

Effets d'un gradient édaphique sur la dynamique et la densité d'une forêt naturelle en Guyane. Mise en perspective à l'échelle amazonienne

Bruno FERRY (AgroParisTech, LERFoB)
François MORNEAU (AgroParisTech, ECOFOG)
Jean Daniel BONTEMPS (AgroParisTech, LERFoB)
Vincent FREYCON (CIRAD, DNP)

Ecole thématique Fréjus 2007

Contexte et problématique

FTH : puits ou source de carbone ?



Schaphoff *et al.* (2006)

2

Biomasse maximale / environnement

⌘ Echelle du bassin amazonien : climat

- ☒ Surface terrière limitée par la **durée de la saison sèche** ¹
- ☒ Densité du bois décroissante avec l'altitude et l'humidité ²

⌘ Echelle du paysage : sols, inondations

- ☒ Amazonie centrale : surface terrière limitée par la teneur du sol en **azote** ³ ou en **argile** ⁴
- ☒ Costa Rica : surface terrière plus faible sur les sols alluviaux récents, sujets à **inondations** ⁵
- ☒ Forêts à inondations saisonnières : corrélations négatives entre **hauteur d'inondation** et surface terrière ou densité ^{6,7}

1 : Malhi *et al.* (2006) - 2 : Chave *et al.* (2006) - 3 : Laurance *et al.* (1999) - 4 : de Castilho *et al.* (2006) - 5 : Clark & Clark (2000) - 6 : Wittman *et al.* (2004) - 7 : Rosalès *et al.* (2001)

3

Production ligneuse / environnement

⌘ Echelle pantropicale : climat

- ☒ Production primaire nette modélisée par une fonction en cloche de la pluviosité, ayant un maximum vers 2500 mm¹

⌘ Echelle du bassin amazonien : sols

- ☒ Production ligneuse épigée (MgC.ha⁻¹.an⁻¹) : + 50% entre les vieux sols ferrallitiques et les jeunes sols alluviaux ou de montagne (piémont des Andes) ²
- ☒ Turnover (% du nombre d'arbres) : + 100% entre les sols « pauvres » et les sols « riches » ³

⌘ Echelle du paysage : sols

- ☒ Parc de Gunung Palung (Bornéo) : chute de litière et production ligneuse épigée augmentent de 100%, le long d'un gradient de fertilité ($P_{\text{assimilable}} \times 10$)⁴

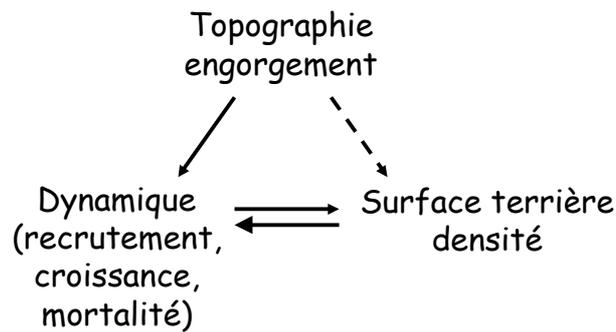
Contrôle
par la
fertilité
du sol

1 : Schuur (2003) - 2 : Malhi *et al.* (2004) - 3 : Phillips *et al.* (2004) - 4 Paoli & Curran (2007)

4

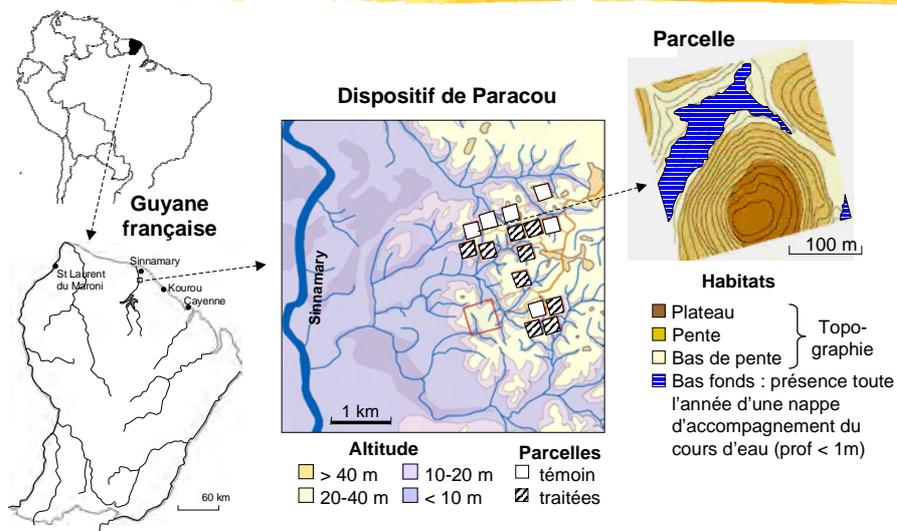
Objectifs de l'étude

- ⌘ Mieux comprendre la variabilité spatiale de la surface terrière et de la dynamique des forêts non perturbées à l'échelle du paysage



5

Site d'étude



6

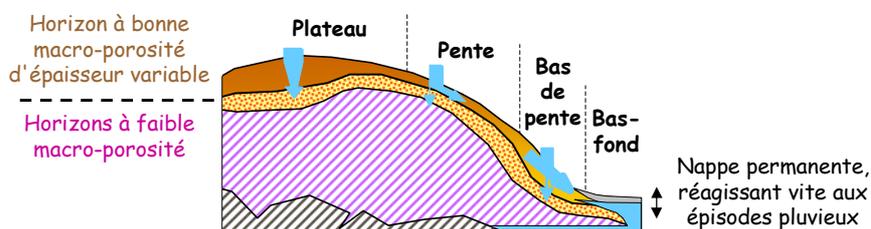
Topographie et sols

⌘ Régime hydrique lié à la topographie

- ☒ Engorgement croissant vers le bas, nettement plus fort en bas-fonds, et maximal dans les bas-fonds étroits
- ☒ Réserve utile en eau plus faible dans la pente

⌘ Fertilité chimique peu variable - un peu supérieure en bas-fonds ?

- ☒ Texture plus sableuse, moins de matière organique (-25%) et moins de capacité d'échange cationique (-25%)
- ☒ pH et taux de saturation en bases de la CEC identiques
- ☒ Plus de phosphore assimilable (+ 80%)



7

Données sur les peuplements

⌘ Inventaires annuels, puis bisannuels :

- ⌘ Localisation de tous les arbres de $\Phi > 10$ cm
- ⌘ Circonférence à 1,3 m (ou au dessus des contreforts)
- ⌘ Mortalité : sur pied / chablis primaire / chablis secondaire

⌘ Deux jeux de données utilisés :

- ☒ Statique --> 15 parcelles, 94 ha, 1984 (ou 1991)
- ☒ Dynamique --> 6 parcelles, 37 ha, 1991-2003

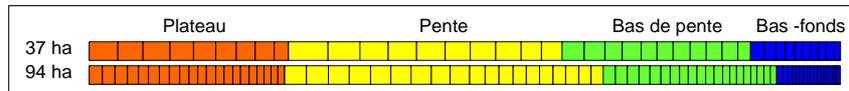
⌘ Corrections des données brutes

- ☒ Corrections des erreurs les plus probables sur les circonférences, d'après les croissances très négatives
- ☒ Reconstruction des circonférences des « recrutés tardifs »

8

Traitement des données

- ⌘ Individu statistique = peuplement d'une unité de surface d'un même habitat
 - ⌘ Regroupements ou découpages d'unités de surface au sein d'une même parcelle, pour que les « individus » d'un même habitat aient tous une surface proche

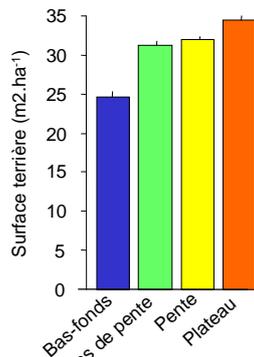


- ⌘ Connaître la variance pour comparer les moyennes
 - ☒ Analyse préliminaire dans l'ensemble homogène (pente + bas de pente) --> la variance des variables étudiées est une **fonction puissance** de la **surface** des unités échantillonnées
 - > comparaison des moyennes par test « Generalised Least Squares », avec $Variance \sim Surface^a$

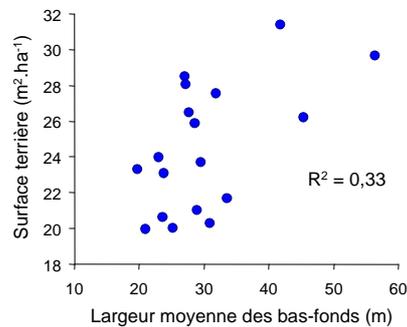
9

Surface terrière

Surface terrière par habitat



Largeur des bas-fonds et surface terrière des peuplements

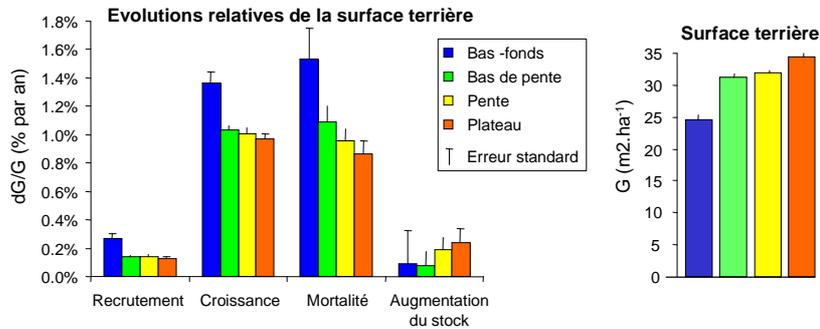


➔ ⌘ $G_{\text{bas fonds}} < G_{\text{pente \& bas de pente}} < G_{\text{plateau}}$

⌘ Corrélation positive entre largeur des bas-fonds et surface terrière des peuplements

10

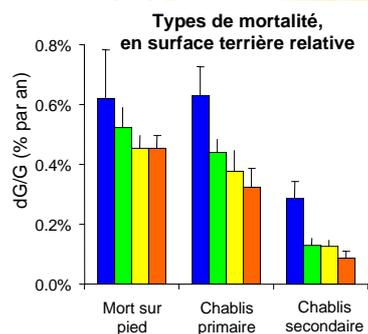
Dynamique de la surface terrière



- Recrutement, croissance, mortalité : $dG/G_{\text{bas-fonds}} > dG/G_{\text{bas de pente}} = dG/G_{\text{pente}} > dG/G_{\text{plateau}}$
- Augmentation de stock positive pour l'ensemble (effet régional - cf. Baker *et al.*, 2004), mais pas de différence entre habitats

Seule la mortalité peut expliquer les écarts de surface terrière

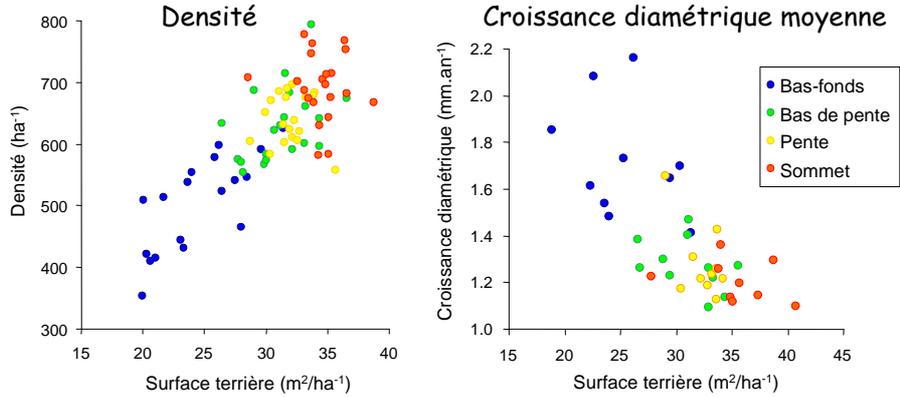
Types de mortalité



- Chablis primaire, chablis secondaire : $dG/G_{\text{bas-fonds}} > dG/G_{\text{bas de pente}} = dG/G_{\text{pente}} > dG/G_{\text{plateau}}$
- Mort sur pied : pas de différence significative

**Engorgement, faible profondeur de sol -> + de chablis primaire
Effet additionnel de la topographie sur les chablis secondaires ?**

Densité et croissance moyenne des arbres

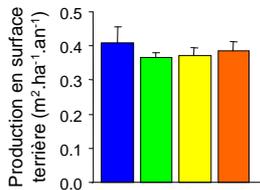


- ✂ Diminution de la surface terrière et de la densité
 → moins de compétition → croissance moyenne plus rapide
- ✂ A surface terrière égale, la croissance semble plus rapide en bas-fonds

13

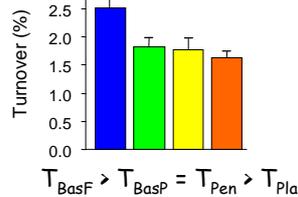
Production et turnover

Production en surface terrière (accroissement + recrutement)



- ✂ Pas d'effet significatif de l'habitat : compensation des effets contraires sur (i) la surface terrière, (ii) la croissance diamétrique individuelle et le recrutement

Turnover

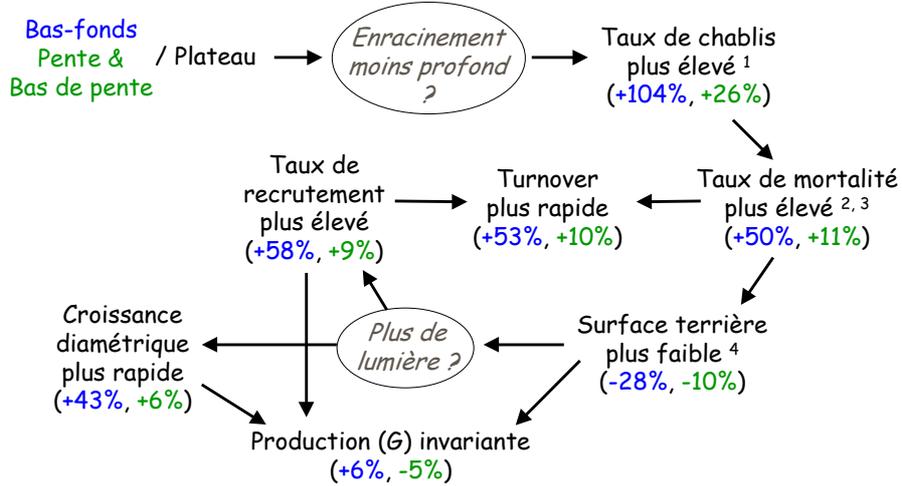


- ✂ Effet très significatif de l'habitat sur le turnover (moyenne des taux de mortalité et de recrutement), supérieur de 53% en bas-fonds par rapport au plateau.

14

Résultats

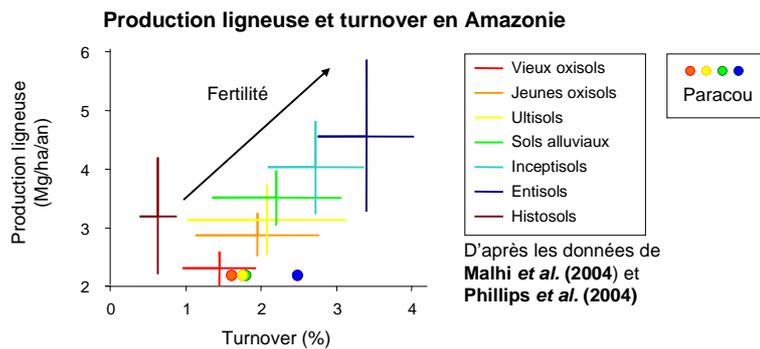
Synthèse



1 : Gale & Hall (2001) - 2 : Madelaine *et al.* (2007) - 3 : Robert & Moravie (2003) - 4 : Clark & Clark (2000)

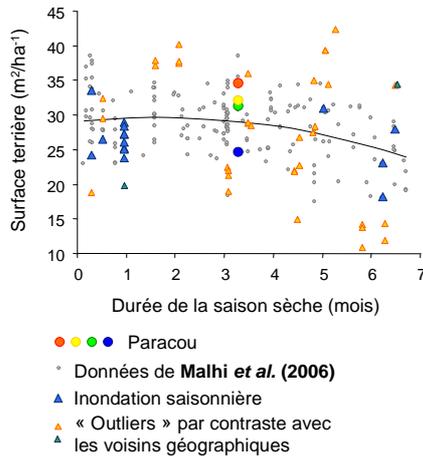
Discussion

Production et turnover en Amazonie



- ⌘ Amazonie : forte amplitude de la fertilité, qui contrôle la production ligneuse --> le turnover suit
- ⌘ Paracou : fertilité quasi uniforme. La mortalité contrôle le turnover, et la croissance compense --> production invariante

Surface terrière en Amazonie

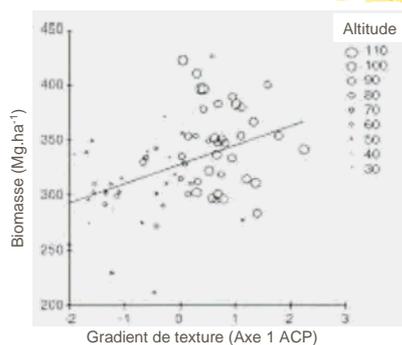


- ⌘ Relation statistique cohérente avec les mises en évidence d'une surmortalité plus ou moins forte les années El Nino ^{1,2,3,4}
- ⌘ Variations de surface terrière à Paracou entre habitats ($10 m^2/ha^{-1}$) > variations en Amazonie expliquées par la durée de la saison sèche ($7 m^2/ha^{-1}$)
- ⌘ Surfaces terrières plus faibles dans les forêts inondables ??

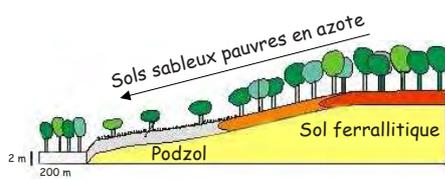
1 : Rolim *et al.* (2005) - 2 : Williamson *et al.* (2000) - 3 : Slik (2004) - 4 : Nieuwstadt & Sheil (2005)

17

Surface terrière en Amazonie



- ⌘ Autre variabilité liée à la topographie, en Amazonie centrale (Castilho *et al.*, 2006)
- ⌘ Sols sableux --> réserve utile en eau plus faible --> sécheresses plus sévères



Toposéquence typique de la région étudiée (Lucas, 2002)

➔ Intérêt de travailler avec la sécheresse édaphique

18

Conclusion

- ⌘ Les variations spatiales de la surface terrière des forêts tropicales humides naturelles (hors action de l'homme) semblent principalement contrôlées par :
 - ☒ la fréquence et la durée des périodes sèches (climat, réserve utile en eau du sol), qui génèrent de la mortalité sur pied
 - ☒ la sensibilité des arbres au déracinement (engorgement du sol, pente forte), qui génère des chablis

Références bibliographiques

- Baker, T. R., O. L. Phillips, et al. (2004). "Increasing biomass in Amazonian forest plots." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 359(1443): 353-365.
- Chave, J., H. C. Muller-Landau, et al. (2006). "Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species." *Ecological Applications* 16(6): 2356-2367.
- Clark, D. B. and D. A. Clark (2000). "Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest." *Forest Ecology and Management* 137(1-3): 185-198.
- de Castilho, C. V., W. E. Magnusson, et al. (2006). "Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography." *Forest Ecology and Management* 234(1-3): 85-96.
- Gale, N. and P. Hall (2001). "Factors determining the modes of tree death in three Bornean rain forests." *Journal of Vegetation Science* 12(3): 337-346.
- Laurance, W. F., P. M. Fearnside, et al. (1999). "Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study." *Forest Ecology and Management* 118(1-3): 127-138.
- Lucas, Y., C. Garnier, et al. (2002). Matière organique dissoute et transferts de métaux dans les sols tropicaux. 8e Journées Nationales de l'Etude des Sols. Bordeaux.
- Madelaine, C., R. Pelissier, et al. (2007). "Mortality and recruitment in a lowland tropical rain forest of French Guiana: effects of soil type and species guild." *Journal of Tropical Ecology* 23(2): in press.
- Malhi, Y., T. R. Baker, et al. (2004). "The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots." *Global Change Biology* 10(5): 563-591.
- Malhi, Y., D. Wood, et al. (2006). "The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests." *Global Change Biology* 12(7): 1107-1138.
- Morneau, F. (2007). Effets d'un gradient d'engorgement hydrique sur la structure et la dynamique d'une forêts tropicale humide (Paracou, Guyane française). Département forêt. Nancy, ENGREF, 256 p.
- Nieuwstadt, M. G. L. v. and D. Sheil (2005). "Drought, fire and tree survival in a Borneo rain forest, East Kalimantan, Indonesia." *Journal of Ecology* (Oxford) 93(1): 191-201.
- Paoli, G. and L. Curran (2007). "Soil Nutrients Limit Fine Litter Production and Tree Growth in Mature Lowland Forest of Southwestern Borneo." *Ecosystems*.
- Phillips, O. L., T. R. Baker, et al. (2004). "Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 359(1443): 381-407.
- Robert, A. and M. A. Moravie (2003). "Topographic variation and stand heterogeneity in a wet evergreen forest of India." *Journal of Tropical Ecology* 19: 697-707.
- Rolim, S. G., R. M. Jesus, et al. (2005). "Biomass change in an Atlantic tropical moist forest: the ENSO effect in permanent sample plots over a 22-year period." *Oecologia* 142(2): 238-246.
- Rosales, J., G. Petts, et al. (2001). "Ecological gradients within the riparian forests of the lower Caura River, Venezuela." *Plant Ecology* 152(1): 101-118.
- Schaphoff, S., W. Lucht, et al. (2006). "Terrestrial biosphere carbon storage under alternative climate projections." *Climatic Change* 74(1-3): 97-122.
- Schuur, E. A. G. (2003). "Productivity and global climate revisited: The sensitivity of tropical forest growth to precipitation." *Ecology* 84(5): 1165-1170.
- Slik, J. W. F. (2004). "El Nino droughts and their effects on tree species composition and diversity in tropical rain forests." *Oecologia* 141(1): 114-120.
- Williamson, G. B., W. F. Laurance, et al. (2000). "Amazonian tree mortality during the 1997 El Nino drought." *Conservation Biology* 14(5): 1538-1542.
- Wittmann, F., W. J. Junk, et al. (2004). "The varzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession." *Forest Ecology and Management* 196(2-3): 199-212.