

# Rôle des prairies dans le cycle de l'eau.

## Comparaison avec la forêt

André Granier

UMR INRA-UHP Ecologie et écophysologie forestières, F-54280 Champenoux ; agranier@nancy.inra.fr

### Résumé

Les prairies, bien qu'en régression régulière, couvrent encore plus du cinquième du territoire français métropolitain. Comme les autres types de végétations, elles jouent un rôle important dans les cycles biogéochimiques, dont le cycle de l'eau.

Dans les écosystèmes terrestres, les facteurs du climat déterminent en premier lieu les différents flux d'eau, notamment l'évapotranspiration réelle (ETR), égale à la somme de la transpiration et de l'évaporation du sol. Cette ETR résulte aussi des régulations au niveau des deux interfaces pour les transferts hydriques : du sol aux racines et des feuilles à l'atmosphère. L'indice foliaire (LAI) et le cycle phénologique annuel des couverts végétaux jouent un rôle particulièrement important dans l'ETR : par exemple, un couvert pérenne (prairie, forêt de résineux) peut transpirer toute l'année, ce qui représente une source de différence avec les végétations à cycle phénologique court. Les coupes pratiquées sur les prairies et sur les forêts (éclaircies) diminuent temporairement leur ETR. En moyenne, le LAI des forêts est plus élevé que celui des prairies des cultures. En conséquence, la transpiration des forêts est en moyenne plus élevée que celle des végétations basses. Les prairies et les forêts possèdent souvent des systèmes racinaires profonds, à relativement plus forte capacité d'extraction de l'eau du sol que les cultures annuelles.

Une autre particularité qui distingue les forêts et les végétations basses est l'existence d'un flux d'évaporation de l'eau liquide important lorsque le feuillage est humecté par la pluie, terme appelé interception des précipitations. L'interception des pluies par les forêts a pour conséquence directe un relatif déficit en eau arrivant au sol, par rapport aux prairies et aux cultures.

En situation de sécheresse du sol, des régulations, principalement par les stomates des feuilles, diminuent l'ETR. Au-delà d'un seuil physiologique supportable par le végétal, il peut y avoir jaunissement prématuré des feuilles et en conséquence un arrêt de la transpiration végétale. Une des caractéristiques importantes des espèces forestières est leur bonne résistance à la sécheresse : elles peuvent continuer d'extraire l'eau du sol alors que les autres types de végétations n'en sont plus capables. La résistance à la sécheresse dépend de plusieurs facteurs, particulièrement de l'efficacité de la prospection racinaire et des adaptations physiologiques variées.

Des forts niveaux d'ETR et une interception des précipitations élevée chez les forêts ont pour conséquence, lorsqu'on effectue le bilan hydrique, l'existence d'un flux de drainage de l'eau plus faible que sous prairie.

## Introduction

L'eau, élément essentiel du fonctionnement des végétaux, de leur croissance et donc de leur production, peut être une source de conflits entre ses différents usages : agriculture, industrie, ménages, activités récréatives. Si, au niveau national, l'eau douce est excédentaire par rapport aux besoins, des problèmes de disponibilité se posent à l'échelle régionale. Par exemple, dans les Landes de Gascogne, s'opposent de manière récurrente culture irriguée du maïs et plantations forestières de pin maritime. En France, ainsi que sur l'ensemble du globe, la consommation en eau ne cesse d'augmenter, pour ses différents usages. Or, les prévisions climatiques des modélisateurs du climat global pour ce siècle sont pessimistes avec, en Europe de l'ouest, une augmentation des précipitations hivernales et un accroissement des sécheresses estivales. En France, ces dernières années ont connu depuis 20-30 ans des sécheresses qui ont eu des répercussions fortes sur les activités agricoles, mais aussi sur la santé et la production des forêts.

Par ailleurs, dans les changements globaux, il y a aussi les changements d'usage des terres : des modifications dans le type et la répartition des couvertures végétales ont des impacts directs sur la ressource en eau. Tout particulièrement, la transformation progressive des prairies permanentes en zones forestières dans certaines régions de montagne a ainsi des conséquences importantes sur la ressource en eau. Ainsi, l'afforestation à outrance de grandes étendues (comme certaines zones de moyenne montagne du Massif central) semble être responsable de la diminution du débit des cours d'eaux des bassins versants qui les portent.

Forêts, prairies et cultures diffèrent par leurs caractéristiques morphologiques et physiologiques qui déterminent les transferts hydriques du sol à l'atmosphère. Sous un même climat, ces végétations montrent des différences parfois importantes dans leurs cycles biogéochimiques pour les éléments majeurs : eau, carbone, azote, éléments minéraux. Les prairies couvrent plus de 20% du territoire français métropolitain, un peu moins que les cultures annuelles et les forêts (chacune représentant environ 26 à 28%). Une question importante pour la gestion des ressources du milieu est celle de la connaissance du cycle de l'eau des différents types de végétations. Nous développerons ici quelques éléments de compréhension du cycle hydrologique dans les écosystèmes permettant en particulier de comparer le fonctionnement des prairies et des forêts.

### 1. Méthodes d'études du cycle de l'eau

**A l'échelle de l'organe** (feuilles, tiges, racines) ou de la plante entière, les écophysiolistes ont développé des systèmes de mesure de la transpiration : poromètres et chambres pour échanges gazeux. Chez les arbres, la mesure du flux de sève dans le tronc (GRANIER, 1985) permet d'avoir accès à la transpiration à l'échelle de l'individu entier. Une limitation de ces méthodes est la difficulté d'extrapoler ces mesures à l'échelle de la parcelle.

**A l'échelle de la parcelle**, les mesures périodiques de l'humidité du sol permettent d'estimer la consommation en eau par les végétaux, pour appliquer la méthode du "bilan hydrique", en mesurant dans le même temps les précipitations incidentes. Plus récemment, depuis les années 1990, une nouvelle méthode de mesure des flux de masse et d'énergie (eau et dioxyde de carbone) au-dessus des couverts s'est développée, autorisant une plus haute résolution temporelle (typiquement la demi-heure) et une intégration spatiale sur des surfaces de l'ordre de 10-100 ha : c'est la **méthode des corrélations turbulentes**<sup>1</sup>. Cette méthode est actuellement mise en œuvre en routine dans des sites d'observation du fonctionnement des écosystèmes ; en France, ces sites sont organisés en réseaux : les ORE<sup>2</sup> (forêts et prairies) ; en Europe et dans le monde, ce sont les réseaux CARBOEUROPE et FLUXNET. L'utilisation de cette méthodologie, qui se développe rapidement dans le monde, permet d'obtenir des données comparables, sur les différents types de végétations.

---

1 Cette méthode consiste à mesurer au-dessus d'un couvert végétal, à partir d'une tour ou d'un pylône, la concentration en vapeur d'eau et en CO<sub>2</sub> de l'air et la vitesse verticale des mouvements d'air. Ces mesures sont réalisées à la même fréquence, typiquement 10 ou 20 Hz (10 ou 20 mesures par seconde)

2 Observatoires de Recherche sur l'Environnement

Enfin, les approches à **l'échelle des bassins versants** sont particulièrement intéressantes par leur caractère intégrateur. On y réalise des mesures de climat et d'écoulement aux exutoires. Malheureusement, ces dispositifs expérimentaux sont peu nombreux et en régression, pour des questions de coût et de difficulté de maintenir des suivis de qualité sur le long terme. Un constat est qu'il existe relativement peu de données à partir de ces approches.

## 2. Evapotranspiration réelle et évapotranspiration potentielle

**L'évapotranspiration réelle** d'un couvert végétal (ETR) est égale à la somme de tous les flux de vapeur d'eau qui quittent ce couvert : la **transpiration** via les surfaces foliaires, **l'interception** des précipitations (In) et **l'évaporation du sol**. La transpiration est généralement le terme le plus important dans l'ETR. Le plus souvent, dans le cas des couverts végétaux "fermés" (cas des cultures et des prairies à couvert bien développé, ou de forêts denses), la transpiration dépasse 90% de l'ETR. L'interception de précipitations représente l'évaporation de l'eau liquide à la surface des feuilles pendant et après la pluie (se référer aux articles de SAUGIER (1996) et de GRANIER (1996), qui développent les bases biophysiques de l'évapotranspiration, pour les prairies et les végétations basses et pour les forêts).

L'ETR dépend principalement de trois facteurs :

- L'énergie climatique disponible. On définit **l'évapotranspiration potentielle** (ETP) qui est un indice climatique très utile en agronomie. Il existe une large variété de formules de calcul de l'ETP : celles de Penman, Turc, Thornthwaite et de Priestley-Taylor sont les plus utilisées pour estimer l'ETR à l'échelle de la parcelle.

- **L'indice foliaire** (LAI, *Leaf Area Index* ; s'exprime en  $m^2/m^2$ ) qui est égal à la surface foliaire par unité de surface au sol. LAI détermine à la fois la transpiration et l'interception des précipitations, ces deux termes augmentant avec le LAI, alors que l'évaporation du sol diminue lorsque le LAI augmente. Les écosystèmes forestiers, qui possèdent généralement un LAI élevé, présentent une interception des précipitations (In) plus importante que celle des végétations basses, prairies et cultures. Dans le bilan hydrique des forêts, l'interception des précipitations est un terme quantitativement important, et variable avec les espèces : en climat tempéré, In est compris dans une gamme de 20 à 25% des précipitations incidentes pour les forêts feuillues, et dépasse le plus souvent 30% chez les résineux (AUSSENAC, 1975). Le cycle phénologique module aussi les flux d'eau : la mise en place du couvert et la durée de la phase feuillée. Evidemment, le prélèvement de tout ou d'une partie de la végétation par les activités agricoles ou sylvicoles (pâturage, récoltes, éclaircies, coupes rases) a des conséquences directes sur l'ETR.

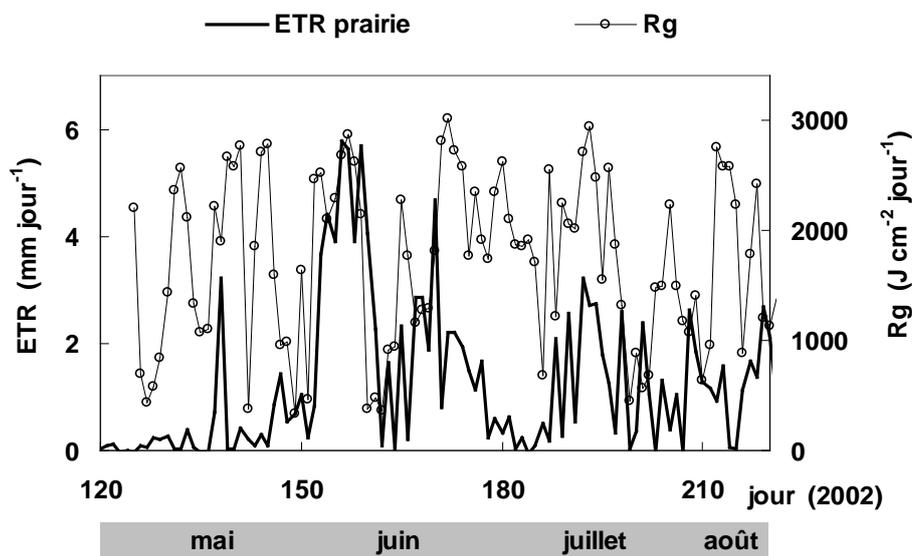
- L'utilisation de **l'énergie disponible** par les feuilles. On distingue leurs propriétés spectrales, dont l'albédo qui caractérise le pouvoir réfléchissant du rayonnement par les feuilles, et les résistances à la diffusion du flux de vapeur d'eau : résistances aérodynamique et stomatique. Cette dernière joue un rôle majeur, car elle représente la capacité d'une espèce à limiter la perte en eau par transpiration en conditions de stress, notamment le stress hydrique. Cette capacité de régulation est très variable selon les espèces. Les différences d'albédo (ce terme varie entre 0 et 1) expliquent une partie des différences de transpiration entre les grands types de végétations. L'albédo des prairies et des cultures est souvent plus élevé que celui des forêts, surtout celles de résineux ; ces dernières absorbent ainsi plus d'énergie pour la transformer en flux de vapeur d'eau. ROST et MAYER (2006) qui ont effectué des mesures sur une prairie permanente et sur une forêt de pins en Allemagne ont calculé des valeurs de 23% pour la prairie et de 11% pour la forêt. Cette forêt résineuse consomme ainsi une fraction plus élevée du rayonnement solaire que la prairie, d'environ 12%, cette dernière réfléchissant une plus forte proportion du rayonnement incident vers l'atmosphère.

## 3. Variations de l'évapotranspiration réelle avec l'indice foliaire et la phénologie

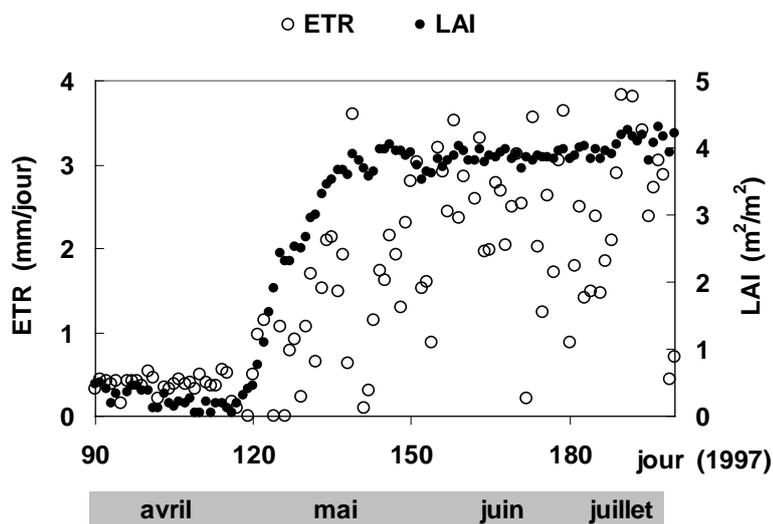
La transpiration est directement liée à l'apparition et au développement des feuilles, comme on peut le voir sur la figure 1, dans le cas d'une prairie danoise, et sur la figure 2, pour une forêt de hêtre à l'est de la Lorraine (site-atelier de Hesse). La même méthode de mesure des flux de vapeur d'eau a été mise en œuvre sur chacun de ces deux sites : les corrélations turbulentes. Sur la figure 1, on

constate que l'augmentation de l'ETR au printemps s'effectue en phase avec le développement du LAI ; plus tard, fin juin, la récolte de l'herbe diminue immédiatement l'ETR. Pour la forêt, on note le même synchronisme entre développement des feuilles et augmentation de l'ETR. Les phénomènes de maturation physiologique des feuilles expliquent pour la forêt que le niveau maximum de transpiration n'est atteint qu'une dizaine de jours après le maximum de développement foliaire.

**FIGURE 1 – Evolution de l'évapotranspiration réelle (ETR) d'une prairie semi-permanente au Danemark et du rayonnement global (Rg).** L'évapotranspiration augmente au début du mois de juin avec le développement du couvert végétal. Au 20 juin (le jour 171), la prairie est fauchée, ce qui réduit brutalement son ETR.



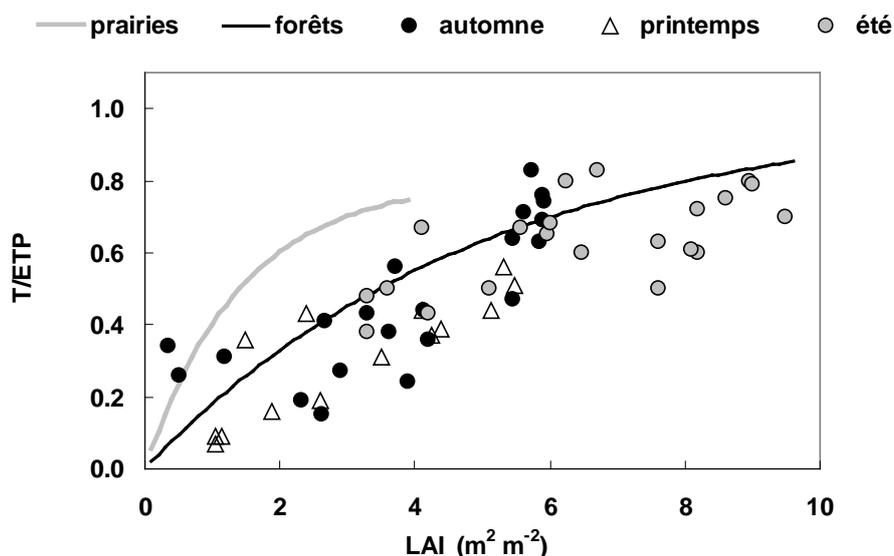
**FIGURE 2 – Evolution de l'évapotranspiration réelle (ETR) d'un couvert de hêtres au printemps et de son indice foliaire (LAI).** Le débourrement intervient au jour 115 (25 avril), date après laquelle la surface des feuilles augmente rapidement jusqu'au jour 145, le 25 mai.



Il existe donc une relation croissante entre le LAI et la transpiration des couverts. Toutefois, cette relation diffère entre forêts et végétations basses. La figure 3 est une synthèse de données obtenues sur des couverts forestiers et prairiaux. On y montre l'incidence du LAI sur les variations du **rapport entre la transpiration du couvert végétal et l'ETP (T/ETP)**. Ce terme est très utilisé : il permet de quantifier l'utilisation de la demande climatique (ETP) par la végétation. Sur cette figure, on constate qu'il existe une relation presque linéaire entre le rapport T/ETP et le LAI pour les forêts. En revanche, pour les prairies, on note un phénomène de saturation de la transpiration à partir d'une valeur relativement faible, de l'ordre de 3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Ainsi, la comparaison du niveau de transpiration, de ces deux types de couverts, pour une même demande climatique, n'est pas immédiate : pour un faible LAI (entre 1 et

2), les prairies présentent un niveau de transpiration plutôt supérieur à celui des forêts alors que, pour les forts LAI, les couverts forestiers seront de plus gros consommateurs d'eau par transpiration. Nous avons vu que les forêts montrent en outre de fortes valeurs d'interception des pluies ce qui augmente encore leur ETR.

**FIGURE 3 – Relations entre l'indice foliaire (LAI) et le rapport entre la transpiration de couverts végétaux (T) et l'évapotranspiration potentielle (ETP).** Pour les couverts forestiers sont distinguées différentes périodes de l'année : le printemps et l'automne correspondent aux phases d'augmentation, puis de diminution de l'indice foliaire chez des feuillus, des hêtres et des chênes. Les données forestières sont tirées des travaux de GRANIER *et al.* (1999) ; la courbe d'ajustement pour les couverts prairiaux provient de SAUGIER (1996).



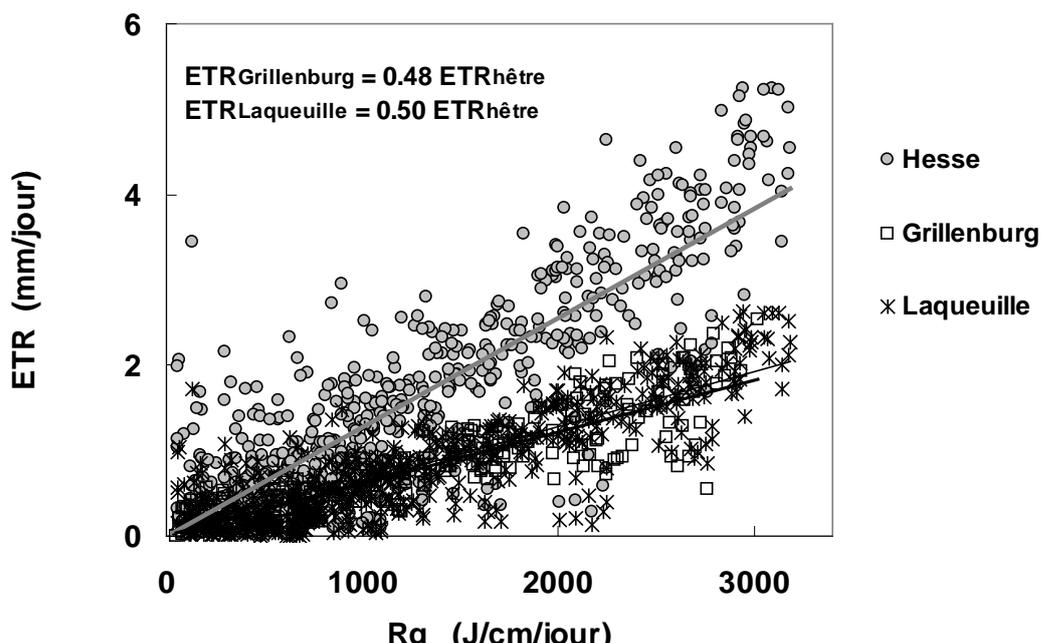
#### 4. ETR des prairies et des forêts : quelques exemples

Il existe très peu de mesures d'ETR réalisées sur différents types de végétations, dans les mêmes conditions de sol et de climat. Pour effectuer une comparaison objective de mesures d'ETR réalisées dans des conditions de milieu différentes, nous devons effectuer une standardisation de ces mesures, relativement aux facteurs du climat : le rayonnement global<sup>3</sup> par exemple ou bien l'ETP. Nous avons représenté sur la figure 4 les mesures de flux de vapeur (ETR) au-dessus de couverts forestiers et prairiaux, par rapport au rayonnement global (Rg). Nous présentons sur la figure 4 trois ensembles de données, obtenues récemment dans le réseau européen CARBOEUROPE : la jeune hêtraie de Hesse, une prairie de fauche à Grillenburg (Allemagne) et une prairie permanente pâturée à Laqueuille (Massif central, France). On note tout d'abord que les relations entre ETR et Rg sont linéaires pour chaque végétation, traduisant bien **l'influence prépondérante du rayonnement dans les processus d'évapotranspiration**. On remarque surtout qu'il y a une forte différence dans les pentes de ces relations : ici, les deux parcelles de prairie se comportent de façon très similaire, mais la pente de la forêt est plus forte. **L'ETR des deux prairies est en moyenne égale à seulement 50% de celle de la hêtraie**, dont l'ETR atteint 5 mm/j contre seulement au maximum 2,5 mm/j pour les deux prairies.

Toutefois, ces valeurs ont été mesurées pendant la phase du maximum de développement foliaire (entre mai et septembre). Des **différences de cycles phénologiques** peuvent moduler ces résultats. Par exemple, en dehors de cette période, une prairie peut transpirer de façon significative en automne et en fin d'hiver lorsque les conditions climatiques sont favorables. En revanche, une forêt à espèces caduques comme la hêtraie est alors défeuillée et ne transpire pas. De plus, les pratiques de gestion de la prairie peuvent conduire à des variations de LAI pendant la belle saison, tant par la fauche (*cf.* figure 1) que par le pâturage. Les **effets du pâturage sur l'ETR** ont été étudiés par BREMER *et al.* (2001) au Kansas (USA) sur un couple de parcelles de prairie naturelle où/dont seulement une était soumise au pâturage. Progressivement, l'ETR de la parcelle pâturée avait chuté de 40% par rapport à la parcelle témoin. Après retrait des animaux de la parcelle, l'ETR avait augmenté pour atteindre au même niveau d'ETR que la parcelle témoin, après environ 30 jours.

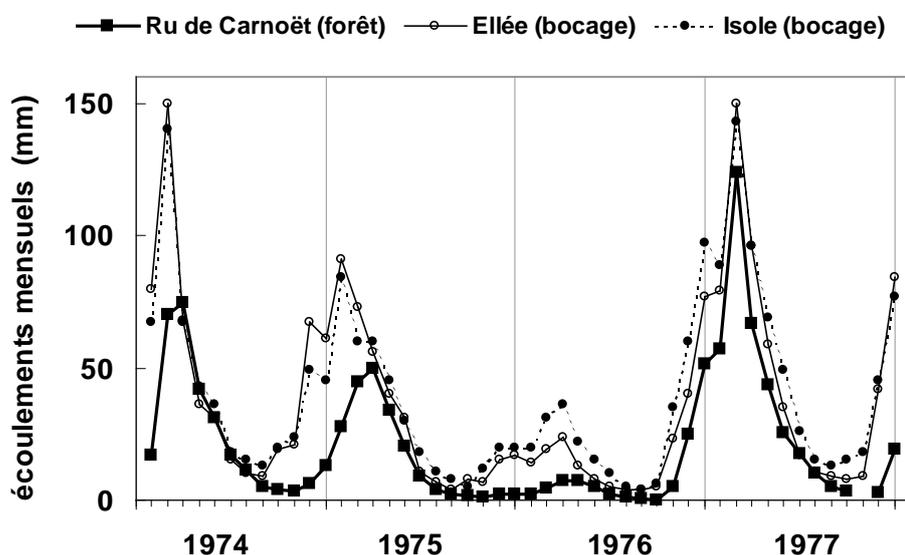
<sup>3</sup> Le rayonnement global constitue le principal facteur de la demande climatique

**FIGURE 4 – Relations entre l'évapotranspiration réelle (ETR) de couverts forestiers (Hesse) et prairiaux (Grillenburg et Laqueuille) et le rayonnement global (Rg). Les points correspondent à des valeurs journalières.**



Les mesures à l'échelle du bassin versant sont particulièrement intéressantes car elles réalisent une intégration spatiale du cycle de l'eau. COSANDEY (2000) a analysé les débits à l'exutoire de petits bassins versants bretons, caractérisés par des types de couvertures végétales différentes : du bocage et de la forêt. De mars à juin (voir figure 5), les débits étaient sensiblement similaires, alors qu'en dehors de cette période, le débit pour le bassin versant forestier était systématiquement inférieur à celui des deux bassins bocagers. Sur la période d'étude de 4 années, le débit à l'exutoire du bassin forestier n'a été égal qu'à 55% de celui des bassins bocagers. Mais l'effet du type de couverture dépend du régime climatique : pour une année humide (ici : 1977), cette différence a été atténuée. Cette échelle d'approche nous amène donc aux mêmes conclusions qu'à partir des mesures de flux sur une parcelle : il y a bien une **plus forte évapotranspiration pour la forêt**. La conséquence directe en est un **plus faible drainage de l'eau excédentaire sous la forêt**. Nous n'avons pas abordé ici le cas des cultures. Les mesures montrent souvent une forte similitude avec le fonctionnement hydrique de la prairie. Toutefois, les cultures très couvrantes et productives, comme le maïs ou le colza, se montrent plus grosses consommatrices d'eau que la prairie et ceci d'autant plus qu'elles sont irriguées. Néanmoins, leur saison de végétation est relativement courte.

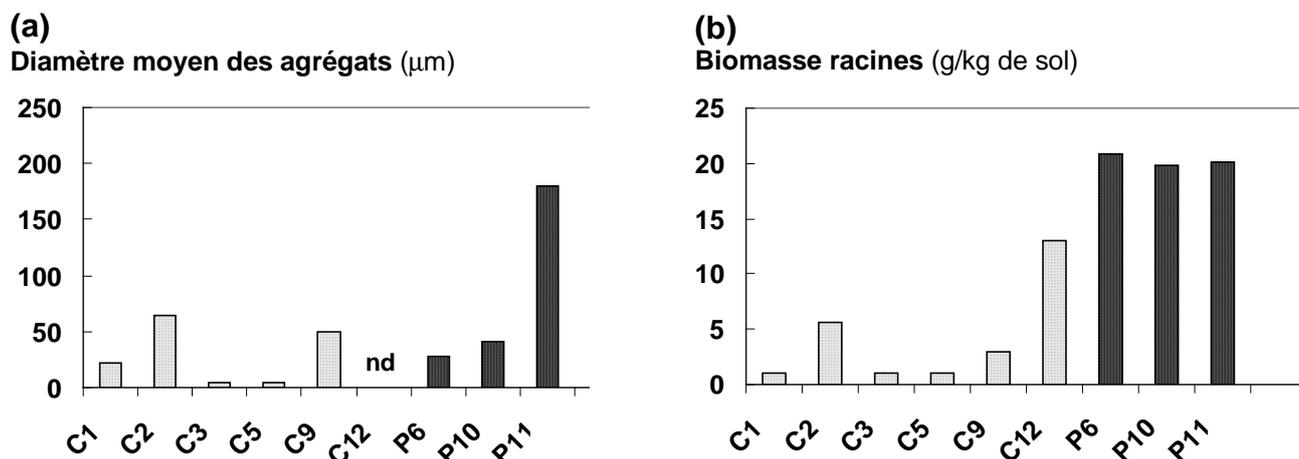
**FIGURE 5 – Ecoulements mensuels comparés de petits bassins versants bretons : Ru de Carnoët (forêt), ruisseaux d'Ellée et d'Isole (bocage). Données fournies par C. COSANDEY.**



## 5. Les sols et les systèmes racinaires

Si les propriétés des feuilles et l'indice foliaire sont à l'origine de différences d'ETR importantes entre prairies et forêts, leurs sols présentent aussi des caractéristiques spécifiques et contrastées. Il y a tout d'abord des différences importantes dans leur porosité et leur niveau d'agrégation, particulièrement dans les horizons superficiels, les plus colonisés par les racines. Une étude particulièrement intéressante a été réalisée dans les Antilles françaises sur des parcelles de plusieurs types de végétation, sur un même substrat, un vertisol (BLANCHART *et al.*, 2000). L'étude a porté sur des parcelles de cultures maraîchères, de jachères, de prairies et de forêt. On note sur la figure 6a la **présence d'agrégats de plus gros diamètre moyen sous forêt et sous une prairie que sous les cultures**, avec comme conséquence une plus forte stabilité culturale des sols forestiers et prairiaux. Il a aussi été montré un contraste important de **biomasse racinaire, systématiquement plus élevée sous prairie que sous culture** (figure 6b). Ceci résulte de la longévité de nombreuses espèces prairiales et *a fortiori* des espèces forestières, en comparaison avec des cultures annuelles. Enfin, les sols sous cultures sont plus vulnérables à l'érosion, leur érodibilité provenant d'une taille moindre de leurs agrégats et de systèmes racinaires moins développés (BLANCHART *et al.*, 2000).

**FIGURE 6 – Sur différentes parcelles cultivées (C, cultures maraîchères) ou en prairies (P) de Martinique et de Guadeloupe a): Diamètre médian des agrégats après agitation dans l'eau (2 heures) d'agrégats 1-2 mm issus de vertisols. b): Biomasses racinaires mesurées sur les différentes parcelles de l'étude. D'après BLANCHART *et al.* (2000).**



## Discussion

Les prairies se caractérisent en moyenne par des propriétés physiologiques et de structure contrastées par rapport à la forêt, qui induisent des différences fortes pour le cycle de l'eau. Le tableau 1 fait la synthèse de l'ensemble des résultats présentés dans cet article pour les trois grands types de végétation : forêt, prairie et culture. Les propriétés des deux interfaces pour le transfert d'eau, entre le sol et les racines, et entre les feuilles et l'atmosphère, conditionnent les flux d'eau et en conséquence le cycle hydrologique des couverts végétaux, dont le drainage de l'eau vers les nappes et

**TABEAU 1 – Les principales caractéristiques structurales et fonctionnelles jouant un rôle dans le cycle de l'eau des grands types de végétations.**

Paramètre	Forêt	Prairie	Culture
LAI	+++	+	+ à ++
Transpiration	+++	++	++ à +++
Interception des pluies	+++	+	+ à ++
Enracinement	+++	++ à +++	++
Capacités d'extraction de l'eau du sol	+++	++	+
Porosité et teneur en matière organique des sols	+++	++	+ à ++

les cours d'eau. La forêt est en moyenne une forte **consommatrice en eau**, du fait du développement important de ces deux interfaces. **La prairie présente un fonctionnement intermédiaire entre les forêts et les cultures**. Les cultures, notamment les cultures annuelles, possèdent des systèmes racinaires se développant moins que ceux des forêts et des prairies et ont souvent un cycle phénologique plus court.

**Forêts et prairies se caractérisent aussi par des sols à forte macroporosité**, en liaison avec une abondante macrofaune, surtout de vers de terre. Ces sols sont filtrants ce qui assure un transfert efficace de l'eau excédentaire et **limite l'érosion des sols**, conférant aux prairies et aux forêts **un rôle régulateur**. Une étude d'infiltrabilité conduite par VAN DER KAMP *et al.* (2003) au Canada a confirmé cette plus forte porosité des sols prairiaux, comparés aux sols sous cultures, avec aussi une autre particularité en climat froid, celle d'une plus forte capacité de rétention de la neige.

A la lumière de nos connaissances, il est possible de **modéliser** le fonctionnement hydrique des différents types de végétations à partir : 1) de leur développement aérien et souterrain, de leur phénologie, 2) des caractéristiques hydrodynamiques des sols, 3) des données climatiques acquises en routine. La modélisation permet en particulier d'évaluer les conséquences de différents scénarios, aussi bien de gestion ou de climat. TWINE *et al.* (2004) ont ainsi modélisé les conséquences de modifications d'usage des sols sous conditions climatiques identiques. Leurs simulations prévoient les plus fortes différences lors de la transformation des forêts en cultures annuelles. En revanche, **en l'absence d'irrigation, le passage d'une prairie à une culture ne modifie que peu les flux hydriques** ; sous cette hypothèse, leurs simulations prévoient une diminution modérée des écoulements sous forme de ruissellement et de drainage.

Enfin, il faut garder à l'esprit qu'il existe une forte variabilité au sein de chaque type de végétation, en particulier pour l'indice foliaire, qui dépend de l'espèce, mais surtout des pratiques gestion.

## Remerciements

L'auteur remercie particulièrement Mme Claude Cosandey (CNRS) et M. Eric Blanchart (IRD) pour la communication de leurs données expérimentales, de grande valeur pour permettre la réalisation de ce travail de synthèse.

## Références bibliographiques

- AUSSENAC G. (1975) Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions, conséquences écophysologiques chez quelques résineux. Thèse Université de Nancy I, 227p.
- BLANCHART E., ACHOUAK W., ALBRECHT A., BARAKAT M., BELLIER G., CABIDOCHÉ Y.M., HARTMANN C., HEULIN T., LARRÉ-LARROUY C., LAURENT J.Y., MAHIEU M., THOMAS F., VILLEMEN G., WATTEAU F. (2000) Déterminants biologiques de l'agrégation dans les vertisols des Petites Antilles. Conséquences sur l'érodibilité. *Etude et Gestion des Sols*, 7, 309-328.
- BREMER D.J., AUEN L.M., HAM J.M., OWENSBY C.E. (2001) Evapotranspiration in a prairie ecosystem: effects of grazing by cattle. *Agronomy Journal*, 93, 338-348.
- COSANDEY C. (2000) in Cosandey C. et Robinson M. : « Hydrologie continentale », collection U, Armand Colin, Paris, 360 p.
- GRANIER A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, 42, 193-200.
- GRANIER A. (1996) Evapotranspiration des forêts. *CR de l'Académie d'Agriculture de France*, 82, 119-132.
- GRANIER A., BRÉDA N., BIRON P., VILLETTE S. (1999) A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological Modelling*, 116, 269-283.
- ROST J., MAYER H. (2006) Comparative analysis of albedo and surface energy balance of a grassland site and an adjacent Scots pine forest. *Climate Research*, 30, 227-237.
- SAUGIER B. (1996) Evapotranspiration des prairies et des cultures. *CR de l'Académie d'Agriculture de France*, 82, 133-153.
- TWINE T.E., KUCHARIK C.J., FOLEY J.A. (2004) Effects of land cover change on the energy and water balance of the Mississippi river basin. *Journal of Hydrometeorology*, 5, 640-655.
- VAN DER KAMP G., HAYASHI M., GALLÉN D. (2003) Comparing the hydrology of grassed and cultivated catchments in the semi-arid Canadian prairies. *Hydrological Processes*, 17, 559-575.