

Rapport de la réunion du 22 novembre 2010 « Région Centre : Territoire Durable du Golf : TERDUGOLF »

J.J. NIZINSKI

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

A) Cadre général de la mission

J'étais présent à la réunion de travail du programme « Région Centre : Territoire Durable du Golf : TERDUGOLF¹ » (**Annexe n°1**), mandaté à cet effet par Catherine Aubertin et Hervé Rakoto de l'équipe scientifique IRD Orléans « Politiques de l'Environnement », de l'Unité de Recherche 199 « Innovation socio-environnementale et gouvernance des ressources » sous la direction de Geneviève Michon. Il s'agit d'un programme de recherche faisant partie d'un projet financé par la Région Centre, programme collaboratif avec l'Université d'Orléans ; ce programme a été appuyé fortement, au moment de sa mise en place, par le Directeur d'IRD d'Île de France Georges de Noni.

Le programme, fondé sur des échanges entre scientifiques et experts professionnels, comprend trois volets: volet scientifique, volet socio-économiques et volet technique (**Annexe n°2**). Nous sommes chargés (volet scientifique) du bilan d'eau de l'écosystème « golf » - gestion de l'eau; José Chaboche est responsable du projet (Université d'Orléans, UFR STAPS d'Orléans) ; les partenaires sont : l'Université d'Orléans, l'Université de Tours, l'IRD (UR199 et UMR 211 « BIOEMCO »), l'Ecole Nationale Supérieure de la Nature et des Paysages, Formule Golf, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, la Ligue du Centre de Golf, la Direction Régionale Jeunesse et Sports du Centre, le Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement 41.

La réunion de travail avait pour but la planification des tâches pour 2011 sur le thème « environnement » et a été animée par Jean-Louis Yéngué² de l'Université de Tours. Y étaient présents : José Chaboche³, responsable du projet, de l'Université d'Orléans - UFR STAPS d'Orléans ; Dominique Boutin⁴ de l'Ecole Nationale Supérieure de la Nature et des Paysages ; Nina Richard⁵ et Baptiste Sureau (étudiant de M1) de l'Université de Tours et J.J. Nizinski de l'IRD (UMR 211 « BIOEMCO »).

B) Déroulement de la mission

La réunion a eu lieu dans les locaux de la Maison des Sciences de l'Homme⁶, UMR 173 « Cités, Territoires, Environnement et Sociétés », l'Université de Tours.

¹ CHABOCHE J., LEFÈVRE L., SAKER A., SCHOENY A., AUBERTIN C., RAKOTO H., NIZINSKI J.J., ZANINETTI J.-M., ROMERO C., GIROIR G., GENIN A., YENGUE J.-Y., GRISON B., LALO E., RIFF J. et ZICOLA M., 2010. Région Centre : Territoire Durable du Golf : TERDUGOLF, Projet de recherche, Université d'Orléans, Orléans, 75 pages

² Université de Tours, Département de Géographie et UMR 6592 CITERES 33 Allée Ferdinand de Lesseps, BP 60449 - 37204 Tours cedex 03, Téléphone : 02.47.36.15.37, Fax : 02.47.36.15.38; courriel : yengue@univ-tours.fr

³ Université d'Orléans, UFR STAPS d'Orléans ; courriel : jose.chaboche@univ-orleans.fr

⁴ UMR 6592 CITERES. 9 rue de La Chocolaterie cs 2902 41029 Blois cedex tél. : 02 54 78 37 00 fax : 02 54 78 40 70; courriel : boutin.dom@wanadoo.fr

⁵ CETU Elmis Ingénieries, Université de Tours 11 quai Danton 37500 Chinon Tél.: 02 47 93 48 57; courriel : nina.richard@univ-tours.fr

⁶ Maison des Sciences de l'Homme - UMS 1835, 33 Allée Ferdinand de Lesseps, BP 60449, 37204 Tours cedex 3, téléphone : 02.47.36.15.37, fax : 02.47.36.15.38, courriel : msh@univ-tour.fr

7h39 – Départ d'Orléans

De 10h00 à 12h00 : Réunion de travail ; présents : José Chaboche, Dominique Boutin, Georges Nizinski, Nina Richard et Baptiste Sureau (étudiant de M1)

De 14h30 à 17h30 : Université de Tours

18h11 - Départ de Tours

19h14 – Arrivée à Orléans

La mission s'est déroulée d'après le programme préparé par Jean-Louis Yéngué (**Annexe n°4** – rapport de la réunion)

C) Résultats de la réunion

1^{er}) La **réunion de travail avait pour but** la planification des tâches pour 2011 sur le volet « environnement » ; le calendrier retenu est: (a) avant le 15 avril 2011 : réunion de travail à l'Université d'Orléans pour faire le point sur l'avancement des travaux; (b) mars 2012 : présentation des résultats; (c) janvier 2013 : Colloque International à l'Université d'Orléans; publication des Actes du Colloque.

2^{ème}) **Nos engagements** :

(a) Catherine Aubertin, Georges Nizinski et Hervé Rakoto de l'IRD d'Orléans ont confirmé une prise en charge d'une partie du programme TERDUGOLF - la gestion de l'eau des golfs : cas de la Région Centre ;

(b) Georges Nizinski assurera l'encadrement en bio-climatologie de Nina Richard de l'Université de Tours pour la période de mars à septembre 2011 ;

(c) l'équipe de l'IRD d'Orléans propose **deux approches de l'étude** de la gestion de l'eau des golfs (c1) **régionale** – analyser les besoins en eau de l'ensemble des 32 golfs de la Région Centre ; (c2) **stationnelle** - analyser les besoins en eau du Golf de Limère (Orléans), du Golf de Cheverny (Blois) et du Golf de la Gloriette (Tours) sur l'axe Nord-Sud de la région, en collaboration avec l'Ecole Nationale Supérieure de la Nature et des Paysages de Blois (Dominique Boutin – pédologue, Sylvie Servain – écologiste) ; ces chercheurs interviendront sur les mêmes golfs que nous même pour traiter des sols et de la végétation.

(d) **la méthodologie d'étude proposée est la suivante** :

(d1) **relevés des consommations** en eau des golfs de la Région Centre à obtenir grâce à nos contacts à l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et en particulier avec Gérard Boudon⁷ (Chef de service juridique), Jean-Philippe de Wroczynski⁸ (Chargé de communication), Alain Bourrain et Thierry Constant (Direction des Redevances de l'Agence de l'Eau) et François Dubois de la Sablonnière (Ingénieur agronome ; données pédologiques et données concernant la nappe phréatique du bassin de la Loire);

⁷ Gérard Boudon, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Direction des moyens généraux, avenue Buffon, BP 6339, 45063 Orléans cedex 2, téléphone : 0238517430, fax : 0238517455, courriel : gerard.boudon@eau-loire-bretagne.fr

⁸ Jean-Philippe de Wroczynski, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, téléphone : 0238517312, fax : 0238517480, courriel : philippe.dewro@eau-loire-bretagne.fr

(d2) **estimation des consommations** en eau des golfs de la Région Centre à partir des formules physique de Penman (1948)⁹ et Monteith (1965)¹⁰ ainsi que les consommations en eau des golfs à partir du modèle de Nizinski (Nizinski et Saugier, 1988¹¹; Nizinski et Saugier, 1989¹²) (**Annexe n°5**).

(d3) **Calendrier proposé et déroulement des expériences sur le terrain** (intervention très souhaitable d'un technicien 2 à 3 jour par semaine, surtout lors de la période végétative : mars-octobre ; Christian Colonge, l'agent de l'IRD présent sur le Centre d'Orléans est candidat)

- 1^{er} année (2011) – équation du bilan: évapotranspiration réelle, drainage; mesures des précipitations incidentes et des précipitations au sol (pluviomètre); réserve en eau du sol (tarière, sonde à neutrons); paramétrisation des peuplements étudiés (indice foliaire, conductance stomatique).
- 2^{ème} année (2012) – (*) équation de Penman-Monteith: conductance stomatique (poromètre); indice foliaire (LAI mètre), résistance aérodynamique (anémomètres); (***) rapport de Bowen: évapotranspiration réelle, bilan d'énergie, flux de chaleur latente et sensible, humidité relative de l'air, température moyenne de l'air (psychromètre), vitesse du vent (anémomètre), rayonnement global (pyranomètre) et rayonnement net (bilanmètre); température du sol (sondes thermiques); (***) résistance du couvert: conductance stomatique (poromètre), résistance aérodynamique (anémomètres).
- 3^{ème} année (2013) – modélisation et tests de sensibilité des modèles de résistance du couvert.

Par ailleurs, nous avons fait les propositions suivantes :

(1^{er}) **présenter un poster et une communication** lors du XXIV^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, organisé par l'équipe de Géographie physique et géomorphologie - Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Ferrara (65 km de Verona-Villafranca, du mardi 6 au samedi 10 septembre 2011 (**Annexe n°3**)) ; les échéances à retenir :

- 15 décembre 2010 : date limite de réception des fiches d'inscription et des résumés (page) ;
- 31 mars 2011 : date limite de réception des résumés élargis (4 à 6 pages) ;
- 30 avril 2011 : date limite de réception des demandes de prise en charge (à envoyer au secrétaire de l'AIC).

(2^{ème}) **soumettre un article** à la revue « Climatologie » au cours de l'année 2011 ; article intitulé « *Analyse de la gestion de l'eau des golfs : cas de la Région Centre* » ; auteurs – Richard N., Aubertin C., Boutin D., Chaboche J., Nizinski J.J., Rakoto H., Servain S. et Yengue J.-L.

⁹ PENMAN H.L., 1948. Natural evaporation from open water balance bare soil, and grass. Proceedings of the Royal Society, London, Series A 193, 120-145

¹⁰ MONTEITH J.L., 1965. Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms. Symosia of the Soc. Exp. Biol., New York, Academic Press, 19, 205-234

¹¹ NIZINSKI J.J. et SAUGIER B., 1988. Mesures et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chênes. Acta Oecologica/Oecologia Plantarum, vol. 9/23, n° 3, 311-329

¹² NIZINSKI J.J. et SAUGIER B., 1989. A model of transpiration and soil-water balance for a mature oak forest. Agricultural and Forest Meteorology, 47, 1-17

Annexe n°1 – Lettre de convocation pour la réunion

Bonjour,

Par ce mail, je vous invite à la présentation du travail réalisé par les étudiants du Master 2 Gestion Durable des Paysages. Ce travail porte sur le thème Paysage et Golf. Il été mené sur les golfs de la gloriette à Tours, de Ballan Miré et de St Antoine du Rocher.

La présentation se fera le 1er décembre à 14 h Salle D17, à l'UFR Droit, Économie et Sciences Sociales de l'université de Tours (50 avenue Jean Portalis 37200 TOURS quartier des deux lions)

Par ailleurs, je vous rappelle notre réunion du 22 Novembre à 10h : Ordre du jour : planification des tâches 2011 volet environnement. J'ai réservé la salle de réunion (2ème étage) de la Maison des Sciences de l'Homme - UMS 1835.

A bientôt

Jean Yengue
yengue@univ-tours.fr

Annexe n°2 - Gestion de la ressource en eau dans les golfs de la Région Centre (Chaboche et al. 2010a¹³; Chaboche et al. 2010b¹⁴)

J'ai été sollicité par Catherine Aubertin et Hervé Rakoto de l'équipe scientifique IRD Orléans « Politiques de l'Environnement », de l'Unité de Recherche 199 « Innovation socio-environnementale et gouvernance des ressources » sous la direction de Geneviève Michon, pour participer au programme de recherche interdisciplinaire « TERDUGOLF ». Il s'agit d'un programme de recherche faisant partie d'un projet financé par la Région Centre.

José Chaboche est responsable du projet (Université d'Orléans, UFR STAPS d'Orléans).

Les partenaires sont : l'Université d'Orléans, l'Université de Tours, l'IRD (UR199 et UMR 211 « BIOEMCO »), l'Ecole Nationale Supérieure de la Nature et des Paysages, Formule Golf, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, la Ligue du Centre de Golf, la Direction Régionale Jeunesse et Sports du Centre, le Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement 41.

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

¹³ CHABOCHE J., LEFÈVRE L., SAKER A., SCHOENY A., AUBERTIN C., RAKOTO H., NIZINSKI J.J., ZANINETTI J.-M., ROMERO C., GIROIR G., GENIN A., YENGUE J.-Y., GRISON B., LALO E., RIFF J. et ZICOLA M., 2010a. Région Centre : Territoire Durable du Golf : TERDUGOLF, Projet de recherche, Université d'Orléans, Orléans, 75 pages

¹⁴ CHABOCHE J., AUBERTIN C., RAKOTO H., NIZINSKI J.J. et ZANINETTI J.-M., 2010b. Région Centre : Territoire Durable du Golf : TERDUGOLF, du 1^{er} au 4 septembre 2010, Risques et changement climatique, XXIII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Université Rennes 2 (poster)

□ **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.

Annexe n°3 - Fiche d'inscription AIC-Rovereto 2011

<p><u>Fiche d'inscription préliminaire AIC-Rovereto 2011 :</u></p> <p>A renvoyer au plus tard le 15 décembre 2010 par mail à secretariat@aic2011.net Les personnes qui soumettent une communication orale ou un poster devront accompagner la présente fiche d'une page résumant leur projet (titre, auteur(s), adresse et institution des auteurs, mots clés, problématique, données, méthode et résultats).</p> <p>Nom : NIZINSKI.....</p> <p>Prénom : Georges.....</p> <p>Titre : Dr-Ing., HDR.....</p> <p>Organisme : IRD-UMR 211 « BIOEMCO ».....</p> <p>Adresse : 5 rue du Carbone.....</p> <p>Ville : Orléans.....</p> <p>Code postal : 45072.....</p> <p>Pays : France.....</p> <p>Tél. : 33-2-38-49-95-25.....</p> <p>Fax : 33-2-38-49-95-76.....</p> <p>Courriel : georges.nizinski@ird.fr.....</p>	<p>X Je m'inscris au colloque (cocher les cases).</p> <p>X Je m'inscris au repas de gala (environ 40 euros) [nombre de places : 1]</p> <p>X Je m'inscris à l'excursion (environ 150 euros tout inclus) [nombre de places : 1]</p>
	<p>IMPORTANT : LES COORDONNEES BANCAIRES (R.I.B) SERONT COMMUNIQUEES DANS LA 2^{EME} CIRCULAIRE DE FEVRIER 2011</p>
	<p>X Je proposerai une communication</p> <p>X Je proposerai un poster</p> <p>X J'accepte la publication du texte de ma participation sous tout format</p> <p><u>Titre de la communication ou du poster :</u></p> <p>1^{er}) communication : Richard N., Aubertin C., Boutin D., Chaboche J., Nizinski J.J., Rakoto H., Servain S. et Yengue J.-L., «Analyse de la gestion de l'eau des golfs : cas de la Région Centre»</p> <p>2^{eme}) poster: Richard N., Aubertin C., Boutin D., Chaboche J., Nizinski J.J., Rakoto H., Servain S. et Yengue J.-L., «Analyse de la gestion de l'eau des golfs : cas de la Région Centre »</p>

Annexe n°4 – Rapport de la réunion de Jean-Louis Yéngué, Université de Tours

Compte rendu de la réunion de 23 novembre à la MSH de Tours

Présents : José Chaboche, Georges Nizinski, Nina Richard, Dominique Boutin, Jean Louis Yéngué, Baptiste Sureau (étudiant de M1)

Objectifs : planifier le travail sur le thème Golf et eau

Démarche générale adoptée :

Croiser la consommation en eau déclarée par les Golfs de la région Centre avec leur consommation potentielle.

-En ce qui concerne la consommation déclarée, Georges a la possibilité de la récupérer au près de l'agence de l'eau. Les informations seront bien sûr anonymées dans les rapports publiés

-En ce qui concerne la consommation potentielle, il s'agira de faire tourner un petit modèle proposé par Georges alimenté par les données météorologiques et l'Evapotranspiration (ETP) de chaque golf. Pour cela plusieurs informations devront être traitées, à deux échelles de travail

- la pluviométrie et plus généralement les conditions climatiques relevées dans la station la plus proche de chaque golf (Echelle de la région)

- les données géologiques et hydrogéologiques (Echelle de la région) pour estimer les réserves d'eau dans le sous sol

- les données sur l'occupation du sol dans les golfs (Echelle région) pour identifier les espaces arrosés

- les données biogéographiques (Echelle des parcours) pour estimer les réserves dans le sol (zone racinaire, type de graminées, etc.)

- les données pédologiques (Echelle du parcours) pour estimer la capacité des sols à retenir l'eau

A l'échelle du parcours, nous avons identifié 3 golfs, sortes de sites test où seront réalisés l'ensemble des études du volet environnement (Paysage, Eau, Biodiversité animale et végétale) : le golf de Limère, le golf de Cheverny et le golf de la gloriette. **Les études à l'échelle du parcours devront se faire à minima sur ces 3 golfs.**

Répartition des tâches et planification

-A l'échelle de la région (tous les golfs de la région)

- Inscription paysagère des golfs : Baptiste Sureau pour le 20 juin 2011

- Cartographie diachronique (années 50 et aujourd'hui) de l'occupation du sol : Stagiaire encadré par jly pour le 20 juin 2011

- Localisation sous SIG des stations météo de la région centre : Jean Louis Yéngué pour fin décembre 2010 (entre temps, je l'ai fait)

- Localisation sous SIG des golfs : José Chaboche pour fin décembre 2010

- Récupération ou achat des données météo: Nina et Georges pour fin juin 2011

- Données consommation d'eau : Georges pour fin juin 2011
- A l'échelle du golf (à minima les golfs de la Gloriette, de Cheverny et le Limère)*
- Etude paysagère : S. Servain, JI Yengué et B. Sajaloli pour fin Juin 2011
- Etude géomorphologique et pédologique : stagiaire à trouver en fac de science. Nina essaie d'en trouver à Tours. Bertrand S. peux-tu en chercher aussi à Orléans ? L'étudiant sera encadré par D. Boutin pour Fin juin 2011
- Etude de la biodiversité animale et végétale : Nina et Alain Génin pour fin Juin 2011

Calendrier

- Jusqu'en avril 2011 : des rencontres se feront en petit groupe pour nourrir et croiser les travaux portant sur la biodiversité, l'eau et le paysage
- Vers le 15 avril : point entre les axes 1 et 2
- 15 juin 2011 : Principales conclusions sur le diagnostic territorial des golfs en région centre.
- Mars 2012 : Restitution des études thématiques
- 2013 : Colloque sport et développement durable (l'appel devra être publié des fin 2011)

Informations diverses

- Des études sont en cours sur le golf de Cheverny (étudiants de l'ENSNP encadrés par S. servain, J. Mahaud, D. Boutin et G. Nizinski), sur le golf de La Gloriette (étudiants du M2 GDP encadrés par S. Servain, A. Génin et jly). Bertrand S. doit engager ses étudiants sur le golf de Limère en début 2011
- Une communication sera proposée au 24^{ème} congrès de l'association internationale de climatologie qui se tiendra en Italie en septembre 2011 (merci Georges)
- La région Centre vient d'ériger notre programme en opération pilote sur la thématique de sport et développement durable
- Les budgets devront être dépensés avant mars 2014
- Des informations sur Golf et environnement sont disponibles sur le site de l'association des greenkeeper (agref.org)
- Dans vos différentes tâches, pensez à construire des indicateurs de durabilité des golfs.
- De même veuillez à la reproductivité de vos méthodes qui pourront servir à la construction du Prologiciel

Rédacteur jly

Annexe n°5 – Méthodologie proposée (AUBERTIN C., NIZINSKI J.J., RAKOTO H.)

Introduction : avec l'augmentation de la demande industrielle, urbaine et agricole, l'eau s'est raréfiée et polluée. De ressource supposée illimitée elle est devenue un liquide précieux. Les gestionnaires des golfs sont conscients de cette évolution et veulent apporter de nouvelles solutions aux besoins en irrigation des parcours.

Le Ministre de l'Écologie et du Développement Durable, le Ministre des Sports et de la Vie Associative et la Fédération Française de Golf ont reconnu le rôle économique et écologique de la gestion rationnelle de l'eau (Anonyme, 2006¹⁵).

Notre étude fait partie d'un programme de recherche interdisciplinaire « TERDUGOLF » ; il s'agit d'un programme de recherche financé par la Région Centre, l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, la Ligue du Centre de Golf, la Direction Régionale Jeunesse et Sports du Centre, le Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement 41 (Chaboche et al, 2010¹⁶).

Les consommations en eau des golfs de France sont très variables d'une région à l'autre ; la Région Centre se situe dans la moyenne (précipitations de 703 mm an⁻¹ et l'évapotranspiration potentielle (E_p) de 318 mm an⁻¹) ; 40 % des surfaces des golfs du Centre sont irriguées : départ - 23 %, green - 10 %, practice - 5 %, fairway - 61 % de l'au d'irrigation (Anonyme, 2006).

Notre étude met en évidence le rôle crucial de l'eau sur les parcours de golf et propose une solution pour réduire la consommation en eau de ces parcours en jouant sur l'adéquation irrigation /besoins en eau du couvert végétal.

Végétation : un parcours de golf est une culture de graminées adaptée au jeu de golf : gazon dense, homogène, ayant une bonne capacité de régénération car résistante à des tontes rases et fréquentes. Parmi les graminées figurent les fétuque rouge (*Festuca rubra rubra*, *Festuca rubra tricophylla*, *Festuca rubra communata*), le ray-grass anglais (*Lolium perenne* L.), le cynodon (*Cynodon dactylon*), *Paspalum vaginatum* et les pâturins annuels (*Poa annua*),.

Évapotranspiration potentielle, réelle et transpiration du couvert: les formules de Penman (1948)¹⁷ et de Monteith (Monteith et Unsworth, 1990)¹⁸ ont été utilisées pour estimer l'évapotranspiration potentielle (E_p) et l'évapotranspiration réelle du couvert (E_a). Nous allons utiliser les données météorologiques des stations installées à proximité des golfs étudiés. Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle et réelle ont été calculées chaque heure, puis cumulées sur la journée. Cette équation est applicable pour un couvert dense et étendu (i.e. >100 m²) :

$$E_p = (\Delta R_n / (\lambda + \gamma E_0)) / (\Delta + \gamma) \quad (\text{mm jour}^{-1}) \quad [1]$$

¹⁵ ANONYME, 2006. Naturellement golf - l'eau. Publication de la FFGolf, Levallois-Perret, 16 pages + annexe

¹⁶ CHABOCHE J., LEFÈVRE L., SAKER A., SCHOENY A., AUBERTIN C., RAKOTO H., NIZINSKI J.J., ZANINETTI J.-M., ROMERO C., GIROIR G., GENIN A., YENGUE J.-Y., GRISON B., LALO E., RIFF J. et ZICOLA M., 2010. Région Centre : Territoire Durable du Golf : TERDUGOLF, Projet de recherche, Université d'Orléans, Orléans, 75 pages

¹⁷ PENMAN H.L., 1948. Natural evaporation from open water balance bare soil, and grass. Proceedings of the Royal Society, London, Series A **193**, 120-145

¹⁸ MONTEITH J.L. et UNSWORTH M.H., 1990. Principles of environmental physics. 2nd édition, Edward Arnold, London, 291 p.

avec: R_n - rayonnement net ou effectif, en $W m^{-2}$; λ - chaleur latente de vaporisation, en $J kg^{-1}$ ($2451,8 J g^{-1}$); γ -constante psychrométrique, en $kPa ^\circ C^{-1}$; E_0 - évaporation d'une surface dont la température serait celle de l'air, mesurée sous abri, en $mm jour^{-1}$; Δ - dérivée de la fonction reliant la pression de vapeur d'eau saturante de l'air et la température de l'air, en $kPa ^\circ C^{-1}$, avec:

$$R_n = (1-a)R_g - (R_a - R_t) \quad (W m^{-2}) \quad [2]$$

Avec: R_n - rayonnement net ou effectif, en $W m^{-2}$; R_g - rayonnement solaire global, en $W m^{-2}$; R_a - rayonnement atmosphérique, en $W m^{-2}$; R_t - rayonnement terrestre, en $W m^{-2}$; a - albédo de la surface; fraction du rayonnement réfléchi pour une longueur d'onde spécifique; albédo du gazon de golf, $a=0,25$

Pour estimer l'évapotranspiration réelle du couvert, nous avons utilisé la formule de Monteith, soit:

$$E_a = E_p / \{1 + [\gamma / (\Delta + \gamma)] (r_{s(moy)} / LAI r_a)\} \quad (mm jour^{-1}) \quad [3]$$

Avec : $r_{s(moy)}$ - résistance stomatique moyenne d'une feuille (valeurs mesurées), en $s cm^{-1}$; LAI - indice foliaire du couvert; r_a - résistance aérodynamique du couvert, en $s cm^{-1}$ (Monteith, 1965¹⁹):

$$r_a = [1 / (k^2 u_{2M})] [\ln(z-d) / z_0]^2 \quad (s cm^{-1}) \quad [4]$$

Avec: r_a - résistance aérodynamique, en $s cm^{-1}$; k - constante de von Karman (0,39); u_{2M} - vitesse du vent mesurée à 2 mètres de la surface du sol, en $m s^{-1}$; z - niveau considéré, en m; z_0 - longueur de rugosité, en m; d - hauteur du déplacement, en m (Thom, 1972²⁰).

$$d = 0,75 h \quad \text{et} \quad z_0 = 0,1 h \quad (m) \quad [5] \text{ et } [6]$$

Avec : h - hauteur du gazon, en m

Avec

$$Tr_{(i)} = [E_p / (1 + (\gamma / (\Delta + \gamma)) (r_{s(moy)(i)} / LAI r_a))] * S_{(i)} \quad (m^3 heure^{-1}) \quad [7]$$

Avec: $Tr_{(i)}$ - transpiration d'une zone de jeu i , en $dm^3 heure^{-1}$; $S_{(i)}$ - surface des zones de jeu i (départs, greens, fairways et semis roughs, practices), en m^2 ;

Équation du bilan hydrique : l'expression simplifiée du bilan hydrique du sol d'un gazon de golf peut s'écrire sous la forme suivante:

$$P_i + I_r = E_a + D \pm \Delta R / \Delta t \quad (mm jour^{-1}) \quad [8]$$

$$\text{Où } E_a = T + I_n + E_s \quad (mm jour^{-1}) \quad [9]$$

$$\text{Et } I_n = P_i + I_r - P_s \quad (mm jour^{-1}) \quad [10]$$

¹⁹ MONTEITH J.L., 1965. Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms. Symosia of the Soc. Exp. Biol., New York, Academic Press, 19, 205-234

²⁰ THOM A.S., 1972. Momentum, mass and heat exchange of vegetation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 98, 124-134

avec: P_i - précipitations incidentes, en mm jour^{-1} ; I_r - irrigation, en mm jour^{-1} ; E_a - évapotranspiration réelle, en mm jour^{-1} ; D - drainage, en mm jour^{-1} ; ΔR - variation de la réserve en eau du sol, en mm ; Δt - pas de temps des calculs, en jours; T - transpiration, en mm jour^{-1} ; I_n - interception nette, en mm jour^{-1} ; E_s - évaporation du sol, en mm jour^{-1} ; P_s - précipitations au sol, en mm jour^{-1} ;

Cette expression considère comme négligeable l'évaporation directe du sol et de la litière, approximation raisonnable seulement en période de dessèchement. La réserve en eau du profil du sol (R), les précipitations au dessus du gazon (P_i) et au sol (P_s) seront mesurés; les valeurs du drainage (D), l'évapotranspiration (E_a), de l'interception (I_n) et de la transpiration (T) du gazon seront estimées à partir de l'équation du bilan.

Dans l'équation du bilan, on suppose 1^{er}) que l'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle en période humide (réserve du sol à la capacité au champ, R_{CC}) et, 2^{ème}) un drainage nul en période sèche (réserve du sol inférieure à la capacité au champ). Dans le bilan hydrique du sol à l'échelle d'une journée, les valeurs de l'évapotranspiration réelle sont calculées comme suit:

Si $R \geq R_{CC}$ alors $E_a = E_p$

$$\text{et } D = P_i - E_p \pm \Delta R / \Delta t \quad (\text{mm jour}^{-1}) \quad [11]$$

Si $R < R_{CC}$ alors $D = 0$

$$\text{et } E_a = P_i \pm \Delta R / \Delta t \quad (\text{mm jour}^{-1}) \quad [12]$$

Modèle de la transpiration et du bilan hydrique d'un couvert végétal : dans nos conditions expérimentales les quantités d'eau transpirées (Tr) quotidiennement par le gazon de golf sont celles absorbées par les racines (Abs), le flux d'eau à travers le couvert végétal pouvant être considéré comme conservatif (Philip, 1966²¹), soit: $Abs \approx Tr$. L'expression simplifiée du modèle du bilan hydrique du sol d'un gazon de golf pour un pas de temps d'une journée peut s'écrire sous la forme (Nizinski et Saugier, 1988²²; Nizinski et Saugier, 1989²³) :

$$Abs = (\Psi_{sol} - \Psi_{feuilles}) / (r_{sol-racines} + r_{racines-feuilles}) \quad (\text{mm jour}^{-1}) \quad [13]$$

Et

$$Abs = (\Psi_{sol} - \Psi_{racines}) / r_{sol-racines} = (\Psi_{racines} - \Psi_{feuilles}) / r_{racines-feuilles} \approx Tr \quad (\text{mm jour}^{-1}) \quad [14]$$

Ainsi: Abs - absorption racinaire, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O arbre}^{-1} \text{s}^{-1}$; Ψ_{sol} - potentiel hydrique du sol, en bars; $\Psi_{feuilles}$ - potentiel hydrique des feuilles, en bars; Tr - transpiration en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O arbre}^{-1} \text{s}^{-1}$; $r_{sol-racines}$ - résistance au passage de l'eau du sol aux racines, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O s}^{-1} \text{bars}^{-1}$; $r_{racines-feuilles}$ - résistance au passage de l'eau à travers des racines aux feuilles, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O arbre}^{-1} \text{s}^{-1} \text{bars}^{-1}$.

²¹ PHILIP J.R., 1966. Plant water relations: some physical aspects. Annual Review of Plant Physiology, 28, 71-88

²² NIZINSKI J.J. et SAUGIER B., 1988. Mesures et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chênes. Acta Oecologica/Oecologia Plantarum, vol. 9/23, n° 3, 311-329

²³ NIZINSKI J.J. et SAUGIER B., 1989. A model of transpiration and soil-water balance for a mature oak forest. Agricultural and Forest Meteorology, 47, 1-17

$$Tr = [E_p / (1 + (\gamma / (\Delta + \gamma)) (r_{s(moy)} / LAI r_a))] \quad (\text{mm jour}^{-1}) \quad [15]$$

et

$$(\Psi_{sol} - \Psi_{feuilles}) / (r_{sol-racines} + r_{racines-feuilles}) = E_p / (1 + (\gamma / (\Delta + \gamma)) (r_{s(moy)} / LAI r_a)) \quad (\text{mm jour}^{-1}) \quad [16]$$

Alors

$$\Psi_{feuilles} = (r_{sol-racines} + r_{racines-feuilles}) [E_p / (1 + (\gamma / (\Delta + \gamma)) (r_{s(moy)} / LAI r_a))] + \Psi_{sol} \quad (\text{bars}) \quad [17]$$

Avec : $\Psi_{feuilles}$ – potentiel hydrique des feuilles, en bars; Ψ_{sol} - potentiel hydrique moyen du sol, en bars; R – résistance total sur le parcours sol-plante, en bars jour⁻¹ mm⁻¹.

CETU Elmis Ingénieries, Université de Tours 11 quai Danton 37500 Chinon Tél.: 02 47 93 48 57