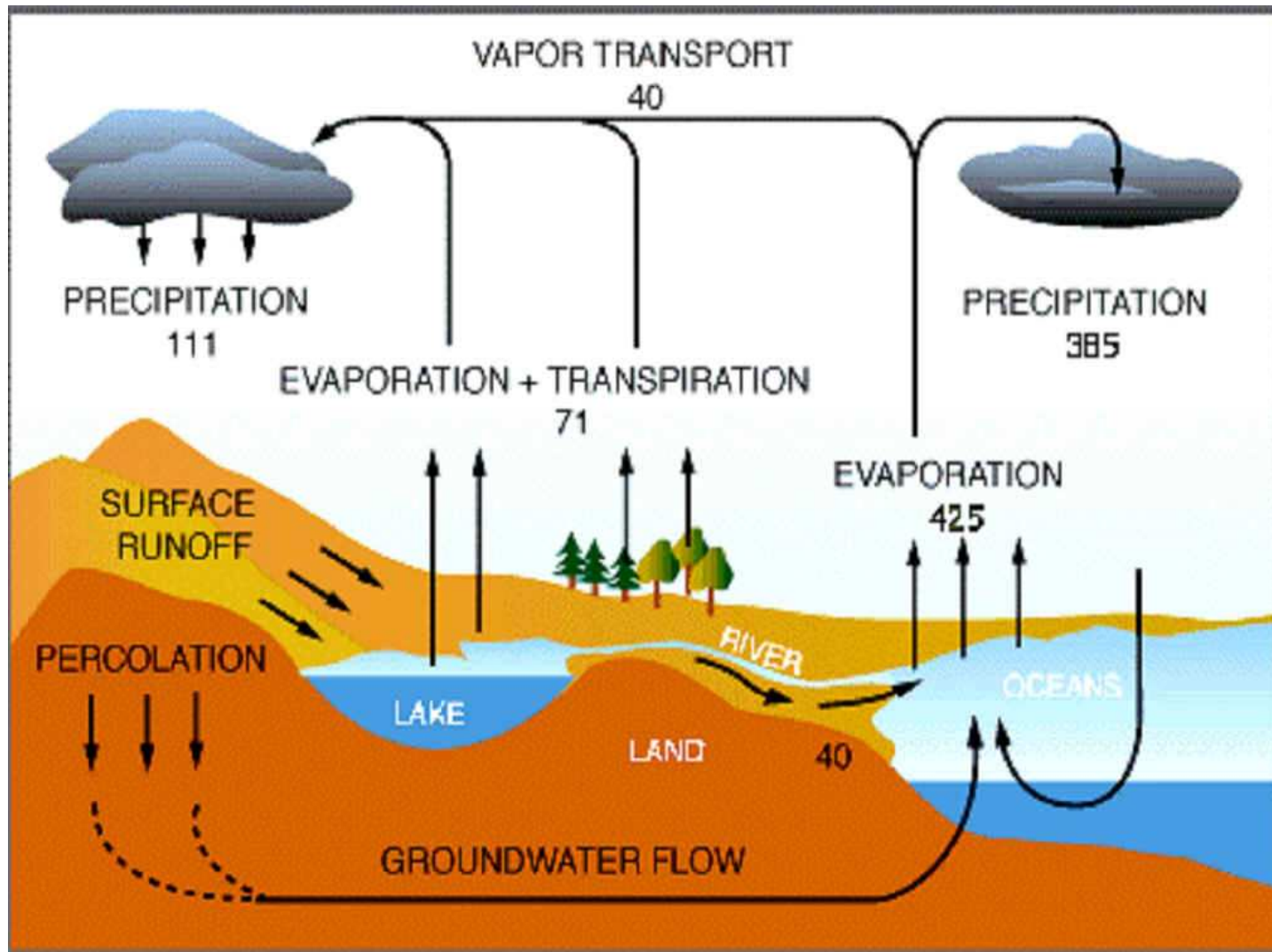


Les zones forestières influencent-elles le régime des pluies ?

Les faits et leur interprétation

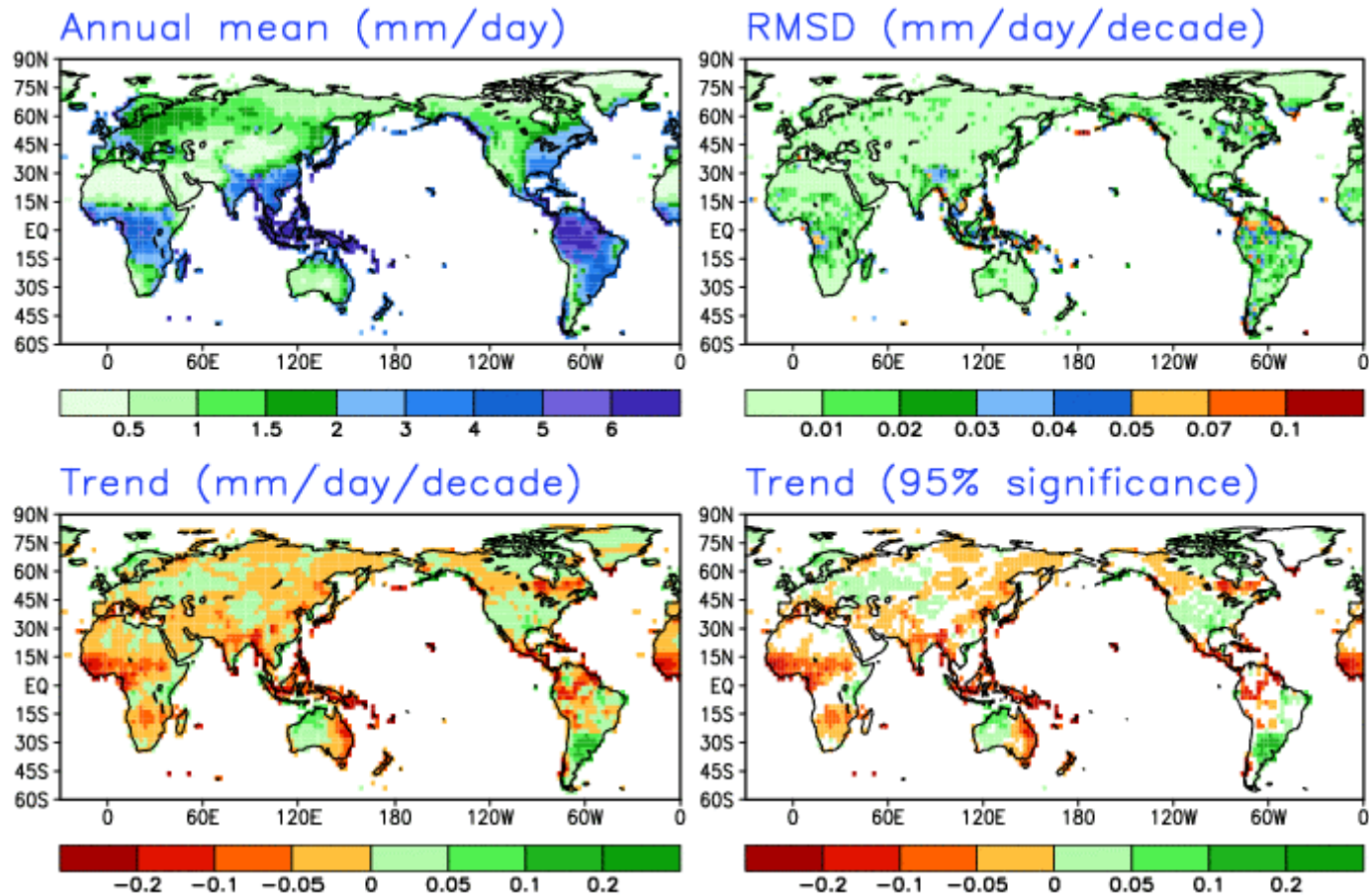
- Bilan hydrique global
- Répartition des précipitations et des forêts
- Répartition de l'ETR, source de vapeur d'eau pour les précipitations
- Particularités des forêts
- Les forêts évaporent-elles plus que les prairies ou les cultures?
Si oui, est-ce bien ou mal?
- Les forêts aspirent-elles l'air humide? Les travaux intéressants mais controversés d'Anastassia Makarieva



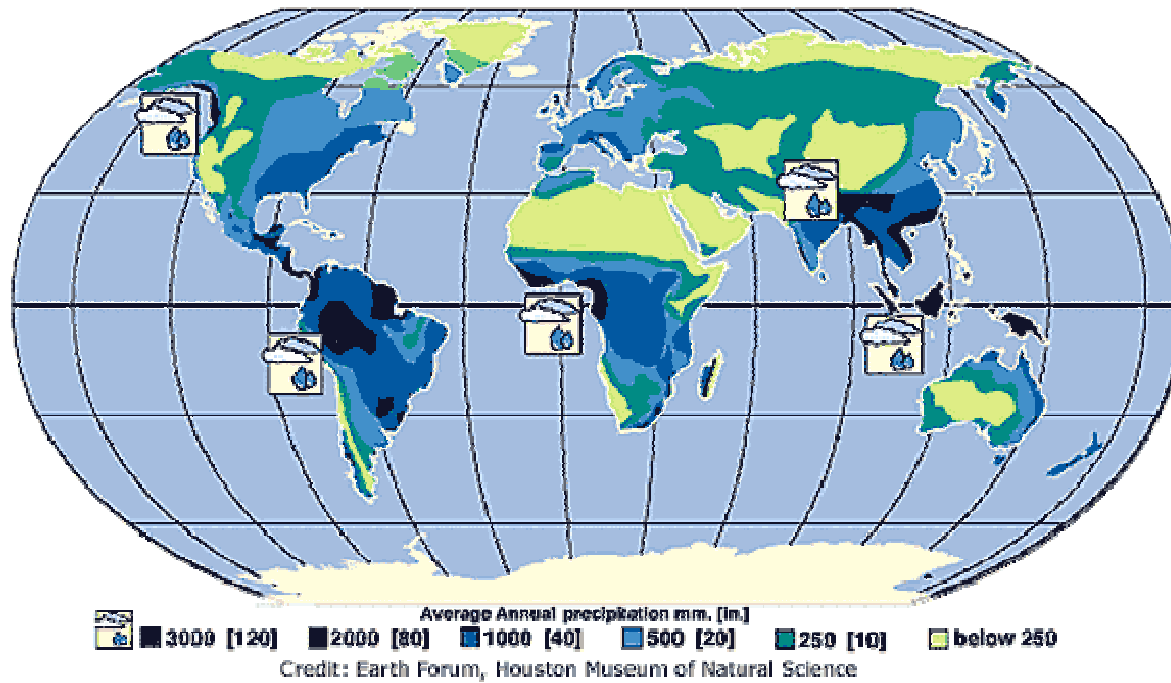
Chiffres en milliers de km³/an.

ETR continentale = 14 % de l'évaporation totale

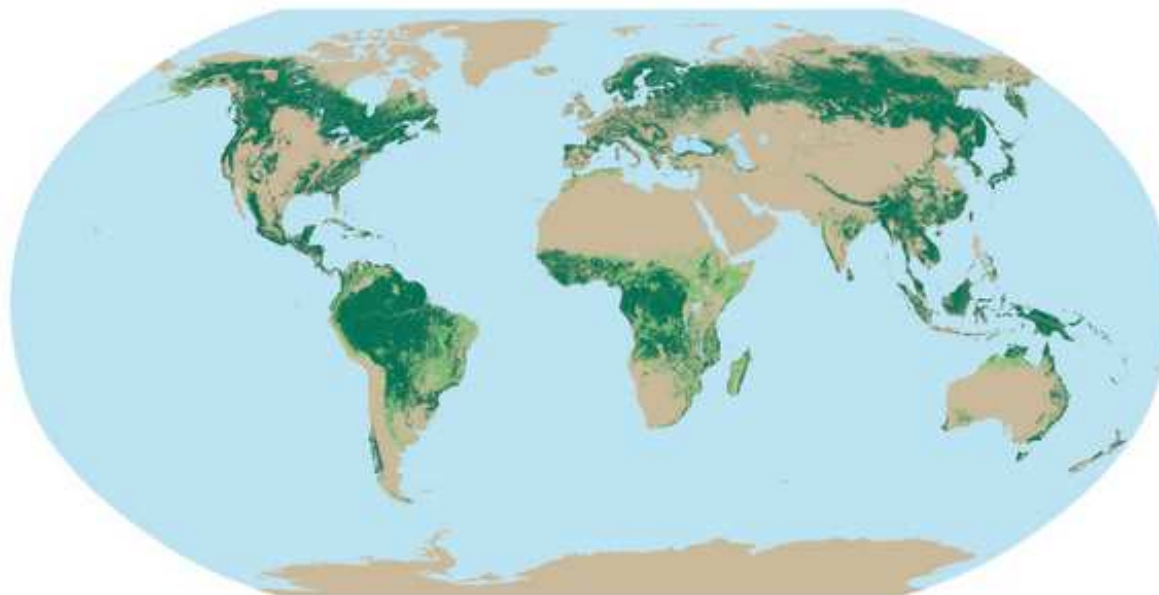
Bilan hydrique	Continents	Océans	Terre	Unités
Surface	148,7	361,3	510	M km ²
Précipitation	745	1066	973	mm/an
Evaporation	477	1177	973	mm/an
Ruissellement	268	-111	0	mm/an



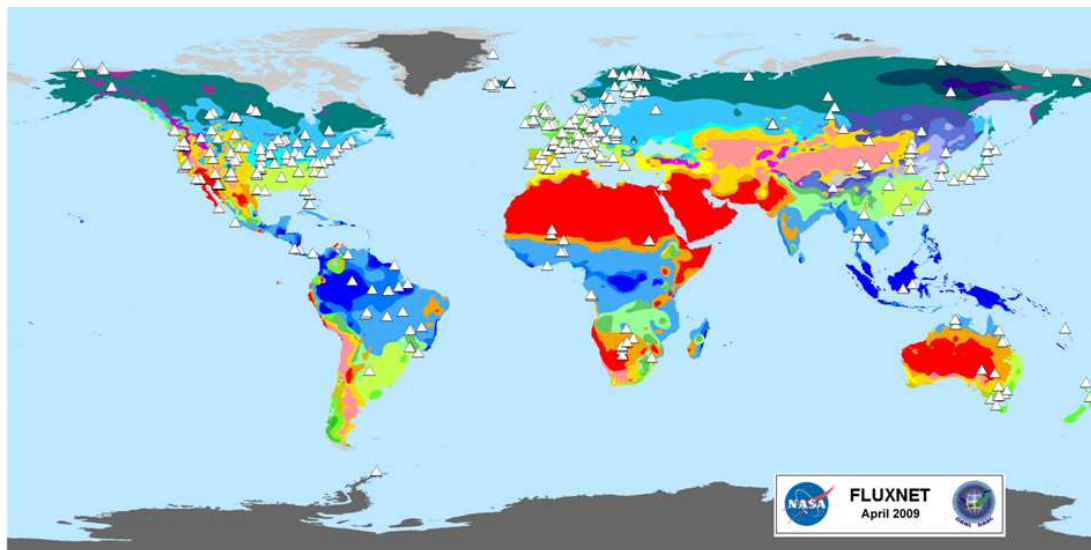
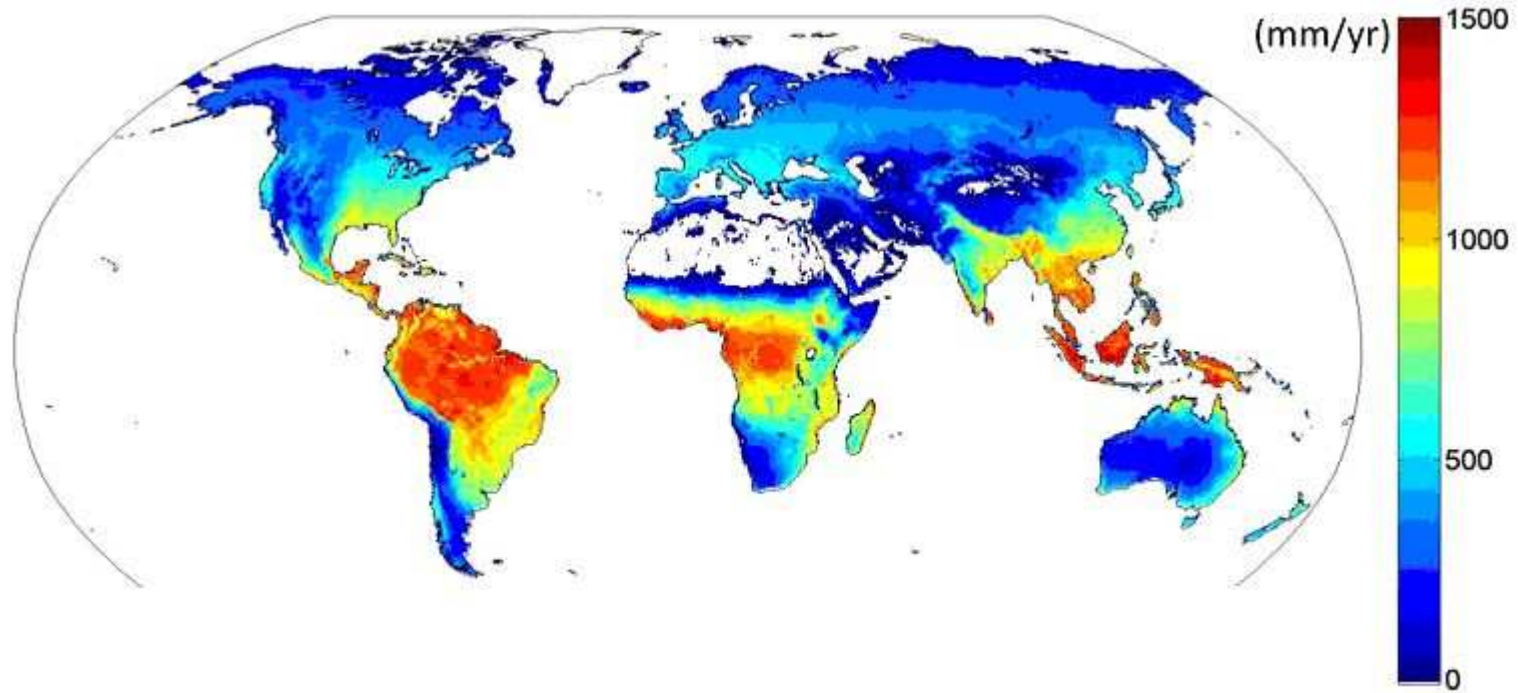
Précipitations moyennes P en mm/jour,
Tendances linéaires $\Delta P / \Delta t$ sur 56 ans (1948-2003), avec à droite leur écart-type
et les tendances significatives (Chen et al., 2002. *J. Hydrometeor.*, **3**, 249-266)



Précipitations en mm/an
Moyenne 745 mm/an



Répartition des forêts
 (26% des terres émergées)
 (FAO, 2006)

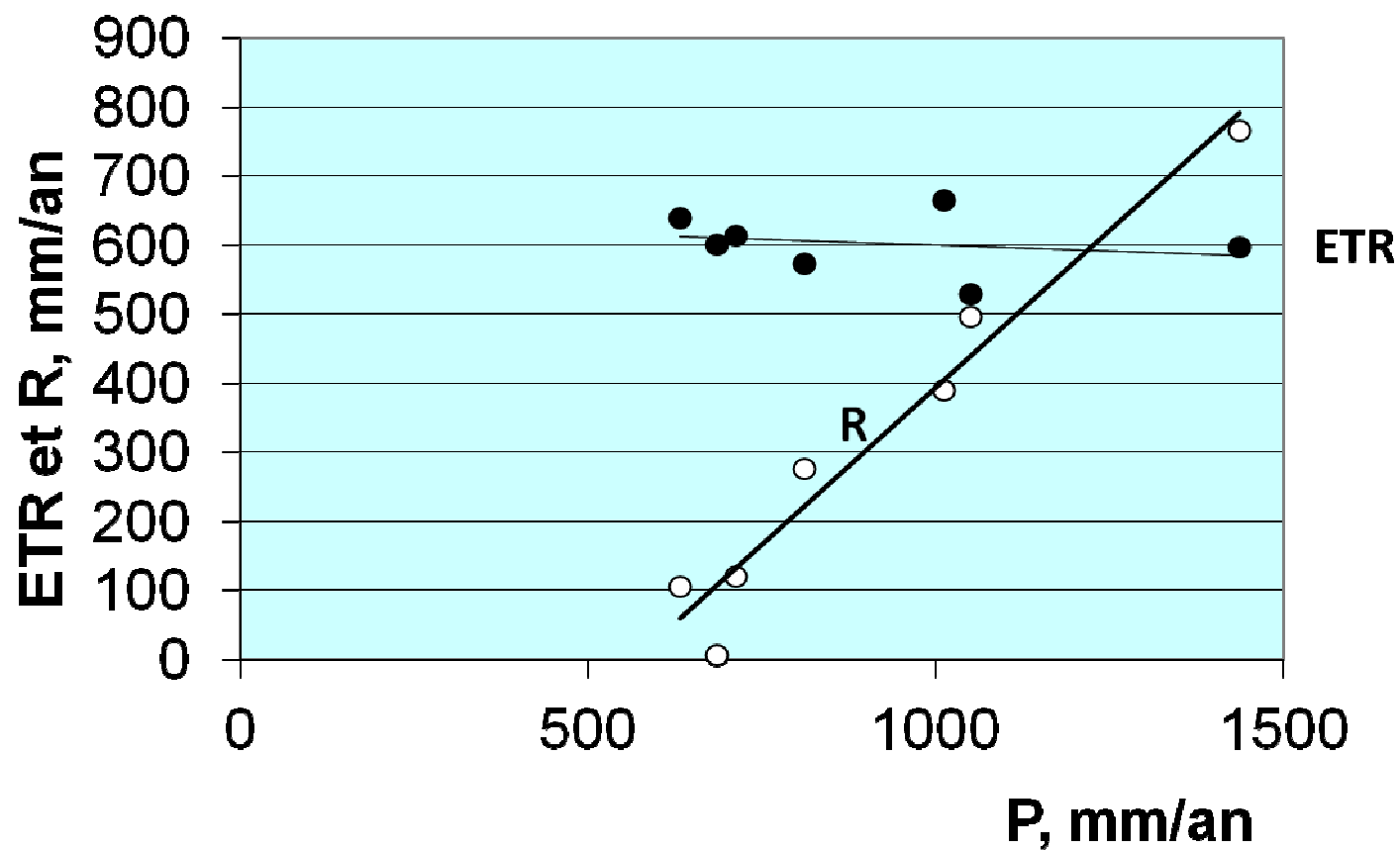


Evapotranspiration des continents en mm/an, extrapolée à partir des données Fluxnet (Jung et al., 2010. Nature **467**, 951-954)
Moyenne: 477 mm/an

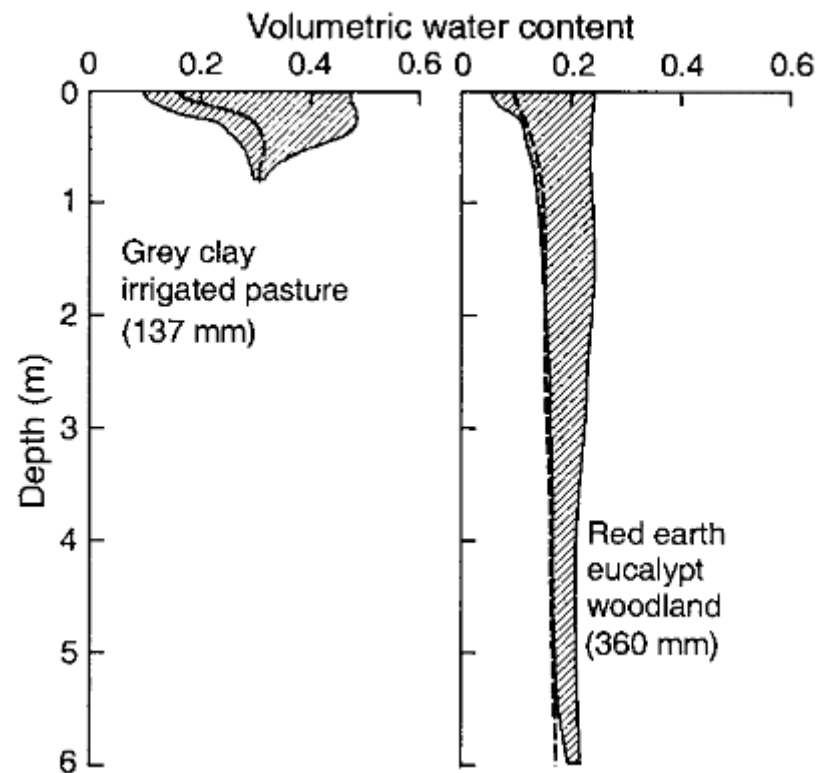
Particularités des forêts

- Faible albedo \Rightarrow piège à rayonnement
- Forte évaporation de l'eau interceptée
- Indice foliaire élevé et maintenu longtemps
- Racines profondes \Rightarrow RU élevée et transpiration maintenue en période sèche

Chêne kermès, 1975-1981



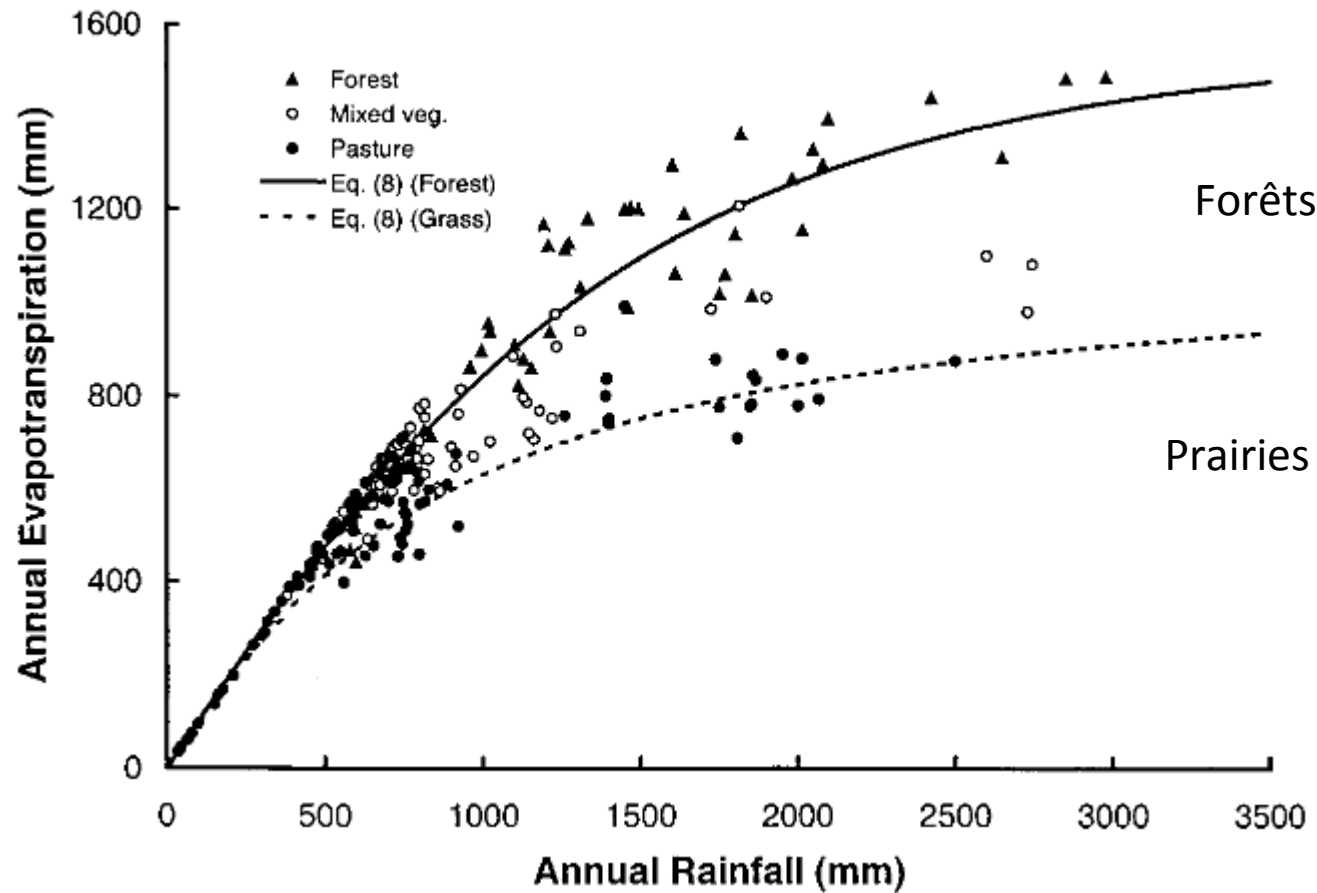
Source: Rambal S., 1984. *Oecologia* (Berlin), **62**, 18-25.
Les racines de chêne kermès atteignent 4,5 m de profondeur



Les racines profondes des eucalyptus augmentent la réserve en eau utile
 Source: Zhang et al. Water Res. Res. 2001, 37, 701–708

Quelques questions:

- Est-ce que les forêts consomment plus d'eau que les prairies ou les cultures ?
- Est-ce qu'il pleut plus là où il y a des forêts ? Pourquoi ?
- Est-ce que les forêts régularisent le cycle de l'eau ?
- Est-ce que les forêts attirent les pluies ?



Source: Zhang et al., 2001. Water Res. Res. **37**, 701–708

Oui, ETR forêts > ETR prairies

Surface foliaire plus importante

Racines plus profondes

Moyenne globale d'évaporation pour diverses surfaces

Forêts : 720 mm/an (FR 400-700, tropic. 900-1500)

Prairies: 510 mm/an

Cultures: 380 mm/an

Océans: 1177 mm/an

La plus forte valeur pour les forêts provient aussi de leur répartition géographique: la moitié en zone intertropicale.

Mais même sous un même climat (tempéré),

$ETR(\text{prairies}) = 0,7 \text{ à } 0,9 \times ETR(\text{forêts})$

Une plus forte ETR, est-ce bien ou mal?

Bilan hydrique **$P = E + R + \Delta S$**

P Précipitations, E évapotranspiration, R ruissellement et drainage

ΔS variation du stock d'eau du sol (\pm nulle sur une période longue)

Le débit d'un cours d'eau provenant d'un bassin-versant égale R:

$$R = P - E$$

Si ce BV est couvert de forêt, E est plus élevé et R plus faible

(vision locale centrée sur la ressource en eau liquide)

Si on considère la fourniture à l'atmosphère de vapeur d'eau qui va précipiter sur le continent quelque part en aval, elle est plus forte au dessus de la forêt (vision globale centrée sur l'offre en eau):

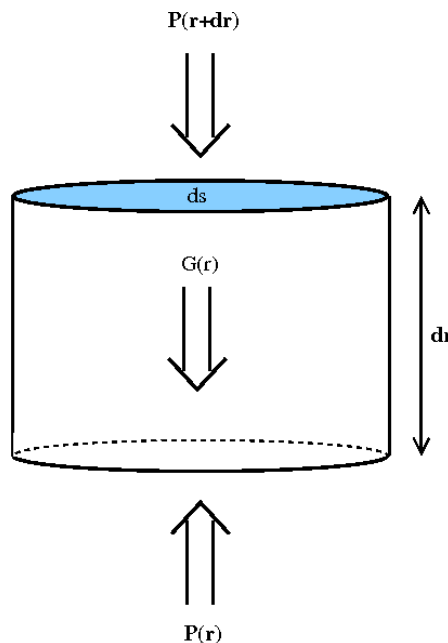
 $P = E + R$ donc si E augmente, P va augmenter



Anastassia Makarieva, St-Pétersbourg:

Il existe une régulation biotique de l'environnement, favorable aux organismes vivants

En particulier les forêts agissent comme une pompe biologique attirant la vapeur d'eau pour la précipiter

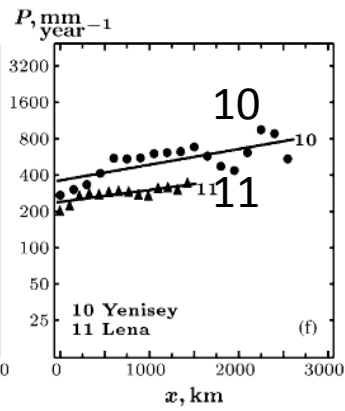
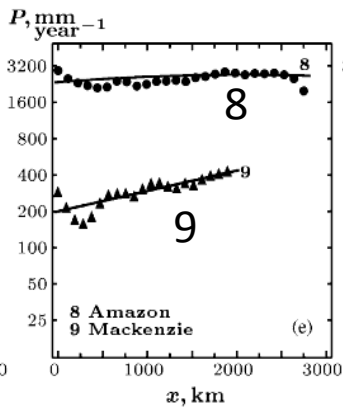
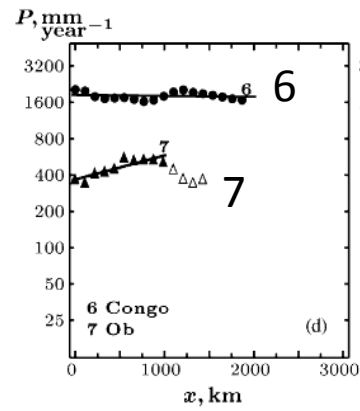
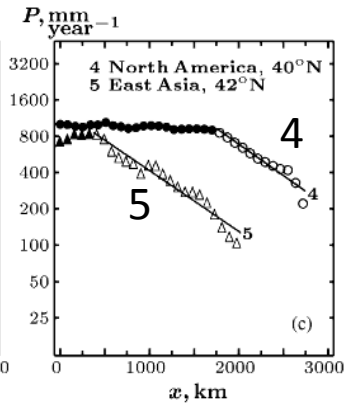
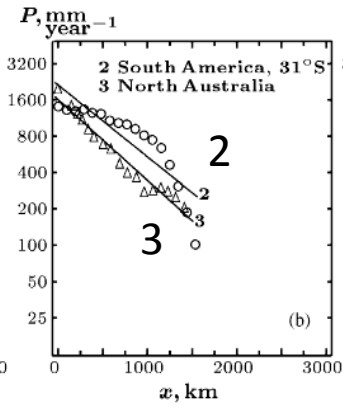
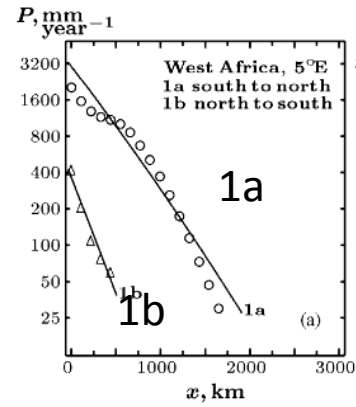
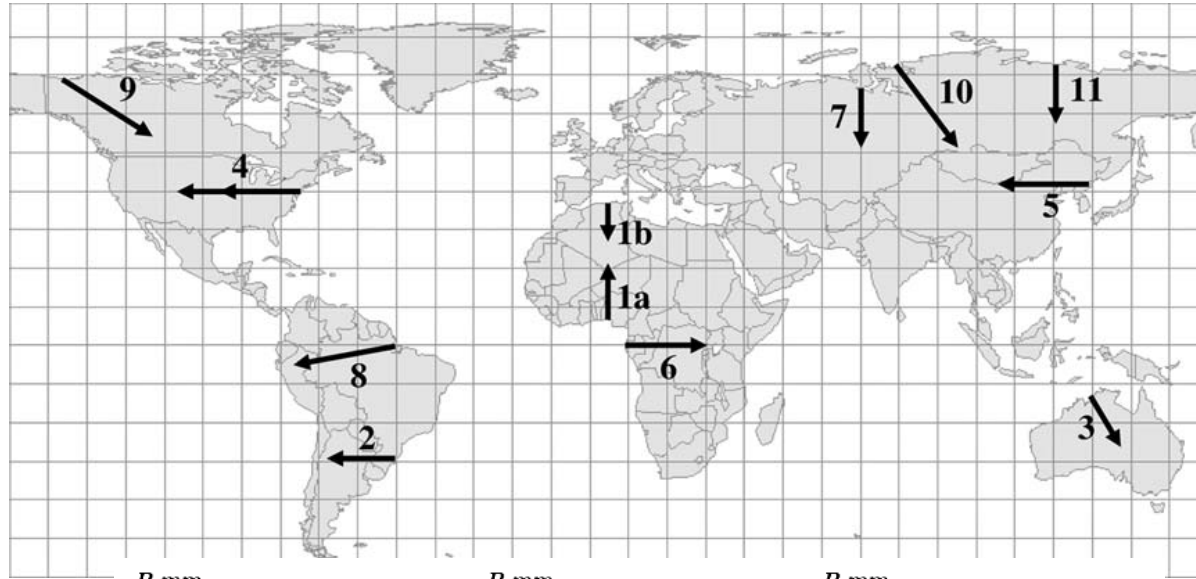


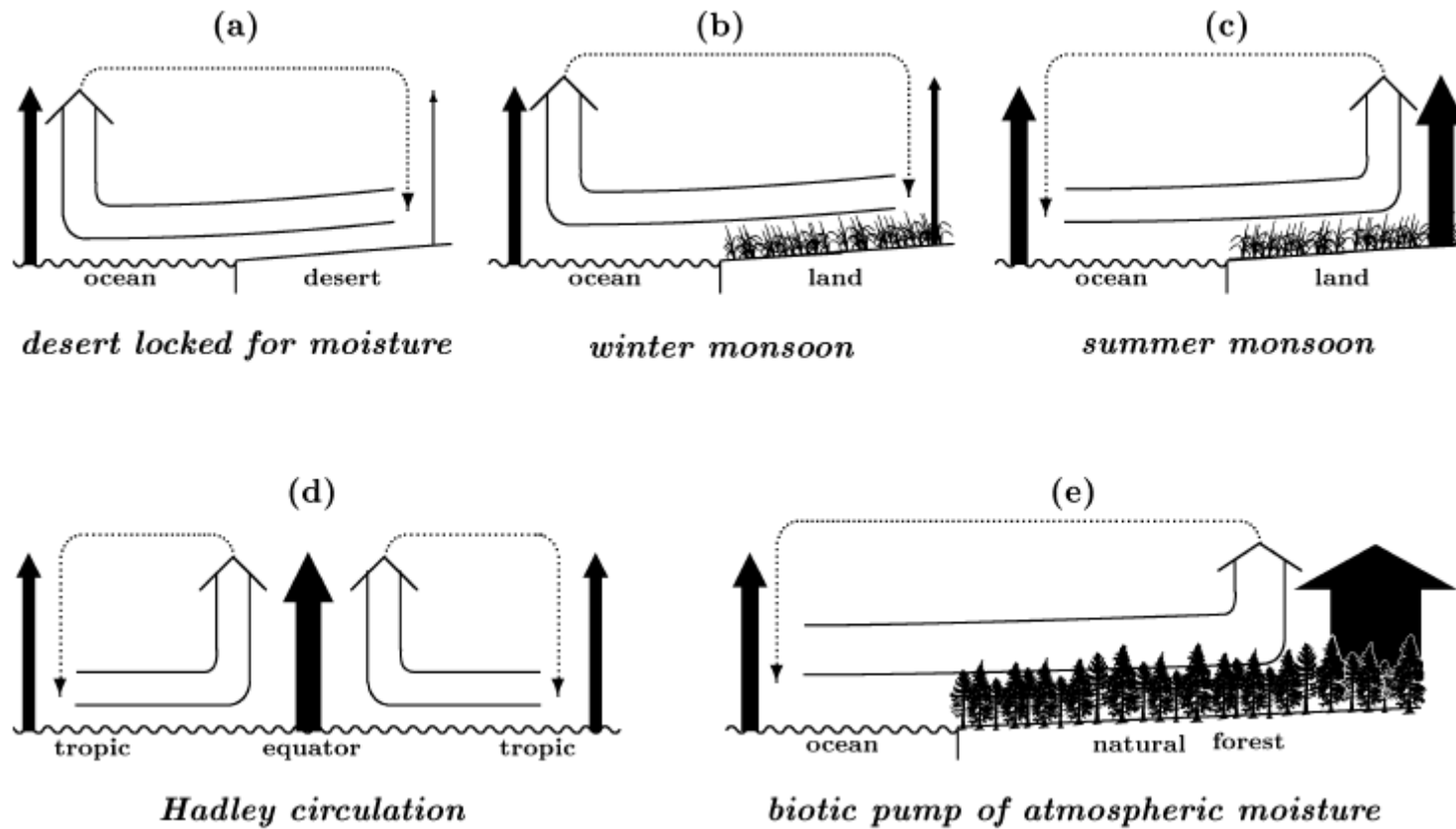
Les modèles de climat supposent l'équilibre hydrostatique de l'atmosphère: une colonne verticale d'air est en équilibre : l'action vers le bas de la gravité est compensée par la différence de pression entre le bas et haut de la colonne.

Cet équilibre est rompu lors des changements d'état de l'eau: Évaporation (ajout de vapeur d'eau) et précipitation (disparition de vapeur d'eau).

Pour Makarieva, il en résulte un mouvement d'air ascendant et une diminution de pression qui entraîne un mouvement d'air vers la zone à forte évaporation.

Pour ses détracteurs, l'équilibre hydrostatique est rétabli très vite et ne peut donner lieu à des mouvements de grande ampleur.

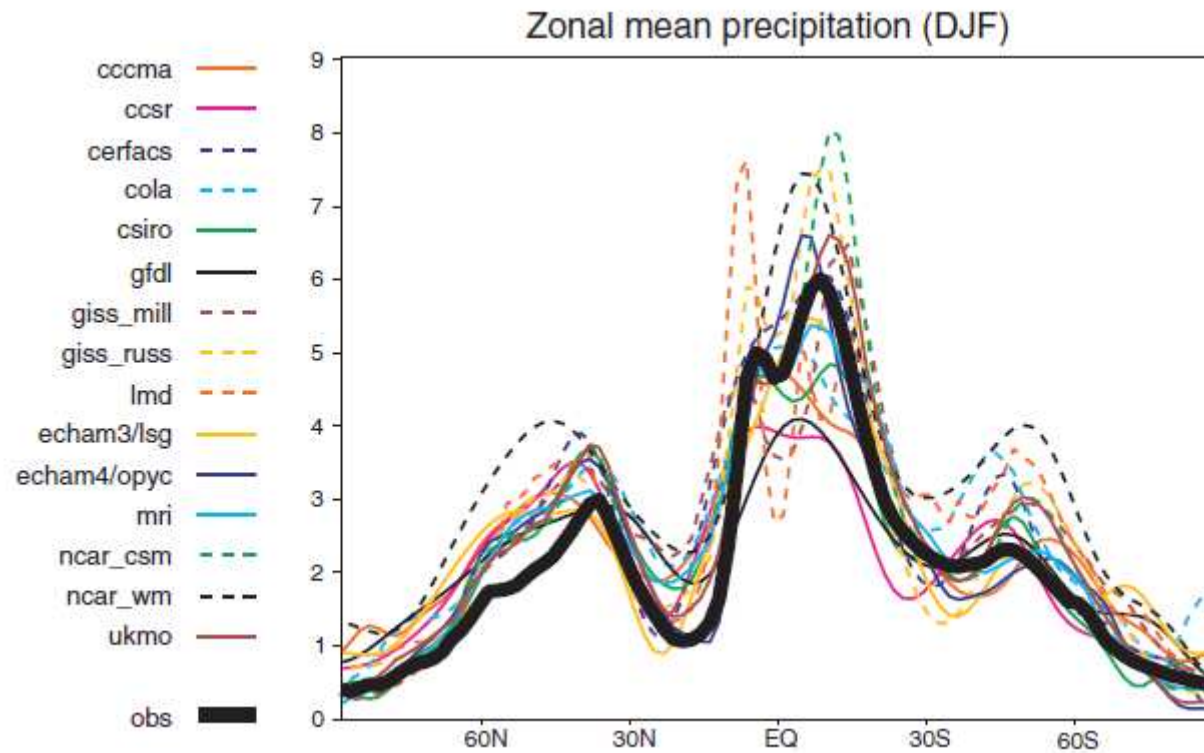




Tiré de A. M. Makarieva and V. G. Gorshkov: Biotic pump of atmospheric moisture
 Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1013–1033, 2007.

Les flèches noires ont leur largeur fonction de l'évaporation.

Flèches blanches : le flux d'air humide en surface va vers les zones de forte évaporation



Les modèles de climat simulent assez bien
la répartition zonale des précipitations
Source IPCC 2001

Quelles sont les hypothèses de Makarieva?

1. L'ETR des forêts excède l'évaporation des océans
2. L'air sec reste en équilibre hydrostatique

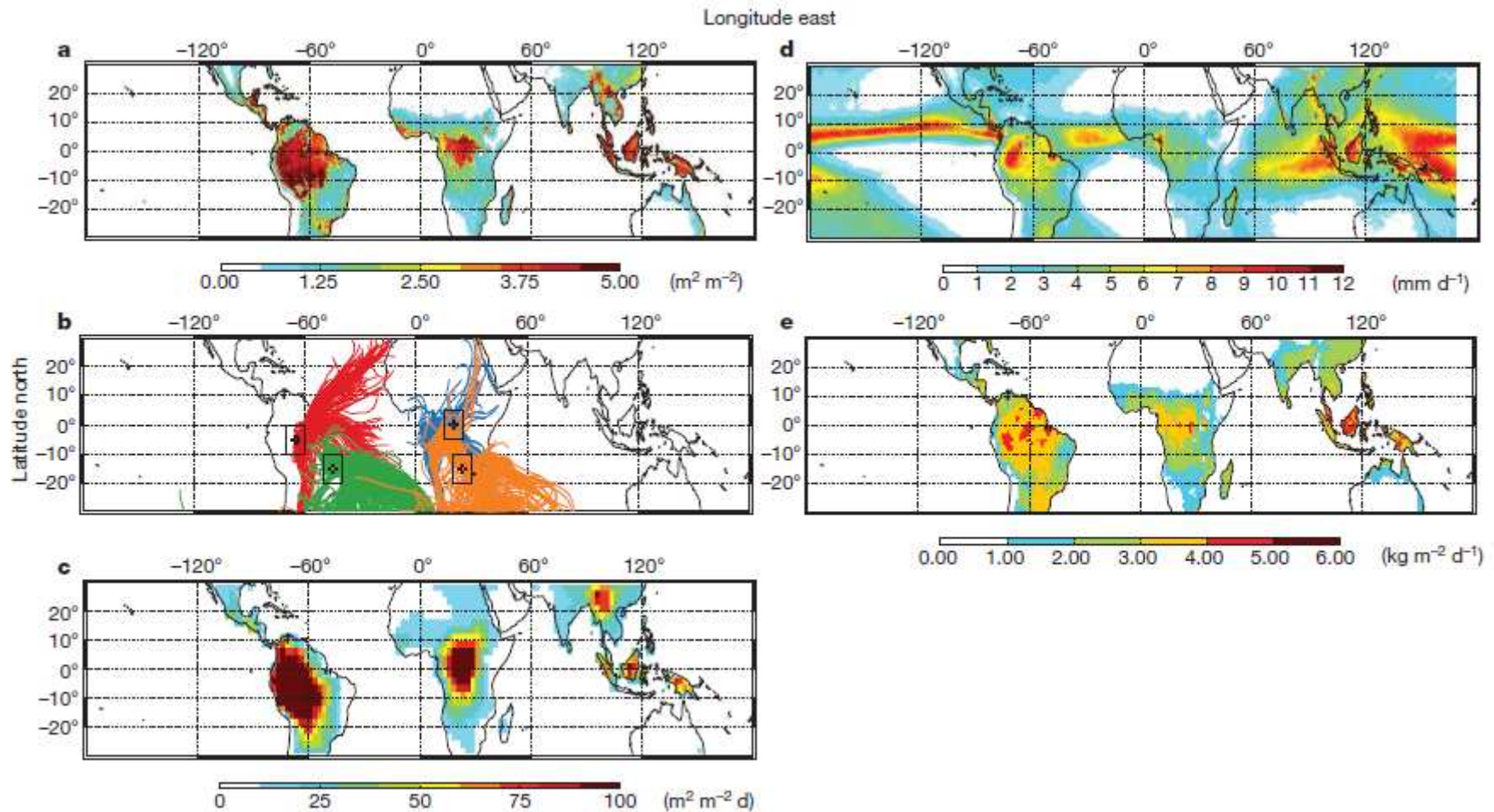
L'hypothèse 1 ne peut tenir que pendant de brèves périodes (forêt mouillée)
L'hypothèse 2 est contestée sur une base physique par **Meesters, Dolman, et Bruijnzeel** (Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 1299–1305, 2009)

Qui croire?

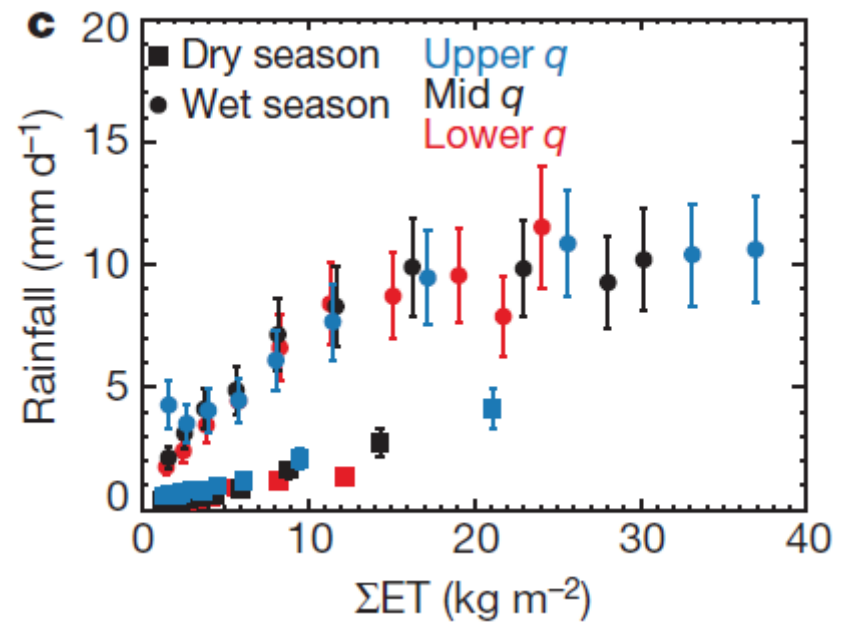
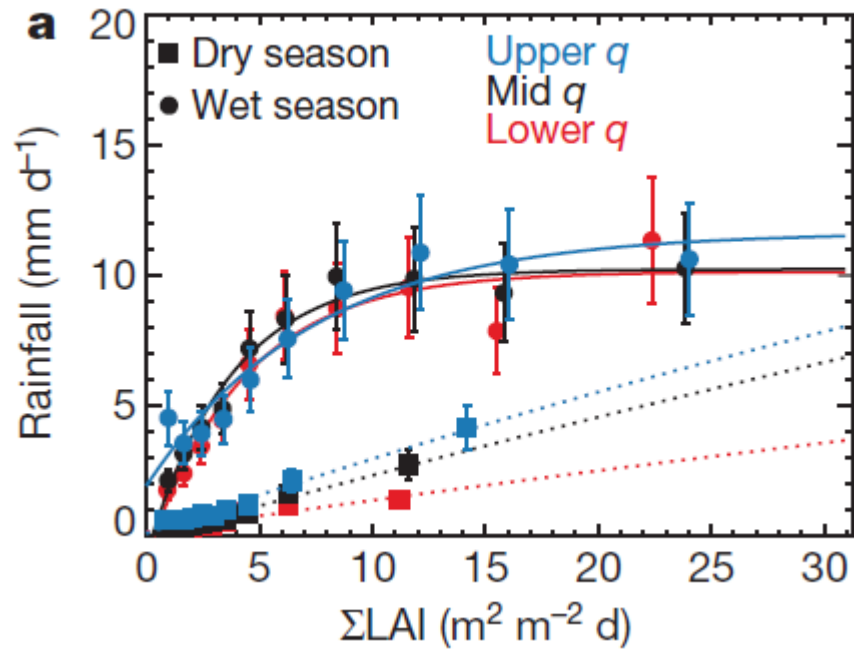
Les modèles de climat fonctionnent avec l'hypothèse hydrostatique, sans prendre en compte les changements de densité de l'air liés aux changements d'état. Ils simulent relativement bien la circulation générale de l'atmosphère et les phénomènes de grande ampleur comme la mousson.

Le seul test convaincant serait de modifier un tel modèle dans le sens souhaité par Makarieva pour voir si le changement améliore la simulation (gros travail).

D'ici là, la controverse fait rage entre partisans et adversaires de cette théorie des forêts pompes biologiques, mais il ne semble pas possible de conclure

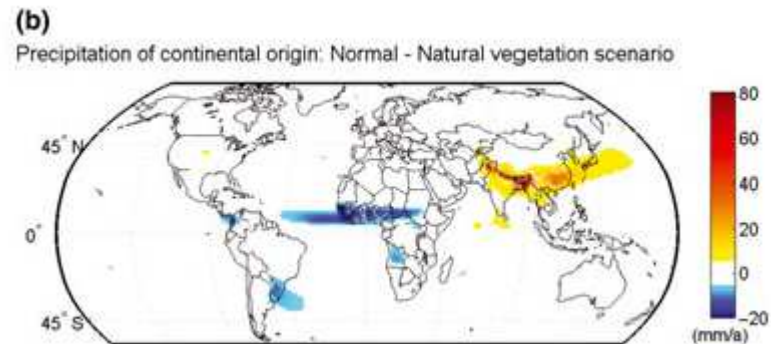
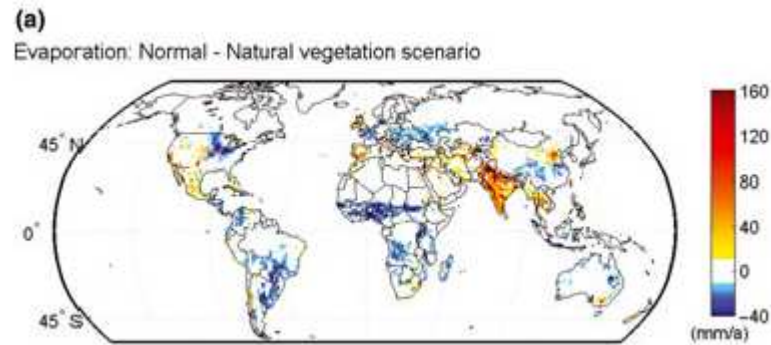


Une manière de regarder l'influence de la végétation sur les pluies:
on reconstitue les trajectoires des masses d'air au dessus des forêts
(Spracklen et al, 2012, *Nature*, **489**, 282–285)



Les précipitations augmentent avec le cumul de l'indice foliaire (à gauche)
Ou avec le cumul de l'ETR (à droite)

Conclusion: le passage des masses d'air au dessus des forêts augmente P



La végétation actuelle entraîne-t-elle moins de précipitation que la végétation potentielle (en l'absence d'humains) ?
Réponse: pas partout (Asie du Sud-Est)