la rhizosphère pourrait jouer un rôle majeur dans la séquestration du C par les sols et constituer le chaînon manquant au bilan de carbone.

2P3

Densités microbiennes dans la rhizosphère de plantes de milieux riches et de milieux pauvres

M. Valé (1), C. Nguyen (1), J.L. Dupouey (2), E. Dambrine (3)

(1) Equipe rhizosphère, UMR Agronomie & Environnement, INRA-INPL (ENSAIA), Nancy-Colmar. 2 avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandoeuvre lès Nancy ; Christophe.Nguyen@ensaia.inpl-nancy.fr

(2) Equipe phyto-écologie forestière. UMR Écologie et écophysiologie forestière EEF INRA-Univ. Nancy I. 54280 Champenoux. Dupouey@nancy.inra.fr

(3) Biogéochimie des écosystèmes forestiers, INRA Nancy, 54280 Champenoux. Dambrine@nancy.inra.fr

La libération de composés organiques dans le sol par les racines vivantes (la rhizodéposition) stimule le développement et l'activité des microorganismes et interagit donc fortement avec les cycles biogéochimiques des éléments nutritifs. Nous avons examiné si des plantes issues de milieux contrastés pour leur de richesse présentaient des densités microbiennes à l'interface sol-racines (la rhizosphère) également contrastées.

Sept espèces ont été retenues en fonction de leur indice azote d'Ellenberg (EN): *Rumex obtusifolia* (EN=9), *Urtica dioica* (EN=9), *Epilobium hirsutum* (EN=8), *Eupatorium cannabinum* (EN=8), *Rumex acetosella* (EN=2), *Briza media* (EN=2), *Teucrium chamaedrys* (EN=1). A partir de plantes cultivées en serre pendant 5 semaines, nous avons observé que les espèces de milieux riches présentaient des densités de bactéries rhizosphériques cultivables supérieures ou égales à celles des plantes de milieux pauvres. Cependant, nos résultats montrent que l'abondance microbienne dans la rhizosphère est mieux corrélée positivement avec la production de la biomasse végétale totale et avec le rapport biomasse aérienne / biomasse racinaire. Il est suggéré que les densités microbiennes dans la rhizosphère sont directement dépendantes de la rhizodéposition et des variables de gestion du C par la plante qui peuvent être modifiées entre autres, par l'espèce végétale et la richesse du milieu.

Mot clés : Densités bactériennes; Indices d'Ellenberg; Rhizosphère; Rhizodéposition

2P4

Plant species-specific responses to elevated CO₂: impacts on decomposers and herbivores.

S. Haettenschwiler (1), D. Bretscher (1), Ch. Schafellner (2), Ch. Koerner (1)

(1) Institute of Botany University of Basel, Schoenbeinstrasse 6 CH-4056 Basel, Switzerland.

Stephan.haettenschwiler@unibas.ch

(2) Institute of Forest Entomology, BOKU, Hasenauerstr. 38, A-1190 Vienna, Austria

Distinct responses to the rising atmospheric CO₂ concentration among plant species have direct consequences for higher trophic levels through altered plant tissue quality. We observed significant changes in performance and feeding behavior of an insect herbivore (*Lymantria dispar*) and a soil macrofauna species (*Oniscus asellus*) feeding on green leaves or leaf litter produced under elevated CO₂ in an old-growth temperate forest depending on tree species. These results suggest shifts in host plant suitability for generalist primary consumers of the herbivore and the decomposer system in a CO₂-enriched atmosphere. In the long term the composition of plant and primary consumer communities and ecosystem processes such as decomposition and nutrient cycling might be affected.

Key words: *elevated CO₂; plant-animal interactions ; herbivory ; decomposition ; biodiversity*

2P5

Effet des essences forestières sur la minéralisation des matières organiques (N, C) et la mobilité des éléments nutritionnels (Ca, Mg, K...)

J. Moukoui (1)(2), C. Munier-Lamy (1), J. Berthelin (1), J. Ranger (2)

(1) Laboratoire des Interactions Microorganismes Minéraux Matières organiques dans les Sols (LIMOS), CNRS. FRE 2440, Université Henri Poincaré – Fac des sciences. BP 239 54506 Vandoeuvre Lès Nancy cedex.

(2) Laboratoire de Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF-INRA) 54280 Champenoux.
judicael.moukoui@limos.uhp-nancy.fr

Cette étude s'inscrit dans le cadre des programmes Biodiversité et Ecologie quantitative, visant à mettre en évidence l'effet de la substitution des essences sur fonctionnement biologique et biogéochimique des écosystèmes. On détermine et compare l'influence de l'âge et de la nature des peuplements forestiers (feuillus et résineux) sur les propriétés et le fonctionnement du sol à travers la minéralisation des matières organiques et la mobilité des éléments minéraux associés.

Deux approches expérimentales ont été utilisées.

- i. La biodégradation *in situ* de substrats modèles (lignine et cellulose) et de litières, résultats non présentés.
- ii. L'incubation de sols au laboratoire, en conditions contrôlées de température (15°C et 4°C) et d'humidité (80 %), faisant l'objet de la présente communication.

Ces expériences sont conduites avec des échantillons de sols prélevés dans les horizons superficiels de quatre peuplements forestiers : Hêtraie native (TSF, 150ans), plantation de Hêtre (26ans) (*Fagus sylvatica* L.), plantation de Douglas (26ans) (*Pseudotsuga menziesii* Franco.) et plantation d'Epicéa commun (26ans) (*Picea abies* Karst.) du site-atelier de Breuil Chenue dans le Morvan.

Les premiers résultats montrent que l'âge et la nature des peuplements apparaissent comme des facteurs fondamentaux dans les processus de biodégradation et minéralisation des matières organiques. Ainsi, la minéralisation du carbone est plus importante sous Epicéa et TSF, alors que celle de l'azote serait plus élevée sous les peuplements de Hêtre et de Douglas. Cette minéralisation des matières organiques s'accompagne d'une mise en solution du carbone organique (COD) et d'éléments minéraux, variables suivant les essences.

Mots clefs: *essences forestières, sols acides, matières organiques, biodégradation, minéralisation, solubilisation*

2P6

Réduction par la microflore endogène d'oxy-hydroxydes de fer dans un sol hydromorphe amazonien : étude de paramètres environnementaux**I. Paskiewicz, S. Lawniczak, C. Mustin, J. Berthelin**

Laboratoire des Interactions Microorganismes-Minéraux-Matières Organiques dans les Sols (LIMOS), CNRS, FRE 2440, Université Henri Poincaré-Faculté des Sciences, BP 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex
isabelle.paskiewicz@limos.uhp-nancy.fr

Les milieux tropicaux humides réunissent toutes les conditions favorables à la réduction bactérienne du fer : températures élevées, fortes précipitations et présence d'oxy-hydroxydes ferriques et de matières organiques. Les oxy-hydroxydes se dissolvent et provoquent des dégradations importantes de ces formations superficielles hydromorphes avec la libération du fer vers les eaux. Mieux comprendre les processus et paramètres de mobilisation du fer constitue donc un réel intérêt fondamental et appliqué.

Le sol étudié provient de la toposéquence Ferralsol-Plinthosol-Gleysol d'Humaita (Brésil). Des facteurs physiques et chimiques (teneur initiale en oxygène, humidité du sol, apport de matières organiques naturelles hydrosolubles) contrôlant ces processus ont été étudiés dans des dispositifs expérimentaux en se rapprochant des conditions environnementales *in situ*

Les résultats montrent tout d'abord que la réduction bactérienne du fer se manifeste pour toutes les valeurs initiales de Po_2 mais reste limitée et irrégulière dans les milieux initialement les plus aérés. L'anaérobiose ne s'avère donc pas nécessaire. De plus, à court terme et à teneur limitée en O_2 , la réduction du fer est plus forte dans les milieux les moins humides. Les faibles teneurs en eau favorisent la circulation de l' O_2 et accélèrent ainsi sa consommation par les microorganismes, ce qui conduit rapidement à un état anoxique et à une activité bactérienne ferri-réductrice. Les fortes teneurs en eau, en limitant la diffusion et donc la consommation de l' O_2 , entraînent un délai dans la mise en place de l'activité bactérienne anaérobie et d'une réduction forte. Enfin, l'ajout de carbone organique stimule la réduction bactérienne du fer sans nécessairement favoriser une plus forte minéralisation du carbone disponible. Une meilleure utilisation de la matière organique et/ou une amélioration des phénomènes de transfert d'électrons semblent pouvoir être impliqués.

Ces résultats mettent ainsi en évidence l'apparition dans le sol de microsites réunissant les conditions requises pour l'activité bactérienne ferri-réductrice dans un environnement initialement non favorable.

Mots clefs : réduction bactérienne, oxy-hydroxydes de fer, sol, humidité, matière organique, minéralisation

2P7

Dynamiques microbiennes en condition anoxique ; relation avec les caractéristiques géochimiques du sol.

F.Dassonville (1), J.J Godon (2), P.Renault (1), A. Richaume (3) et P. Cambier (4).

(1) INRA, Unité "Climat, Sol et Environnement", INRA, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9, France. fabrice.dassonville@avignon.inra.fr

(2) INRA, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Avenue des Étangs, 11100 Narbonne, France.

(3) Université Claude Bernard (Lyon 1), Laboratoire d'Ecologie Microbienne, Bât. Gregor. Mendel (ex-741), 43 Bd du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex, France.

(4) INRA, Unité de Science du Sol, Route de Saint-Cyr, 78026 Versailles Cedex, France.

En conditions anoxiques, les activités microbiennes interagissent étroitement avec les réactions géochimiques, et affectent le sol, les aquifères, et l'atmosphère. Plusieurs études récentes ont permis d'analyser la biodiversité microbienne en fonction des conditions environnementales, mais personne n'a encore analysé les dynamiques simultanées des multiples groupes microbiens au vu des caractéristiques et processus biogéochimiques du sol. Dans ce travail, nous avons caractérisé les dynamiques des populations microbiennes anaérobies avec une nouvelle méthode combinant la PCR-SSCP et les dénombrements directs par microscopie à épifluorescence. Ces dynamiques ont été analysées au vu des évolutions géochimiques du milieu. Des incubations anaérobies et en batch ont été réalisées pendant 8 jours avec un calcic cambisol (WRB) sans amendement (traitement (+C)), ou après un apport de glucose (traitement (+G)). Les processus microbiens prédominants incluent (i) la réduction du NO_3^- et du NO_2^- respectivement pendant les 12 et 24 premières heures d'incubation, (ii) des fermentations pendant les 6 premiers jours avec en parallèle une fixation non symbiotique de N_2 entre le premier et le sixième jour d'incubation nécessaire à la croissance microbienne pendant cette période, et (iii) la réduction du FeIII concomitante avec l'oxydation de H_2 . Dans le traitement (+G), des groupes microbiens ont été mis en évidence par notre méthode, et ont été ensuite regroupés en sous ensembles (A-H) au vu de leurs dynamiques temporelles. Les bactéries appartenant aux classes A, E et G croissent pendant la période de fermentation, où N est limitant, et sont probablement fixatrices de N_2 , comme le suggère l'identification de *Clostridium butyricum* dans la classe A. Les bactéries appartenant aux classes B, D, F et H sont probablement capables de réduire le FeIII en FeII avec l'oxydation concomitante de H_2 en H^+ , mais ne peuvent pas fixer le N_2 . Deux groupes microbiens appartenant à ces classes sont proches respectivement de *Clostridium favosporum* (classe B) et du genre *Bacillus* (classe F). Les bactéries appartenant à la classe C correspondent probablement à des bactéries capables de réduire les oxydes d'azote. Enfin, trois estimations similaires de la croissance brute des groupes microbiens définis ont été obtenues en tenant compte soit (i) de la somme des croissances brutes des groupes microbiens, soit (ii) de la fraction du glucose consommée par voie anabolique, soit (iii) de l'énergie produite par le catabolisme diminuée de l'énergie requise pour la fixation de N_2 .

Mots clefs: microbiologie anaérobie, sol, géochimie, fermentation, dynamiques microbiennes.

2P8

Les bactéries du sol jouent-elles un rôle dans l'altération des minéraux ?

P. Frey-Klett (1), C. Calvaruso (1,3), B. Satrani (1), P. Ray (1), N. Amellal (2), F. Lapeyrie (1), J. Garbaye (1), M.P. Turpault (3).

(1) UMR IAM, Centre INRA de Nancy, 54280 Champenoux, klett@nancy.inra.fr

(2) LIMOS -FRE 2440, UHP, Boulevard des Aiguillettes, BP 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy

(3) UR BEF, Centre INRA de Nancy 54280 Champenoux,

L'altération biologique des minéraux du sol joue un rôle prépondérant dans la nutrition des plantes, en particulier dans les écosystèmes forestiers qui sont des écosystèmes à faibles intrants, très sensibles aux carences nutritives et à l'acidification. Si les processus biologiques impliqués dans l'altération sont déjà bien décrits, le rôle respectif des végétaux, bactéries et champignons du sol dans ces processus, reste en revanche particulièrement méconnu (cf programme JEF2003 : Quantification de l'altération biologique des minéraux du sol, Turpault *et al.*). Ce travail présente les premiers résultats d'une étude visant à déterminer le rôle des bactéries dans l'altération des minéraux du sol.

Une collection de 173 souches bactériennes originaires de la même niche écologique, l'interface sol-racine ou ectomycorhizosphère, a été réalisée dans un site-atelier installé à Breuil dans le Morvan (cf Ranger *et al.*, JEF2003), à partir d'ectomycorhizes de chêne sessile-*Scleroderma citrinum* prélevées à deux profondeurs, dans l'horizon organique et l'horizon minéral. Simultanément, 91 souches bactériennes ont été isolées à partir de sol nu dans ces deux horizons. Toutes ces souches ont ensuite été caractérisées selon deux tests *in vitro* basés sur la détection d'activités pouvant jouer un rôle dans l'altération (production de sidérophores et mobilisation du fer, production d'acides organiques et mobilisation du phosphore).

Nos résultats confirment que la symbiose ectomycorhizienne structure les communautés bactériennes du sol en faveur de la nutrition de l'arbre. En effet, nous avons montré que, quelle que soit la profondeur de l'horizon analysé, l'ectomycorhizosphère chêne-*Scleroderma* sélectionne dans le réservoir sol des bactéries qui mobilise le fer et le phosphore de manière très efficace. Reste à présent à étudier l'effet de ces bactéries sur des minéraux tests et à rechercher l'existence éventuelle de synergies entre ces bactéries dans les processus d'altération.

Mots-clefs : *altération, minéraux, bactéries, ectomycorhizosphère, structuration des communautés, nutrition, écosystèmes forestiers*

2P9

Quantification de l'altération biologique des minéraux du sol. Etude des interfaces plantes –microorganismes –solutions –minéraux –phases gazeuses dans des écosystèmes forestiers et en conditions contrôlées.

M.-P. Turpault (coordinateur, 1), J.-P. Boudot (2), M. Chaussidon (3), M. Colin-Belgrand (1), E. Dambrine (1), P. Frey-Klett (4), J. Garbaye (4), F. Gérard (1), B. Humbert (5), F. Lapeyrie (4), C. Leyval (2), B. Luais (3), C. Mustin (2), J.-C. Pierrat (6) et A. Walcarius (5).

(1) Biogéochimie des écosystèmes forestiers INRA 54280 Champenoux turpault@nancy.inra.fr

(2) LIMOS -FRE 2440, UHP, Boulevard des Aiguillettes, BP 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy

(3) CRPG, 15, rue Notre-Dame-des-Pauvres, BP5 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy cédex

(4) UMR-IAM, INRA 54280 Champenoux

(5) LCPME-CNRS-UHP Boulevard des Aiguillettes, BP 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy

(6) ENGREF-INRA, 14 rue Girardet, 54042 Nancy

Ce programme de recherche conduit depuis deux ans dans le cadre de l'ACI "écologie quantitative" est constitué de 6 équipes multidisciplinaires nancéiennes (biogéochimie, géomicrobiologie, isotopie, microbiologie, chimie, statistique). Son but est :

- de quantifier *in situ* (sites expérimentaux : Vauxrenard, Breuil (cf Ranger *et al.*, JEF2003) et Fougères) et expérimentalement l'altération des minéraux du sol liée à l'activité biologique (plante ; microorganismes) ;

- de déterminer les mécanismes mis en jeu lors de ces interactions et de les modéliser

- d'apprécier et de quantifier la capacité relative des microorganismes (champignons mycorhiziens, champignons saprophytes, bactéries) issus d'une même niche écologique (l'ectomycorhizosphère) à altérer les minéraux du sol (cf Frey-Klett *et al.*, JEF2003) et de rechercher l'existence de synergie entre microorganismes ;

- de déterminer les facteurs principaux intervenant sur l'altération des minéraux dans la rhizosphère (cf Turpault *et al.*, JEF2003) ;

- de rechercher, puis valider des traceurs isotopiques de l'altération biologique afin de faciliter dans l'avenir sa quantification ;

- de développer de nouveaux outils ou méthodes notamment des tests *in vivo* simples et rapides (cf Mustin *et al.*, JEF2003) et des applications des analyses spectrométriques à l'étude des interfaces bio-organo-minéraux.

Les résultats d'une telle étude permettront de déterminer l'impact de l'altération biologique sur la nutrition des plantes, la qualité des sols et des eaux du sol afin d'apporter des recommandations de gestion durable des écosystèmes forestiers étudiés. Ils pourront être intégrés dans l'étude des grands cycles biogéochimiques et également être utilisés dans le traçage de l'activité biologique dans d'autres écosystèmes terrestres. Les premiers résultats montrent que la rhizosphère est un milieu différent du sol global par ces propriétés physico-chimiques (solution : pH, éléments chimiques et sol : quantité de matière organique, cations échangeables, minéraux amorphes et argiles) et par ces activités biologiques (minéralisation de la matière organique, altération des minéraux). C'est un milieu dynamique dans le temps et l'espace ; des évolutions saisonnière et interannuelle ont été mises en évidence.

Mots clefs: expérimentations, écosystèmes forestiers ; nutrition ; rhizosphère ; structuration des communautés microbiennes ; biotest ; modélisation ; traçage

2P10

Influence du mucilage de maïs sur la structure et les activités des communautés microbiennes telluriques

I. Gruet (1), S. Piutti (1), S. Slezack-Deschaumes (1), C. Nguyen (1), C. Robin (1), E. Mounier (2), F. Martin-Laurent (2), L. Philippot (2), E. Benizri (1)

(1) Equipe Rhizosphère, UMR Agronomie et Environnement INPL-INRA (ENSAIA) Nancy Colmar, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France. Emile.Benizri@ensaia.inpl-nancy.fr

(2) UMR A111-INRA-CMSE. Laboratoire de Microbiologie des Sols. 17 rue Sully - B.P. 86510. 21065 Dijon Cedex. Laurent.Philippot@dijon.inra.fr

Travaux conduits dans le cadre du Programme National « Sol et Erosion », INSU-CNRS

Le mucilage est un gel essentiellement polysaccharidique produit et sécrété en grande quantité par les apex racinaires des graminées principalement (3-50 µg C/mg MS de racine). L'objectif de ce travail est d'examiner l'impact du mucilage de maïs sur la structure et l'activité de la microflore totale du sol.

Nous avons collecté du mucilage sur des racines adventives de plants de maïs prélevés au champ puis nous l'avons apporté quotidiennement pendant 15 jours à du sol nu tandis que de l'eau a été ajoutée au sol témoin. Nous avons étudié l'impact de ces traitements sur la microflore tellurique en caractérisant à la fois la microflore totale et la structure globale des communautés bactériennes. La microflore totale a été caractérisée en mesurant: le C et N total des microorganismes (fumigation-extraction), l'activité métabolique globale (respirométrie de ¹⁴C-glucose), l'activité enzymatique bêta-glucosidase liée au cycle du carbone.

En ce qui concerne les communautés bactériennes, nous avons déterminé leur taille (dénombrements de bactéries cultivables à stratégie r et K) ainsi que leurs structures phénotypique (plaques Biolog® GN2) et génétique (Ribosomal Intergenic Spacer Analysis [RISA]). Ainsi, nos travaux conduisent à mieux évaluer par une approche polyphasique l'impact de composés libérés par les racines sur l'écologie microbienne du sol rhizosphérique.

Mots-clés : Mucilage; Rhizodépôts; Rhizosphère; Maïs; Communautés Microbiennes; RISA; Biolog® GN2; -Glucosidase.

2P11

Recherche, sous deux niveaux de fertilisation azotée, des mécanismes impliqués dans la libération de carbone organique dans le sol par une plante herbacée fourragère (*Lolium multiflorum*)

F. Henry (1), C. Nguyen (1), E. Paterson (2), C. Robin (1)

(1) UMR INRA-INPL (ENSAIA) Agronomie et Environnement Nancy-Colmar, BP 172, F54505 Vandoeuvre Lès Nancy. frederic.henry@ensaia.inpl-nancy.fr

(2) Plant Soil Interactions group, The Macaulay Institute, Craigiebuckler, AB158QH, Aberdeen, UK.
Eric.Paterson@macaulay.ac.uk

La rhizodéposition correspond à la libération de carbone organique labile par les racines vivantes. La majorité des réactions impliquées dans le cycle de l'azote étant réalisées par la microflore hétérotrophe, il existe une forte interaction entre la rhizodéposition et la dynamique de l'azote dans le sol soumis à l'influence des racines vivantes (la rhizosphère). Cette interaction doit être considérée pour gérer au mieux la disponibilité en azote pour la plante tout en préservant l'environnement. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence les différents niveaux d'action de l'azote sur la libération de carbone par les racines d'une graminée fourragère prairiale, *Lolium multiflorum*.

Des plantes ont été cultivées en sol à deux niveaux d'azote contrastés pour prendre en compte les effets du sol et des microorganismes. Les cultures en sol ont été utilisées pour déterminer : la répartition des photoassimilats par traçage ¹⁴C, l'abondance et l'activité microbienne dans la rhizosphère, toutes deux corrélées à la rhizodéposition. Des plantes ont été également cultivées aux deux niveaux d'azote en solution nutritive axénique sur sable pour quantifier la rhizodéposition et analyser la morphologie racinaire.

Nos résultats permettent de comprendre pourquoi l'effet global de la fertilisation N sur la rhizodéposition n'est pas tranché. Nous avons observé que la disponibilité en azote favorisait la rhizodéposition en stimulant la croissance globale de la plante, sa photosynthèse, et en augmentant le degré de ramification des racines, multipliant d'autant le nombre d'apex qui sont les sites privilégiés de la rhizodéposition. En contre partie, l'azote défavorise la rhizodéposition en augmentant le rapport parties aériennes/parties racinaires et en réduisant l'allocation des assimilats vers les racines. Cependant, nous avons montré que la quantité d'assimilats exportés par les parties aériennes rapportée à la masse racinaire augmentait avec la disponibilité en N, ce qui pourrait entraîner une plus forte concentration intracellulaire en C soluble racinaire et donc une stimulation de la diffusion des solutés de la racines vers la solution du sol.

Mots clés : Azote ; Carbone ; Morphologie Racinaire ; Rhizodéposition ; Rhizosphère ; Traçage ¹⁴C.

2P12

Effets des essences forestières sur le fonctionnement organo-minéral d'un sol forestier : observation et modélisation. Etat de l'art, protocole, objectifs et perspectives**J. Jaffrain, F. Gérard, J. Ranger**

INRA, Centre de Recherches Forestières de Nancy, Equipe Cycles Biogéochimiques, 54280 Champenoux, France
jaffrain@nancy.inra.fr

Dans le domaine de la gestion sylvicole, la substitution d'essences est un acte fort ayant des conséquences sur tout l'écosystème forestier. Les conséquences sont d'ordre biogéochimiques (modification de la solution réactive du sol, de la stabilité des phases minérales, ...), agronomiques (les éléments échangeables et les solides représentent les réserves nutritives, les solutions de sol représentent les solutions nutritives des arbres) et environnementales (modification de la qualité des eaux drainées vers les nappes). Les substitutions affectent en effet le microclimat (d'un point de vue thermique, hydrique, ...), les apports atmosphériques (effet filtre du houppier), le prélèvement et l'immobilisation des éléments nutritifs, la qualité physique et biochimique des restitutions ainsi que la microflore et la microfaune associées. Les solutions de sol représentent la phase la plus à même de caractériser la dynamique actuelle des sols et d'intégrer rapidement les changements. Elles représentent l'interface entre la végétation, la microflore, les minéraux et la matière organique du sol. Leur composition dépend de divers processus liés à l'état énergétique de la solution du sol c'est à dire en fonction de leur potentiel matriciel Ψ en hPa. L'étude de la phase solide et des solutions de sol devrait ainsi révéler le changement de comportement du sol. Le site expérimental utilisé est le site de Breuil (Morvan) il s'agit d'un ensemble de placettes où diverses essences ont été substituées à la forêt native il y a plus de 25 ans afin d'en étudier les conséquences. De nombreuses données d'analyses étant disponibles sur ce site, les apports de la présente étude concernent l'intégration de l'ensemble des données sur le sol ainsi que sur les solutions qui leur sont associées. Des extractions de solutions fortement liées seront effectuées afin d'intégrer l'ensemble des solutions de sol en tant que « solutions réactives ». La spéciation des éléments majeurs de la phase liquide sera estimée au moyen de la modélisation (WHAM) et calibrée avec les mesures de spéciation effectuées sur certains éléments (AL, COD, ...). De ces informations seront déduits les mécanismes d'acquisition du chimisme de la « solution réactive ». La comparaison des résultats obtenus pour chaque placette permettra d'appréhender un éventuel effet de l'essence sur ces mécanismes. De plus, l'importance relative des mécanismes observés ainsi que leur paramétrisation in situ permettront d'appréhender une modélisation des pertes par drainage profond. Les enjeux d'une telle étude sont autant scientifiques (connaissance des processus à l'interface eau-sol-végétal) que socio-économiques (impact sur la capacité de production du sol, impact sur l'environnement)

Mots clés : *substitutions d'essences, interactions phases solides-solutions de sol , spéciation, modélisation.*

2P13

Changements de la composition chimique des aiguilles de *Pinus sylvestris* au cours de la décomposition dans un transect climatique européen de forêts de conifères.

Kevin B. McTiernan^a, Marie-Madeleine Coûteaux^{a*}, Björn Berg^b, Matty P. Berg^c, Rosa Calvo de Anta^d, Antonio Gallardo^e, Werner Kratz^f, Pietro Piussi^g, Jean Remacle^h, Amalia Virzo De Santoⁱ

^a CEFCE-CNRS, 1919 Route de Mende, F-34293 Montpellier Cedex 5, France

^b Lehrstuhl für Bodenökologie, BITÖK, Postfach 101251, Universität Bayreuth, DE-95 440 Bayreuth, Germany

^c Institute of Ecological Science, Departement of Animal Ecology, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands

^d Departamento de Edafología, Facultad de Biología, Universidad de Santiago, Santiago de Compostela, Spain

^e Departamento de Ecología y Biología Animal, Universidad de Vigo, 36200 Vigo, Spain

^f Environmental Protection Agency Brandenburg, Dept Ecology and Environmental Chemistry, Berliner Strasse 21-25, 14467 Postdam, Germany

^g Dipartimento di Scienze e Tecniche Ambientali Firestali, Università degli Studi di Firenze, Via San Bovaventura 13, I-50145 Firenze, Italy

^h Laboratoire d'Ecologie végétale et microbienne, Université de Liège, Boulevard du Rectorat, 27 – bât. B22, B-4000 Liège, Belgium

ⁱ Dipartimento Biologia Vegetale, Università di Napoli, Via Foria 223, I-80139 Napoli, Italy

L'objectif de ce travail est de suivre les changements de la composition chimique (lignine, cellulose, hémicelluloses, composés non-structuraux, azote et cendres) de la litière au cours de la décomposition. Une litière standard de Pin, provenant du Sud de la Suède, a été incubée dans des sacs de litière dans 15 sites sélectionnés de puis les Pays-Bas jusqu'au Sud de l'Espagne. Les changements de composition chimique de cette litière ont été déterminés par la Spectroscopie de Reflectance au Proche Infrarouge (Near Infrared Reflectance Spectroscopy - NIRS). L'hypothèse est que la litière standard (chimiquement uniforme) se décomposant sous différents climats présente une dynamique différente d'accumulation et de perte de fractions carbonées, d'azote et de cendres par rapport à la perte en poids. Il a été montré que pour une perte en poids donnée (10, 20, 30, 40, ou 50%), la proportion de lignine, de cellulose, d'hémicelluloses, de composés non-structuraux, de N et de cendres dans les aiguilles de pins en décomposition varie selon les sites. L'amplitude de variation de la concentration de lignine dans un résidu de litière à 50% de perte en poids est d'approximativement 26 à 43%, celle de la cellulose de 19 à 27%, celle des hémicelluloses de 7 à 11%, celle des composés non-structuraux de 19 à 25%, celle de N de 07 à 1.3% et celle des cendres de 1.4 à 10.1%. La concentration de la lignine présente la plus grande amplitude de variation. Les concentrations de lignine au cours de la décomposition sont positivement corrélées avec les facteurs climatiques liés à l'humidité. En effet des corrélations significatives ont été trouvées avec l'évapotranspiration actuelle et ont été améliorées dans des régressions multiples par la précipitation moyenne annuelle et le surplus en eau. La cellulose se dégrade plus dans les sites avec des précipitations élevées alors que la décomposition des hémicelluloses dépend de la température. Ceci conduit à la conclusion que la matière organique produite par la décomposition d'une litière standard dans l'amplitude de variation climatique du transect étudié tend à être plus récalcitrante sous des climats chauds et humides que sous des climats froids ou secs.

Mots-clés: *Transect climatique, forêt de conifères, décomposition, litière, N, Lignine, cellulose, hémicelluloses, composés non-structuraux, cendres, NIRS*

2P14

Influence des associations symbiotiques de *Medicago truncatula* sur la microflore rhizosphérique et les transferts de carbone vers la rhizosphère.

C. Mougél (1), A. Robin (1), A. Talon (2), E. Benizri (2), T. Corberand (1), P. Lemanceau (1), C. Robin (2).

(1) INRA - CMSE, UMR 'Microbiologie et Géochimie du Sol' - 17 rue de Sully. B.P. 86510 - 21065 Dijon Cedex. mougel@diijon.inra.fr.

(2) UMR INPL-INRA "Agronomie et Environnement" - ENSAIA "Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires" - BP 172 - 54505 Vandoeuvre lès nancy Cedex. Christophe.Robin@ensaia.inpl-nancy.fr. Site internet : <http://www.ensaia.inpl-nancy.fr/stpv/base.htm>

Le travail vise à mieux comprendre l'écologie fonctionnelle de la rhizosphère en utilisant comme système modèle *Medicago truncatula*. L'effet des associations symbiotiques (champignons endomycorhizogènes et *Rhizobia*) formées avec *M. truncatula* sur la microflore tellurique et sur les transferts de carbone *in planta* et dans la rhizosphère a été analysé. La stratégie suivie a consisté à comparer la structure/diversité des communautés microbiennes, des populations de *Pseudomonas* spp. fluorescents et à déterminer les transferts de carbone vers la rhizosphère de trois géotypes de *M. truncatula*. Ces géotypes ont été retenus pour leur aptitude à établir ou non des relations symbiotiques. Il s'agit de l'écotype sauvage Jemalong J5 (phénotype nod+/myc+), des mutants TRV48 (nod-/myc+) et TRV25 (nod-/myc-).

Les études d'écologie microbienne ont confirmé l'effet rhizosphère aussi bien dans le cas des approches directes (populations de *Pseudomonas* spp. fluorescents cultivables) que des approches indirectes (communautés microbiennes étudiées à partir des ADN extraits du sol et des tissus racinaires). Si la densité de *Pseudomonas* spp. fluorescents dans le sol rhizosphérique est équivalente quel que soit le géotype de la plante, elle est supérieure dans le cas de l'écotype sauvage pour le compartiment tissus racinaire. Les analyses de variance moléculaire n'ont pas permis d'identifier de populations préférentiellement associées à des phénotypes et/ou à des compartiments rhizosphériques particuliers. Les communautés bactériennes du sol nu ont une structure différente de celle des sols rhizosphériques des trois géotypes de plantes. La comparaison des sols rhizosphériques met en évidence une structure communautaire différente pour le double mutant (nod-/myc-) par rapport à l'écotype sauvage (nod+/myc+) et au simple mutant (nod-/myc+). En ce qui concerne le compartiment racine, l'écotype sauvage a une structure communautaire différente par rapport aux deux mutants qui s'explique principalement par la présence des *Rhizobia*. Les deux mutants présentent une structure communautaire identique.

Les études écophysiologiques ne montrent aucun effet du géotype sur la production de végétale. En revanche, les répartitions de biomasse et de carbone sont modifiées. Les racines de l'écotype sauvage sont moins développées que celles des mutants. La présence simultanée des 2 symbioses (type sauvage) s'accompagne d'une diminution de la proportion de C dans les feuilles tandis que la mycorhization s'accompagne d'une augmentation de l'allocation de C aux racines. La respiration rhizosphérique est plus élevée chez l'écotype sauvage que chez les mutants. Ces données sont discutées au niveau écologique et permettent de mieux comprendre l'influence des associations symbiotiques sur la croissance de la plante et le fonctionnement de sa rhizosphère. Des perspectives intégrant les approches d'écologie microbienne et d'écophysiologie sont présentées.

2P15

Influence du mucilage de maïs sur la structure et les activités de communautés microbiennes fonctionnelles telluriques d'intérêt agronomique

E. Mounier (2), J. Abadie (3), I. Gruet (1), F. Martin-Laurent (2), G. Souche (3), S. Piutti (1), D. Chèneby (2), H. Quiquampoix (3), S. Slezack-Deschaumes (1), C. Nguyen (1), C. Robin (1), B. Jaillard (3), E. Benizri (1), L. Philippot (2)

(1) Equipe Rhizosphère, UMR Agronomie et Environnement INPL-INRA (ENSAIA) Nancy Colmar, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France. Emile.Benizri@ensaia.inpl-nancy.fr

(2) UMR A111-INRA-CMSE. Laboratoire de Microbiologie des Sols. 17 rue Sully - B.P. 86510. 21065 Dijon Cedex. Laurent.Philippot@diijon.inra.fr

(3) Equipe Rhizosphère et Symbiose, UMR INRA-ENSAM Sol et Environnement, 2, Place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1. Jaillard@ensam.inra.fr

Travaux conduits dans le cadre du Programme National « Sol et Erosion », INSU-CNRS

Le mucilage est un gel essentiellement polysaccharidique produit et sécrété en grande quantité par les apex racinaires des graminées principalement (3-50 µg C/mg MS de racine). L'objectif de ce travail est d'examiner l'impact du mucilage de maïs sur les communautés fonctionnelles telluriques impliquées dans les processus de dénitrification, de biodégradation de l'atrazine et de minéralisation du phosphore organique. La dénitrification est un processus respiratoire microbien au cours duquel les oxydes d'azote solubles, nitrate ou nitrite sont réduits en gaz N₂O et N₂. L'atrazine, un herbicide de la famille des s-triazines utilisé essentiellement sur les cultures de maïs, est biodégradé par une communauté microbienne spécifique dont l'activité est promue dans la rhizosphère. La minéralisation du phosphore organique nécessite l'intervention de phosphatases extracellulaires pouvant provenir pour partie de la racine, mais qui sont surtout produites par les microorganismes de la rhizosphère.

Nous avons collecté du mucilage sur des racines adventives de plants de maïs prélevés au champ puis nous l'avons apporté quotidiennement pendant 15 jours à du sol nu tandis que de l'eau a été ajoutée au sol témoin. Nous avons étudié l'impact de ces traitements sur la densité et/ou la structure et/ou l'activité de ces communautés fonctionnelles spécifiques. Nous avons déterminé : (i) la structure de la communauté nitrate réductrice par analyse du polymorphisme du gène *narG*, (ii) la densité de la communauté nitrate réductrice par dénombrement et (iii) l'activité dénitrifiante potentielle par mesure de la production de N₂O par CPG, l'activité de dégradation de l'atrazine et l'activité phosphatase par l'hydrolyse du para-nitrophénylphosphate.

Ainsi, nos travaux conduisent à mieux évaluer par une approche polyphasique l'impact de composés libérés par les racines sur l'écologie des communautés fonctionnelles du sol rhizosphérique.

Mots-clés : Mucilage; Rhizodépôts; Rhizosphère; Maïs; Communautés Microbiennes; Dénitrification; Atrazine; Phosphore.

2P16

La rhizosphère, bioréacteur

C. Nguyen (1), G. Catroux (2), J. Abadie (3), E. Benizri (1), D. Chèneby (2), I. Gruet (1), B. Jaillard (3), F. Martin-Laurent (2), E. Mounier (2), L. Philippot (2), S. Piutti (1), H. Quiquampoix (3), C. Robin (1), S. Slezack-Deschaumes (1), G. Souche (3)

(1) Equipe Rhizosphère, UMR Agronomie et Environnement INPL-INRA (ENSAIA) Nancy Colmar, 2 avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France. Christophe.Nguyen@ensaia.inpl-nancy.fr

(2) UMR A111-INRA-CMSE. Laboratoire de Microbiologie des Sols. 17 rue Sully - B.P. 86510. 21065 Dijon Cedex. Laurent.Philippot@diijon.inra.fr

(3) Equipe Rhizosphère et Symbiose, UMR INRA-ENSAM Sol et Environnement. 2, Place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1. Jaillard@ensam.inra.fr

Travaux conduits dans le cadre du Programme National « Sol et Erosion », INSU-CNRS

Les racines libèrent dans le sol des quantités importantes de composés organiques (rhizodéposition) qui stimulent le développement microbien. Nous avons conceptualisé le volume de sol soumis à l'influence des racines - la rhizosphère - sous la forme d'un **bioréacteur**. Notre objectif est de comprendre le fonctionnement du bioréacteur rhizosphère afin de l'orienter vers une gestion durable de la biogéochimie des sols supportant un couvert végétal.

Nous étudions des biotransformations d'importance agri-environnementales telles que la dénitrification, la dégradation de l'atrazine, herbicide du maïs et l'hydrolyse du P organique. Nous avons montré que dans la rhizosphère, ces activités étaient quantitativement et/ou qualitativement modifiées par rapport au sol global. Nous nous attachons ensuite à comprendre l'impact des composés libérés par les racines sur le développement, la structuration et les activités des communautés microbiennes à l'échelle globale et à l'échelle de communautés fonctionnelles particulières impliquées dans les biotransformations citées précédemment.

Nos travaux devraient nous permettre d'appréhender les relations entre la plante (la rhizodéposition), la structure des communautés microbiennes rhizosphériques et les fonctions qu'elles assurent.

Mots-clés : *Atrazine; Bioréacteur; Communautés microbiennes; Dénitrification; Maïs; Mucilage; Phosphore; Rhizosphère.*

2P17

Origine de l'acidité de ruisseaux Vosgiens.

Nicolas Angéli (1), Nadia Ignatova (1, 2), Théodora Nedeltcheva(1, 3), Jean Pierre Boudot (4), Daniel Viville(5) , Etienne Dambrine (1)

1. Unité BEF, INRA-nancy, 54280 Champenoux
 2. Université de Sylviculture, K. Ochridsky 10, 1756, Sofia, Bulgarie
 3. Académie des Sciences, laboratoire d'Ecologie, Gagarine 2, 1300, Sofia, Bulgarie
 4. LIMOS, CNRS-UHP, 54506 Vandoeuvre les Nancy
 5. CGS-CNRS, 1 rue de Blessig, 67044 Strasbourg
- Angeli@nancy.inra.fr

De nombreux ruisseaux issus des grès vosgiens et des granites leucocrates des Vosges sont acides, soit de manière permanente, soit temporairement, au cours des crues. La distribution spatiale de cette acidité, le rôle des dépôts acides atmosphériques et les conséquences sur la biologie des ruisseaux ont été largement étudiés. Par contre, les contributions de la sylviculture et celle des variations de débit sur l'acidité des eaux ont été moins considérées. Ici, nous présentons l'analyse hydrochimique d'une crue hivernale dans deux ruisseaux sur grès vosgien, en l'intégrant dans le contexte plus large du rôle de l'homme sur l'acidité des ruisseaux des Vosges.

En crue, par rapport au niveau de base, tous les éléments chimiques sont dilués, mis à part le carbone organique, l'acidité, l'aluminium et le fer dissous, ainsi que la charge particulaire, dont les concentrations augmentent. L'hydrogramme peut être décomposé en deux composantes, écoulements profond et superficiel, en utilisant la silice et le COD. L'acidité des précipitations (pluies et neige) est faible au cours de cet épisode. Les écoulements de surface sont plus acides que les précipitations et surtout relativement riches en Al. L'acidification des ruisseaux en crue apparaît comme la conséquence d'une contribution accrue des écoulements superficiels. Une partie importante des écoulements sur la surface des sols, partiellement gelés, est collectée et conduite au ruisseau par les pistes d'exploitation forestières. Ces pistes apparaissent donc comme un vecteur d'acidification des eaux de ruisseaux en crue.

L'un de ces bassins versant sera chaulé au printemps 2003. Cette analyse suggère une réaction rapide de l'acidité des eaux de surface en crue, et, par contre une modification beaucoup plus lente de l'acidité des eaux en étiage. Dans le contexte plus large de la baisse continue des apports acides atmosphériques, le rôle de la sylviculture sur l'acidité des sols et des eaux est souligné.

Mots clefs: *bassin versant ; acidification ; sylviculture; crue; hydrochimie*

2P18

Etude rétrospective du dépérissement de l'épicéa dans les Vosges à l'aide des isotopes du strontium et d'un modèle simple de cycle biogéochimique**B. Ferry (1), A. Poszwa (2), E. Dambrine (2)**

(1) Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois - UMR INRA-ENGREF 1092 - 14 rue Girardet - 54042 Nancy CEDEX. ferry@engref.fr

(2) INRA Nancy. Cycles Biogéochimiques. Forêt d'Amance. 54280 Champenoux poszwa@nancy.inra.fr, dambrine@nancy.inra.fr

Dans une large gamme de situations écologiques, le cycle biogéochimique du calcium est très similaire à celui du strontium, et les isotopes naturels du strontium peuvent en être un bon traceur, pourvu que la composition isotopique des produits d'altération des minéraux du sol soit clairement distincte de celle des apports atmosphériques. Dans ce cas, il s'établit dans le sol un gradient vertical du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, et la mesure de ce même rapport isotopique dans les organes d'un végétal poussant sur ce sol permet d'évaluer sa profondeur moyenne de prélèvement du strontium – donc du calcium, approximativement.

De telles mesures ont été effectuées dans une pessière des Vosges présentant des signes de dépérissement. Les cernes de 5 gros épicéas ont été analysés, entre 1953 et 1994, faisant apparaître une décroissance avec le temps du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, plus ou moins marquée selon les arbres, mais parfois importante. Cette évolution est attribuée à l'acidification du sol, et peut s'expliquer a priori par deux mécanismes très différents : (i) une lixiviation du strontium du sol, qui modifie la signature isotopique des horizons, (ii) une diminution de la profondeur moyenne de prélèvement du strontium par les racines des arbres, en raison de la toxicité aluminique accrue des horizons profonds.

Pour préciser l'importance relative de ces deux mécanismes, nous utilisons un modèle simple du cycle du strontium, à flux et compartiments. Le paramétrage du modèle est calé à partir de mesures faites sur le strontium de l'écosystème (flux et signature isotopique des apports atmosphériques, immobilisation et retombées annuelles de la végétation, stocks et signatures isotopiques dans 4 horizons du sol et la végétation), et en admettant une hypothèse simplificatrice quant à la forme générale des profils de prélèvement racinaire (décroissance exponentielle avec la profondeur).

La simulation par ce modèle de divers scénarios d'évolution de l'écosystème entre 1950 et aujourd'hui montre que la forte décroissance de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ observée dans les cernes de certains arbres ne peut s'expliquer que par une remontée de la profondeur moyenne du prélèvement racinaire combinée à une augmentation du taux de drainage du strontium. Cette remontée du système racinaire est parallèlement suggérée par l'évolution du $\delta^{13}\text{C}$ dans les cernes au cours de la même période.

.

Mots clefs: *Strontium ; isotopes stables ; modèle de cycle biogéochimique ; acidification ; dépérissement ; épicéa ; Vosges*

2P19

Relations entre biodiversité et fonctionnement biogéochimique des écosystèmes forestiers : exemple de la substitution de diverses essences forestières à la forêt feuillue native sur le site expérimental de Breuil-Chenue - Morvan.

J. Ranger et F. Andreux, coordonnateurs des projets Biodiversité du GIP-Ecofor et ACI Ecologie quantitative.

INRA-Nancy Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, 54280 Champenoux
ranger@nancy.inra.fr

UMR A111 Université de Dijon Géosol, INRA Microbiologie Dijon, 2 Boulevard Gabriel 21000
Dijon fandreux@u-bourgogne.fr

Participants coauteurs :

CNRS LIMOS Nancy (J. Berthelin, J.P. Boudot, J. Moukoudi, C. Munier-Lamy)

INRA BEF Nancy (S. Bienaimé, P. Bonnaud, F. Gérard, J. Jaffrain, D. Gelhaye, L. Gelhaye, G. Nourrisson, J. Moukoudi, B. Pollier, M.P. Turpault, B. Zeller)

INRA IAM Nancy (F. LeTacon) et Association mycologique vosgienne (J.-P. Maurice)

INRA Sciences du sol Versailles (F. Elsass)

UCL Science du Sol Louvain la Neuve (B. Delvaux)

Université de Poitiers, HYDRASA (L. Caner, D. Righi)

UMR Microbiologie et Géochimie des Sols A111 Dijon (P. Amiotte-Suchet, M.-J. Milloux, M. Simonsson, Équipe GéoSol ; R. Chaussod, D. Lejon, L. Ranjard, Équipe "Qualité des Sols")

L'objectif de ce projet est de mettre en relation les modifications des communautés biologiques et de leurs fonctions, induites par la substitution d'essence, avec celles du cycle biogéochimique de l'écosystème forestier. Ce projet vise, par une approche pluridisciplinaire, à apporter les connaissances de base dans le domaine de l'écologie quantitative, utilisables pour la gestion durable des écosystèmes forestiers. Le support de cette étude est le site atelier expérimental situé en forêt de Breuil-Chenue, dans le Morvan. La forêt feuillue native y a été remplacée en 1976 par diverses essences feuillues (*Quercus patraea*, *Fagus sylvatica*) et résineuses (*Picea excelsa*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus laricio*, *Abies nordmaniana*), communément utilisées dans les reboisements. Un traitement d'amendement et de fertilisation *a priori* des résineux a été réalisé pour pallier l'acidification des sols (Bonneau et al., 1977). En 2000, ce site a été instrumenté pour mesurer en continu i) les stocks d'éléments majeurs dans les compartiments, ii) les flux entrant, transférés entre les compartiments, et les flux sortant de l'écosystème (apports atmosphériques, prélèvements par la végétation, restitutions par les litières, transferts en solutions) et iii) les paramètres du méso- et du pédoclimat (pluviométrie, température, humidité du sol). Le suivi est journalier pour les paramètres climatiques, et mensuel pour les solutions, pour une approche globale à l'échelle du peuplement forestier. Des approches plus fines la complètent au niveau des horizons de sols et de la rhizosphère (ACI Ecologie Quantitative coordonnée par M.P. Turpault). Les recherches portent sur :

La biologie : i) l'incorporation de carbone, les prélèvements au sol d'éléments nutritifs et les restitutions des peuplements forestiers ont été quantifiés, ii) les communautés de champignons saprophytes et mycorhiziens sont identifiées et leur fonctions sont précisées par l'approche isotopique (¹⁵N et ¹³C) (Le Tacon et al., 2002), iii) la biomasse microbienne est quantifiée par la méthode de

fumigation-extraction, et la structure et la fonctionnalité des populations a été étudiée, en particulier pour les organismes nitrifiants et ammonifiants par une approche biomoléculaire (Lejon et al., 2002).

Les sols solides et les solutions : i) les stocks de carbone et d'éléments et leur biodisponibilité sont étudiés à partir d'extractions sélectives et d'études minéralogiques, ii) les solutions font l'objet d'un suivi systématique pour le carbone dissous, les éléments majeurs, et la spéciation de C, S, N et Al, iii) la biodégradation de matière organique est étudiée par la méthode des sachets de litière utilisant le matériel végétal local ou des substrats modèles, ainsi que des litières enrichies par ^{15}N dans le cas du hêtre, iv) la modélisation biogéochimique est utilisée pour caractériser les équilibres actuels entre solide et solutés.

Seul un suivi pluriannuel du site permettra d'obtenir des conclusions définitives. Cependant, les premières observations, après un an de mesures, indiquent que la substitution d'essence produit des modifications notables du fonctionnement biologique et biogéochimique de l'écosystème comme le suggèrent les différentes vitesses de développement, les cycles du carbone et de l'azote discriminant, après 25 ans et probablement avant, le comportement des essences.

2P20

Effet des essences forestières sur les propriétés du sol rhizosphérique.

M.-P. Turpault (1), G. Nourrisson (1), J.-P. Renaud (2), V. Ndira (1) et L. Ludovic (1).

(1) Biogéochimie des écosystèmes forestiers, INRA, 54280 Champenoux. turpault@nancy.inra.fr

(2) DSF, INRA, 54280 Champenoux

L'impact des essences forestières sur les propriétés physico-chimiques des sols rhizosphérique (R) et global (G) a été déterminé dans la plantation expérimentale de Breuil (Morvan, France) mis en place en 1976 sur un sol homogène de type alocrisol (cf Ranger *et al.*, JEF2003).

Quatre essences communes en France ont été échantillonnées: le hêtre (*Fagus silvatica*), le chêne sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., le Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) et l'épicéa commun (*Picea abies* Karsten.). De plus, l'effet d'un traitement d'amendement et de fertilisation sur les résineux a été déterminé et le taillis sous futaie constituant la forêt native a été échantillonné.

Les caractéristiques physico-chimiques (pHeau, capacité d'échange cationique, cations échangeables, carbone, azote) des sols R et G ont été déterminées sur 3 couches prélevées dans au moins 18 fosses par traitement. Ces caractéristiques ont été statistiquement comparées à l'échelle de la placette forestière. Les quantités de sol R prélevées sont proportionnelles à la quantité de racines et représente le même volume autour de la racine. Les sols R peuvent donc être comparés.

Les sols G sous Douglas sont légèrement plus acides et ont une capacité d'échange cationique plus forte. Ils sont plus riches en carbone, azote, calcium et magnésium. Le peuplement de Douglas séquestre plus rapidement le carbone, à la fois dans le sol et dans sa biomasse. Ceci correspond à une croissance plus rapide du Douglas par rapport aux autres essences.

Quelle que soit l'essence, les sols rhizosphériques sont plus riches que les sols globaux. Ils ont une capacité d'échange cationique plus élevée, des teneurs en carbone, azote, éléments échangeables (alcalins et alcalino-terreux) et de protons plus forts que les sols G. L'acidité d'échange, l'aluminium titré et la charge de l'aluminium diminuent dans la rhizosphère.

L'épicéa se distingue des autres espèces car son pH rhizosphérique est plus bas que celui du sol global. Ceci peut expliquer par le fait que l'azote produite sous l'épicéa essentiellement sous forme ammonium dans G et R (Colin-Belgrand *et al.*, 2003).

Mots clefs: rhizosphère, essence forestière, sol

2P21

Dynamique saisonnière des propriétés physico-chimiques et minéralogiques du sol rhizosphérique et global dans un écosystème forestier acide.

M.-P. Turpault (1), C. Uterano (1), P. Bonnaud (1), G. Gobran (2), D. Righi (3) et J.-H. Jussy (1)

(1) Biogéochimie des écosystèmes forestiers, INRA, 54280 Champenoux. turpault@nancy.inra.fr

(2) Dept. of Ecology and Environ. Research, The Swedish Univ. of Agric. Sciences, PO Box 7072 S-7507 Uppsala Suède

(3) UMR-CNRS 6532 "HydrASA", Faculté des Sciences, Univ. de Poitiers 86022 Poitiers

La rhizosphère peut subir une évolution spacio-temporelle en fonction de la croissance et de l'activité des racines. Dans cette étude, la dynamique saisonnière des propriétés physico-chimiques (capacité d'échange cationique (CEC), les cations échangeables, le pH_{eau} et le taux de carbone) et minéralogiques des argiles du sol a été testée. Pour cela, un échantillonnage systématique de 30 fosses a été réalisé sur trois niveaux en mars et en juin sous une plantation de Douglas âgée de 45 ans dans les Monts du Beaujolais. Le sol se détachant spontanément après séchage à 30°C des racines inférieures à 2 mm est appelé R et le sol plus fortement accolé, prélevé par brossage léger est appelé RI. Le sol global (B) sans racine est également prélevé. La localisation, l'humidité des sols et les quantités de sol R prélevés (0.30, 0.18 et 0.05% du sol total) lors des deux prélèvements sont identiques. Le test de Student-Fischer a permis de confirmer statistiquement des différences entre les types de sols (B, R et RI) et entre les saisons (traitement apparié). Généralement, les éléments analysés montrent des différences significatives entre la rhizosphère et le sol global pour les couches 2 et 3 et parfois pour la couche 1. Dans la rhizosphère, pH, C, CEC, taux de saturation, K/CEC et Mn augmentent alors que Mg et Ca diminuent dans R. En général, les augmentations sont plus fortes dans RI que dans R. L'acidité d'échange décroît dans la rhizosphère. L'effet saison se traduit principalement par des augmentations : i) de Fe et Mn dans toutes les sols, de Al/CEC dans le sol B; ii) de la CEC et de H⁺/CEC dans la couche 1 du sol B et iii) de CEC, taux de saturation, K/CEC, H⁺/CEC dans R.

Sur la minéralogie, entre mars et juin, l'effet saison se caractérise par une augmentation de l'aluminium extrait par le tricitrate de sodium et des hydroxydes interfoliaires dans les phyllosilicates, cependant moins stables. Une rétrogradation de la vermiculite est également observée. Dans la rhizosphère, en mars il y a moins d'hydroxydes d'aluminium par rapport au sol global alors qu'en juin ils y sont plus nombreux dans le RI et peu stables. La décomposition des diffractogrammes de RX acquis à partir des fractions très fines (<0.1 µm), fractions très réactives, montrent que les interstratifiés illite-vermiculite sont plus riches en illite dans la rhizosphère.

Les données chimiques et minéralogiques confirment l'enrichissement en K dans la rhizosphère. La rhizosphère apparaît comme une zone tampon vis à vis des éléments nutritifs (K). Dans ce site, l'azote est principalement produite sous forme nitrate (Jussy *et al.*, 2000), mais la forme sous laquelle il est prélevé évolue au cours de l'année. Le pH rhizosphérique dépendant de celle-ci est généralement plus alcalin que celui du sol global, mais ceci peu ponctuellement s'inverser (prélèvement de 1999). La rhizosphère, zone très réactive, se caractérise par une capacité d'évolution temporelle forte (saisonnière et interannuelle).

Mots clefs: rhizosphère, sol, dynamique, chimie, minéralogie

2P22

Transfert sol-plante du radiocésium en écosystèmes forestiers faiblement contaminés : résultats préliminaires**S. Lamarque, E. Lucot, P-M Badot**

Laboratoire de Biologie et Ecophysiologie, Université de Franche-Comté, EA 3184MRT, UC INRA, Pl. Leclerc 25000 BESANCON. sophie.lamarque@univ-fcomte.fr

Cette étude a pour objectif d'analyser et de modéliser le transfert sol-plante du radiocésium et son éventuelle bioaccumulation dans les écosystèmes forestiers faiblement contaminés. Depuis les années 1950, de nombreuses activités anthropiques nucléaires (civiles et militaires) tendent à augmenter les teneurs en césium radioactif (^{137}Cs) dans l'environnement à la fois au niveau de l'atmosphère mais surtout au niveau des sols (réservoir le plus important du césium 137, Strebl et *al.* 1999). De plus, les propriétés physico-chimiques des sols, sources d'exposition principale pour les plantes, modulent la forme et la distribution du césium dans les différents compartiments du sol le long du profil, déterminant ainsi la biodisponibilité du radioélément. C'est dans ce contexte qu'une stratégie d'échantillonnage a été mise en place pour sélectionner une douzaine de sites sur lesquels, le sol (campagne 2001) puis la végétation (campagne 2002) ont été prélevés puis dosés en césium total par spectrométrie gamma. Il n'existe aucune relation directe entre la contamination du sol en césium total et la contamination en césium de la végétation. De plus, les résultats montrent l'existence d'un transfert sol-plante dont l'importance varie en fonction des caractéristiques du sol, de l'espèce et de l'organe considéré dans le végétal.

Mots clés : radiocésium ; sol ; transfert ; écosystèmes forestiers ; *Picea abies* ; *Fagus sylvatica*

2P23

Détermination du statut trophique d'une rivière à biomasse fixée dominante : exemple de la Garonne.

C. Othoniel (1), H. Beuffe (1), M. Torre (1), R. De Wit (2), M. Coste (1), F. Delmas (1)

(1) Cemagref Bordeaux, U.R. Qualité des Eaux, 50 avenue de Verdun - 33612 Cestas cedex.

(2) Laboratoire d'Océanographie Biologique, UMR CNRS 5805, 2 rue Professeur Jolyet - 33120 Arcachon.

clara.othoniel@bordeaux.cemagref.fr

En rivières à régime rapide et à temps de résidence courts, le développement de la biomasse planctonique n'est pas représentatif du niveau trophique de l'eau. La majorité de la population algale et bactérienne est fixée à l'état de biofilm (périphyton). Ainsi, le dosage classique des teneurs en chlorophylle *a* de la colonne d'eau est inadapté à la détermination du statut trophique de la rivière. Pour ces cours d'eau dits à biomasse fixée dominante, il n'a pas encore été proposé de méthodes spécifiques de caractérisation du niveau trophique. Cette présentation fait état des premiers résultats obtenus dans le cadre de la thèse engagée à cet effet dans le programme Ecobag, axe niveau trophique.

Le but de ce travail est d'identifier des descripteurs du biofilm permettant de discriminer des stations soumises à des flux trophiques distincts. Cette étude porte sur la rivière Garonne au niveau de deux stations encadrant l'importante agglomération Toulousaine. De précédents travaux ayant montré qu'il n'était pas possible de discriminer les niveaux trophiques par la quantité de biofilm établie à l'équilibre par unité de surface de substrat, nous nous sommes intéressés au paramètre vitesse de colonisation du biofilm. Pour cela, nous avons réalisé des essais de simulation de rejet en canaux expérimentaux, sous conditions contrôlées d'éclairement, de température et de débit en utilisant des concentrations croissantes en phosphates. Nous avons également testé le paramètre critère de taille des cellules bactériennes qui, dans le cas du fleuve Charente (rivière lente), a montré une relation entre les biovolumes des bactéries de la colonne d'eau et la teneur en nutriments du milieu. Enfin, nous pensons que l'observation du groupe des Diatomées pourrait nous apporter des éléments de distinction de niveaux trophiques.

Mots clefs : *niveau trophique ; biofilm ; algues ; bactéries ; chlorophylle ; biovolumes bactériens ; système d'eau courante*

Posters de la Session 3.

DIVERSITÉ ET DYNAMIQUE DES ECOSYSTÈMES

3P1

Assimilation par la faune de l'azote de litières de hêtres dans deux sites à formes d'humus contrastées

L. Caner (1), B. Zeller (1), E. Dambrine (1), J.-F. Ponge (2)

(1) INRA Centre de Nancy, Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers, 54280 Seichamps (France)
dambrine@nancy.inra.fr

(2) Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS UMR 8571, 91800 Brunoy (France)

Nous avons recherché les sources de l'azote assimilé par la faune vivant dans les litières de deux hêtraies, sur le site de Leinefelde (Allemagne) présentant un humus de type mull, et de Sorø (Danemark) présentant un humus de type moder. De la litière de hêtre enrichie en ^{15}N a été déposée à l'automne 2000 dans quatre peuplements d'âges croissants du site de Leinefelde, et sur une placette pour le site de Sorø. Le devenir du traceur a été mesuré à l'automne 2001 dans la litière, le sol et au sein de la faune du sol. Pour chaque taxon, nous avons estimé la proportion d'azote de l'animal provenant du substrat enrichi. La litière a perdu entre 20 et 41% de son contenu initial d'azote après 9 mois pour le site de Leinefelde, et seulement 10 % pour le site de Sorø. Cette perte a été contrebalancée par l'incorporation de 24 à 31% d'azote externe provenant en partie de la colonisation fongique de la litière à Leinefelde, et seulement 10% pour le site de Sorø. La proportion d'azote ^{15}N assimilée par les différents animaux varie en fonction de leur mobilité et de leurs préférences alimentaires. Les détritivores ont assimilé au maximum 15 % de leur azote de la litière enrichie à Leinefelde et 11% à Sorø. Les grands prédateurs (Araignées, Chilopodes), présentent de faibles proportions d'azote provenant de la litière enrichie du fait de leur forte taille et de leur mobilité qui leur permet de se nourrir hors des sites de dépôt de la litière enrichie. Les microprédateurs (Gamasides, Pseudoscorpions) présentent des proportions d'azote provenant de la litière proches de celles des détritivores. Nous avons également mesuré la proportion d'azote ^{15}N assimilée par les champignons colonisant la litière. A Leinefelde, 15 % de l'azote des filaments mycéliens récoltés sur les feuilles provient de la litière enrichie, à Sorø, 9,3 % de l'azote des champignons provient de la litière enrichie. Les taxons qui ont assimilé le plus d'azote ^{15}N à Leinefelde sont de petits animaux mycophages et coprophages, principalement des collembolles isotomides (*Isotomiella*, *Folsomia*). Les proportions de ^{15}N assimilés par ces animaux sont proches de celles obtenues pour les champignons colonisant la litière. Pour le site de Sorø, les animaux les plus marqués sont de petits saprophages comme les Enchytréides, les Glomeris et les Oribates phytacarides qui consomment de la litière fraîche et décomposée. Ces résultats suggèrent que la mésofaune détritivore a assimilé l'azote de sources différentes et dans des proportions différentes dans les deux types d'humus. Les détritivores de l'humus de type mull (Leinefelde) ont assimilé leur azote préférentiellement à partir des microorganismes colonisant la litière (champignons, bactéries), alors que les détritivores du site de Sorø (moder) semblent avoir assimilé leur azote plus directement à partir de la litière.

Mots clefs: traçage ^{15}N ; litière ; faune du sol ; détritivores, prédateurs

3P2

Chemical and biological properties of organic matter in the structures produced by physical ecosystem engineers in a tropical savanna soil.

M. Hedde (1), R. Joffre (2), P. Lavelle (3), J.J. Jiménez, T. Decaëns (1)

(1) Laboratoire d'Ecologie, UFR Sciences, Université de Rouen, 76821 Mont Saint Aignan Cedex, France.

(2) Centre National de Recherche Scientifique, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, 1919 route de Mende, F-34293 Montpellier Cedex 5, France.

(3) Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, Centre IRD, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy, France.

mickael.hedde@univ-rouen.fr

Les invertébrés ingénieurs du sol (e.g. fourmis, termites, vers de terre) sont définis par la production de bio-structures dont les propriétés physico-chimiques varient selon l'espèce et diffèrent significativement du sol alentour. Le but de cette étude était de caractériser les propriétés chimiques et physiques de la matière organique contenue dans les agrégats produits par quinze espèces d'ingénieurs écologiques à la surface d'un sol de savane, avec l'objectif de réaliser une typologie de ces structures. La méthodologie consiste en une combinaison (analyse de co-inertie multiple) de la Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS), de respirométrie et d'analyses physico-chimiques classiques des sols. La NIRS met en évidence un spectre chimique de la matière organique spécifique à chaque espèce d'invertébrés. Les résultats présentés illustrent l'effet de régulation des organismes ingénieurs sur le fonctionnement du sol par la production de bio-structures. Ils ouvrent de nouvelles perspectives quant à l'étude micromorphologique de la structure du sol, en démontrant la possibilité d'identifier par la NIRS l'« empreinte » de chaque espèce d'invertébrés ingénieurs sur la composition chimique de la matière organique. Cela permettrait de connaître l'origine biologique de chaque agrégat du sol.

Mots-clefs: *ingénieurs de l'écosystème, savane, vers de terre, fourmis, termites, carbone, Near Infrared Reflectance Spectroscopy, matière organique*

3P3

Variations spatio-temporelles de l'herbivorie par les Orthoptères : influence de la perturbation, de la ressource primaire et du micro-climat.

E. Corcket, F. Pompanon, S. Manel, A. Hubert

Laboratoire d'Ecologie Alpine, UMR CNRS 5553, Université Joseph Fourier, 38041 Grenoble cedex 9.
emmanuel.corcket@ujf-grenoble.fr.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les variations d'herbivorie par les Orthoptères sur *Bromus erectus* et *Brachypodium pinnatum*, deux graminées dominantes des pelouses « calcicoles », en fonction de la ressource primaire (quantité et qualité), du microclimat et de la perturbation par la fauche de parcelles connexes.

L'intensité d'herbivorie et la densité d'Orthoptères ont été mesurées dans neuf placettes réparties autour d'une parcelle fauchée. Trois séries de mesures ont été réalisées lors de l'été 2002, avant la fauche puis 10 et 30 jours après la fauche. Des paramètres micro-climatiques (température de l'air, humidité de l'air et du sol) et de végétation (densités de végétation, teneur en carbone et azote des espèces cibles) ont également été quantifiés.

L'intensité d'herbivorie est plus forte dans les zones à forte densité de végétation, présentant aussi une plus forte densité d'Orthoptères. Les deux espèces cibles (*Bromus erectus* et *Brachypodium pinnatum*) subissent une pression d'herbivorie différente l'une par rapport à l'autre en fonction de la placette considérée : les individus de l'espèce qui domine la placette tendent à être moins broutés. Les dommages subis par chaque espèce sont corrélés à la densité de la végétation mais ne sont corrélés ni au microclimat, ni à la teneur en carbone et azote. Dix jours après la perturbation, l'herbivorie augmente uniquement dans les placettes connexes qui présentent la densité de végétation la plus élevée. Un mois après la perturbation, le niveau d'herbivorie redescend dans ces lots les plus denses.

Ainsi, la perturbation par la fauche est à l'origine de mouvements d'Orthoptères et a des conséquences déterminantes sur l'intensité d'herbivorie dans les parcelles connexes non perturbées. Nos résultats suggèrent que c'est la densité de ressource primaire qui oriente le déplacement des herbivores. Les choix d'herbivorie sont dépendants de la densité des espèces dans le tapis végétal, les plus rares étant relativement les plus broutés.

Mots clefs: herbivorie ; milieu herbacé ; Orthoptère ; perturbation

3P4

Stabilité à long terme d'une communauté végétale et compétition entre espèces pour l'accès aux partenaires mutualistes: le cas des relations plantes-pollinisateurs.**C. Fontaine, I. Dajoz**

Laboratoire d'Ecologie, UMR CNRS 7625, Ecole Normale Supérieure 46 rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05 ; Equipe "Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes".
tel: 01 44 32 37 78
colin.fontaine@ens.fr

Le but du projet est d'étudier comment les relations de mutualisme entre organismes appartenant à différents niveaux trophiques peuvent affecter la stabilité et la biodiversité d'une communauté ou d'un écosystème.

De nombreuses espèces d'Arthropodes et de Vertébrés jouent un rôle fondamental dans le déroulement du cycle de vie des plantes supérieures; réciproquement, la survie de cette faune dépend de la diversité et de la stabilité des groupements végétaux. Ainsi, chez beaucoup d'espèces de plantes, la reproduction s'effectue grâce à des relations mutualistes avec des animaux pollinisateurs. Classiquement, on considère qu'il existe des mutualismes très étroits entre chaque taxon d'Angiosperme et un (voire quelques) taxa de pollinisateurs: certains auteurs suggèrent que même si une plante est visitée par plusieurs pollinisateurs, seuls quelques uns de ces pollinisateurs jouent un rôle important dans le succès reproducteur de cette plante. Mais d'autres travaux suggèrent qu'une plante peut être visitée avec succès par de nombreuses espèces de pollinisateurs; cette situation serait alors le cas le plus fréquent et non pas une exception.

Dans l'ensemble, cette controverse montre qu'on ne connaît pas l'effet des variations de la diversité de la faune pollinisatrice sur la stabilité à long terme des communautés végétales.

Une approche expérimentale a été mise en place (été 2001), afin de manipuler la diversité de la faune pollinisatrice butinant des réplicats d'une communauté végétale expérimentale, qui comprenait plusieurs espèces végétales. Les résultats obtenus ont montré que:

le succès reproducteur des différentes espèces de plantes, mais aussi la qualité/quantité des flux de gènes réalisés au sein de chaque espèce de plante variait significativement suivant la diversité de la faune pollinisatrice.

le comportement de butinage des taxons d'insectes utilisés variait significativement entre les différents assemblages expérimentaux de pollinisateurs.

3P5

Variations de traits fonctionnels végétaux le long d'un gradient de fertilité - cas des pelouses subalpines du Beaufortain**S. Gaucherand**

U.R. Agricultures et milieux montagnards, Cemagref de Grenoble, 2 rue de la papeterie, BP 76, 38402 Saint Martin d'Hères Cedex.

stephanie.gaucherand@grenoble.cemagref.fr

Le mode d'exploitation des alpages en montagne s'est profondément modifié en un demi-siècle, avec des conséquences importantes sur la végétation des alpages (composition floristique, apparition de ligneux) et leur productivité. Une typologie agro-écologique des pelouses des Alpes du Nord externes a été établie, permettant de décrire l'évolution des pelouses d'un type à l'autre en fonction des pratiques agricoles et des conditions environnementales.

Dans la continuité de ces travaux, mon objectif est de comprendre les mécanismes présidant à l'évolution de ces pelouses en réponse aux changements de pratiques. J'ai choisi pour cela une approche par les traits fonctionnels végétaux examinant deux catégories de traits : ceux associés à la réponse des plantes à un facteur du milieu (fertilité, pâturage) et ceux déterminant l'effet des plantes sur une fonction de l'écosystème (productivité, qualité chimique déterminant celle du lait). Je teste l'hypothèse que si une partie des traits impliqués dans la réponse des plantes aux conditions de milieu et aux pratiques agricoles a un effet connu sur le fonctionnement des écosystèmes, on pourrait en déduire l'effet des changements de pratiques sur ce fonctionnement. J'ai choisi les pelouses subalpines du Beaufortain comme modèle d'étude pour la tester.

Une première étape consiste à étudier les variations de traits végétaux (mesurés localement) le long d'un gradient de fertilité. Ce gradient va des pelouses bien fertilisées aux landes et a été quantifié à l'aide du modèle de dilution minérale déjà validé sur les pelouses d'altitude. La liste des espèces retenues comprend les espèces caractéristiques des différents niveaux de fertilité, des espèces ubiquistes et des espèces susceptibles de présenter un intérêt particulier pour la qualité du lait (riches en terpènes ou de par leur réputation). Le choix des traits mesurés repose sur un compromis entre la fiabilité de la relation entre le trait et la réponse ou l'effet étudié, la facilité des mesures et le nombre d'espèces à étudier. Une campagne de mesures conduite en 2002 sur 4 sites répartis le long du gradient m'a permis de mesurer une série de traits structuraux classiques (liste de Weiher et al. 1999). Je présenterai mon expérience sur la construction du protocole et les difficultés rencontrées lors de sa mise en place, ainsi que les premiers résultats d'une analyse de co-inertie reliant les variations de traits au gradient de fertilité.

Mots clefs : alpages ; gradient de fertilité ; traits fonctionnels

3P6

Emergence de structures spatiales de la végétation alpine : effet du pâturage.***F. Isselin & A. Bédécarrats***

CEMAGREF, Unité Ecosystèmes et Paysages Montagnards, 2 rue de la Papeterie, Campus Universitaire Grenoble 1, 38402 Saint Martin d'Hères Cedex.
francis.isselin@cemagref.fr , alain.bédécarrats@cemagref.fr

L'organisation spatiale d'un assemblage d'espèces résulte d'une adéquation entre les variables environnementales et les capacités intrinsèques des espèces, ainsi que des interactions entre les individus. L'hypothèse principale de cette étude est que la structure de la végétation est issue des interrelations entre les contraintes du pâturage et les traits fonctionnels des plantes (traits de réponse). Ces derniers caractérisent les stratégies d'installation, de propagation et de maintien de l'individu au sein de l'assemblage. L'étude qui s'est déroulée sur le domaine skiable de la Plagne en Savoie durant l'été 2002, a permis de réaliser pour chacune des 51 communautés herbacées, naturelles ou fortement perturbées par les activités humaines : (1) une quantification des structures spatiales, tels que des agrégats mono spécifiques, le long de transects linéaires, et ceci en fonction d'un gradient de pâturage ; (2) afin d'explorer par la suite les mécanismes en cause dans la répartition des espèces à l'échelle individuelle.

Les premiers résultats montrent la prépondérance des stratégies de propagation et d'évitement en relation avec la perturbation et l'herbivorie. Ainsi, la sélection ou la contre-sélection de certains traits participe à la structuration du couvert herbacé. Les résultats mettent également en avant le rôle de l'organisation spatiale en tant qu'expression du fonctionnement de l'écosystème, et l'importance du pâturage dans les processus de restauration des écosystèmes dégradés.

Mots clefs: *structure spatiale ; perturbation ; herbivorie ; traits fonctionnels ; sélection ; végétation alpine ; restauration d'écosystèmes.*

3P7

Relations fonctionnelles entre la diversité et les traits biologiques d'espèces végétales en prairies permanentes.

B. Amiaud, A. Mariau, S. Plantureux

UMR Agronomie et Environnement, INPL(ENSAIA)-INRA, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandoeuvre-les-Nancy, France. bernard.amiaud@ensaia.inpl-nancy.fr

L'utilisation des ressources naturelles, les échanges biotiques et les modifications du climat ont créé un contexte de diminution de la biodiversité. Les agriculteurs et les agronomes se trouvent désormais face à l'enjeu de préserver cette biodiversité tout en maintenant la production fourragère des prairies permanentes. Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de trouver des éléments de description de la valeur agro-environnementale des prairies permettant de caractériser les effets des modes d'exploitation. Notre hypothèse de travail réside dans le fait qu'il existe des liens entre les caractéristiques biologiques des espèces végétales ou traits biologiques et des fonctions agronomiques (productivité et qualité fourragère) et environnementales (diversité végétale). Dans ce but nous recherchons plusieurs traits mesurables facilement (« easy traits ») sur une ou plusieurs espèces capables de décrire des variations morphologiques des espèces végétales face à des modes d'exploitation contrastés.

Le travail a été effectué sur deux prairies lorraines possédant un cortège floristique appartenant au *Colchico – Festucetum pratensis* soumises à des gestions différenciées en termes de fauche et de fertilisation. Ces gestions induisent une diversité végétale différente mais n'induisent pas de différence significative de la qualité fourragère entre les deux prairies. L'étude des traits de morphologie de 9 espèces majoritairement représentées dans ces deux prairies met en évidence des différences plus ou moins importantes de la réponse des espèces aux conditions d'exploitation. Les espèces *Arrhenaterum elatius*(L.) Beauv., *Holcus lanatus* L. et *Vicia sepium* L. présentent des morphologies variables entre les deux parcelles pour une même date de prélèvement. Ces plantes ont une plasticité phénotypique dépendante de leur phénologie mais également des conditions d'exploitation. Les traits les plus discriminants sont la hauteur de la plante, la masse sèche de la plante totale et les masses sèches des différents organes (feuille, tige et inflorescence). En revanche, la morphologie de *Alopecurus pratensis* L., *Anthoxanthum odoratum* L., *Bromus erectus* Huds., *Centaurea jacea* L., *Lathyrus pratensis* L. et *Ranunculus acris* L. varie selon le cycle de développement mais ne présente pas de variabilité entre les deux prairies.

Nos résultats ont permis de mettre en évidence des capacités de modifications morphologiques contrastées entre espèces végétales soumises à des modes d'exploitation contrastés. Ce travail consiste en une première approche visant à prédire la diversité spécifique et la qualité fourragère des prairies en fonction de la dynamique des traits fonctionnels des espèces végétales prairiales.

Mots clés : composition floristique, biodiversité, traits biologiques, prairies permanentes, plasticité phénotypique, qualité fourragère

3P8

Différenciation floristique entre massifs calcaires et massifs siliceux à l'étage subalpin : approche expérimentale à l'Alpe d'Huez (massif des Grandes Rousses, Alpes du Nord).

P. Saccone (1), J.J Brun (1) & R. Michalet (2)

(1) Cemagref, Unité de Recherche Ecosystèmes et Paysages Montagnards ; 2, rue de la papeterie, BP 76, 38402 Saint Martin d'Hères Cedex.

patrick.saccone@cemagref.fr

(2) UMR BIOGECO INRA-Université Bordeaux 1, Laboratoire d'Ecologie des Communautés ; Avenue des Facultés, 33405 Talence.

Les différences de composition floristique entre massifs calcaires et siliceux ont, en Europe, traditionnellement été expliquées par les propriétés chimiques du sol, d'où la terminologie de flore « calcicole » et flore « calcifuge ». Les autres facteurs écologiques (physiques et biotiques), également déterminés par ces différences de substrats ont peu été pris en compte.

Dans le paysage subalpin asylvatique de l'Alpe d'Huez comprenant ces différents substrats, une analyse exploratoire des relations végétation-environnement a permis une hiérarchisation de l'importance des facteurs de l'environnement dans la répartition de la végétation (Gandoy, 2000). L'objectif de notre étude est de vérifier expérimentalement cette hiérarchie, à savoir que parmi les facteurs majeurs apparaissent (i) l'existence d'un stress hydrique sur calcaire pour les espèces « calcifuges » et (ii) l'exclusion compétitive des espèces calcicoles sur silice.

Huit individus de 4 espèces « calcicoles » et 4 espèces « calcifuges » sont transplantés, avec ou sans voisin (éclaircie aérienne), sur silice et sur calcaire, avec et sans arrosage quotidien durant la saison de végétation 2001.

Le suivi de la survie et de la croissance durant la saison de végétation 2002 montre (i) une survie des individus largement plus importante sur calcaire arrosé que sur calcaire sec, quelque soit la provenance des espèces (ii) une facilitation dans les landes sur silice.

La disponibilité en eau du sol apparaît donc bien comme le facteur majeur explicatif de la répartition limitée des espèces « calcifuges » sur matériau siliceux. L'absence de compétition constatée sur silice pourrait être déterminée par la forte sécheresse printanière ayant sévi l'année de l'expérimentation. Des études complémentaires et de plus longue durée doivent être réalisées afin de mieux comprendre l'importance des interactions biotiques sur la différenciation floristique entre massifs calcaires et siliceux.

Mots Clefs : Calcaire/ Silice ; facteurs physiques ; interactions biotiques ; communautés végétales

3P9

Estimation du taux de mortalité racinaire à partir de suivis de biomasse chez *Rumex acetosella*.**Y. Martineau (1), L. Sarmiento (2), B. Saugier (1)**

(1) Laboratoire d'Ecologie Systématique Evolution, Département d'Ecophysiologie Végétale Bâtiment 362 Université Paris-Sud 91405 Orsay Cedex. yann.martineau@m4x.org

(2) Instituto de Ciencias Ambientales y Ecologicas (ICAE) Universidad de los Andes Mérida Venezuela

Nous avons développé un modèle de production végétale basé sur les processus écophysiologiques afin de simuler la succession végétale d'une parcelle en jachère dans les Andes tropicales. Dans le but de calibrer et valider ce modèle, on s'intéresse à des séries de données diachroniques de biomasse aérienne et souterraine. Nous exposerons ici la méthode utilisée dans le traitement des données collectées sur les racines d'une parcelle jeune dont le couvert est composé quasi exclusivement de *Rumex acetosella*, une plante pionnière considérée comme une « mauvaise herbe » des cultures. Les expériences ont été conduites sur deux ans et des échantillons qui permettent de mesurer phytomasse et production racinaires ont été collectées tous les deux mois. D'autres expériences ont permis d'estimer l'ordre de grandeur des taux de décomposition de la nécromasse. On se pose deux questions majeures auxquelles il est difficile de répondre par des mesures directes : quelles sont les valeurs des taux de mortalité racinaire ? et quel est le pourcentage de racines vivantes dans la phytomasse racinaire ? Des éléments de réponses seront rapidement donnés par l'étude analytique d'un petit modèle simple à deux compartiments. Mais le recours à la simulation du système dynamique est nécessaire si l'on veut préciser l'estimation de nos paramètres. Une recherche de valeurs optimales permettra de corrélérer dans une certaine mesure les taux de mortalité à la saisonnalité du climat. Par ailleurs, une étude de sensibilité (du type simulation de Monte-Carlo) confronte l'incertitude des simulations du modèle à la variabilité environnementale et l'erreur d'échantillonnage. Le modèle permet ainsi d'évaluer des taux de mortalité (moyenne et incertitude) et d'estimer le rapport biomasse/nécromasse.

Mots clefs : données ; flux ; modèle ; taux de mortalité ; stocks

3P10

Dynamique du polymorphisme en environnement fluctuant : impact de perturbations autocorrélées sur la diversité d'une population de *Pseudomonas fluorescens*

N. Massin, A. Lambert & A. Gonzalez

Laboratoire Fonctionnement et évolution des systèmes écologiques (UMR 7625), Ecole normale supérieure, 46 rue d'Ulm, 75230 Paris cedex 05
nmassin@biologie.ens.fr

Il a été démontré que la diversité en environnement fluctuant est dépendante de la fréquence de perturbation : ainsi, selon l'hypothèse de perturbation intermédiaire, la diversité est maximale pour les fréquences de perturbation intermédiaires. Par ailleurs, des études récentes ont montré l'importance de la prédictibilité (autocorrélation) des fluctuations environnementales pour de nombreux processus écologiques. Dans cette étude nous cherchons à comprendre l'impact de perturbations autocorrélées sur la dynamique du polymorphisme par une étude à la fois théorique et expérimentale basée sur un système bactérien.

Pseudomonas fluorescens a été choisie comme modèle pour ces deux parties en raison de sa capacité à se diversifier rapidement en différents morphotypes. Cette étude compare la diversité de microcosmes soumis à trois environnements différents :

- non perturbé
- perturbé selon un pattern aléatoire autocorrélé
- perturbé selon un pattern aléatoire non autocorrélé

Les résultats de l'étude expérimentale montrent une plus grande diversité en environnement non corrélé qu'en environnement autocorrélé ou non perturbé, et un changement qualitatif des dynamiques, tant pour la diversité que pour les fréquences relatives des différents morphes. Enfin, ces tendances sont confirmées par les résultats de l'étude théorique.

Mots-clés : fluctuations environnementales, perturbations, autocorrélation, diversité, *Pseudomonas fluorescens*

3P11

Characterization and quantification of sediment reworking by two gallery-forming macrobenthic organisms (*Nereis diversicolor* and *Sternaspis scutata*) and study of their impact on the organic matter burying and degradation in sediment

J. B. Mendonça Junior (1;2) et F. François-Carcaillet (1)

(1) Observatoire Océanologique de Banyuls – Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) – CNRS
Laboratoire Arago BP 44 66651 Banyuls sur mer. joel@obs-banyuls.fr

(2) Universidade Santa Ursula, Instituto de Ciências Biológicas e Ambientais, 22231-040 Rio de Janeiro, Brasil

In order to better understand and predict ecosystems functioning, we need to get more information about the function of each organism in these systems. In benthic ecosystems, bioturbation (= sediment reworking due to organisms) is a major process that affects, directly (by mixing) and indirectly (e.g. by impact on microbial communities), the fate of organic matters and nutrients in sediment. So, different functional groups of macrobenthic organisms have been defined according to their mode of bioturbation. We described and modeled five functional groups: biodiffusors, upward-conveyors, downward-conveyors, regenerators and gallery-diffusors (François *et al.*, 1997 and 2002). So we carried out experimentations in mesocosms whose objectives were:

- To characterize the sediment mixing due to 2 gallery-forming organisms common in Mediterranean: *Nereis diversicolor* and *Sternaspis scutata*. Our working hypotheses was that these 2 species belong to the “gallery-diffusor” functional group (François *et al.*, 2002).
- To quantify the sediment reworking due to these 2 species in order to study specific variability of bioturbation rates.
- To study the impact of these species on the organic matter burying and degradation. Should the 2 polychaetes belong to the gallery-diffusor functional group, it is necessary to verify if they have the same effect on the fate of organic matter.

For each species we installed 10 cores (height: 25 cm and diameter: 8 cm) with homogenized and defauna muddy sediment. One organism was introduced in each core. 10 cores without organism were also installed and used as references. After organism installation, the sediment surface was spread with luminescent particles (t=0). Every day, we supplied organic matter (30 mg of detritic microphytic matter) to the sediment surface. The experiment was run 30 days. 5 cores of each group (*Nereis diversicolor*, *Sternaspis scutata* and references) were stopped after 15 days and 5 after 30 days of experimentation. Sediment analyses will provide the depth distribution of i) luminescent particles, ii) organic carbon, iii) chlorophyll's pigments and iv) total and free available amino acids. To characterize and quantify the sediment reworking due to these two species we will use bioturbation models developed by François *et al.* (1997; 2002). Experimental profiles will be compared with simulated profiles resulting from each of the 5 models developed.

Mots clefs: bioturbation; functional groups; benthic ecosystems; *Nereis diversicolor*; *Sternaspis scutata*

3P12

Détermination des limites coloniales de la fourmi arboricole *Cataulacus mckeyi*, parasite de la relation mutualiste *Petalomyrmex phylax* - *Leonardoxa africana africana*.

G. Debout (1), E. Provost (2), M. Renucci (2), A. Tirard (2), B. Schatz (1), D. McKey (1)

(1) CEFÉ-CNRS (UPR 9056), 1919, route de Mende, 34293 Montpellier cedex 5. (2) IMEP-CNRS (UMR 6116), Europôle Méditerranéen de l'Arbois, Bâtiment Villemin, avenue Louis Philibert 13290 Aix-Les Milles, debout@cefe.cnrs-mop.fr

La légumineuse *Leonardoxa africana africana* (*Caesalpinaceae*) du sous-bois de la forêt atlantique littorale du Cameroun est spécifiquement associée aux fourmis *Petalomyrmex phylax* (*Formicidae*) et *Cataulacus mckeyi* (*Myrmicinae*). Le fonctionnement écologique de ce système est bien connu à l'échelle locale : la relation mutualiste *P. phylax* – *L. a. africana* est parasitée de façon fréquente par *C. mckeyi*. *Cataulacus mckeyi* profite de la plante sans exprimer les comportements de protection. De même qu'une grande variabilité s'exprime dans la majorité des traits biologiques étudiés chez cette espèce, la stratégie de nidification de *C. mckeyi* semble caractérisée par une polydomie facultative. Cette particularité lui conférerait un avantage pour la colonisation à courte distance. Une colonie peut ainsi occuper plusieurs arbres voisins, et les coloniser par « bourgeonnement ». Il est donc très difficile de déterminer les limites des colonies alors que l'identification correcte de ces limites est un pré-requis indispensable pour toutes études sur la sélection de parentèle, l'allocation au sexe et les niveaux de sélection.

Une approche pluridisciplinaire, tenant compte du répertoire comportemental, de la structure sociale, de la génétique et de la signature chimique cuticulaire, nous a permis de définir sans ambiguïté les limites des différentes colonies. Nous discutons des implications de ce type de polydomie sur l'allocation des ressources dans le maintien de la colonie (production en ouvrières), ainsi que dans son développement (stratégie reproductive avec un biais vers l'un des sexes).

Mots clefs: *Cataulacus mckeyi* , fourmi à plante, polydomie facultative, monogynie, composés cuticulaires, signature chimique, parasite de mutualisme, *Myrmicinae*.

3P13

Les vers de terre en tant qu'ingénieurs écologiques – Une étude de cas

T. Decaëns (1), J.J. Jiménez (2), L. Mariani (3), P. Lavelle (3)

(1) Laboratoire d'Ecologie, ECODIV, UPRES-EA 1293, UFR Sciences et Techniques, Université de Rouen, 76821 Mont Saint Aignan Cedex, France. thibaud.decaens@univ-rouen.fr

(2) AGLL Division, Room B-701, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 FAO, Rome, Italie.

(3) Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, Université Paris VI – IRD, 32 avenue H. Varagnat, 93 143 Bondy Cedex, France.

Ce poster présente une synthèse des résultats de plusieurs travaux décrivant et quantifiant l'impact de l'activité des ingénieurs écologiques physiques sur l'accessibilité et/ou l'abondance des ressources utilisées par d'autres organismes édaphiques. L'ensemble de ces recherches a été réalisé au sein de la station de recherche de Carimagua, localisée dans la plaine du Rio Meta en Colombie Orientale. Une attention particulière a été portée à l'étude d'une espèce de vers de terre de grande taille (*Martiodrilus* sp.), dont le rôle en tant qu'ingénieur écologique est décrit au travers d'une approche multiscalaire.

A l'échelle d'observation la plus fine, celle de son domaine fonctionnel, *Martiodrilus* sp. stimule la macroaggrégation du sol en produisant des turricules constitués de grands agrégats organo-minéraux stables. Il modifie également les propriétés physiques et hydriques du sol en creusant de profondes galeries sub-verticales qui communiquent avec la surface du sol. Les turricules produits par cette espèce présentent des taux de C organique et d'N total plus importants que dans le sol environnant, et constituent des incubateurs d'activité microbienne à l'intérieur desquels la minéralisation de la matière organique est stimulée. Ces différents impacts modulent de façon significative les ressources spatiale et trophique du sol pour les plantes et les macroinvertébrés non fouisseurs dont la biomasse est largement augmentée dans le sol localisé sous les turricules anciens produits par *Martiodrilus* sp. à la surface du sol. Ces mêmes turricules constituent également des niches de régénération pour les plantes dont les graines sont ingérées par le ver puis déposées à la surface du sol. A une échelle spatio-temporelle plus grossière, l'élimination expérimentale de *Martiodrilus* sp. conduit à une rapide dégradation du sol superficiel, se traduisant principalement par une compaction et une diminution des réserves organiques, et à des modifications importantes de la structure de la végétation. A l'échelle de l'écosystème, l'activité de *Martiodrilus* sp. et d'autres espèces de grande taille se concentre dans des structures agrégées relativement stables temporellement, à l'intérieur desquelles le sol est fortement macroaggré et présente des niveaux élevés de C organique et de biomasse racinaire. Inversement, les zones dominées par des espèces de petite taille correspondent à des sols compacts avec des réserves organiques moindres et une biomasse racinaire réduite.

Ces différents résultats sont discutés au travers de trois modèles simples schématisant les différents modes de modulation des ressources édaphiques par *Martiodrilus* sp.

Mots clefs: ingénieurs écologiques physiques ; écologie des sols ; Glossoscolecidae ; savanes

3P14

Structure des communautés de vers de terre au cours d'un cycle de prairie temporaire du Nord-Ouest de la France

T. Decaëns (1), M. Hedde (1), J. Renault (1), F. Bureau (1), P. Margerie (1), D. Cluzeau (2)

(1) Laboratoire d'Ecologie, ECODIV, UPRES-EA 1293, UFR Sciences et Techniques, Université de Rouen, 76821 Mont Saint Aignan Cedex, France. thibaud.decaens@univ-rouen.fr

(2) UMR CNRS EcoBio (Fonct. des écosystèmes et biologie de la conservation), Université de Rennes I, France daniel.cluzeau@univ-rennes1.fr

L'objectif de cette étude est de décrire les changements intervenant dans la structure des communautés de vers de terre au cours d'un cycle de prairies temporaire sur les sols de plateau de la Seine Maritime. La formation géologique de surface dominante est constituée par des limons quaternaires d'origine éolienne (loess) particulièrement sensibles à l'érosion. L'étude a été réalisée sur le site du Lycée Agricole d'Yvetot, dans une série de 7 parcelles représentant différents stades d'un cycle classique de prairie temporaire, depuis la culture initiale jusqu'à la prairie de 8 ans et la prairie permanente. Les vers de terre ont été échantillonnés par une méthode standard couplant extraction au formol et tri manuel. Les résultats sont analysés par des statistiques uni- et multivariées (ACP).

Au total, 9 espèces de vers de terre appartenant à la famille des lombricidés ont été identifiées sur l'ensemble des parcelles. La biomasse, la densité et la diversité des communautés sont minimales dans la culture de betterave et la prairie de 1 an, puis augmentent rapidement et se stabilisent dans les prairies de 2 à 7 ans. Une diminution significative de la biomasse et de l'équitabilité est observée dans la prairie de 8 ans et la prairie permanente. La composition spécifique et le spectre écologique des communautés varient également en fonction de l'âge du système, avec notamment une importance croissante des endogés puis des épigés au cours du temps. Les 2 premiers axes de l'ACP absorbent 67.7% de la variance totale et décrivent de façon synthétique les changements structuraux observés au sein des communautés le long du cycle : le premier axe correspond à un effet taille et oppose les parcelles avec les plus faibles densités, biomasses et diversité (culture et prairie de 1 an) aux parcelles présentant de très fortes valeurs pour les mêmes indices (prairies d'âge moyen) ; le deuxième axe traduit un gradient temporel de vieillissement des prairies, et sépare les prairies les plus jeunes dominées par les espèces aux prairies les plus âgées dominées par les endogés et les épigés. La projection de variables mésologiques (C et N totaux, biomasse racinaire et aérienne, litière, temps depuis le dernier labour) en variables supplémentaires sur le premier plan factoriel de l'ACP permet de déceler des liens entre les modifications observées dans les communautés et ces paramètres environnementaux.

D'une façon générale, les résultats obtenus dans cette étude concordent avec ceux présentés dans d'autres travaux sur la réponse des communautés du sol aux pratiques culturales. Leur signification écologique et leur intérêt en terme de biologie de la conservation et de recherche d'agroécosystèmes durables est discutée.

Mots clefs: *Lumbricidae* ; prairies temporaires ; pratiques agricoles ; structure des communautés

3P15

Impact de la biodiversité sur le fonctionnement des écosystèmes : modèles à plusieurs niveaux trophiques

E. Thébault, M. Loreau

Laboratoire d'Ecologie, U. M. R. 7625, Ecole Normale Supérieure, 46 rue d'Ulm 75005 Paris.

eltheb@yahoo.fr

Il apparaît nécessaire de mieux comprendre l'impact de la diversité sur le fonctionnement des écosystèmes étant donné les taux élevés d'extinction d'espèces actuels.

Les études dans ce domaine se sont, jusqu'à présent, intéressées à l'influence de la diversité des producteurs, sans considérer les interactions possibles avec les niveaux trophiques supérieurs. L'objectif de ce travail est d'étudier, avec des modèles simples d'écosystèmes à plusieurs niveaux trophiques, l'impact de la diversité sur différentes grandeurs caractéristiques du fonctionnement de l'écosystème calculées à l'équilibre.

L'ajout d'herbivores et de carnivores modifie les relations prédites entre diversité et biomasse végétale dans le cas d'un seul niveau trophique. Ces relations restent dépendantes de l'occupation redondante ou complémentaire de l'espace par les plantes mais d'autres aspects peuvent avoir un impact important : le contrôle de la biomasse végétale par les herbivores, la nature (spécialistes ou généralistes) et le nombre des herbivores et carnivores ont une influence sur les résultats obtenus. L'ajout de niveaux trophiques peut aussi faire apparaître des relations décroissantes entre diversité et biomasse, que ce soit au niveau des végétaux, des herbivores ou des carnivores. L'étude de ces modèles met en évidence l'existence de relations complexes entre diversité et processus fonctionnels de l'écosystème. Un grand nombre de facteurs peuvent avoir une influence qu'ils concernent des aspects environnementaux (apport en nutriment, taux de transport de nutriment dans le sol) ou qu'ils soient caractéristiques des espèces présentes (aptitude compétitive des plantes, consommation des herbivores et carnivores, occupation de l'espace par les végétaux ...).

3P16

Impact des changements climatiques sur la phénologie et l'évolution des aires de répartition de deux espèces ligneuses : *Acer saccharum* et *Populus tremuloides***X. Morin et I. Chuine**

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS Montpellier, route de Mende 34293 Montpellier. morin@cefe.cnrs-mop.fr.

PHENOFIT (Chuine et Beaubien 2001) est un modèle mécaniste qui permet de simuler l'aire de répartition d'une espèce arborescente uniquement à partir de données climatiques. Il repose sur l'idée que la synchronisation du cycle annuel de développement aux variations saisonnières du climat constitue la clé de voûte de l'adaptation à l'environnement d'une espèce végétale. Il estime la valeur sélective d'un individu représentatif de l'espèce en un lieu donné, par le produit de son succès reproducteur et de sa survie, estimés chaque année et sur une période minimale de cinquante ans. Ce modèle a été développé et testé pour des arbres décidus de la zone tempérée.

PHENOFIT permet de comprendre les différents mécanismes de l'impact du climat sur les espèces végétales et leurs effets relatifs. Il permet également de quantifier l'impact du réchauffement climatique sur les plantes et leur répartition géographique. A l'aide de scénarios climatiques, nous avons simulé les tendances d'évolution au cours du XXI^{ème} siècle des aires de répartition de deux espèces d'Amérique du Nord, l'érable sucrier (*Acer saccharum*) et le peuplier tremble (*Populus tremuloides*). Nous avons ainsi pu mettre en évidence une tendance globale de ces espèces à la colonisation des espaces situés au nord de leur répartition actuelle ainsi que l'absence d'extinction d'ici à 2100.

Les perspectives de travail se situent dans le perfectionnement de la modélisation des processus biologiques considérés, la calibration du modèle pour des espèces méditerranéennes ainsi que son adaptation pour des espèces herbacées. Il nous serait alors possible de simuler les changements d'aires de répartition des grands types fonctionnels de plantes des zones tempérées sous l'influence de changements climatiques.

Mots clés : *changements climatiques ; phénologie ; aire de répartition ; modélisation*

3P17

Successional patterns in a eutrophic alluvial wetland of western France.***B. Touzard (1, 3), B. Clément (1), and S. Lavorel (2)***

(1) Laboratoire d'Ecologie végétale Unité Mixte de Recherches « Ecobio » 6553 Centre National de la Recherche Scientifique Université de Rennes 1 Campus de Beaulieu 35042 Rennes Cedex, France.

(2) Laboratoire d'Ecologie Alpine, CNRS - Université Joseph Fourier - BP 53 X - 38041 Grenoble Cedex 9, France.

(3) Present address:

UMR Université de Bordeaux 1 & INRA Pierroton « BIODiversité, Gènes et ECOSystèmes » - Equipe Ecologie des Communautés Bâtiment B8 RdC Porte 11 Avenue des Facultés 33405 Talence France Tél : 33 (0)5 56 84 87 75 Fax : 33 (0)5 56 84 26 24 mél : b.touzard@lpcv.u-bordeaux.fr

Secondary succession in wet grasslands has received surprisingly little attention. We analyzed the vegetation of a eutrophic alluvial wetland of western France and the relationship between its composition and environmental variables. The objectives of our study were twofold: (1) to describe species assemblages of wet grasslands and oldfields and correlate their species composition to hydrologic stress and (2) to study the changes in species composition, species richness, and species diversity when mowed meadows are abandoned. More than 100 species were recorded, and five species assemblages ('A' to 'E') were identified. Hydrology and land use (mowing versus land abandonment) were the two main ecological factors that affected plant community development. Hydrologic regime contributed to separate 'A', 'B' (on the wettest end of the gradient) from 'C', 'D', and 'E' (on the driest end of the gradient). Land use helped to discriminate 'B', 'C' from 'A', 'D', and 'E'. Larger-scale disturbances such as mowing maintain meadow species, leading to a high level of species richness, species diversity, and evenness. We compared the species richness, species diversity, and evenness according to the duration of land abandonment since last mowing disturbances (<5 years, 6-10 years, 11-15 years, 16-20 years). No significant differences were observed. Botanical composition of these plots did not differ significantly. In the first five years of land abandonment, there was an increase of litter, which reduces the species richness, diversity, and evenness. Live, above-ground biomass of grasslands was significantly greater than that of oldfields, but total organic matter (biomass + litter) was significantly greater for oldfields than for grasslands. Total biomass showed a negative logarithmic relationship with species richness, with species richness being initially high at very low standing crop levels (grasslands) and decreasing at greater levels of standing crop (oldfields).

Key Words: *wetlands, species assemblages, successional patterns, floodplain, diversity, hydrodynamic stresses, land abandonment, litter, mowing*

Posters de la Session 4.

ECOPHYSIOLOGIE ET REPONSES AUX CONTRAINTES
DE L'ENVIRONNEMENT

4P1

Réponses écologique, physiologique et moléculaire du riz aux vers de terre et nématodes phytoparasites, seuls ou en assemblage.

Blouin M., Zuily Y., Phamti A., Laffray D., Reversat G., Pando A., Lavelle P.

UMR 137 (BIOSOL), IRD 32, avenue Henri Varagnat 93143 BONDY cedex FRANCE
Manuel.Blouin@bondy.ird.fr

L'objectif de ce travail est de trouver des marqueurs de l'état physiologique du riz quand celui-ci est exposé à différents organismes du sol. La difficulté est de trouver des paramètres qui soient sous l'influence d'organismes aux modes d'action très divers, tels que des vers de terre décomposeurs ou des nématodes phytoparasites. Pour cela, l'activité photosynthétique a été mesurée au niveau de l'organe foliaire. Nous nous sommes également intéressé au niveau d'expression de gènes du catabolisme (lipoxygénase, phospholipase D et cystéine protéinase) car ces gènes sont connus pour répondre à des stress physiques (stress hydrique, blessure, gel...). Les résultats montrent que les échanges gazeux foliaires sont affectés par la présence des nématodes et que l'expression de gènes comme la cystéine protéinase répond à la fois aux nématodes et aux vers respectivement par une augmentation et une diminution de cette expression par rapport au témoin. Cela corrobore notre hypothèse selon laquelle l'activité catabolique d'une cellule végétale est modifiée par les organismes auxquels la plante est exposée, et permet de considérer ce gène comme un indicateur du bien-être de la plante puisqu'il réagit aussi bien à des stress abiotiques que biotiques (nématodes), mais également à des interactions biotiques positives (vers de terre). Ces résultats au niveau cellulaire sont à mettre en relation avec la biomasse totale des plants de riz qui est inférieure de 79 % à celle du témoin pour les plantes infectées par les nématodes, et supérieure de 19 % pour les plantes exposées à des vers de terre. Un autre résultat intéressant réside dans le fait que les vers de terre réduisent de 82 % la densité de kystes de nématodes sur les racines du riz dans le traitement où les deux organismes sont présents simultanément. Grâce aux vers de terre, l'effet des nématodes qui réduisait de 79 % la biomasse totale du riz est purement et simplement supprimé ; les plantes exposées aux deux organismes du sol ont une biomasse égale à celle du témoin.

Mots clefs: *vers de terre ; nématodes ; riz ; photosynthèse; catabolisme; lutte biologique.*

4P2

ECOTRON***Olivier Ravel***

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, 34293 Montpellier Cedex 5, France
ravel@cefe.cnrs-mop.fr

Le fonctionnement des écosystèmes, et en particulier sa modification par les activités humaines, est au centre des grandes questions environnementales actuelles, que ce soit la prévision de l'impact des changements climatiques, le rôle de la biodiversité, ou la recherche d'un développement durable.

Pour répondre au mieux à ces questions de société, un effort de recherche important doit être engagé. Celui-ci passe notamment par la mise en place de nouveaux moyens expérimentaux permettant l'analyse fondamentale du fonctionnement des écosystèmes dans diverses conditions environnementales.

Actuellement, il existe un seul Ecotron (1991) au Centre de Biologie des Populations de l'Imperial College à Ascot (GB). Les résultats des expérimentations sur le rôle de la biodiversité et sur l'impact des changements climatiques lui valent un très grand succès international. D'autres dispositifs expérimentaux tel que les dispositifs FACE (Free Air CO₂ Enrichment), manipulant in situ l'environnement d'écosystèmes, existent dans le monde.

La France n'est pas encore dotée d'équipements de cette envergure. L'Ecotron dont le lieu d'implantation est Montpellier, a pour objectif de répondre à ces nouveaux besoins. Il aura pour vocation de fournir à la communauté scientifique nationale et internationale un ensemble intégré d'outils expérimentaux.

L'Ecotron accueillera des écosystèmes à 4 échelles différentes, du macrocosme (avec des monolithes prélevés in situ) au microcosme (fonction de l'utilisateur). Les quatre séries d'écosystèmes se différencient par leur taille, la durée de l'expérimentation, le degré de contrôle de l'environnement et le nombre de paramètres suivis en temps réel. Les mesures seront réalisées en ligne, au plus près des écosystèmes (microclimat, échanges gazeux, humidité du sol ...) ou bien dans des laboratoires adjacents (composition isotopique, populations d'organismes édaphiques ...).

4P3

Poussée racinaire hivernale en relation avec l'alimentation azotée chez l'Erable sycomore cultivé en conteneur.**F.Beaujard (1), M.Delaire (1), T.Améglie (2)**

(1) UMR SAGAH INRA-INH-Univ. Angers, Centre INRA d'Angers, BP 57, 49071 Beaucouzé Cedex. Beaujard@angers.inra.fr

(2) UMR P.I.A.F. INRA-Univ. Blaise-Pascal, Centre INRA de Clermont-Fd-Theix, Site de Crouelle, 234 avenue du Brézet, 63039 Clermont-Ferrand Cedex 02

La poussée racinaire de certains arbres en période hivernale est un phénomène physiologique connu pour varier en fonction de la température du sol. Récemment, nous avons montré (Ewers *et al*, 2001) chez le noyer une relation positive en automne entre l'élévation de la pression (+50 KPa) mesurée à la base du tronc de plantes recépées et l'apport au niveau racinaire de solution nutritive de composition azotée strictement nitrrique (2 mM/L). Les cinétiques d'absorption des éléments minéraux majeurs mesurées quelques heures dans ces expériences de culture en solution nutritive recyclée mettaient en évidence une action spécifique de l'azote dans la forte élévation de pression. Nous avons voulu approfondir cette question au niveau des conditions d'expérience en nutrition minérale en reprenant ce travail avec l'Erable, en augmentant fortement le temps de mesure, et en diversifiant la source de l'azote minéral.

En appliquant sur des souches issues de jeunes plantes (3 ans) cultivées en conteneur, sur substrat horticole et avant débourrement, un protocole de diète en azote suivie d'application contrôlée de solution nutritive contenant, soit du nitrate, soit de l'ammonium, soit sans azote, nous montrons que l'élévation de pression liée à la poussée racinaire se fait exclusivement si l'azote nitrrique ou ammoniacal est présent dans la solution. Les élévations de pression mesurées sur les souches d'érable, beaucoup plus fortes que l'amplitude des variations circadiennes, commencent très rapidement avec l'apport d'azote et peuvent alors dépasser 250 KPa en quelques heures. Toutefois, lorsque l'azote est apporté en continu, mais cela indépendamment de la forme minérale, la pression monte tout d'abord puis diminue ensuite progressivement. En appliquant à ce moment des expériences une nouvelle diète en azote pendant plusieurs jours, puis en ajoutant de nouveau de l'azote dans la solution nutritive appliquée aux petites souches, nous observons une nouvelle élévation de pression. Ces résultats confirment l'implication de l'azote dans la poussée racinaire. Obtenus en milieu nitrrique et en milieu ammoniacal avec des spécificités opposées, ils tendent à montrer une forte implication des premières étapes du métabolisme azoté dans ce phénomène.

Les fortes variations de poussée racinaire ont probablement d'importantes conséquences pour la plante au printemps. Conjuguées au cycle naturel ou provoqué de l'azote du sol ou du substrat (fertirrigation), les variations de disponibilité de l'azote du sol pourraient par leur action sur la poussée racinaire et le statut hydrique du végétal constituer un élément de communication important entre l'environnement racinaire et la plante.

Mots clefs : Arbre ; Erable ; poussée racinaire ; nutrition minérale et azotée

4P4

Croissance et compétition sous fort CO₂ : quelle est l'influence de l'identité fonctionnelle sur le resultat des courses ?

Marie Laure Navas (1,2), Hendrik Poorter (3)

(1) ENSAM, Département « Sciences pour la Protection des Plantes et Ecologie », Place Viala, 34060 Montpellier Cedex 1

(2) CEFCE-CNRS, 1919 Route de Mende, 34293 Montpellier Cedex 5

(3) Plant Ecophysiology, Utrecht University, PO Box 800.84, 3508 TB Utrecht, The Netherlands

L'influence de l'identité fonctionnelle sur la réponse à l'augmentation de CO₂ atmosphérique de la croissance végétative et de l'aptitude à la compétition a été analysée à travers plusieurs méta-analyses. Les espèces herbacées C3 à croissance rapide répondent mieux en culture isolée que les C3 à croissance lente ou les C4. Les espèces CAM ou ligneuses montrent des réponses intermédiaires. Lorsqu'elles sont cultivées en compétition dans des milieux riches en azote, les espèces en C4 montrent les réponses les plus faibles à une augmentation de CO₂. Par contre, les espèces fixatrices répondent fortement au CO₂ lorsqu'elles poussent dans des communautés établies sur des milieux pauvres en azote. Il n'y a pas de différence systématique de réponse au CO₂ entre espèces à vitesse de croissance forte ou lente lorsque les plantes sont cultivées en compétition. Enfin, la réponse au CO₂ des espèces en communauté peut être déduite de leur réponse en monocultures.

Mots clés : CO₂, groupes fonctionnels, compétition, méta-analyse

4P5

Etudes des déterminismes écophysiologiques de l'organogénèse des bourgeons et des fluctuations inter-annuelles de la surface foliaire chez le hêtre (*Fagus sylvatica* L.)

L. Péroche, H. Cochard

U.M.R. Physiologie Intégrative de l'Arbre Fruitier et Forestier, I.N.R.A. de Clermont-Ferrand-Theix,
234 Avenue du Brézat, 63039 Clermont-Ferrand Cedex 2

Lucile.Peroche@clermont.inra.fr

L'objectif de ce travail est de fournir des bases fonctionnelles de la mise en place des ébauches foliaires dans les bourgeons de hêtre de façon à comprendre et modéliser les fluctuations inter-annuelles d'architecture, de surface foliaire et in fine d'indice foliaire.

Les expérimentations envisagées combineront différents niveaux d'analyse. Dans un premier temps, des mesures écophysiologiques seront effectuées au niveau du bourgeon. Elles feront appel à des observations anatomiques et à des dosages hormonaux pour la compréhension de la mise en place des ébauches foliaires du bourgeon ; et aux techniques classiques de l'écophysiologie (relations hydriques, discrimination isotopique du carbone, etc...) pour comprendre leur croissance. Dans un deuxième temps, des analyses seront effectuées à l'échelle de la parcelle où l'indice foliaire est suivi depuis plusieurs années. Ces études rétrospectives des variations relatives d'indice foliaire seront possibles grâce à des études architecturales rétrospectives. Ces analyses seront mises en relation avec les paramètres écophysiologiques, mis en évidence dans la première partie des travaux, influençant la mise en place des ébauches foliaires du bourgeon et leur croissance et ainsi l'architecture de l'arbre.

Du point de vue cognitif, les résultats attendus sont des renseignements sur le déterminisme de la croissance et de la ramification du hêtre. D'un point de vue finalisé, ces travaux permettront de comprendre les variations actuelles ou futures de productivité des hêtraies.

Mots clés : *Fagus sylvatica*, ébauches foliaires, rameau court, rameau long, paramètres écophysiologiques

4P6

Croissance et efficacité d'utilisation des ressources du pin sylvestre soumis à une concurrence herbacée

C. Picon-Cochard (1), A. Claude (1), A. Gutknecht (1), F. Lacroix (1), L. Coll (2), P. Balandier (2)

(1) INRA, Unité d'Agronomie, Equipe Fonctionnement et Gestion de l'Ecosystème Prairial, 234 av du Brézet, 63009 Clermont-Ferrand picon@clermont.inra.fr.

(2) CEMAGREF Clermont-Ferrand, Unité DFCF, Equipe Ecologie Appliquée aux Milieux Boisés.

La sous exploitation progressive des surfaces prairiales, liée à une augmentation de la surface agricole utile, conduit à la colonisation progressive des zones les moins exploitées par des espèces ligneuses. Dans le Massif Central, le pin sylvestre est très abondamment rencontré dans les milieux ouverts en cours d'abandon et les boisements de pin constituent un stade intermédiaire vers la hêtraie climacique. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la phase d'installation de cette espèce pionnière car c'est une phase déterminante pour la survie et la croissance ultérieures. On fait l'hypothèse que l'ombrage exercé par le couvert herbacée doit limiter la croissance du pin sylvestre qui est une espèce héliophile, intolérante à l'ombrage. Nous avons aussi évalué l'impact de la compétition pour l'eau et pour l'azote exercée par l'herbe sur la croissance et les échanges gazeux foliaires du pin.

Des plants de pin sylvestre âgés de 3 ans ont été installés dans une prairie abandonnée en zone de moyenne montagne (altitude 900m) à environ 15 km de Clermont-Ferrand. La moitié des carrés expérimentaux (taille unitaire : 2m²) ont été désherbés et l'autre moitié a été coupée 1 fois par an.

La strate herbacée a intercepté environ 30% du rayonnement incident dans la partie apicale du pin (0-20cm), tandis que seulement 10 à 30% du rayonnement incident a été transmis au sol. La teneur en eau du sol, mesurée par une sonde TDR à tube, a été plus faible (-30 à -40%) dans le traitement enherbé que dans le traitement désherbé au cours de la saison de végétation. Au cours de l'été 2002, la méthode des résines bags a permis de mettre en évidence que la végétation herbacée a absorbé 3 fois plus de NO₃ que le pin désherbé, indiquant une disponibilité en NO₃ du sol 3 fois plus faible pour les pins enherbés que pour les pins désherbés.

La biomasse totale des pins soumis à la concurrence herbacée (enherbé) a été réduite par rapport à celle des pins « désherbés » de 44, 51 et 84%, 7, 14 et 19 mois après la plantation, respectivement. La biomasse de tous les organes a été réduite et le rapport biomasse racinaire sur biomasse aérienne (R/S) n'a pas été affecté par la présence de l'herbe. Cependant, les pins enherbés ont formé plus de racines fines (biomasse et longueur) proportionnellement au système racinaire entier. Cette plasticité morphologique devrait leur permettre d'acquérir plus efficacement l'eau et l'azote du sol. Les échanges gazeux foliaires, mesurés en été 2002, ont montré que le pin sylvestre associé à l'herbe a réduit efficacement ses pertes en eau par réduction de la conductance stomatique. Cette régulation physiologique a permis au pin de maintenir le potentiel hydrique foliaire au même niveau que celui du pin désherbé et d'augmenter son efficacité d'utilisation de l'eau instantanée.

Mots clés : *prairie sous exploitée, pin sylvestre, compétition, croissance, échanges gazeux foliaires*

4P7

Effects of age and tree height on water potential, hydraulic conductivity and stomatal conductance of maritime Pine.

S. Delzon (1), D. Loustau (1), M. Sartore (1), R. Burlett (1) R Dewar (2).

(1) Laboratoire d'Ecophysiologie et Nutrition, INRA Station de Recherches Forestières de Bordeaux Cestas. Domaine de l'Hermitage, 69, route d' Arcachon 33612 CESTAS Cedex.

(2) Laboratoire de Bioclimatologie, INRA Bordeaux, Centre de BP 8133883 Villenave-d'Ormon cedex

delzon@pierroton.inra.fr

This experiment was part of the CARBO-Age project designed for investigating the age effects on forest productivity and carbon balance. We explored the hypothesis that a decrease in root-to-leaf hydraulic conductance with height may explain the decline in net primary production (NPP). Under steady-state conditions, tree hydraulic conductivity per unit of leaf area, K_L , can be described by the Ohm's law, and when boundary layer conductance is large relative to stomatal conductance, g_s , that leads to $g_s = K_L * (\Psi_s - \Psi_L) / D$, where $\Psi_s - \Psi_L$ are soil and needle water potential respectively and D is air saturation deficit. Accordingly, the conservation of the minimum needle water potential implies that any reduction in K_L , e.g. as trees grow in height, leads to a proportional reduction in g_s .

Sap flow density, needle water potential and stomatal conductance measurements were carried out on a chronosequence of 11, 32, 54 et 92 years-old maritime pine stands (*Pinus pinaster* Ait.) located in the Landes de Gascogne Forest (Southwest of France). During 2001 and 2002, we estimated K_L from sap flow density and needle water potential measurements. On wet soil, the higher the trees, the lower the values of needle water potential are. Ψ_L does not reach a threshold and the differences in Ψ_L between ages were due to the gravitational potential. On dry soil, Ψ_L reaches a minimum daily value of needle water potential, close to -2 MPa. During the daily course, this value is reached earlier in older stands. Soil water deficit occurred earlier in the older stands than in younger stands, resulting in a longer period of water stress.

Both in dry or wet conditions, we observed a significant decrease in the leaf hydraulic conductance with height, g_s being 50% lower in tall trees (28 m) compared to young trees (10 m). Stomatal conductance per unit leaf area is systematically lower in taller trees during the daytime. As a result of needle water potential regulation, stomatal closure was directly responsive to change in the hydraulic conductance.

Key-words: *hydraulic conductance ; needle water potential ; stomatal conductance ; maritime pine;*

4P8

Modulation par le climat lumineux des traits fonctionnels foliaires : comparaison d'espèces feuillues tempérées européennes.

P. Montpied (1), X. Le Roux (2,3), S. Delagrangé (1,4), S. Ponton (1), F.-A. Daudet (2), E. Dreyer (1)

(1) UMR INRA-UHP Ecophysiologie Ecologie Forestières, INRA Centre de Nancy, F-54280 Champenoux *montpied@nancy.inra.fr*

(2) UMR INRA-UBP PIAF, INRA Site de Crouël, 234, avenue du Brézet, F-63039 Clermont-Ferrand cedex 2

(3) UMR 5557 CNRS-UCBL, Labo. Ecologie Microbienne, Univ. C. Bernard LYON 1, 43, bd du 11 novembre 1918, F-69622 Villeurbanne cedex

(4) UQAM (GREFi) CP 8888 ; Succ. Centre Ville ; Montréal (Qc) ; H3C 3P8 ; Canada

La question de la tolérance à l'ombrage de diverses espèces feuillues tempérées européennes (bouleau, érable sycomore, frêne, hêtre, chênes sessile et pédonculé), a été abordée en faisant l'hypothèse qu'elle est liée à la capacité des semis à maintenir un bilan de carbone individuel positif sous faible lumière. Une série d'expérimentations visant à préciser le comportement écophysiologique de semis de ces espèces a été réalisée à l'aide d'un système d'ombrières neutres permettant d'imposer quatre régimes lumineux distincts, sous lesquels des semis en pots étaient suivis pendant deux ans. Cette présentation traitera des traits fonctionnels foliaires (morphologie, teneurs en azote et chlorophylles, capacités de photosynthèse, $\delta^{13}\text{C}$) et de leur plasticité en réponse au climat lumineux. Les différences interspécifiques se sont révélées faibles pour les teneurs en chlorophylles, limitées pour les valeurs de LMA (masse par unité de surface de feuille) et d'azote massique, de même que pour la capacité de photosynthèse exprimée par la vitesse maximale de carboxylation (V_{cmax}) et de transfert d'électrons (J_{max}). Les différences d'allocation relative de l'azote foliaire aux fonctions de la photosynthèse (carboxylation P_c , bioénergétique P_b , capture de la lumière P_L) sont plus nettes, les espèces intolérantes comme le bouleau et le frêne se distinguant par des valeurs d'allocation fortes, hêtre, érable et chênes, plus tolérantes, présentant les valeurs les plus faibles. L'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) estimée par $\delta^{13}\text{C}$, différait entre espèces mais leur classement est sans rapport avec l'échelle de tolérance connue des espèces. Les degrés de plasticité induite par la disponibilité en lumière étaient comparables entre espèces et sont pilotées essentiellement par le LMA (qui augmente avec la quantité de rayonnement) pour la carboxylation et la bioénergétique, et par l'investissement d'azote dans la capture de la lumière (qui diminue) pour l'interception de la lumière ; WUE augmentait avec l'éclairement de manière similaire entre espèces. Ces degrés de plasticité ne permettent pas à première vue de distinguer les espèces, et encore moins de caractériser un plus ou moins fort degré de tolérance à l'ombrage. En conclusion, les différences entre espèces des traits fonctionnels foliaires et de leur plasticité vis-à-vis du climat lumineux ne sont pas suffisantes pour expliquer à elles seules les différences spécifiques de tolérance à l'ombre.

Mots clefs : *tolérance à l'ombre ; feuille, photosynthèse ; azote ; modèle de Farquhar ; efficacité de l'eau ; masse surfacique ; $\delta^{13}\text{C}$*

4P9

Prédire la composition spécifique d'un mélange de racines par la spectrométrie en proche infrarouge.**C. Roumet, R. Joffre, A. Blanchard**

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, 1919 Route de Mende, 34293 Montpellier Cedex 5. roumet@cefe.cnrs-mop.fr

Bien que les racines jouent un rôle majeur pour le fonctionnement des plantes et des sols, l'étude du rôle de la diversité racinaire sur le fonctionnement des écosystèmes est rarement abordé *in situ* et ceci en raison de problèmes d'ordre méthodologique. En effet, les racines forment un continuum très dense dans la partie superficielle des sols dans lequel les racines des différentes espèces sont entremêlées les unes aux autres. Manuellement il est pratiquement impossible d'identifier et de quantifier les espèces au niveau souterrain.

L'objectif de notre étude est d'évaluer les potentialités de la spectrométrie de réflexion dans le proche infrarouge (SPIR ou NIRS) pour prédire la composition spécifique d'un mélange de racines. Des racines de six espèces, dominantes en zone méditerranéenne et appartenant à trois familles (2 graminées, 2 composées et 2 légumineuses) et à deux types biologiques (annuelles et pérennes), ont été récoltées séparément sur le terrain. Des mélanges artificiels de racines ont été réalisés à partir des racines 'pures' des différentes espèces: mélanges binaires, ternaires et quaternaires. Les spectres de ces mélanges ont été utilisés pour établir des modèles prédictifs de la proportion de chacune des espèces dans les mélanges.

Les résultats obtenus montrent que la SPIR permet de prédire à 3% près la composition spécifique d'un mélange de racines. La prédiction est d'autant meilleure que le nombre d'espèces dans le mélange est important. Cette méthode, rapide et fiable, est un outil précieux pour les études concernant le rôle de la diversité racinaire sur le fonctionnement des écosystèmes, la compétition interspécifique, la répartition spatiale des racines, la productivité racinaire de chacune des espèces dans les écosystèmes.

Mots clefs: *NIRS, racines, composition spécifique, prédiction*

4P10

Comparaison de la transpiration de deux hêtraies de plaine aux échelles de l'arbre et de la parcelle.

M. Peiffer (1), A. Granier (1), C. Nys (2)

(1) UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières, 54280 Champenoux.

peiffer@nancy.inra.fr

(2) UR Biogéochimie des écosystèmes forestiers, INRA, 54280 Champenoux

Cette étude a été conduite dans deux hêtraies de plaine : Fougères en Bretagne et Hesse en Lorraine. La forêt de Fougères est un site-atelier de recherche sur les cycles biogéochimiques, caractérisée par une richesse minérale moyenne. La forêt de Hesse est un site-atelier du programme européen Carboeuroflux, de fertilité et de productivité supérieures. Une parcelle de chaque forêt, d'âges et d'indices foliaires similaires, ont fait l'objet de mesures de flux de sève sur un échantillon d'arbres couvrant toute la gamme de circonférence de ces parcelles. La variabilité entre arbres des densités de flux de sève est plus importante à Fougères qu'à Hesse. De plus, on observe dans le premier site une relation croissante entre cette densité de flux et la circonférence des arbres, alors que les mesures ne montrent aucune tendance à Hesse. A partir de ces mesures, on a calculé la transpiration à l'échelle de chaque parcelle, au moyen de deux changements d'échelle : du capteur aux arbres, puis des arbres au couvert. La transpiration des arbres, qui représente plus de 90% de l'évapotranspiration totale pour des journées ensoleillées, est fortement dépendante des variables rayonnement global et déficit de saturation de l'air.

Un modèle monocouche ("big leaf") de conductance du couvert pour la vapeur d'eau, qui avait été ajusté sur les mesures de Hesse en 2001, a servi de base au calcul de la transpiration maximale pour l'année 2002 sur les deux sites. A Hesse, le modèle et les mesures de flux de sève sont en accord étroit, en dehors d'une courte période de contrainte hydrique en été. A Fougères, le modèle "Hesse" permet de prédire le flux de sève à plus de 90%, et ceci, malgré des différences importantes de flux hydriques à l'échelle de l'arbre et de structure des couverts. Ainsi, pour des couverts fermés d'indices foliaires peu différents, le modèle monocouche se révèle très performant pour prédire la transpiration des arbres.

Mots clefs: *transpiration ; bois d'aubier ; changement d'échelle ; indice foliaire ; peuplement forestier*

4P11

Diversité des traits fonctionnels relatifs aux performances photosynthétiques d'espèces d'arbres de la forêt tropicale Guyanaise.

S. Coste (1), J-C. Roggy (1), C. Born (1), P. Imbert (1), E. Dreyer (2)

(1) UMR INRA-ENGREF-CIRAD "Ecologie des Forêts de Guyane", KOUROU.

(2) UMR INRA UHP "Ecologie et Ecophysiologie Forestières", F54280 CHAMPENOUX.

Les principaux objectifs de ce travail étaient d'une part de décrire la variabilité des traits fonctionnels relatifs à la photosynthèse chez des espèces de Forêt Tropicale Humide (Guyane), et d'autre part de déterminer si un ensemble de traits fonctionnels liés à la photosynthèse permettait de caractériser des groupes d'espèces établis à partir de paramètres écologiques. Des mesures des caractéristiques foliaires ont donc été réalisées sur des semis de quatorze espèces de forêt tropicale humide appartenant à trois groupes écologiques définis par Favrichon (1995) ; héliophiles, hémi-tolérantes et tolérantes. Les capacités photosynthétiques ont été estimées à partir de l'ajustement de paramètres d'un modèle biochimique de photosynthèse foliaire (Farquhar *et al*, 1980) sur des courbes de réponses de l'assimilation nette de CO₂ à la pression partielle en CO₂, en conditions de lumière saturante. Ont ainsi été estimées pour chacune des espèces, la vitesse maximale de carboxylation, V_{cmax} , et le flux maximal d'électrons photosynthétique, J_{max} . Une très forte variabilité interspécifique a été observée au niveau des performances photosynthétiques comme au niveau de la structure des feuilles, de leur composition en azote et des fractions d'azote allouées aux processus de la photosynthèse (carboxylation, P_r et bioénergétique, P_b). Les performances photosynthétiques des espèces semblent plus liées à P_r et à P_b qu'à la structure et la concentration totale en azote des feuilles. Ce sont les héliophiles qui investissent le plus d'azote dans la Rubisco et la bioénergétique, les tolérantes, elles, semblent investir leur azote foliaire dans d'autres fonctions, comme peut être des fonctions de défense. Ces premiers résultats laissent penser que la caractérisation des groupes écologiques par des variables écophysiologiques est bien envisageable. Cependant, les capacités photosynthétiques foliaires seules, ne peuvent contribuer que partiellement à expliquer la composition spécifique et la structure des peuplements forestiers.

Mots clés : *capacité photosynthétique, morphologie foliaire, azote, groupes fonctionnels, forêt tropicale.*

4P12

Suivi de la répartition de l'évapotranspiration dans une oliveraie (*Olea europaea* L.) à l'aide des techniques de l'eddy covariance, des flux de sève et des isotopes stables

D.G. Williams (1), W. Cable (2), K. Hultine (2), E. Yezzer (2), S. Er-Raki (3), J.C.B. Hoedjes (3), G. Boulet (1), H.A.R. de Bruin (4), A. Chehbouni (1), et F. Timouk (1).

(1) Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère, Toulouse, France

(2) School of Renewable Natural Resources, The University of Arizona, Tucson, États-Unis

(3) Département Physique LMFE, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc

(4) Groupe Météorologie et Air Quality, Wageningen Université et Centre Recherche, Wageningen, le Pay-Bas

La réponse de l'échange net du CO₂ dans l'écosystème aux impulsions d'entrée d'eau (précipitations, irrigation) est gouvernée par de nombreux processus biologiques et physiques. Une variable importante contrôlant cette réponse est la fraction d'évapotranspiration (ET) totale qui est transportée à travers la transpiration (T) des plantes et utilisée par la photosynthèse. La fraction T/ET est une composante clé des modèles sol-végétation-atmosphère transfert (SVAT) et est une variable cible pour la gestion de l'eau dans les environnements arides et semi-arides. Les composantes de l'ET sont difficiles à mesurer au niveau de l'écosystème. Nous combinerons trois techniques (eddy covariance, flux de sève, et isotopes stables) pour illustrer les dynamiques à court terme du rapport T/ET appliqué à un événement discret d'irrigation dans une oliveraie (*Olea europaea* L.) de Marrakech, Maroc. La concentration et le rapport isotopique en deutérium (²D) de la vapeur d'eau à l'intérieur de la couche limite de végétation sont mesurés avant et plusieurs jours après une irrigation importante (100mm). Ces données fournissent le "Keeling plots" (relation linéaire du mélange isotopique) pour estimer la fraction T/ET. Avant l'irrigation, la transpiration représentait 100% de ET, mais seulement 72 à 86% après irrigation. L'évaporation du sol après irrigation (calculé à partir des données d'eddy covariance et de la répartition isotopique dans T/ET) est linéairement corrélée avec le déficit journalier de pression de vapeur (VPD). La transpiration journalière augmente légèrement après irrigation, mais n'est pas corrélée avec VPD. Nos résultats illustrent l'utilité de la technique isotopique pour montrer la répartition des flux d'évapotranspiration à l'échelle de l'écosystème. Ils montrent aussi que T/ET peut être très variable après un apport hydrique à cause des réponses spécifiques propres à l'évaporation du sol et à la transpiration de la plante, contrôlées par différents processus physiques et biophysiques.

4P13

Influence de la fermeture du couvert forestier sur l'interception de lumière, le bilan de carbone, la croissance et l'allocation de biomasse de semis de *Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatanus* et *Fraxinus excelsior*.

L. Bonosi (1, 3), P. Montpied (1), C. Collet (2), H. Sinoquet (4) et E. Dreyer (1)

(1) UMR INRA-UHP "Ecologie et Ecophysiologie Forestières," F - 54280 Champenoux

(2) UMR INRA-ENGREF "LERFOB", F - 54280 Champenoux

(1) Waldbau-Institut, A.L.-Universität Freiburg (D)

(4) U.M.R. Physiologie Intégrative de l'Arbre Fruitier et Forestier, I.N.R.A. de Clermont-Ferrand-Theix, 234 Avenue du Brézat, 63039 Clermont-Ferrand Cedex 2

Partant de l'hypothèse que la tolérance à l'ombre des semis d'arbres forestiers dépend d'un bilan de carbone individuel positif, nous avons analysé certaines composantes de ce bilan sur des semis naturels de hêtre, d'érable sycomore et de frêne en forêt sous différents climats lumineux en analysant (1.) l'interception du rayonnement lumineux par les feuilles à l'aide du représentation 3D des semis et d'un modèle simple d'interception du rayonnement; (2.) l'assimilation de carbone à l'échelle foliaire par une démarche de modélisation et des estimations d'allocation de l'azote foliaire aux différentes fonctions photosynthétiques (carboxylation, transfert d'électrons, interception de lumière); (3.) l'allocation de la biomasse aux différents compartiments des plantes. Des différences de réponse à la lumière entre les trois espèces ont été mises en évidence tant pour les valeurs des paramètres du modèle de photosynthèse foliaire, que pour la capacité d'interception de la lumière quantifiée à l'aide du STAR [*Silhouette To Total Leaf Area Ratio*] et pour les valeurs de LAR (*Leaf Area Ratio*, surface foliaire sur biomasse totale du plant).

Mots clefs: *régénération forestière, climat lumineux, acclimatation, semis forestiers*

4P14

Acclimatation du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) à l'ombrage : étude de la réponse à la sécheresse atmosphérique (VPD) pour deux provenances méditerranéennes.

P. Collière (1), M. Ducrey

(1) Stage de Maîtrise de Sciences et Techniques en Biophysiology appliquée aux productions végétales, Université d'Angers, avril 2002 pierrouette@hotmail.com

Maître de stage : Michel Ducrey

Equipe Ecophysiologie - INRA - Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes, 84000 Avignon.

Afin d'étudier l'acclimatation à l'ombrage du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) dans sa réponse au VPD (déficit de tension de vapeur d'eau dans l'air), des semis ont été élevés pendant deux ans en pleine lumière et sous différents tunnels ombragés à partir de faines prélevées sur des arbres mères identifiés dans deux forêts méditerranéennes : sur le Mont Ventoux et dans le massif de la Sainte Baume. Des mesures d'échanges gazeux ont été effectuées pour différentes valeurs de VPD en conditions contrôlées dans une enceinte climatisée et régulée en température, humidité, CO₂ et rayonnement photosynthétiquement actif.

Photosynthèse nette et conductance stomatique ont été plus faibles en conditions de fort VPD ainsi que chez les plants élevés sous l'ombrage le plus poussé. Les individus issus de la Sainte Baume se situaient également à des niveaux plus faibles que ceux du Ventoux.

Ces résultats sont discutés au niveau de l'origine présumée des limitations, stomatiques ou non, de la photosynthèse, et en termes d'acclimatation à l'ombrage et aux conditions de demande transpiratoire.

Mots clefs : Réponse au VPD, photosynthèse nette, conductance stomatique, *Fagus sylvatica* L., demande transpiratoire, acclimatation à l'ombrage

4P15

Comparaison fonctionnelle de différents types de plantes sur les interactions arbre - végétation herbacée. Application aux plantations forestières.

D.Provendier (1), P. Balandier (1), H.Frochot (2), W. Koerner (2)

(1) Cemagref de Clermont-Ferrand, Equipe Ecologie Appliquée des Milieux Boisés, 24, av. des Landais- BP 50085, 63172 Aubières cedex, damien.provendier@cemagref.fr

(2) INRA de Nancy, LERFOB, UMR INRA – ENGREF 1092, F-54280 Champenoux, France

Les plants forestiers et les semis subissent dans leur jeune âge une forte compétition pour les ressources du milieu de la part de la végétation herbacée. Cette dernière est couramment contrôlée à l'aide de moyens mécaniques ou de traitements chimiques. Ces interventions peuvent représenter un coût et un impact environnemental non négligeables. Des techniques de gestion de la végétation utilisant le semis de plantes de couverture sont utilisées depuis plusieurs années en Allemagne et réduisent les interventions. Le principe est que la végétation semée doit contrôler le développement des plantes les plus envahissantes tout en étant peu compétitrice pour favoriser l'installation des jeunes arbres. Des études menées en Allemagne ont montré des résultats positifs en conditions opérationnelles. Cependant, l'utilisation de cette technique soulève plusieurs questions : comment réagissent les arbres à la végétation semée en terme de croissance et de mortalité ? Quels sont les mélanges d'espèces semées qui permettent de limiter la compétition arbre-végétation ? Quelle est la dynamique de disparition des plantes introduites ? D'un point de vue fonctionnel, quels sont les principaux facteurs de compétition entre arbres et herbacées ?

Afin de répondre à ces questions, une plantation expérimentale de hêtres a été mise en place à Charensat (Auvergne) afin de comparer l'effet de plusieurs types de mélange de plantes de couverture. Le mélange couramment utilisé se compose d'espèces fourragères annuelles et pérennes et les deux principaux « types morphologiques » de plantes sont des légumineuses et des graminées. On cherchera à caractériser l'effet sur l'arbre de chacune de ces composantes du mélange en semant trois types différents : graminées seulement, légumineuses seulement et un mélange des deux. Ces modalités seront comparées à la compétition de la végétation spontanée. On cherchera par ailleurs à séparer le rôle fonctionnel des différentes espèces du mélange dans ses effets compétitifs et dans sa dynamique à l'aide de mesures écophysologiques (teneur en eau du sol, éléments minéraux et lumière disponibles).

Mots clés : *plantation ; compétition arbre-végétation ; plantes de couverture.*

4P16

Impact du conditionnement en lumière sur la croissance et l'architecture hydraulique de semis de deux espèces d'arbre (*Acer pseudoplatanus* et *Fraxinus excelsior*)**B. Faivre-Vuillin, E. Dreyer et T. Barigah**

UMR INRA UHP "Ecologie et Ecophysiologie Forestières", F 54280 CHAMPENOUX

Ce travail a pour objet d'étudier l'impact de l'acclimatation à différents climats lumineux sur l'ensemble des structures et caractéristiques du système de transport de l'eau dans la plante entière de 2 espèces d'arbres de tempérament héliophile. Les objectifs de ce travail étaient :

1 – de déterminer la répartition des résistances au transport de l'eau dans les différents compartiments (aérien et souterrain) et entre les organes (tige, feuille, pétiole, limbe) de jeunes plants de ces 2 espèces ligneuses à exigences écologiques proches;

2 – d'estimer les effets du conditionnement en lumière sur la distribution des résistances hydrauliques dans les jeunes plants de ces espèces;

3°- d'établir et de comprendre certains des mécanismes qui président à la régénération et à l'installation des peuplements forestiers.

La méthodologie utilisée repose pour l'essentiel sur les mesures de flux d'eau à travers des compartiments et/ou à travers des organes des plantes à l'aide d'un fluxmètre à haute pression (HPFM, High Pressure Flow-Meter, Tyree et al, 1994, 1995, 1998) pour estimer leur conductance hydraulique. Les travaux ont porté sur des semis âgés 2 ans de 2 espèces de forêts tempérées *Acer pseudoplatanus* et *Fraxinus excelsior* élevés sous des ombrières dans un environnement lumineux de 39 %, 22% et 11% du rayonnement global. Les principaux résultats obtenus sont :

- une croissance en surface foliaire et en biomasse liée aux traitements lumineux avec une très faible croissance des plants cultivés à 11%;
- une inégale répartition des résistances hydrauliques dans la plante avec plus de 65% de la résistance hydraulique totale à l'écoulement de l'eau du sol vers les feuilles se trouvant dans le compartiment souterrain quelque soit l'espèce étudiée et le régime lumineux considéré.

Les résultats ont révélé des différences à la fois intrinsèques (distribution des résistances hydrauliques dans la plante) et extrinsèques (réponses aux conditions de croissance) d'architecture hydraulique entre les espèces étudiées durant la phase de croissance considérée. Une inversion des conductances spécifiques foliaires au cours de la saison de végétation a été observée. Cette inversion du sens des conductances dont les origines restent inexpliquées mérite d'être approfondie.

Tyree MT., Yang S., Cruiziat P. et Sinclair B. 1994 – Novel methods of measuring hydraulic conductivity of tree root systems and interpretation using AMAIZED. *Plant Physiol.*, 104 : 189-199.
Tyree MT., Patiño S., Bennink J., Alexander J. 1995 – Dynamic measurements of root hydraulic conductance using a high-pressure flowmeter in the laboratory and field. *J. Exp. Bot.*, 46 : 83-94.
Tyree MT., Velez V. et Dalling JW. 1998 – Root and shoot hydraulic growth dynamics in five neotropical seedlings of differing light requirements scaling to show ecotype differences. *Oecologia*, 114 : 293-298.