

I.R.D.

Institut de Recherche pour le Développement



Rapport de mission

Du 31 août au 5 septembre 2010

« *Risques et changement climatique* »

XXIII^{ème} Colloque de L'Association Internationale de Climatologie
LETG (UMR 6554 CNRS), Université Européenne de Bretagne, Rennes 2

Georges Nizinski
Anh Galat-Luong
Gérard Galat

Institut de Recherche pour le Développement
UMR 211 « BIOEMCO »
Biogéochimie et écologie des milieux continentaux - Interactions biologiques dans les sols
Centre IRD d'Orléans
5 rue du Carbone
45072 Orléans cedex 2
Téléphone : 02-38-49-95-25, fax: 02-38-49-95-76; courriel: georges.nizinski@ird.fr

Ce rapport contient:

A) Cadre général de la mission

B) Déroulement de la mission

C) Résultats de la mission

- **Annexe n°1** – XXIII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie : 2^{ème} et 3^{ème} circulaire
- **Annexe n°2** – Programme du XXIII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, du mardi 1 au samedi 5 septembre 2010, LETG (UMR 6554 CNRS), Université Européenne de Bretagne, Rennes 2
- **Annexe n°3** – Les problématiques scientifiques développées lors du Colloque
- **Annexe n°4** – Actes de Colloque : Nizinski J.J., Galat G. et Galat-Luong A., 2010. ÉTUDE ET MODÉLISATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION DES COUVERTS VÉGÉTAUX : CAS D'UNE SAVANE ET D'UNE PLANTATION
- **Annexe n°5** – Guide de l'Excursion : le littoral entre Cancale et Saint Malo.
- **Annexe n°6** – Exposé du 2 septembre 2010
- **Annexe n°7** – Session des posters du 3 septembre 2010

(A) Cadre général de la mission

Nous avons participé au XXIII^{ème} Colloque « Risques et changement climatique » ([www.http://www.climato.be/aic/colloques.html](http://www.climato.be/aic/colloques.html)) (Annexe n°1) organisé par l'Association Internationale de Climatologie¹ et LETG (UMR 6554 CNRS), Université Européenne de Bretagne, Rennes 2.

Le colloque a eu lieu du 1^{er} au 5 septembre 2009 à Rennes sous le patronage du Recteur de l'Université Européenne de Bretagne, Rennes 2. Le colloque se déroulé pour la session inaugurale à « Tambour ».

Nous remercions Michel Erpicum², Professeur de l'Université de Liège, Belgique (Président de l'Association Internationale de Climatologie – AIC), et les Professeurs Vincent Dubreuil³, Olivier Planchon, Hervé Quenol et Valérie Bonnardot (Université Européenne de Bretagne) pour leur accueil et leur aide.

Notre mission à Rennes avait trois objectifs: 1^{er}) répondre à l'invitation du Professeur Sylvain Bigot⁴ de l'Université Joseph Fourier (Grenoble) et de Gérard Beltrando de l'Université Paris Diderot (Rédacteur en Chef de la revue « Climatologie »); 2^{ème}) faire connaître les activités de l'IRD et en particuliers nos activités de recherche en bioclimatologie au sein de l'Unité Mixte de Recherche 211 « Bioemco », aux membres de l' Association Internationale de Climatologie (AIC) et à tous les chercheurs réunis pour les trois conférences du 2 septembre; et 3^{ème}) établir une éventuelle collaboration scientifique avec les laboratoires présents.

Cette mission a pu avoir lieu grâce à l'appui financier de l'IRD, UMR 211 - Bioemco « Biogéochimie et écologie des milieux continentaux - Interactions biologiques dans les sols ».

¹ Association Internationale de Climatologie, www.climato.be/aic/association/bureau.html; Michel Erpicum, Président

² Michel Erpicum, Professeur, Université de Liège, Climatologie et Topoclimatologie, Département de Géographie, Bâtiment B11 Sart Tilman, B-4000 Liège, Belgique

³ Vincent Dubreuil, Professeur; Université Européenne de Bretagne

⁴ Sylvain Bigot, Professeur; Université Joseph Fourier, Grenoble 1, Laboratoire des Transfert en Hydrologie et en Environnement – UMR 5564 ; Institut de Géographie Alpine, 14bis avenue Marie Reynoard, 39100 Grenoble, téléphone : 04-76-82-20-75 ; fax : 04-76-82-20-01, e-mail : sylvain.bigot@ujf-grenoble.fr

Ce colloque a permis à la communauté scientifique travaillant sur le climat, en zones tempérée, polaire et tropicale de l'Afrique et de l'Amérique du Sud d'entrer en contact et de définir des méthodes et des cadres appropriés pour un travail en commun : France (IRD, Universités, INRA, CNRS, Météo France), Algérie, Allemagne, Belgique, Bénin, Burkina Faso, Brésil, Canada, Cameroun, États Unis, Grande Bretagne, Grèce, Italie, Liban, Niger, Portugal, Roumanie, Sénégal, Suisse, Togo et Tunisie). Les problématiques scientifiques sont développées dans l'Annexe n°3.

De nombreuses spécialités étaient représentées: climatologie, hydrologie, écophysiologie, bioclimatologie, foresterie, agronomie, économie, météorologie; 258 scientifiques de 20 pays y participaient (liste et adresses des participants dans l'annexe n°3); 114 contributions ont été exposées (90 exposés et 24 posters).

Nous y avons présenté trois communications : 1^{er}) exposé « Échanges de masse et d'énergie dans les couverts végétaux : cas d'une savane et d'une plantation » (Annexe n°6); 2^{ème}) poster n°1 « Région Centre: Territoire Durable du Golf : gestion de la ressource en eau dans les golfs de la Région Centre » (Annexe n°5) et 3^{ème}) poster n°2 « Etude et modélisation de la photosynthèse en forêt tropicale humide: de la feuille à la canopée » (Annexe n°7).

B) Déroulement de la mission

La mission s'est déroulée d'après le programme préparé par l'équipe organisatrice Vincent Dubreuil, Olivier Planchon, Hervé Quenol et Valérie Bonnardot (Université Européenne de Bretagne). Il y a eu huit sessions de travail – 90 exposés et 24 posters:

- Session n°1 « Modélisation en climatologie » (1/2) (quatre exposés) et « Risques et événements climatiques extrêmes » (2/2) (cinq exposés);
- Session n°2 « Changements climatiques et ses impacts » (1/2) (quatre exposés) et « Agroclimatologie » (2/2) (quatre exposés);
- Session n°3 « Climatologie historique » (1/2) (cinq exposés) et « Topoclimatologie et montagne » (2/2) (cinq exposés);
- Session n°4 « Climatologie urbaine » (1/2) (cinq exposés) et « Agroclimatologie » (2/2) (cinq exposés);

- Session n°5 « Climat et géomatique » (1/2) (quatre exposés) et « Risques et événements climatiques extrêmes » (2/2) (quatre exposés);

Une excursion était organisée sur le littoral entre Cancale et Saint Malo (le 5 septembre 2010).

Nous avons coordonné la Session n°2 « Agroclimatologie », lors de la séance du 1^{er} septembre 2010.

Nous avons débattu de la possibilité d'élargir ce projet à d'autres partenaires travaillant sur des plantations de ligneux en zone tempérée et tropicale. Nous avons abordé les aspects pratiques de fonctionnement de cette éventuelle collaboration: échanges d'informations, propriété des résultats, politique de publication, organisation du réseau, nouveaux sites et perspectives de développement du réseau.

C) Résultats de la mission

1^{er}) Les réunions de travail nous ont permis de discuter avec la communauté scientifique travaillant sur le climat, d'entrer en contact avec des chercheurs que nous ne connaissions que par leurs publications et de définir des méthodes et des cadres appropriés pour un éventuel travail en commun. Lors de nos conférences de nombreuses spécialités étaient représentées: hydrologie, écophysiole, bioclimatologie, foresterie, génétique, agronomie, économie.

2^{ème}) Nous y avons présenté trois communications : 1^{er}) exposé « Échanges de masse et d'énergie dans les couverts végétaux : cas d'une savane et d'une plantation »; 2^{ème}) poster n°1 « Région Centre: Territoire Durable du Golf : gestion de la ressource en eau dans les golfs de la Région Centre » et 3^{ème}) poster n°2 « Etude et modélisation de la photosynthèse en forêt tropicale humide: de la feuille à la canopée ».

3^{ème}) Michel Erpicum (Président de l'AIC), Sylvain Bigot (Rédacteur en Chef de la revue « Climatologie ») de l'Université Joseph Fourier (Grenoble) et Gérard Beltrando de l'Université Paris Diderot nous ont demandé de faire partie du Comité Scientifique et du Comité d'Organisation du XXIV^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie

qui aura lieu au mois de septembre 2010 à l'Université à Turin; nous avons accepté leur proposition.

4^{ème}) La documentation de l'IRD a acheté la collection complète de la revue « Climatologie », revue de très bonne facture scientifique et en langue française, donc fortement prisée par les étudiants francophones.

Annexe n°1

XXIII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie : 2^{ème} et 3^{ème} circulaire

Annexe n°2

Programme du XXIII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, du mardi 1 au samedi 5 septembre 2010, LETG (UMR 6554 CNRS), Université Européenne de Bretagne, Rennes 2

Annexe n°3

Les problématiques scientifiques développées lors du Colloque

Annexe n°4

Actes de Colloque : Nizinski J.J., Galat G. et Galat-Luong A., 2010. ÉTUDE ET MODÉLISATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION DES COUVERTS VÉGÉTAUX : CAS D'UNE SAVANE ET D'UNE PLANTATION

Annexe n°5

Guide de l'Excursion : le littoral entre Cancale et Saint Malo.

Annexe n°6

**Exposé : ÉTUDE ET MODÉLISATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION
DES COUVERTS VÉGÉTAUX : CAS D'UNE SAVANE ET D'UNE
PLANTATION**

Du 2 septembre 2010

De 15h20 à 16h00

ÉTUDE ET MODÉLISATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION DES COUVERTS VÉGÉTAUX : CAS D'UNE SAVANE ET D'UNE PLANTATION

Georges J. Nizinski, Gérard GALAT et Anh GALAT-LUONG

Institut de Recherche pour le Développement

Institut de Recherche pour le Développement, I.R.D., UMR 211 « BIOEMCO – Interactions biologiques dans les sols », Centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 2, téléphone : 02-38-49-95-25, fax: 02-38-49-95-76; courriel:

georges.nizinski@ird.fr

DIAPO n°1 – Tout d'abord, je remercie le comité d'organisation de m'avoir permis d'être présent à ce colloque et en particulier je remercie le Professeur Vincent Dubreuil, coordinateur de ce colloque.

DIAPO n°2 – l'échelle choisie, dans mon exposé, pour l'estimation et la modélisation de l'évapotranspiration est la journée, les conditions sont celles dites du « flux conservatif » pour lesquelles l'absorption est égale à la transpiration, ce qui est rarement le cas dans la réalité pour une échelle de temps inférieure à la journée, au cours de laquelle il y a déshydratation et réhydratation de la plante, mais ce qui est réaliste pour un pas de temps de 24 heures.

DIAPO n°3 et n°4 – Historiquement Penman en 1948, puis Monteith en 1965 ont posé les bases physiques du calcul de l'évaporation d'une surface mouillée puis de l'évapotranspiration d'un couvert végétal fermé.

DIAPO n°5 – l'équation dite de Penman associe la méthode du profil aérodynamique et celle du bilan d'énergie, en supposant les coefficients de transfert turbulent d'énergie et de masse identiques. En associant les deux équations, on peut alors éliminer la température de surface qui est difficile à mesurer, on obtient ainsi l'équation de Penman

Pour les surfaces présentant une très petite pente, uniformes et suffisamment étendues, les flux de chaleur sensible et de chaleur latente sont considérés comme verticaux et on applique le principe de « similarité » entre les coefficients de transfert de chaleur sensible et de chaleur latente.

DIAPO n°6 – Equation dite de Penman-Monteith de 1965 ; cette équation suppose de quantifier la *résistance aérodynamique* du couvert (r_a), la *résistance de surface du couvert* (dite résistance du couvert) (r_c) et les variables climatiques. La résistance aérodynamique est une grandeur physique qui rend compte de la diffusion de chaleur ou de vapeur d'eau de la

surface des feuilles vers l'atmosphère. La résistance du couvert (r_c) comporte en plus un terme biologique qui rend compte de la diffusion de la vapeur d'eau issue des feuilles, la résistance stomatique des feuilles à la diffusion de la vapeur d'eau, r_{st} . On utilise pour des couverts fermés les équations simplifiées suivantes :

DIAPO n°7 – Ces équations supposent que les résistances des feuilles de l'ensemble du couvert sont identiques à tout instant, or ce n'est pas le cas: du haut vers le bas du couvert il y a augmentation de r_b due à diminution de la vitesse du vent; il y a augmentation de r_{st} due à la diminution de l'éclairement; par ailleurs les conditions de croissance des feuilles dépendant de leur position dans l'architecture du couvert, les feuilles de haut et du bas du couvert n'ont pas les mêmes caractéristiques physiologiques (feuilles dites « d'ombre » et « de lumière »)

DIAPO n°8 – **La résistance aérodynamique** est composée des résistances à la diffusion de la chaleur ou de la vapeur d'eau de la couche limite des feuilles et de la résistance de l'air entre le milieu du couvert (moyenne de la hauteur de ce couvert) et la hauteur au dessus du couvert où techniquement il est possible de mesurer les variables météorologiques. On évalue r_a ou son inverse, conductance aérodynamique, en supposant l'égalité entre transport de chaleur et transport de quantité de mouvement

L'ensemble des valeurs de la résistance aérodynamique rend compte du fait que la résistance diminue avec la rugosité du couvert et avec la vitesse du vent. Pour les couverts épars, le calcul de la résistance aérodynamique n'a pour l'instant pas de solution théorique; pour la steppe sahélienne composée à 80 % de zones herbacées (bosquets d'arbres peu denses) nous avons supposé l'égalité des résistances aérodynamiques entre zones herbacées et bosquets, ce qui, compte tenu de la faible densité des arbres au sein des bosquets reste raisonnable: la résistance est d'autant plus élevée que la densité est faible; par ailleurs, en ce qui concerne l'estimation de l'interception (seule la résistance aérodynamique intervient), on peut supposer qu'on ne la surestime pas trop car les pluies sont de grande intensité et la capacité de rétention des couronnes et troncs est faible (2,9-3,8 mm pour *Balanites aegyptiaca* et *Acacia raddiana*). Les valeurs maximales de l'interception des bosquets de *B. aegyptiaca* et d'*A. raddiana* sont de 8,4 et 12,4 % des précipitations incidentes alors qu'elles peuvent atteindre 40 % des précipitations incidentes (P_i) pour le chêne en zone tempérée (forêt de Fontainebleau); les valeurs maximales de l'interception des bosquets (8,4 et 12,4 % P_i) sont du même ordre de grandeur que celle des zones herbacées de la savane sahélienne (7,5 % de P_i) et de la savane du littoral congolais (7 % de P_i)

DIAPO n°9 – **La résistance du couvert** : dépend des résistances stomatiques des feuilles de ce couvert et de l'indice foliaire; la transpiration du couvert est la somme des transpirations de l'ensemble des feuilles, chaque feuille ayant une résistance stomatique donnée instantanée dépendante de ses caractéristiques physiologiques propres et du microclimat auquel elle est soumise. La résistance stomatique: les mouvements stomatiques (dépendant de la turgescence des cellules de garde) sont sous le contrôle du rayonnement incident, de l'état hydrique de l'air, de l'état hydrique du sol et de l'état hydrique des feuilles

DIAPO n°10 – Les mécanismes par lesquels les stomates répondent aux trois derniers facteurs sont encore discutés:

- concernant l'état hydrique de l'atmosphère, il devient de plus en plus discuté que les stomates soient dépendants de l'humidité relative de l'air de façon univoque. Ils seraient dépendants du déficit de saturation de l'air associé au flux d'eau à l'intérieur de la feuille, mais on ignore par quels mécanismes.

- concernant l'état hydrique du sol, on a longtemps expliqué l'action de ce dernier sur les mouvements stomatiques par son action sur l'état hydrique des feuilles: ainsi une baisse du potentiel hydrique du sol entraînerait une baisse du potentiel hydrique des feuilles qui entraînerait à partir d'un potentiel seuil une fermeture des stomates, mais on sait aujourd'hui qu'une plante bien alimentée en eau mais soumise à des potentiels hydriques du sol élevés (par un artifice expérimental) fermera ses stomates: les racines, au contact d'un sol desséché, synthétiseraient de l'acide abscissique qui agirait directement sur les stomates, quel que soit l'état hydrique de la plante. Parmi les espèces que j'ai étudiées, *B. aegyptiaca* pourrait répondre à ce cas de figure: En période de dessèchement du sol, avec des horizons supérieurs du sol n'offrant plus d'eau disponible pour la plante et avec des horizons plus profonds ayant encore de l'eau disponible, *B. aegyptiaca* fermera ses stomates (en fonction des journées, même en fin de nuit – lever du soleil, il peut ne pas y avoir ouverture stomatique).
- concernant l'état hydrique de la plante, il n'existe pas de relation causale simple entre les mouvements stomatiques et le potentiel hydrique foliaire: ainsi à potentiel hydrique foliaire égal les stomates sont fermés la nuit et ouverts le jour; en fonction de l'espèce, le dessèchement du sol provoque une fermeture stomatique, avec ou non incidence sur le potentiel hydrique foliaire. Les espèces sur lesquelles nous avons travaillé répondent au 1^{er} cas de figure à l'exception de *B. aegyptiaca*. Lors d'une période de dessèchement du sol *B. aegyptiaca* a une stratégie de modification de l'indice foliaire (chute des feuilles) associée au maintien d'un potentiel hydrique foliaire élevé pour les feuilles restantes (pendant une période dépendante de la période de sécheresse). Parmi les régulations d'une plante soumise à la sécheresse, il y a celles relatives au flux d'eau dans la plante et celles relatives à la distribution des assimilats, en général une part plus importante du carbone est destinée aux racines et/ou il y a réduction de la croissance foliaire et accélération de la sénescence.

DIAPO n°11 et n°12 – Dans les modèles de résistance stomatique, comme par exemple

- le modèle de Paul JARVIS
- ou le modèle de Bernard SAUGIER que j'ai adapté au chêne.

Le terme « résistance stomatique minimale », qui est la résistance stomatique en dehors de toute contrainte hydrique, ce terme est supposé constant.

Or, j'ai pu vérifier que ce n'est pas le cas dans la réalité.

Je vais illustrer le phénomène avec le chêne en Forêt de Fontainebleau.

J'ai étudié la mise en place de l'indice foliaire chez le chêne qui est une espèce caducifoliée.

La résistance stomatique est généralement systématiquement mesurée sur le terrain – ce que nous avons fait - mais actuellement on ne dispose que de modèles empiriques pour rendre compte des variations de cette résistance avec les facteurs du milieu. La résistance stomatique d'une feuille peut être calculée à l'aide des modèles empiriques de Jarvis (1976) à partir des relations entre la résistance stomatique minimale d'une feuille, le potentiel hydrique des feuilles, le rayonnement global, le déficit de saturation de l'air et la réserve en eau du sol.

DIAPO n°13 – **La résistance du couvert** : la résistance stomatique dépend de la *résistance stomatique minimale*, valeur remarquable correspondant à une situation de non contrainte

hydrique (sol et plante). La résistance stomatique minimale évolue dans le temps, de l'apparition de la feuille jusqu'à sa mort, elle décroît jusqu'à une valeur minimale pour ensuite réaugmenter (évolution biologique et physiologique de la feuille), ce que nous avons observé sur les espèces que nous avons étudiées. Chez les espèces caducifoliées (chêne, *Acacia*, hêve) toutes les feuilles du couvert évoluant *grosso modo* de façon synchrone, la résistance du couvert est une fonction de la résistance stomatique minimale et de l'indice foliaire. Chez les espèces persistantes (Eucalyptus), le degré de dépendance de la résistance du couvert à la résistance stomatique minimale dépendra du taux du renouvellement des feuilles puisque coexistent dans le couvert des feuilles d'âges différents (problématique d'échantillonnage). Relation [résistance stomatique minimale - indice foliaire] chez les espèces caducifoliées: à l'exception d'Eucalyptus, les espèces que nous avons étudiées sont caducifoliées, la période sans feuille étant la saison froide en zone tempérée et la saison sèche en zone tropicale nous avons pu ainsi analyser les phénomènes suivants: lors de la mise en place du couvert la résistance stomatique minimale d'une feuille décroît avec l'augmentation de l'indice foliaire et continue généralement de décroître jusqu'à sa valeur minimale alors que l'indice foliaire est maximal. La période (LAI_{max} - valeur minimale de r_{st-min} : chez *Q. petraea* - $LAI=100\%$; $r_{st}=3,6\pm 0,9\text{ s cm}^{-1}$; $LAI=8\%$; $r_{st}=8,7\pm 3,6\text{ s cm}^{-1}$) est plus ou moins longue en fonction de l'espèce; par exemple chez le chêne, elle est très courte (deux à trois semaines). Ensuite, la r_{st-min} réaugmente pendant toute la période du LAI_{max} (deux mois et demi pour le chêne) pour continuer d'augmenter lors de la sénescence.

Pour estimer **la résistance du couvert**, on a commencé historiquement par supposer que toutes les feuilles étaient semblables (mêmes caractéristiques physiologiques, même microclimat)

- Katerji et Perrier (1985) ont estimé la variabilité des résistances stomatiques dans l'ensemble du couvert et divisent le couvert en plusieurs strates auxquelles ils appliquent l'équation citée plus haut.
- Saugier et Katerji (1991) proposent un calcul reposant sur la décroissance exponentielle du rayonnement avec l'indice foliaire cumulé à partir du sommet du couvert et sur l'intégration de la variation de la résistance stomatique avec le rayonnement reçu.

D'autres auteurs calculent la résistance du couvert r_c , à partir de mesures du flux de chaleur latente au dessus du couvert par des méthodes micrométéorologiques en inversant l'équation de Penman-Monteith, le couvert végétal fermé est assimilé à une « grande feuille » dont il faut connaître la résistance aérodynamique:

DIAPO n°14 – J'ai étudié

- le débourrement
- la période de croissance foliaire jusqu'à l'indice foliaire maximal
- puis la décroissance de cette surface jusqu'à la chute des feuilles.

Parallèlement, j'ai suivi les résistances stomatiques, les potentiels hydriques des feuilles et la morphologie de l'épiderme des feuilles au microscope électronique à balayage.

La résistance stomatique minimale évolue dans le temps, ici la mesure de la résistance stomatique au poromètre **DIAPO n°15**

- la résistance stomatique minimale décroît, rapidement en début de croissance, on passe de 7,9 à 2,5 s cm^{-1}

- puis continue de décroître alors que l'indice foliaire est maximal, on passe de 2,5 à 1,4 $s\ cm^{-1}$
- puis réaugmente, toujours pour un indice foliaire maximal
- puis continue à augmenter au cours de la sénescence.

On a ici (**DIAPO n°16**) la variation de la résistance stomatique minimale en fonction de la surface foliaire exprimé en % de la surface foliaire maximale.

L'observation de l'épiderme des feuilles au microscope montre que

- pour les feuilles jeunes: l'épiderme est couvert de poils très denses et que les stomates n'ont pas achevé leur développement (**DIAPO n°17**); il y a des dépôts de cire autour de l'ostiole
- pour les feuilles adultes, les poils disparaissent (**DIAPO n°18**) et les stomates deviennent matures (**DIAPO n°19**).

La diminution de la résistance stomatique minimale est donc due à l'évolution morphologique et physiologique des stomates et à une diminution de la résistance de la couche limite de l'épiderme.

On voit donc que le fait que la résistance stomatique minimale ne soit pas constante importe plus ou moins en fonction des espèces.

Chez des espèces comme le chêne pour lequel toutes les feuilles ont le même âge, le phénomène sera plus important que chez des espèces persistantes, comme l'Eucalyptus, pour lequel coexistent dans le couvert des feuilles de tous les âges.

Revenons au modèle de résistance stomatique, on a là la résistance stomatique en fonction de la valeur absolue du potentiel hydrique foliaire.

- la résistance stomatique est constante et minimale pour une gamme de potentiels jusqu'à un potentiel hydrique foliaire limite qui dépend de l'espèce, au delà duquel la résistance augmente
- et on a là une gamme de courbes qui rend compte de l'âge des feuilles, donc de l'évolution de la résistance stomatique minimale

si l'on considère l'évapotranspiration réelle, l'évapotranspiration réelle suit les variations d'indice foliaire et comme il existe un décalage entre le moment où l'indice foliaire est maximal et le moment où la résistance stomatique minimale atteint sa valeur minimale, l'évapotranspiration réelle atteint son maximum au moment où la résistance stomatique minimale est à son minimum. Ici pour le chêne il y a un décalage de presque deux mois.

Le rapport Transpiration - Evapotranspiration potentielle augmente avec l'augmentation de l'indice foliaire suivant une fonction $1 - e^{-k LAI}$ où k représente le coefficient d'extinction de la lumière dans le couvert (Saugier, 1996). En fonction du type de végétation l'écart à cette courbe est plus ou moins grand. L'estimation et la modélisation de l'indice foliaire sont donc essentielles. Nous illustrerons l'influence de l'indice foliaire sur l'évapotranspiration réelle à partir de deux situations: la chênaie tempérée, forêt caduque que nous avons suivie plusieurs années du débourrement jusqu'à la chute des feuilles, et la steppe sahélienne, végétation hétérogène. Dans le cas *des espèces caducifoliées*, il s'agit de modéliser les différents

événements phénologiques: le jour de débourrement, la période de croissance foliaire jusqu'à indice foliaire maximal, la phase adulte pendant laquelle l'indice foliaire $LAI=LAI_{max}$, le début de la sénescence, de la chute des feuilles jusqu'à moment où l'indice foliaire s'annule. Avec deux variables d'entrée simples, la température moyenne de l'air et la photopériode, nous avons modélisé pour *Q. petraea*, le jour du débourrement, celui de la fin d'accroissement en surface des feuilles, l'évolution de l'indice foliaire. L'évapotranspiration réelle suit les variations de l'indice foliaire dans les forêts caduques; comme il existe un décalage entre le moment où $LAI=LAI_{max}$ et le moment où r_{st-min} atteint sa valeur minimale, l'évapotranspiration réelle atteint son maximum (en période de non contrainte hydrique) après $LAI=LAI_{max}$ au moment où r_{st-min} est à sa valeur minimale pour le chêne environ un mois après que $LAI=LAI_{max}$. *B. aegyptiaca* offre un exemple d'adaptation à la sécheresse et nous allons récapituler ici ensemble de ses caractéristiques qui expliqueraient sa répartition (espèce qui « remonte » le plus au Nord du Sénégal) et l'augmentation actuelle de sa fréquence par rapport aux autres espèces arbustives et arborescentes de la steppe sahélienne: en saison sèche, lorsque la disponibilité en eau devient limitante, on a vu que *B. aegyptiaca* avait une stratégie de maintien d'un potentiel foliaire élevé avec augmentation de la résistance stomatique et une stratégie de modification de l'indice foliaire (chute des feuilles). Ainsi, en fin de saison sèche alors que *B. aegyptiaca* n'a plus des feuilles il subsiste dans les horizons profonds (au-delà de 2,0 m de profondeur) une lame d'eau qui était disponible pour *B. aegyptiaca* mais qui n'a pas été utilisé (augmentation de la résistance stomatique, diminution de la transpiration). Ensuite, il y a débourrement et croissance foliaire avant les pluies, pendant la période où l'humidité relative de l'air réaugmente, cette croissance foliaire est possible puisqu'il y a de l'eau disponible en profondeur. Une telle situation nous amène à faire deux suppositions: (1°) supposons l'existence d'un « message » chimique lié à la détection de l'augmentation de l'humidité relative de l'air, message participant à l'équilibre chimique de l'induction au débourrement. Cette détection doit être le fait d'un organe aérien qui pourrait être les tiges (épines) photosynthétiques, qui elles, restent en place; (2°) supposons que ce message est prioritaire par rapport au « message ABA » issu des racines puisque les feuilles se mettent en place alors que la réserve en eau des horizons supérieurs sont à la réserve au point de flétrissement permanent, dans une « configuration sol » identique à celle de la fin de la saison sèche. On peut se poser la question de l'avantage adaptatif de la mise en place des feuilles avant l'arrivée des pluies.

Je finirai en disant que parallèlement au travail de modélisation, le travail de terrain est loin d'être achevé: ainsi de la résistance stomatique minimale pour laquelle nous avons montré qu'il existait pour *Q. petraea* un facteur trois entre sa valeur minimale et sa valeur maximale ou encore de la gamme que l'on peut supposer très étendue des caractéristiques d'adaptation à la sécheresse telles que celle décrites pour *B. aegyptiaca*

DIAPO n°20 –

Je vous remercie de votre attention

Annexe n°7

Session des posters du 3 septembre 2010

De 10h30 à 12h00

(1^{er}) Région Centre : Territoire Durable du Golf - gestion de la ressource en eau dans les golfs de la Région Centre

(2^{ème}) Etude et modélisation de la photosynthèse en forêt tropicale humide: de la feuille à la canopée (Manaus-Brésil)

(1^{er}) Région Centre : Territoire Durable du Golf - gestion de la ressource en eau dans les golfs de la Région Centre

J. Chaboche(a), C. Aubertin(b), H. Rakoto(b), J. Nizinski(c), J.-L. Yéngué(d) et J.-M. Zaninetti(e)

(a) Université d'Orléans, UFR STAPS d'Orléans, EA 1210, 2 allée du Château, 45062 Orléans, téléphone : 02 38 49 47 01; courriel : jose.chaboche@univ-orleans.fr

(b) IRD Orléans « Politiques de l'Environnement », UMR 199 « Innovation socio-environnementale et gouvernance des ressources », 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 2, téléphone : 02-38-49-95-32 ; courriel : catherine.aubertin@ird.fr; herve.rakoto@ird.fr;

(c) UMR 211 « BIOEMCO », Centre IRD d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 2; téléphone: 02-38-49-95-25; fax: 02-38-49-95-76; courriel: georges.nizinski@ird.fr

(d) UMR 6173 Cités, Territoires, Environnement et Sociétés, Université de Tours, 33 allée Ferdinand de Lesseps, BP 60449, 37204 Tours cedex 3, téléphone : 02-46-36-11-88 ; courriel : yengue@univ-tours.fr

(e) Université d'Orléans, UFR STAPS d'Orléans, EA 1210, 2 allée du Château, 45062 Orléans, téléphone : 02 38 49 47 01; courriel : jean-marc.zaninetti@univ-orleans.fr

Le projet, fondé sur des échanges entre scientifiques et experts professionnels, comprend trois phases d'une durée d'un an chacune :

1) un diagnostic territorial approfondi du golf dans le Centre, dont les résultats seront interprétés en référence aux tendances observées au niveau national, et pour ce faire, dans des régions représentatives de la pratique et disposant d'équipements, régions pour lesquelles on dispose d'informations comme l'Aquitaine ;

2) douze études complémentaires à l'échelle régionale (ex : accès à la pratique ; tourisme d'affaire et événementiel ; éco-habitat ; gestion de la ressource en eau ; géomarketing des clientèles ; benchmarking des politiques publiques ; etc.) visant à définir (1) des critères, des méthodes et des pratiques "durables" pour chaque thème, selon une approche orientée sciences sociales et sciences du vivant et (2) à identifier les axes d'une future stratégie régionale de développement durable du golf ;

(3) la valorisation de ces travaux, le but étant de créer du lien et des synergies entre les partenaires :

1° colloque international avec actes à Orléans en 2012 présentant les acquis et rassemblant les acteurs du golf autour des thèmes étudiés ;

2° événementiel grand public (salon ou congrès) rassemblant chercheurs, collectivités, acteurs de la filière "Golf" et pratiquants ;

3° publications individuelles et collectives : ouvrage aux Presses Universitaires d'Orléans, n° spécial de revue scientifique, articles ;

4° prestations de conseil/audit auprès des décideurs publics et privés demandeurs ;

5° brevets liés à la création de pratiques et d'événementiels sportifs innovants (le "Urban Golf Campus" a été déposé à l'INPI en 2008) ;

6° édition d'un progiciel "Aménagement et le management durables du golf" à destination des professionnels et de leurs partenaires

□ **Volet scientifique** : recherches fondamentales interdisciplinaires sciences sociales (concepts, méthodes et politiques favorisant un développement durable du golf) et sciences du vivant (bilan d'eau de l'écosystème « golf » - gestion de l'eau) ; application à la Région Centre.

□ **Volet socio-économiques** : 1° pour équipe-projet et tutelles : plate-forme de travail entre acteurs (réalisée par un étudiant en M2 Informatique au LIFO, EA 4022), exploitation de brevets (concept d'événement sportif innovant) ; progiciel "Aménagement et management durables du golf"; développement d'une expertise scientifique pour une activité de conseil et d'audit. 2° pour partenaires non académiques : connaissance de l'impact économique régional du golf et des clientèles (consommations, fréquentations, etc.) ; aide à la définition de stratégies de communication pour développer les pratiques (associatives, individuelles, etc.) et renforcer la viabilité économique des golfs (hausse d'activité et de l'emploi) ; synergies avec d'autres produits et services touristiques et

ludiques régionaux ; aide à la planification stratégique en vue de renforcer ou non l'activité de golfs existant et d'aménager ou non de nouveaux golfs ; contribution à l'émergence d'un territoire golfique durable exemplaire au regard de bonnes pratiques recensées et adaptées ; synergies entre chercheurs et professionnels en vue de transferts bidirectionnels de connaissances et de compétences.

□ **Volet technique** : conseil et aide à la certification pour un management environnemental des golfs; élaboration de diagnostics environnementaux et diffusion aux professionnels d'un cahier de recommandations composé d'indicateurs de durabilité et d'études de cas (écosystèmes, ressource en eau, intrants, paysages, éco-habitat, accessibilité aux handicapés, etc.) pour une gestion des golfs respectueuse des principes du développement durable

Les perspectives de développement raisonné de la pratique du golf posent notamment 1) la question de l'usage et de la gestion de la ressource en eau 2) ainsi que les formes d'habitat associées et en particulier celle de la faisabilité d'éco-hameaux sur golfs.

(2^{ème}) Etude et modélisation de la photosynthèse en forêt tropicale humide: de la feuille à la canopée (Manaus-Brésil)

L. Alves da Suza^(a), S. Saleska^(b), A. Ocimar Manzi(a) et J. Nizinski(c)

(a) Av. André Araújo, 2936 - Campus II - Aleixo, CEP: 69060-000 – Manaus/Amazonas, Brésil, téléphone: + 55 92 3643–3636, courriel: lissa.lika@gmail.com; manzi@inpa.gov.br

(b) Department of Ecology and Evolutionary Biology, Biosciences West, Room 310, 1041 E. Lowell Street, Tucson, Arizona 85721-0088; PIRE Program in Amazon-Climate Interactions, Etats-Unis; courriel: srsaleska@gmail.com

(c) IRD, UMR 211 « BIOEMCO », 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 2; téléphone: 0238499525; courriel: georges.nizinski@ird.fr

Les modèles climatiques de circulation générale de l'atmosphère nécessitent des modèles d'évapotranspiration réelle rendant compte des échanges végétation – atmosphère les plus réalistes possibles. Les écosystèmes amazoniens occupant une place cruciale dans le cycle global de carbone, ils contribuent à la régulation thermique terrestre à un niveau régional (Amazonie, Brésil) et global.

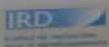
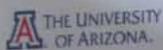
On étudie la variabilité des caractéristiques foliaires (réponse de la photosynthèse à l'éclairement, spectres d'absorption de la feuille, caractéristiques biochimiques et écophysiologicals de la feuille) au sein de la canopée soumise au gradient naturel d'éclairement existant en forêt tropicale humide, et ce, en fonction de la saison, des caractéristiques pédologiques des sites étudiés (plateaux à sols argileux et vallées à sols sableux), de la présence ou de l'absence d'épiphytes et/ou herbivores (« Ducke Reserve et ZF2 Reserve » près de Manaus).

Les manips se font dans des sites qui ont été cartographiés par photos aériennes (« airborne LIDAR surveys »).

Toutes les caractéristiques foliaires sont intégrées dans la paramétrisation de modèles d'échange de masse (H₂O et CO₂) et d'énergie entre cette forêt tropicale humide et l'atmosphère.

Etude et modélisation de la photosynthèse en forêt tropicale humide: de la feuille à la canopée (Manaus-Brésil)

L. Alves da Suza^(a), S. Saleska^(b), A. Ocimar Manzi^(a) et J. Nizinski^(c)



- (a) Av. André Araújo, 2936 - Campus II - Aleixo, CEP: 69060-000 - Manaus/Amazonas, Brésil, téléphone: + 55 92 3643-3636, courriel: luiza.alkaiz@gmail.com; manzi@inpa.gov.br
 (b) Department of Ecology and Evolutionary Biology, Biosciences West, Room 310, 1041 E. Lowell Street, Tucson, Arizona 85721-0088; PIRI: Program in Amazon-Climate Interactions, Elats-Unit; courriel: saleska@gmail.com
 (c) IRD, UMR 211 « BIOEMCO », 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 2; téléphone: 0238499525; courriel: georges.nizinski@ird.fr

Les modèles climatiques de circulation générale de l'atmosphère nécessitent des modèles d'évapotranspiration réelle rendant compte des échanges végétation - atmosphère les plus réalistes possibles. Les écosystèmes amazoniens occupant une place cruciale dans le cycle global de carbone, ils contribuent à la régulation thermique terrestre à un niveau régional (Amazonie, Brésil) et global.

On étudie la variabilité des caractéristiques foliaires (réponse de la photosynthèse à l'éclairement, spectres d'absorption de la feuille, caractéristiques biochimiques et écophysiological de la feuille) au sein de la canopée soumise au gradient naturel d'éclairement existant en forêt tropicale humide, et ce, en fonction de la saison, des caractéristiques pédologiques des sites étudiés (plateaux à sols argileux et vallées à sols sableux), de la présence ou de l'absence d'épiphytes et/ou herbivores (« Ducke Reserve et ZF2 Reserve » près de Manaus).

Les manip se font dans des sites qui ont été cartographiés par photos aériennes (« airborne LIDAR surveys »).

Toutes les caractéristiques foliaires sont intégrées dans la paramétrisation de modèles d'échange de masse (H₂O et CO₂) et de chaleur dans les forêts tropicales.

