



# Apport des cycles diurnes de nébulosité et rayonnement solaire pour comprendre la saisonnalité de l'activité photosynthétique forestière en Afrique Centrale

N Philippon, B de Lapparent, V Gond, S Bigot, T Brou, P Camberlin, G Cornu, V Dubreuil  
N Martiny, B Morel, V Moron, G Sèze

→ **Projet CNES 2014-2015 « VEGREENE »**  
(**VEgetation GREEnness and Nebulosity in Central Africa**)

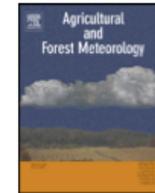
Agricultural and Forest Meteorology 223 (2016) 81–94



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

**Agricultural and Forest Meteorology**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/agrformet](http://www.elsevier.com/locate/agrformet)



Analysis of the diurnal cycles for a better understanding of the mean annual cycle of forests greenness in Central Africa



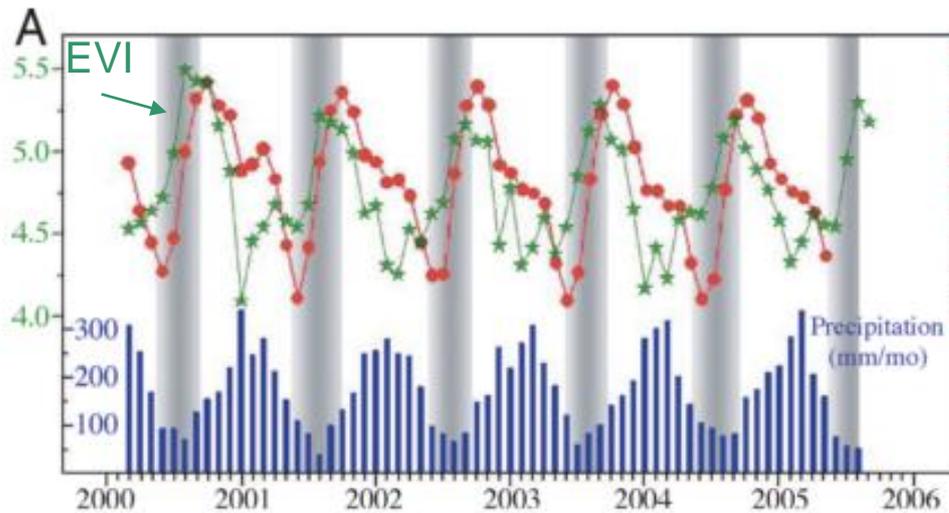
N. Philippon<sup>a,\*</sup>, B. de Lapparent<sup>a</sup>, V. Gond<sup>b</sup>, G. Sèze<sup>c</sup>, N. Martiny<sup>a</sup>, P. Camberlin<sup>a</sup>,  
G. Cornu<sup>b</sup>, B. Morel<sup>d</sup>, V. Moron<sup>e,i</sup>, S. Bigot<sup>f</sup>, T. Brou<sup>g</sup>, V. Dubreuil<sup>h</sup>

## Contexte et motivations

Afrique Centrale :

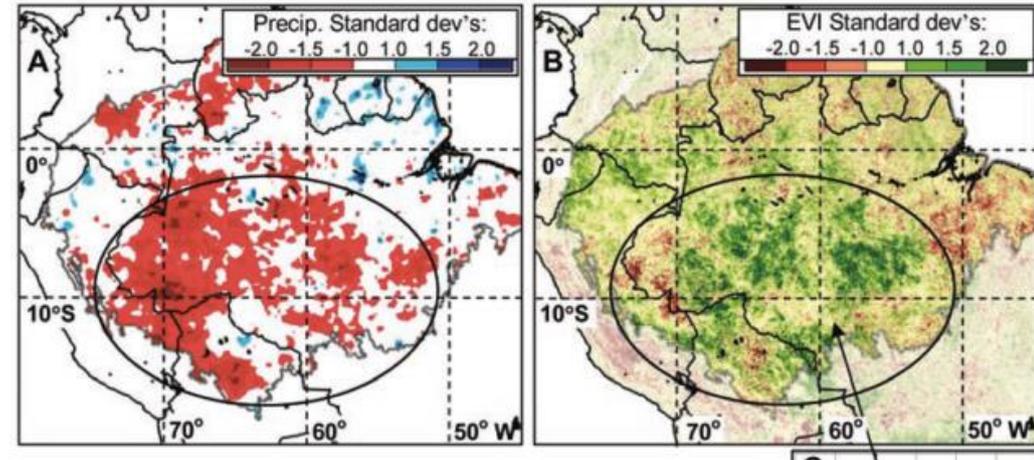
- 2nd bloc forestier tropical après l'Amazonie
    - 2<sup>e</sup> puits de CO<sub>2</sub> (Saatchi et al., 2011)
    - 1<sup>e</sup> pour l'intensité activité orageuse (Christian et al., 2003)
    - source d'humidité majeure
  - la moins étudiée des régions tropicales
    - peu de données in-situ
    - pas de téléconnexion avec l'ENSO
    - ressource en eau moins critique que les régions voisines semi-arides
- incertitudes concernant le devenir de la forêt dans un contexte
- de changement climatique
  - de connaissance insuffisante du climat régional
  - de connaissance insuffisante de la sensibilité de la forêt au climat

# Fonctionnement forêt – climat : l'exemple amazonien



(Myneni et al 2007)

JAS 2005



(Saleska et al 2007)

- Cycles annuels moyens unimodaux :  
EVI max... en saison 'sèche'
- Variabilité interannuelle :  
- de pluies... + d'EVI

→ disponibilité en lumière = principal déterminant

*Quel(s) paramètre(s) climatique(s) contrôle(nt) le cycle saisonnier d'activité photosynthétique en Afrique Centrale ?*

H1 : lumière **et** eau sont limitantes

H2 : leur poids respectif varie au cours du cycle saisonnier

H3 : en lien avec l'évolution saisonnière des **cycles diurnes**

# Données et zone d'étude

Croisement de données satellitales (forêt+climat) HR spatio-temporelle, NO du Bassin du Congo

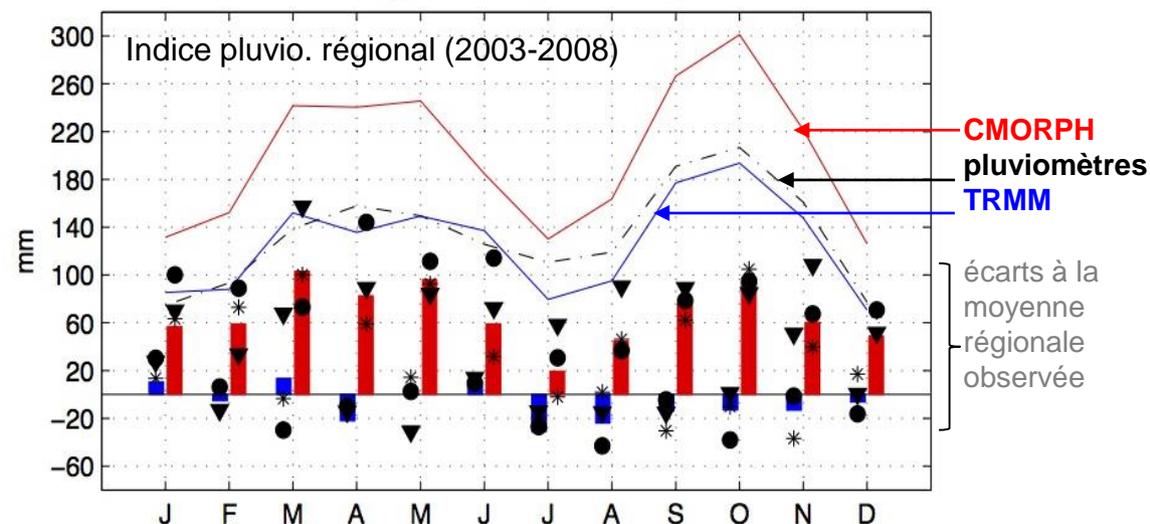
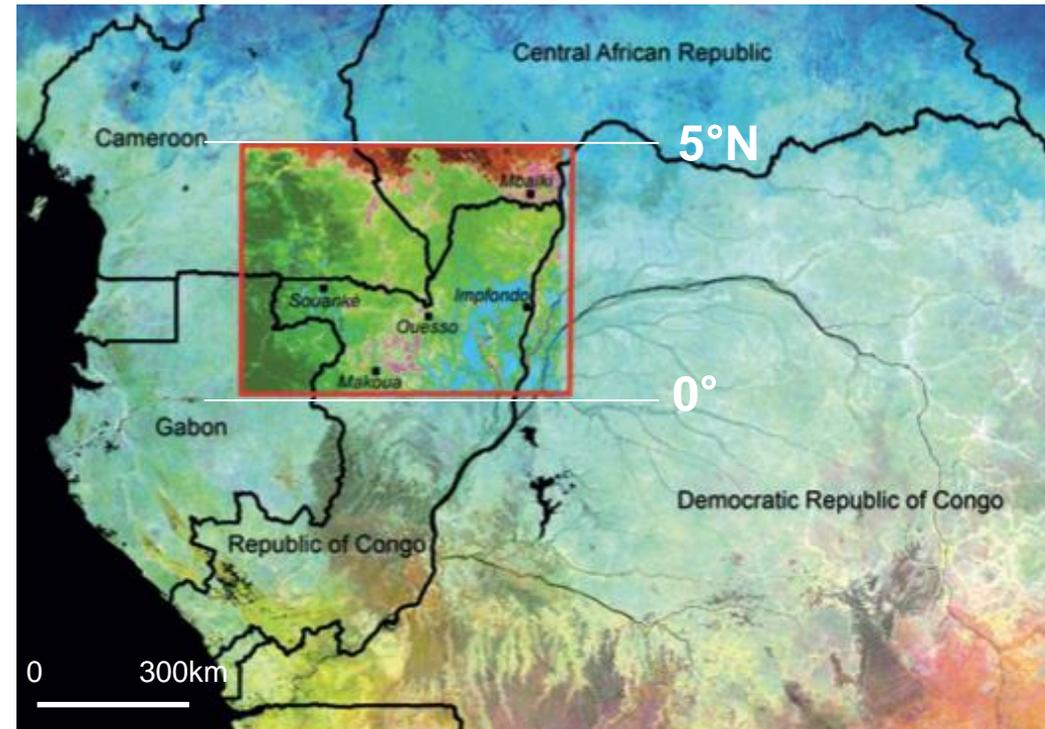
• **Enhanced Vegetation Index (EVI) MODIS**, 500m, seizaine, 2000-2009

→ 11 classes de forêts de « terre ferme »

→ confirmées par observations in situ (phénologie, surface terrière/ha)

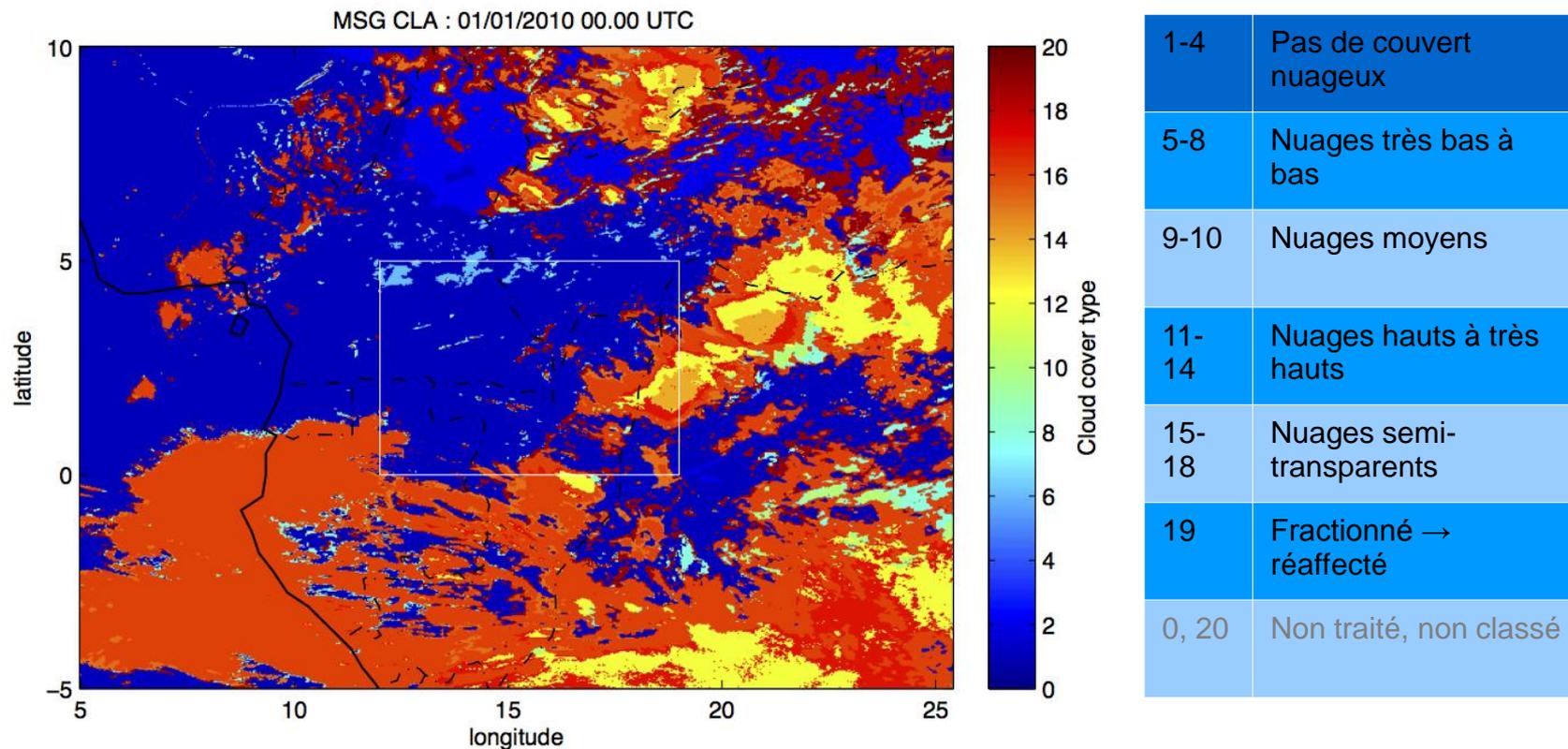
• **Précipitations TRMM**, 25km, tri-horaires, 2003-2013

→ calibrées à l'échelle mensuelle



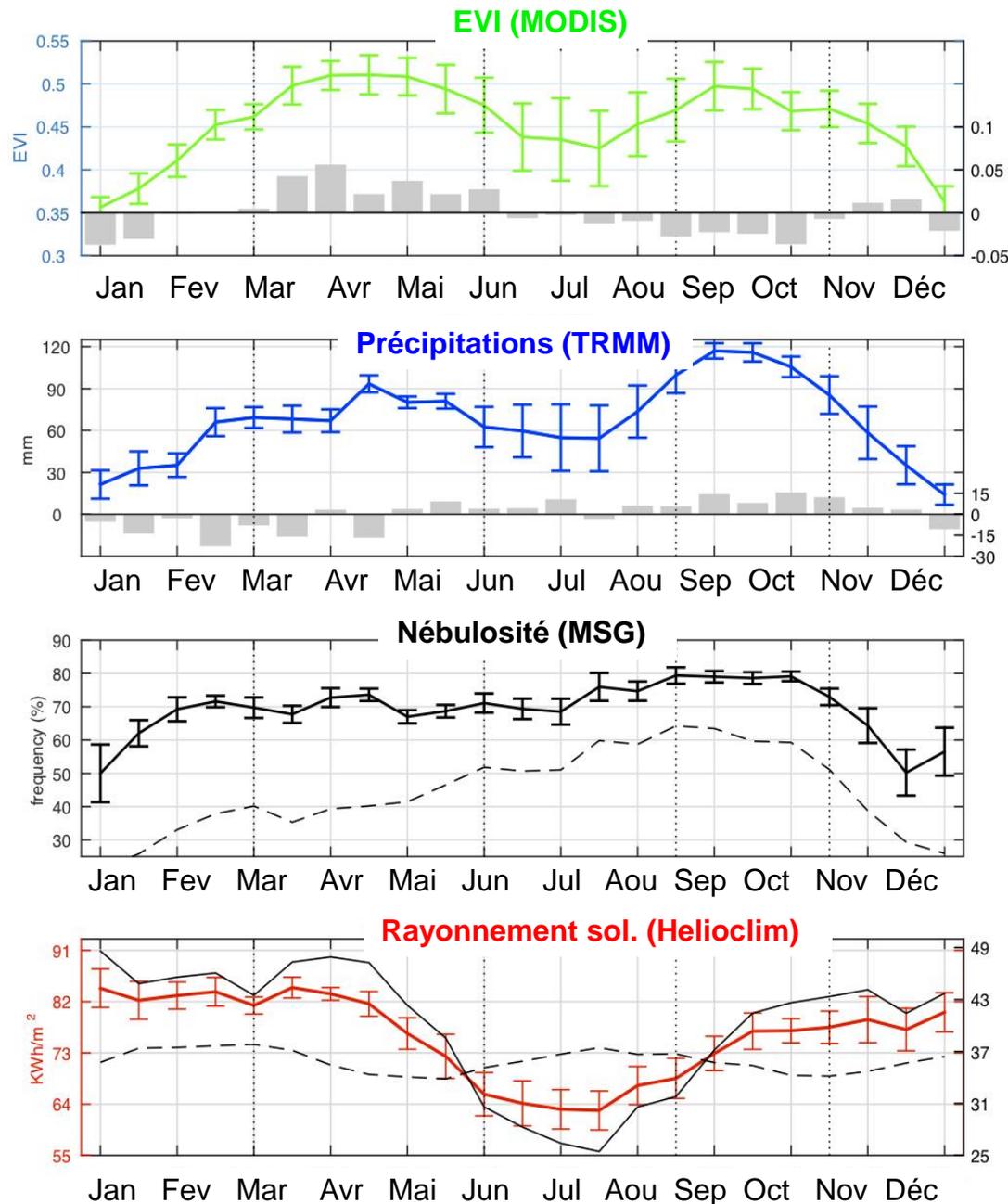
# Données et zone d'étude

- **Rayonnement solaire entrant en surface Hélio-Clim3-v5 (TRANSVALOR)**, 9km, horaire, 2004-2014, total – direct – diffus
- **Nébulosité MSG-CLA (NWC SAF)**, 3km, 15min, 2010-2014, 21 classes



# Résultats

# Cycles annuels moyens



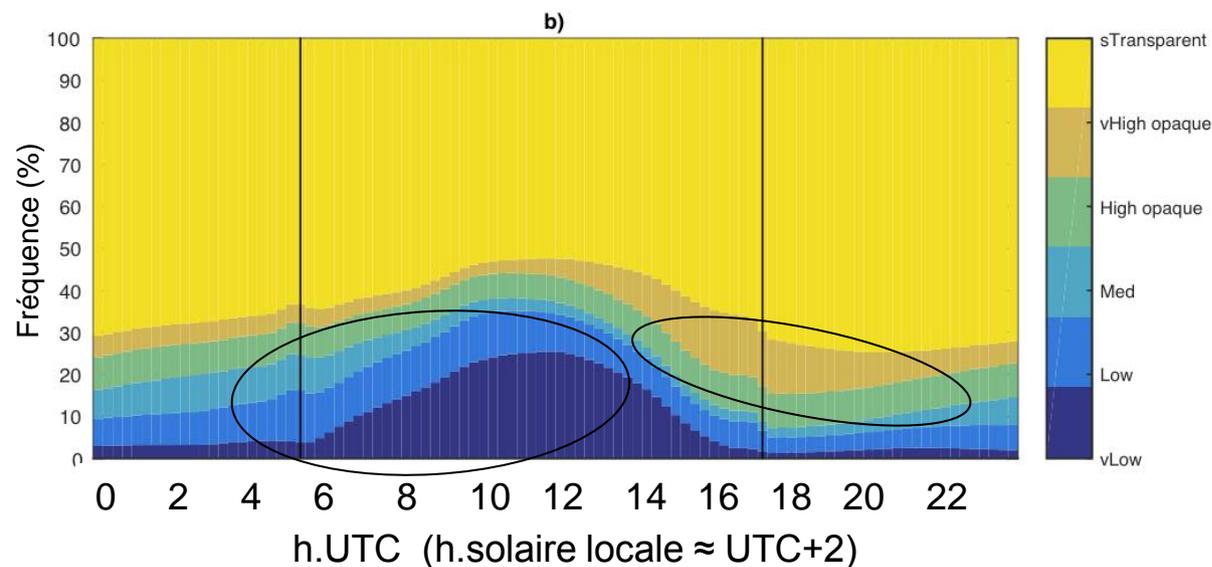
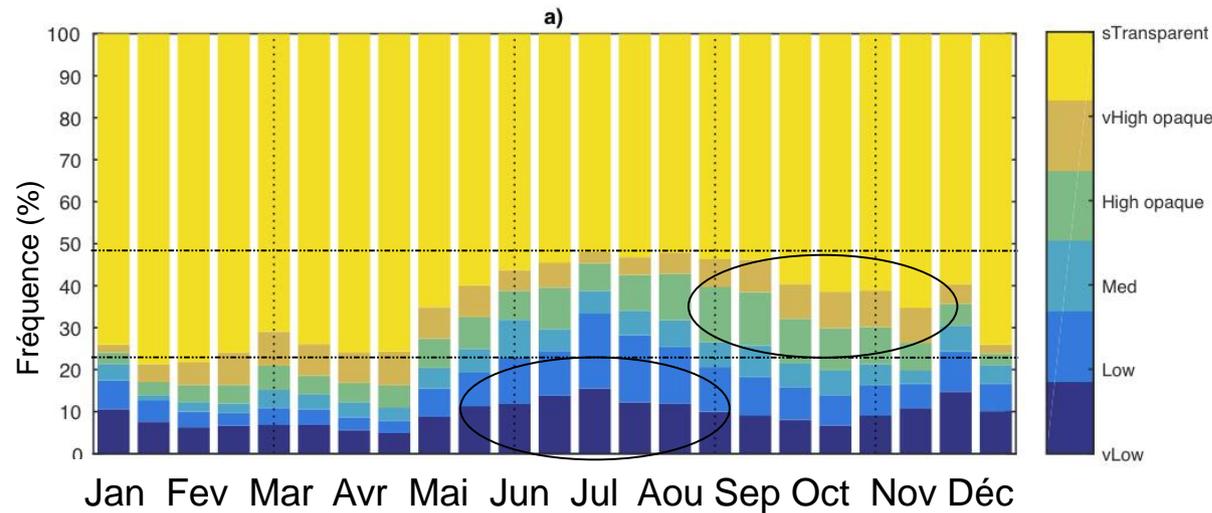
- bimodalité de l'EVI et des pluies, en covariations, mais...
- pic principal d'EVI  $\neq$  pic principal de pluies
- pas de bimodalité dans la nébulosité et le rayonnement
  - JJA moins lumineux que les SP
- différences marquées entre saisons
  - SON + pluvieux et – lumineux que MAM, or nébulosité  $\approx$  id.

→ comment expliquer ces combinaisons pluies / nébulosité / rayonnement, et quel rôle sur l'EVI ?  
H : particularités des **cycles diurnes**

## Résultats

# Cycles diurnes et annuels de nébulosité

distinction de la nébulosité en 6 classes : nuages **très bas** / **bas** / **moyens** / **hauts opaques** / **très hauts opaques** / **semi-transparentes**

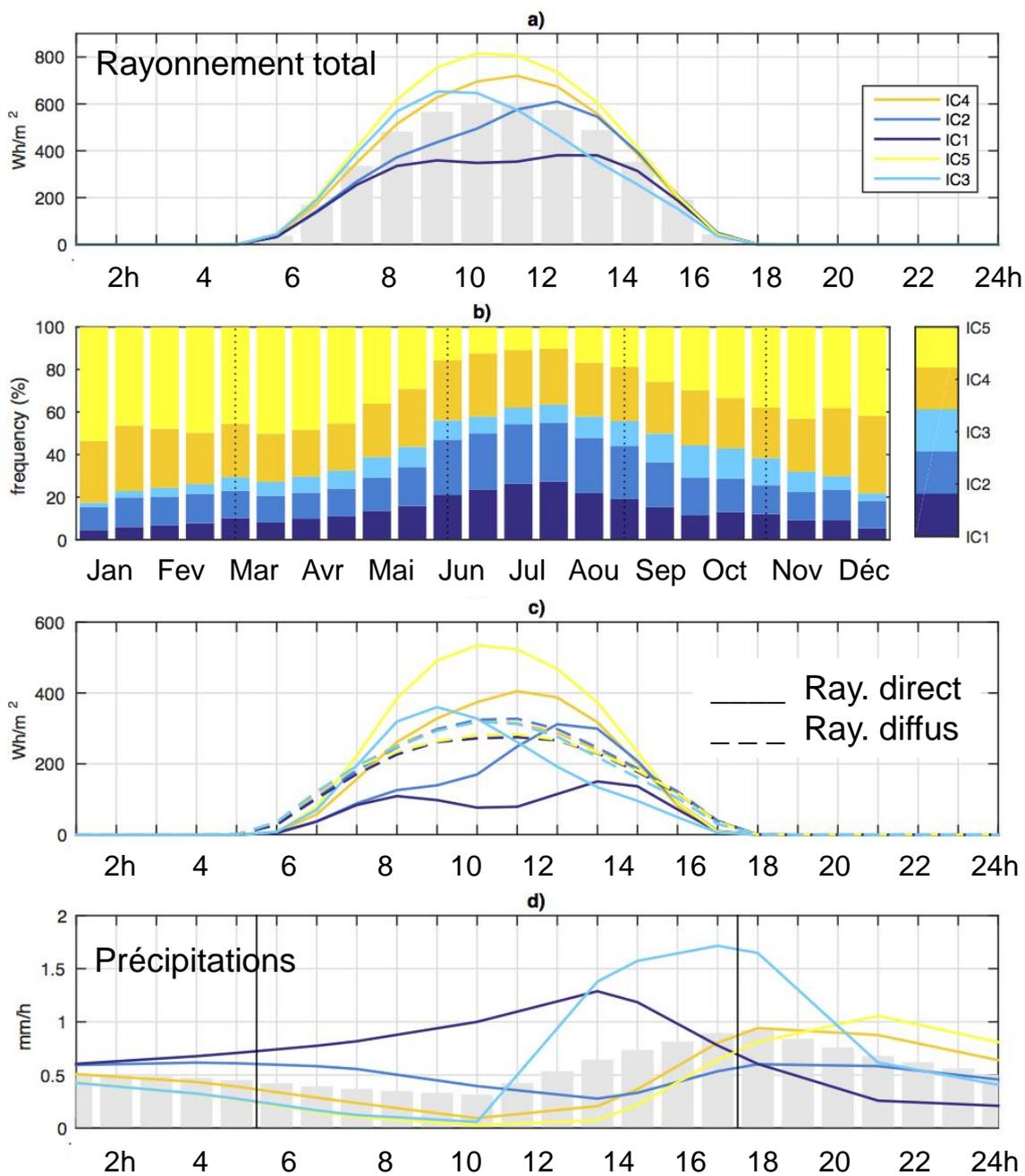


- semi-transparentes (ex. Ci) : dominants – grande saison sèche (DJF) et début des pluies (Mar-Avr)
- nuages bas/très bas (ex. St Sc) : petite saison sèche (JJA) – en journée
- nuages hauts et opaques (ex. Cb) : saisons des pluies (SON) – après midi & soirée

→ cycles annuels et diurnes marqués par de fortes variations des nuages très bas / bas et hauts / très hauts opaques sur la région d'étude

# Résultats

# Typologie des cycles diurnes de rayonnement



Classification des cycles diurnes de rayonnement solaire  
(365 j x 11 ans x 4368 p.grille)

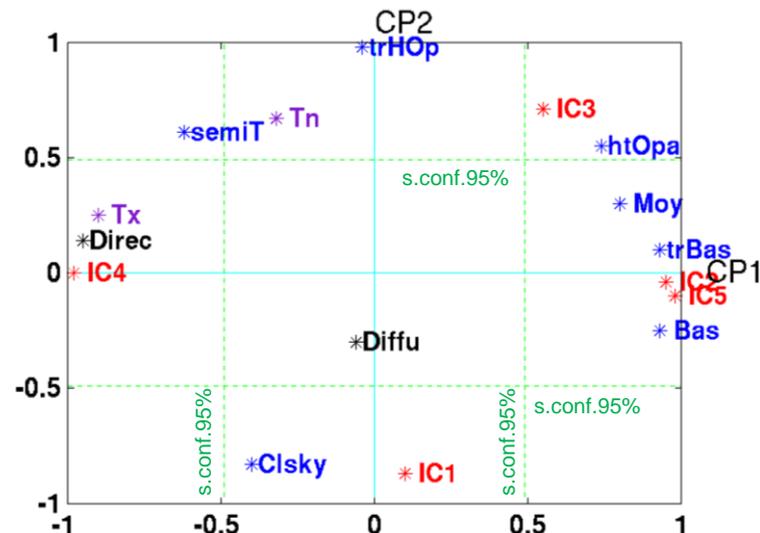
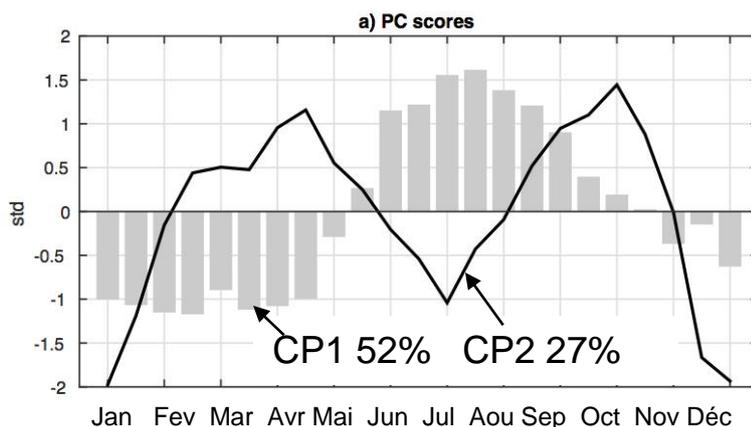
5 types :

- **IC5** : très lumineux : RS direct – Nov→Avr – pluies peu intenses & nocturnes
- **IC4** : « moyen » - assez constant
- **IC3** : sombre l'après midi : SON – pluies très intenses en fin de journée
- **IC2** : sombre le matin : JJAS – faibles pluies matinales
- **IC1** : très sombre : RS diffus – JJAS – pluies moyennement intenses en milieu de journée

# Résultats

## Poids des variables climatiques dans le cycle saisonnier d'EVI

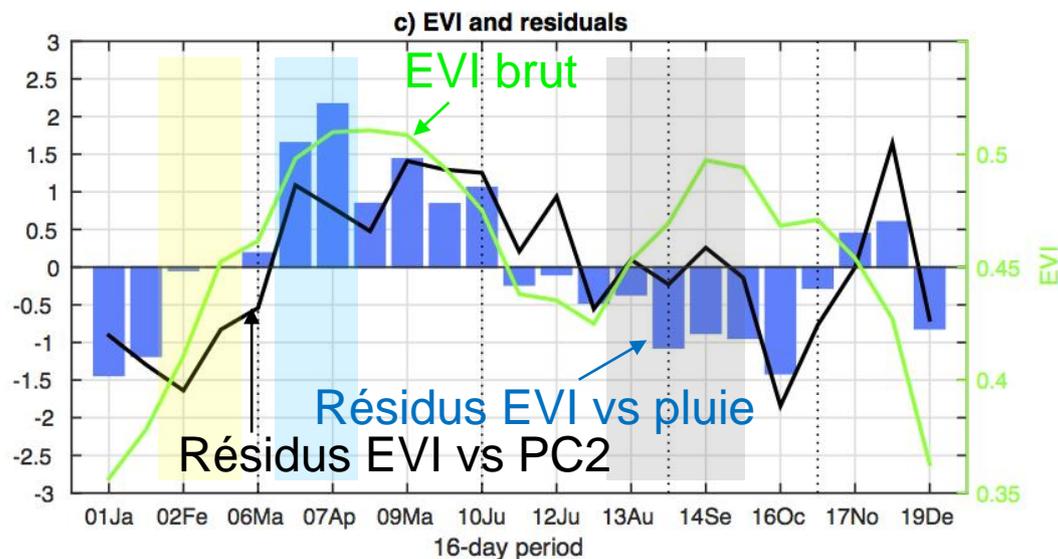
- synthèse par ACP des cycles saisonniers de rayonnement / nébulosité



- mode 1 : unimodal – nuages bas et jours gris = lumière
- mode 2 : bimodal – nuages convectifs et ciels clairs = pluie + lumière

- utilisation CP2 dans un modèle de régression et comparaison avec pluies seules

- Fev : démarrage 1ère saison végétative  
→ EVI surestimé par rayonnement vs pluies *FL=manque pluies*
- Mars-Avr : cœur 1ère saison végét.   
→ EVI sous estimé par pluies vs rayonnement *FF= rayonnement*
- Aout-Sep : début 2nde saison végét.   
→ EVI surestimé par pluies vs rayonnement *FL= rayonnement*

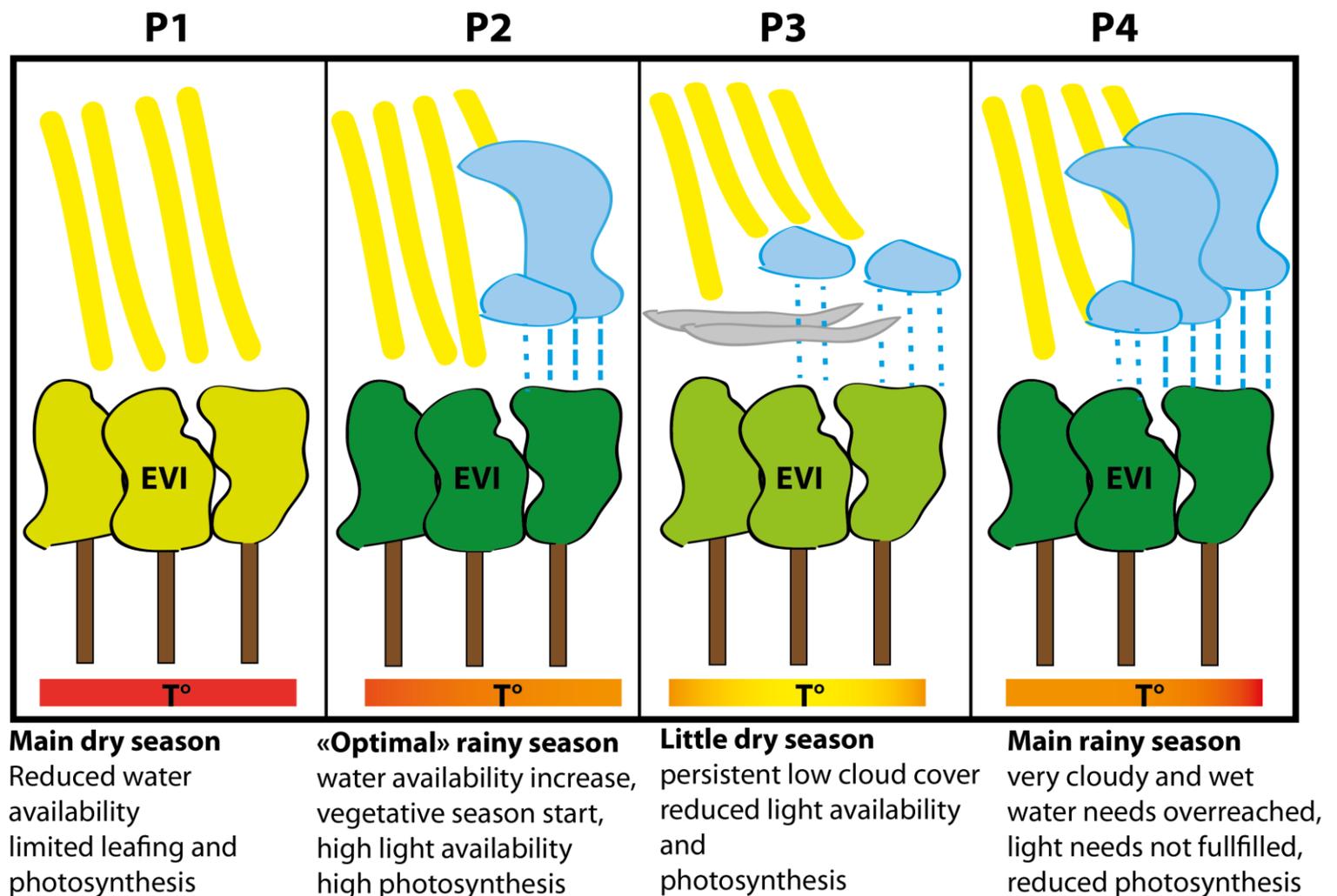


# Synthèse et conclusion

- interactions d'échelles (diurne / annuel) + interactions entre variables (nébulosité / rayonnement / précipitations)

→ déterminants climatiques du cycle annuel d'activité photosynthétique

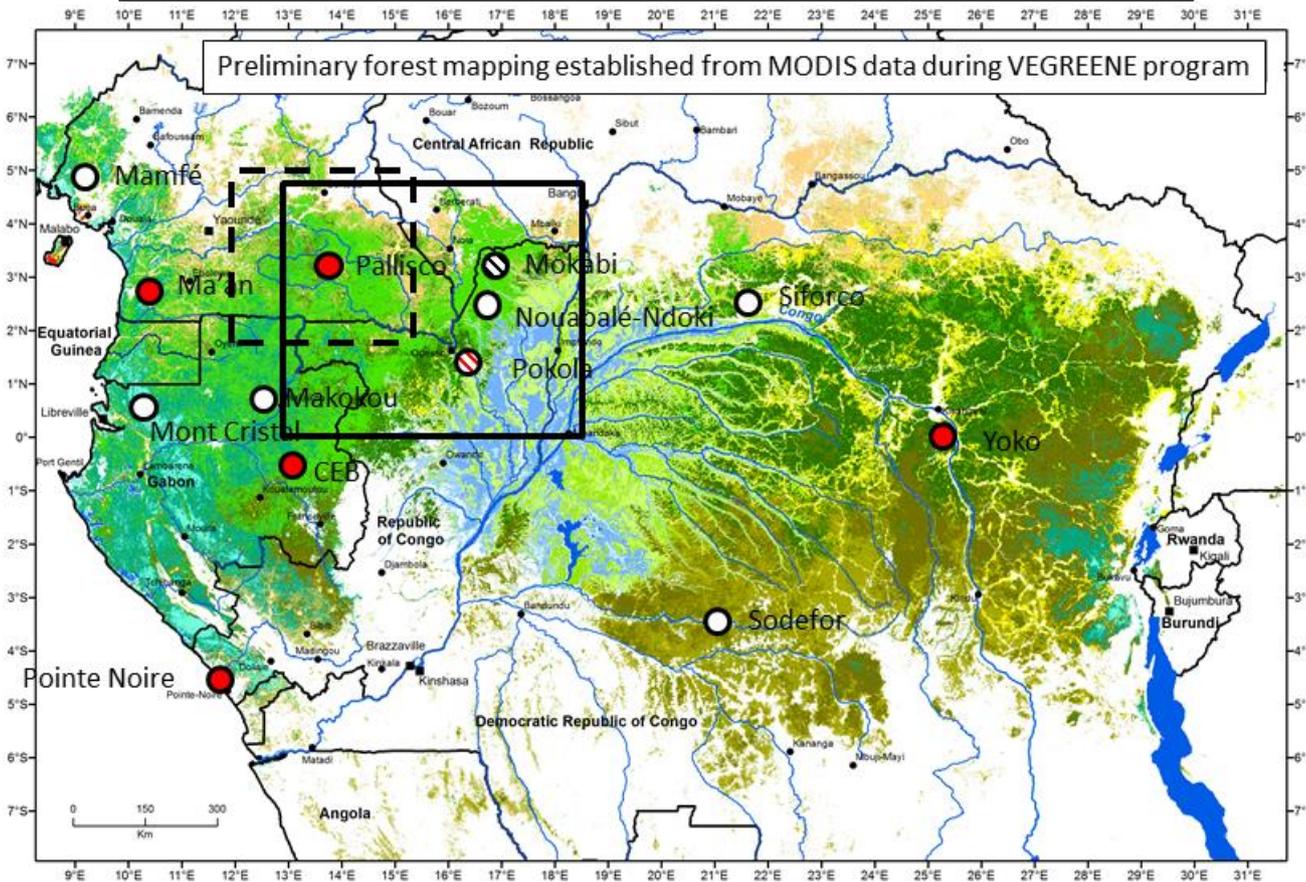
- 4 périodes :



# Perspectives

FORGREENE (FOREst GREENness and cloudiNEss in Central Africa : present conditions and future evolution)

Location of FORGREENE measurement sites (adapted from Gond et al., 2015)



### Terra firme forests

- Mid-altitude evergreen forests under the influence of coastal or sub-montane climate
- Evergreen forests under the influence of coastal or sub-montane climate
- Evergreen forests under the influence of southern climate
- Semi-deciduous forests under the influence of southern climate
- Deciduous and gallery forests under the influence of southern climate
- Mixed evergreen and semi-deciduous forests
- Evergreen forests and old-growth secondary semi-deciduous forests under the influence of northern climate
- Secondary and degraded deciduous forests
- Secondary and degraded deciduous forests under the influence of northern climate
- Evergreen cloud forests

### Wetland forests

- Forests subjected to seasonal flood pulse, located alongside rivers
- Forests subjected to relatively stable water level, average elevation of 304 m, 20 m maximal canopy height
- Forests subjected to seasonal short lasting flood pulse, with low amplitude, average elevation of 306 m, 30 m maximal canopy height
- Non-flooded forests, average elevation of 311 m, 40 m maximal canopy height

→ Quel rôle du rayonnement solaire et du type de nébulosité, ainsi que des cycles diurnes, dans la géographie des types forestiers ?

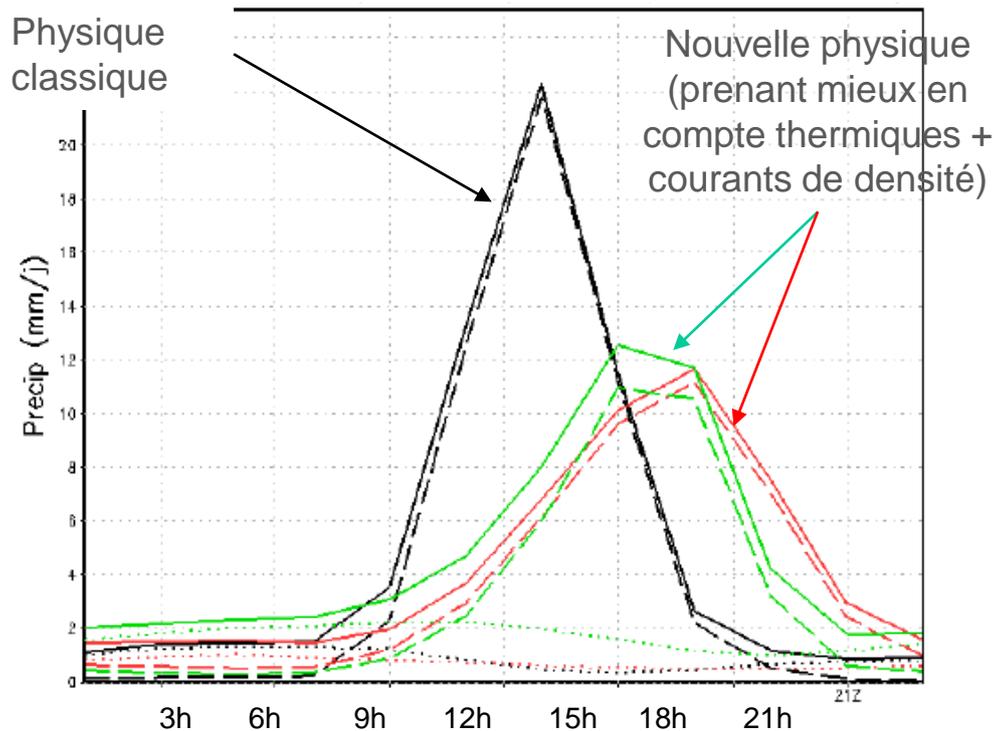
→ Quelle réponse de l'activité végétale aux anomalies interannuelles combinées de rayonnement et précipitations ?

**Merci de votre attention**



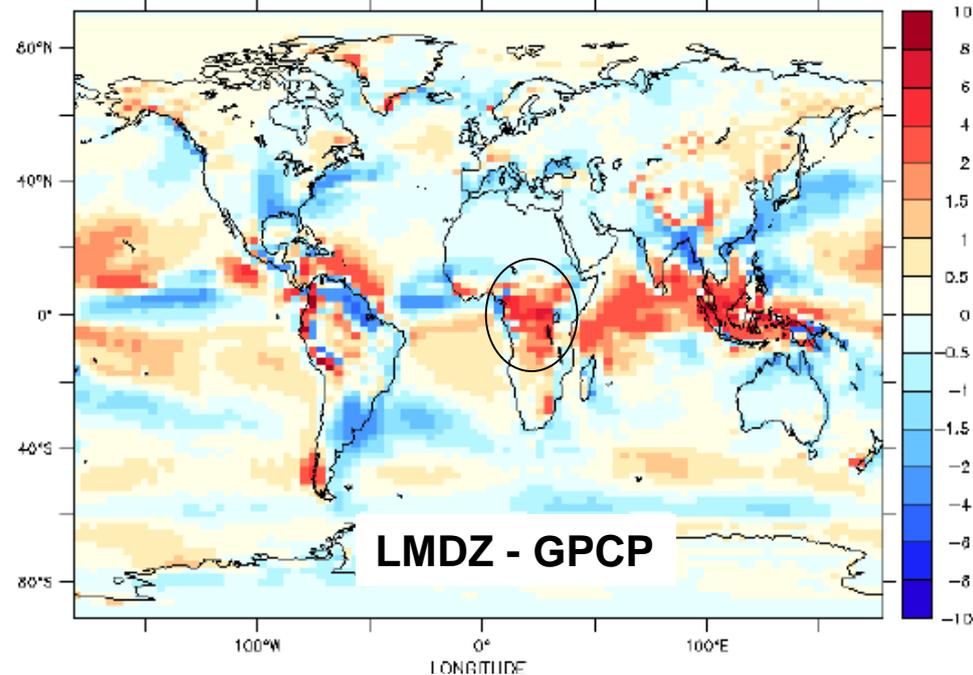
La résolution du cycle diurne est aussi un élément clé pour la modélisation du climat d'Afrique centrale... et donc la fiabilité des projections

Cycle diurne des précipitations, modèle LMDZ, juillet, Sahel

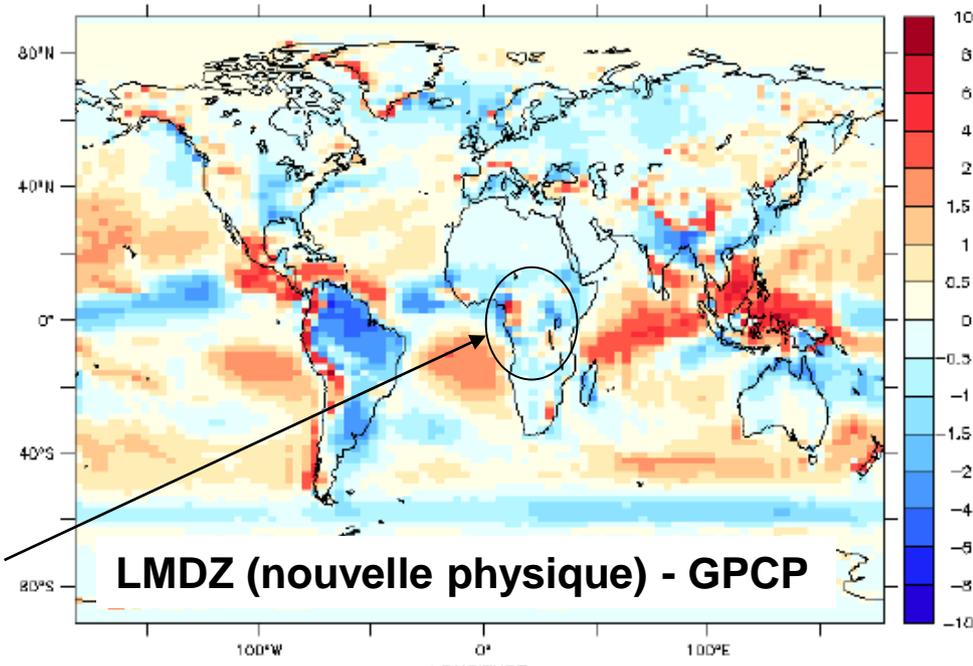


(Dreano 2014)

Réduction des biais humides sur le Bassin du Congo



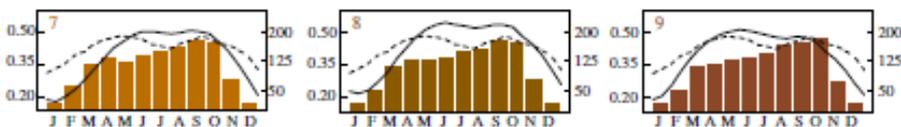
Précipitations moyennes annuelles (mm/j)



# Types forestiers selon le cycle saisonnier d'EVI

— EVI (par classe)  
 - - - - - EVI moyen

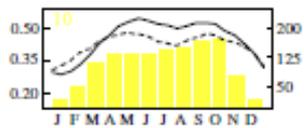
savanna of the Sudano-Guinean domain



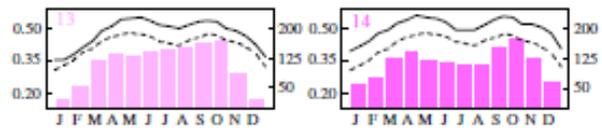
savanna included in dense forest



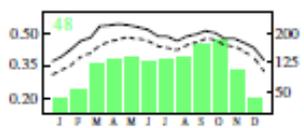
savanna-forest edge



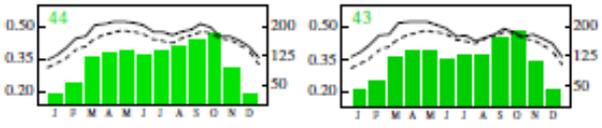
very open forest



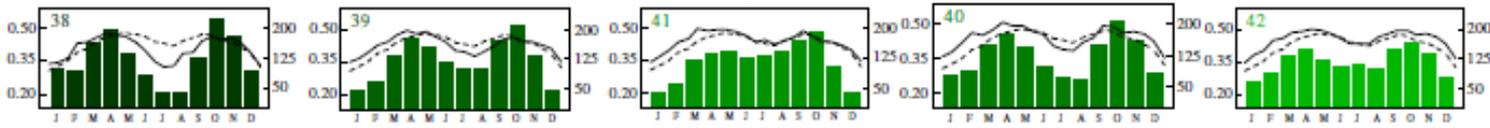
open semi-deciduous forest



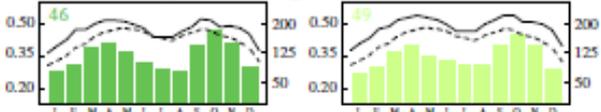
dense semi-deciduous forest



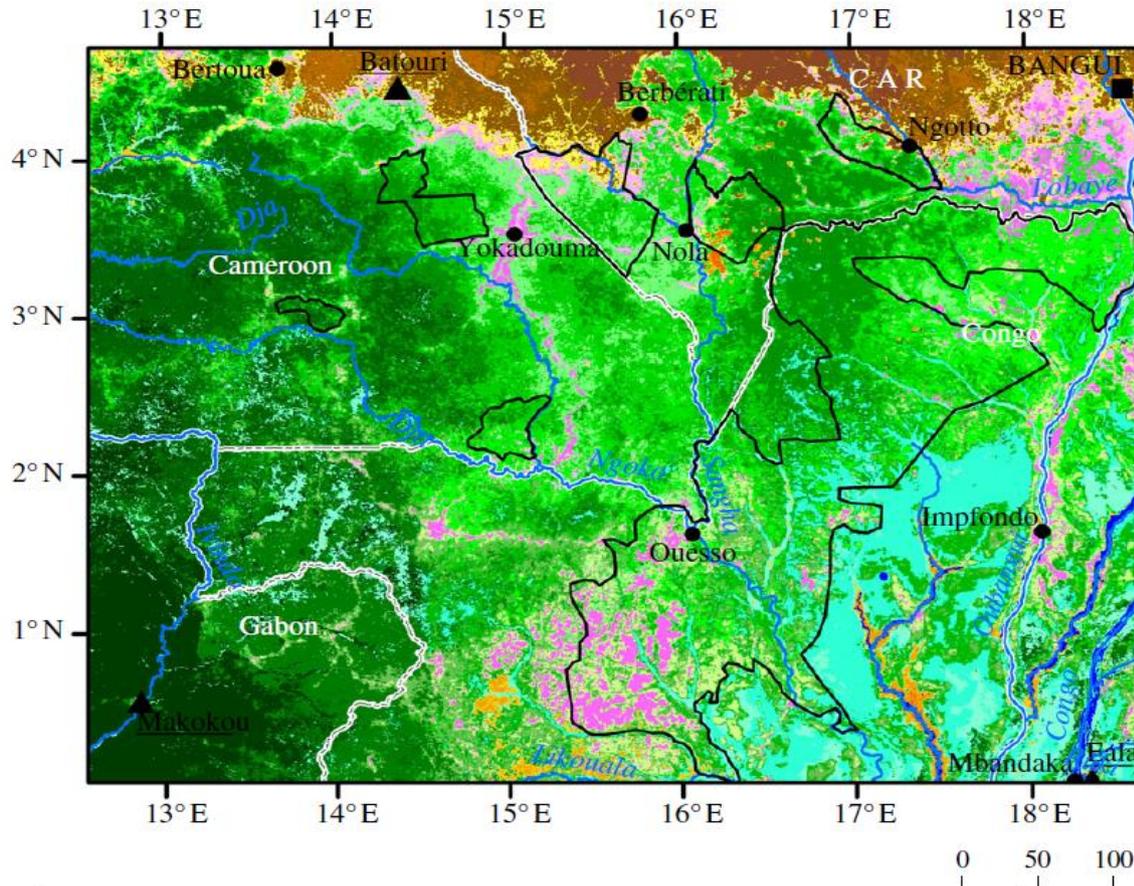
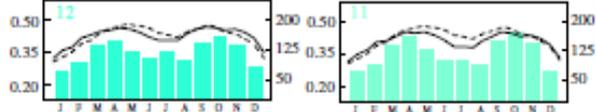
dense evergreen forest



open evergreen forest



swamp forest and swamp



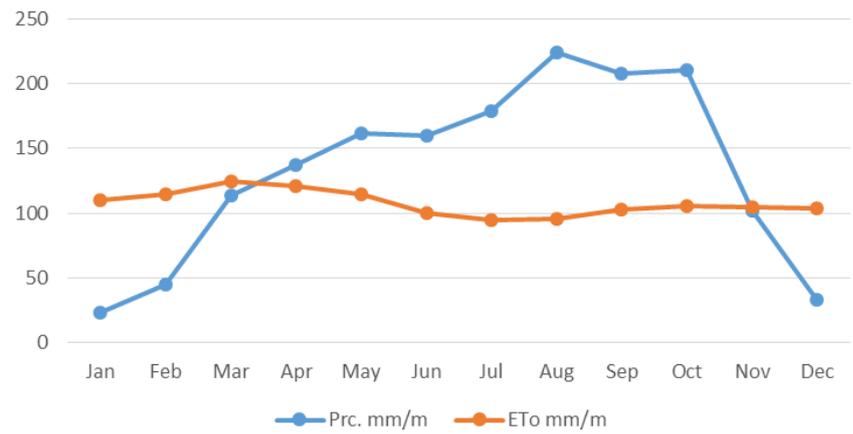
$$EVI = G \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + C_1 \rho_R - C_2 \rho_B + L}$$

G : facteur de gain (égal à 2,5)  
 L : facteur d'ajustement des sols  
 C1 et C2 : coeff. de correction de la diffusion atmosphérique

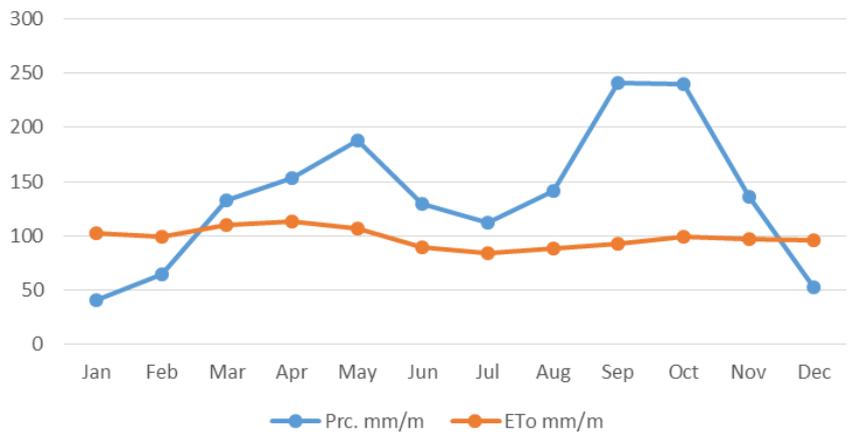
Cite this article: Gond V, Fayolle A, Penneç A, Comu G, Mayaux P, Camberlin P, Doumenge C, Fauvet N, Gourlet-Fleury S. 2013 Vegetation structure and greenness in Central Africa from Modis multi-temporal data. Phil Trans R Soc B 368: 20120309.

# Eléments du bilan hydrique moyen, Source : FAO

MBAIKI, 3,87°N, 18°E



15,5°E, 2,5°N (centre de la région d'étude)



MAKOUA, 0°N, 15,6°E

