

# ÉTAT ACTUEL DES RÉSEAUX DE MESURES ÉCO-CLIMATIQUES EN AFRIQUE CENTRALE : LES AMBITIONS DU PROJET DE RECHERCHE INTERNATIONAL *FORGREENE*

***BIGOT S.***<sup>1</sup>, ***PHILIPPON N.***<sup>1</sup>, ***GOND V.***<sup>2</sup>, ***MORON V.***<sup>3</sup>, ***POKAM W.***<sup>4</sup>, ***BAYOL N.***<sup>5</sup>,  
***BOYEMBA F.***<sup>6</sup>, ***KAHINDO B.***<sup>7</sup>, ***SAMBA G.***<sup>8</sup>, ***NGOMANDA A.***<sup>9</sup>, ***GAPIA M.***<sup>10</sup>,  
***YONGO O. D.***<sup>10</sup>, ***LAURENT J.-P.***<sup>1</sup>, ***GOURLET-FLEURY S.***<sup>2</sup>, ***DOUMENGE C.***<sup>2</sup>, ***FORNI E.***<sup>11</sup>,  
***CAMBERLIN P.***<sup>12</sup>, ***MARTINY N.***<sup>12</sup>, ***DUBREUIL V.***<sup>13</sup>, ***BROU T.***<sup>14</sup>

<sup>1</sup> LTHE, Grenoble, France

<sup>2</sup> CIRAD-ES, Montpellier, France

<sup>3</sup> CEREGE, Aix-en-Provence, France

<sup>4</sup> Université de Yaoundé 1, Cameroun

<sup>5</sup> FRM Ingénierie, Montpellier, France

<sup>6</sup> Université de Kisangani, RDC

<sup>7</sup> Faculté Polytechnique, Kinshasa, RDC

<sup>8</sup> CREE, Brazzaville, Congo

<sup>9</sup> IRET/CENAREST, Libreville, Gabon

<sup>10</sup> Université de Bangui, Centrafrique

<sup>11</sup> CIRAD-ES, Brazzaville, Congo

<sup>12</sup> CRC, Dijon, France

<sup>13</sup> LETG-COSTEL, Rennes, France

<sup>14</sup> ESPACE-DEV, La Réunion, France



# Les forêts tropicales d'Afrique Centrale : 186 millions/ha 6% des forêts mondiales ... des enjeux majeurs ... une connaissance balbutiante...

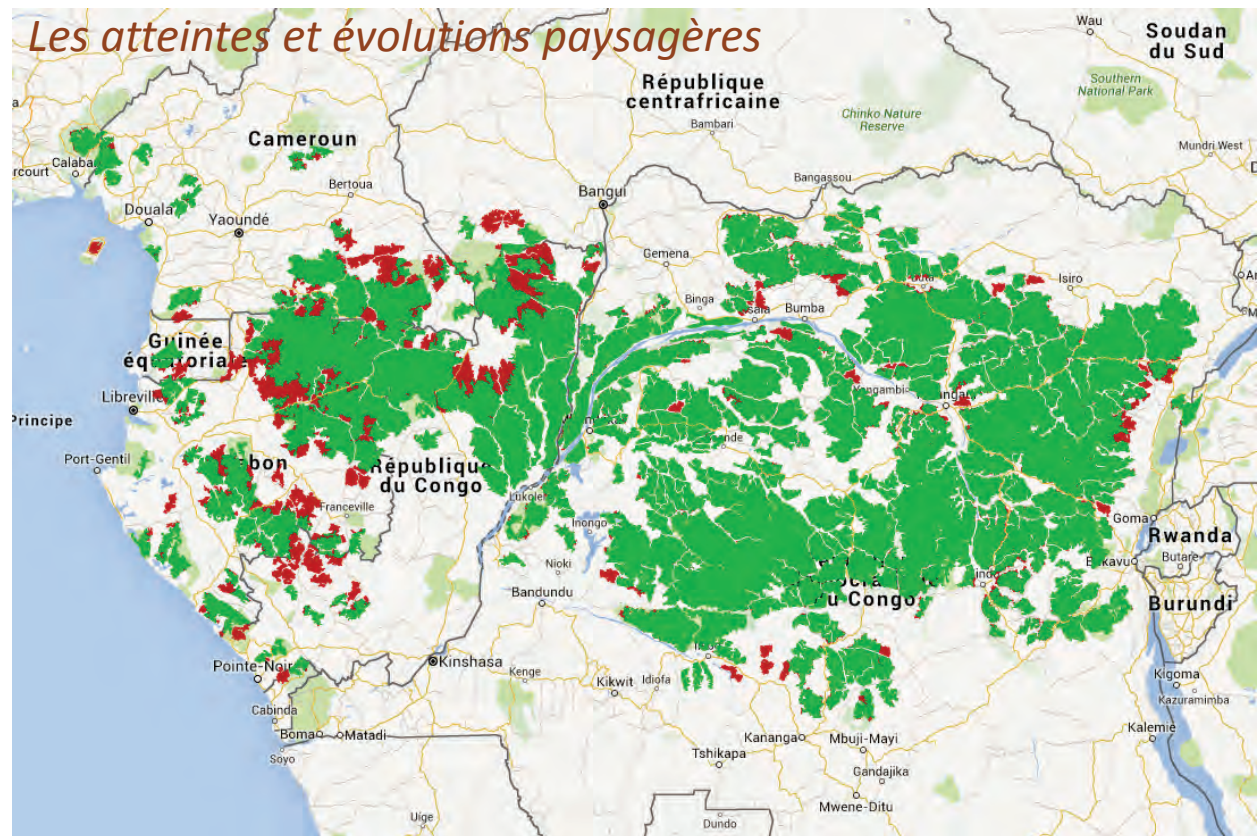
➔ Des acquis scientifiques en retard par rapport aux environnements forestiers sud-américains ou asiatiques

*Une « machinerie »  
climatique et géochimique  
complexe (convection,  
stock carbone, ...)*

*De nombreux biens et  
services écosystémiques  
(biomasse, biodiversité, ...)*

- Paysage intact en 2013
- Dégradation 2000-2013

*Selon le concept d'IFL (Intact  
Forest Landscape) de Greenpeace*



D'après Hansen et al., 2013

Adapté d'après Global Forest Change :

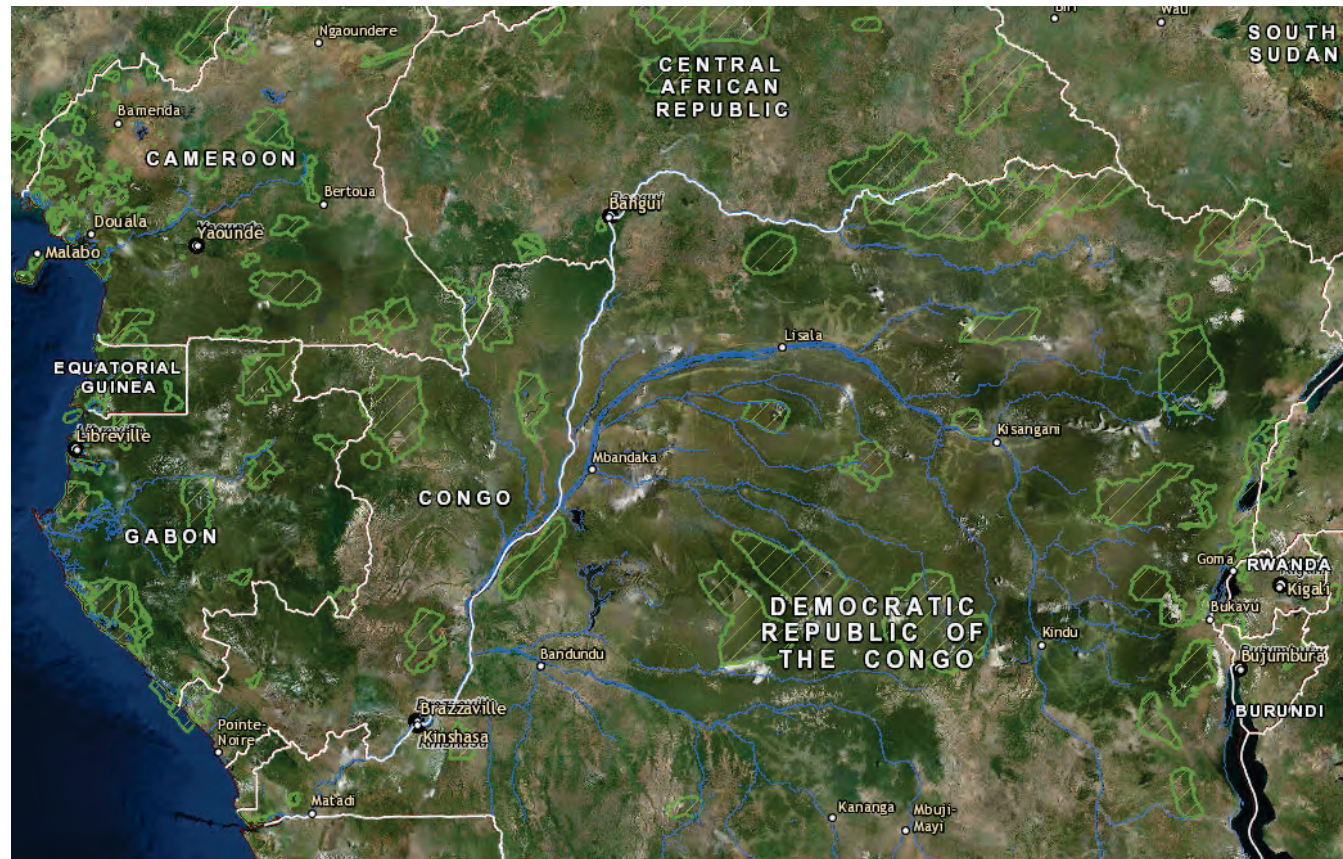
# Les forêts tropicales d'Afrique Centrale : 186 millions/ha 6% des forêts mondiales ... des enjeux majeurs ... une connaissance balbutiante...

➔ Des acquis scientifiques en retard par rapport aux environnements forestiers sud-américains ou asiatiques

*Une « machinerie »  
climatique et géochimique  
complexe (convection,  
stock carbone, ...)*

*De nombreux biens et  
services écosystémiques  
(biomasse, biodiversité, ...)*

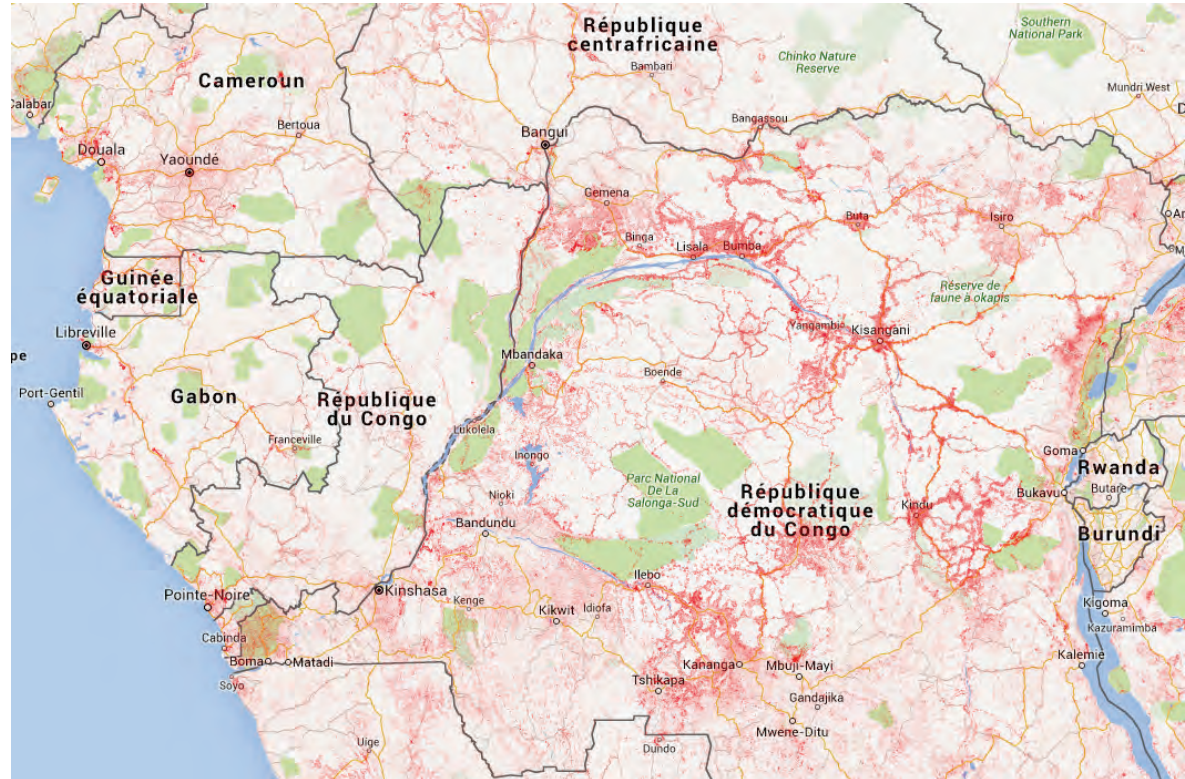
*Près de 10,5 % des terres  
en aires protégées  
(57 millions d'ha)*



# Les forêts tropicales d'Afrique Centrale : 186 millions/ha 6% des forêts mondiales ... des enjeux majeurs ... une connaissance balbutiante...

➔ Des acquis scientifiques en retard par rapport aux environnements forestiers sud-américains ou asiatiques

*La perte forestière estimée entre 2000 et 2014*



D'après Hansen et al., 2013

Adapté d'après Global Forest Change :

*Une « machinerie »  
climatique et géochimique  
complexe (convection,  
stock carbone, ...)*

*De nombreux biens et  
services écosystémiques  
(biomasse, biodiversité, ...)*

*Près de 10,5 % des terres  
en aires protégées  
(57 millions d'ha)*

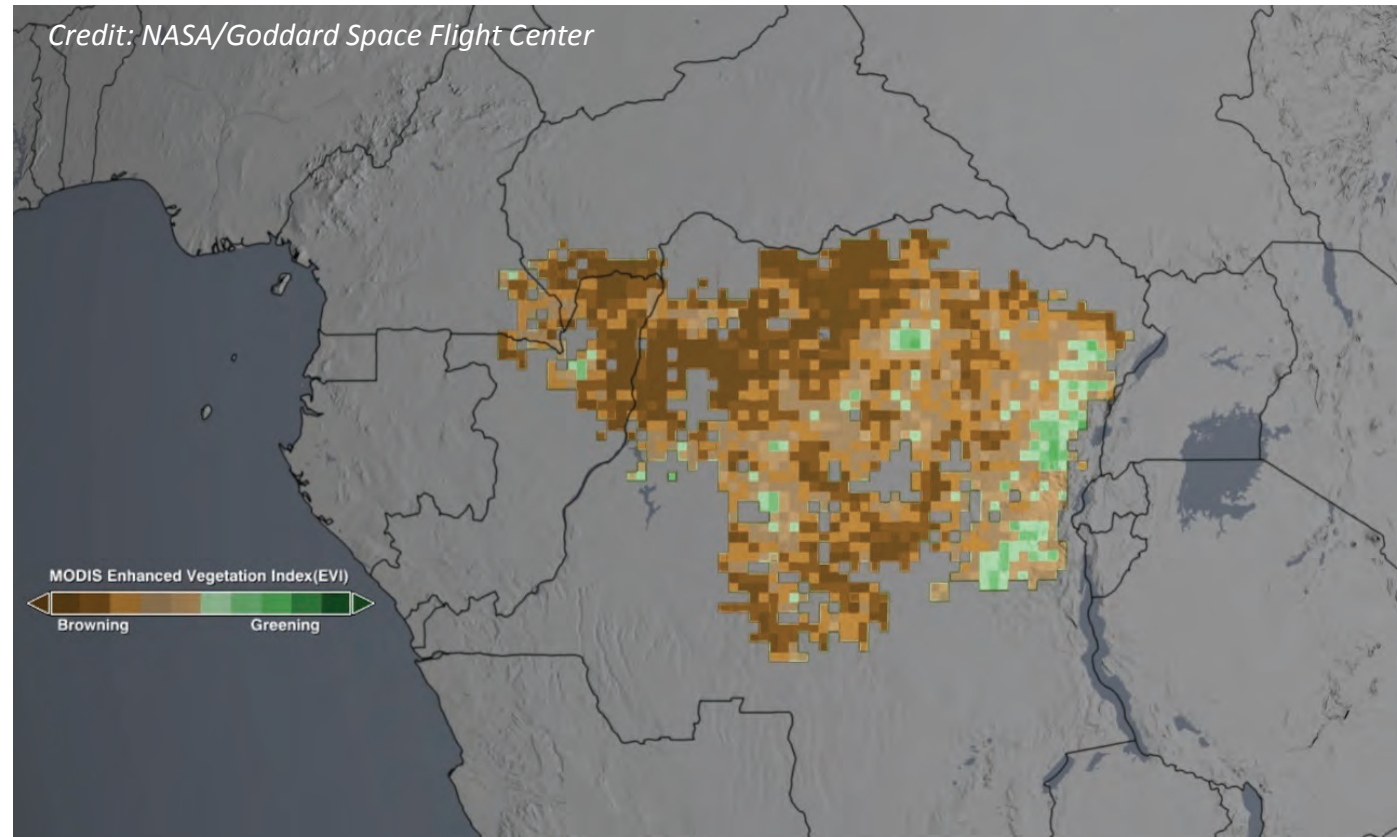
*Un territoire en évolution  
rapide : exploitation et  
déforestation*

# L'Afrique Centrale demeure une '*terra incognita*' sur le plan des interactions environnementales, hydroclimatiques et atmosphériques

**Pourtant une variation majeure observée par télédétection spatiale :  
augmentation des espaces touchés par une baisse de l'activité  
végétale en Afrique Centrale.**

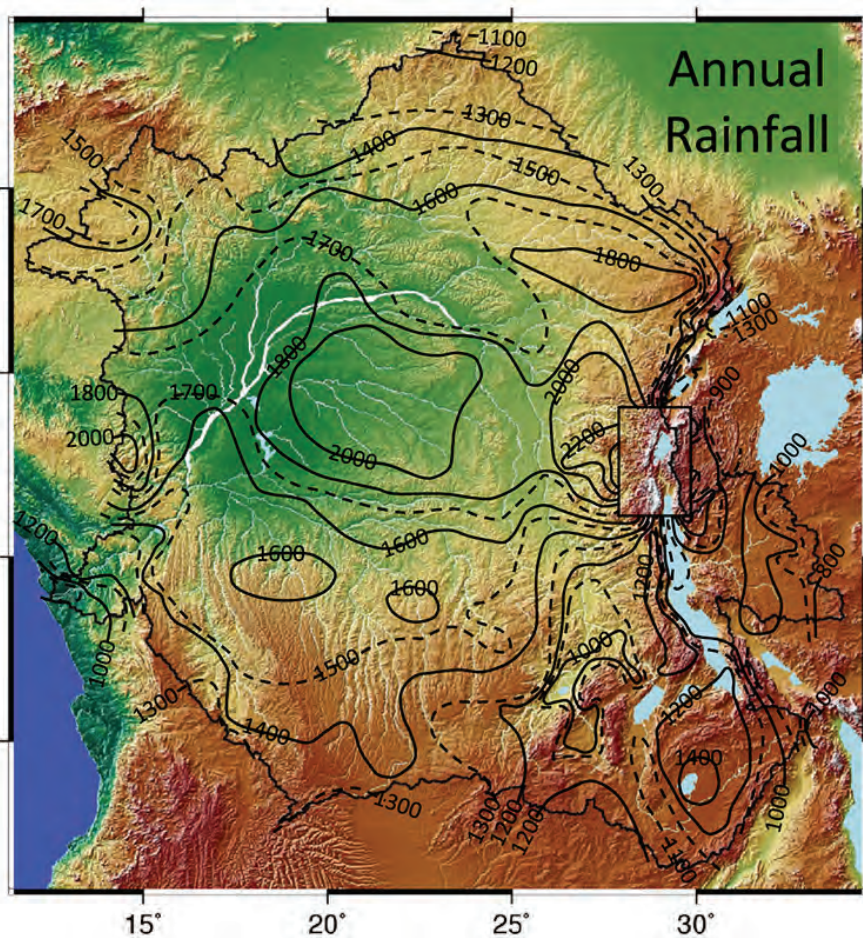
*Etude menée par  
Zhou et al. (2014) sur  
les espaces forestiers  
les moins anthropisés,*

*pour les mois AMJ,  
à partir d'un suivi  
satellitaire MODIS  
(2000-2012).*

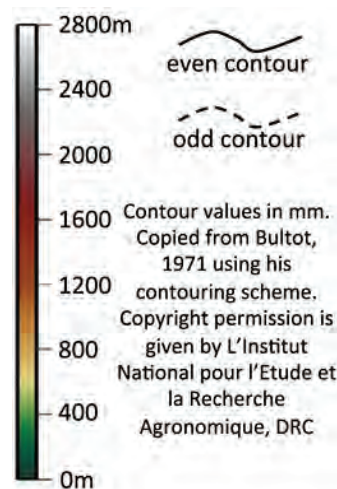


# Un besoin de réseaux de mesures opérationnels : le recours actuel à des séries lacunaires et/ou anciennes

Cartographies climatiques peu fiables, non actualisées et imprécises :  
des études d'impacts très simplifiées à l'échelle régionale



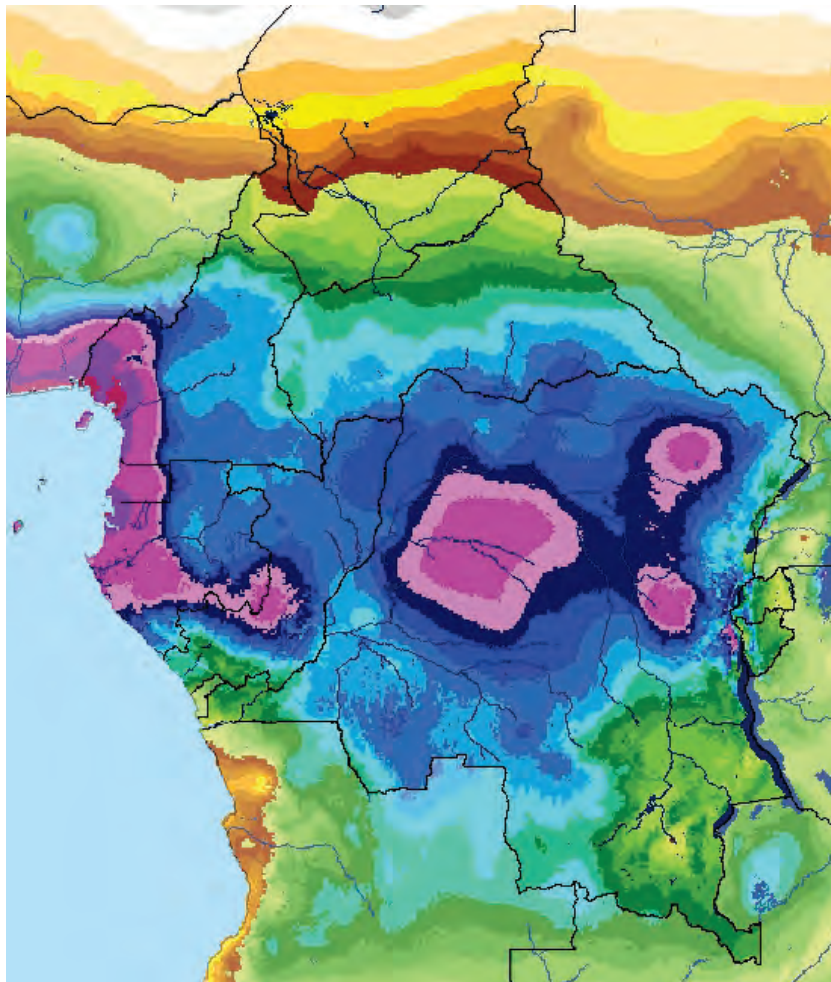
*Exemple des isohyètes annuelles moyennes en Afrique centrale selon une définition datant de 1971.*



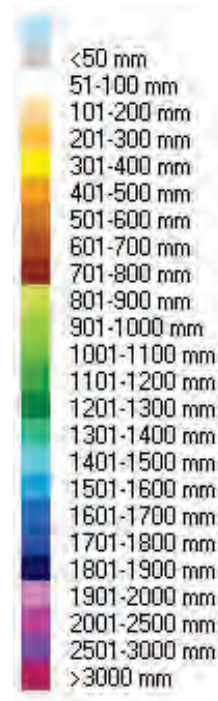
Adapté d'après Alsdorf et al., 2016

# Un besoin de réseaux de mesures opérationnels : le recours actuel à des séries lacunaires et/ou anciennes

**Cartographies climatiques peu fiables, non actualisées et imprécises :  
des études d'impacts très simplifiées à l'échelle régionale**



*Exemple des précipitations annuelles moyennes en Afrique centrale à partir des champs interpolés WorldClim (1950-2000).*



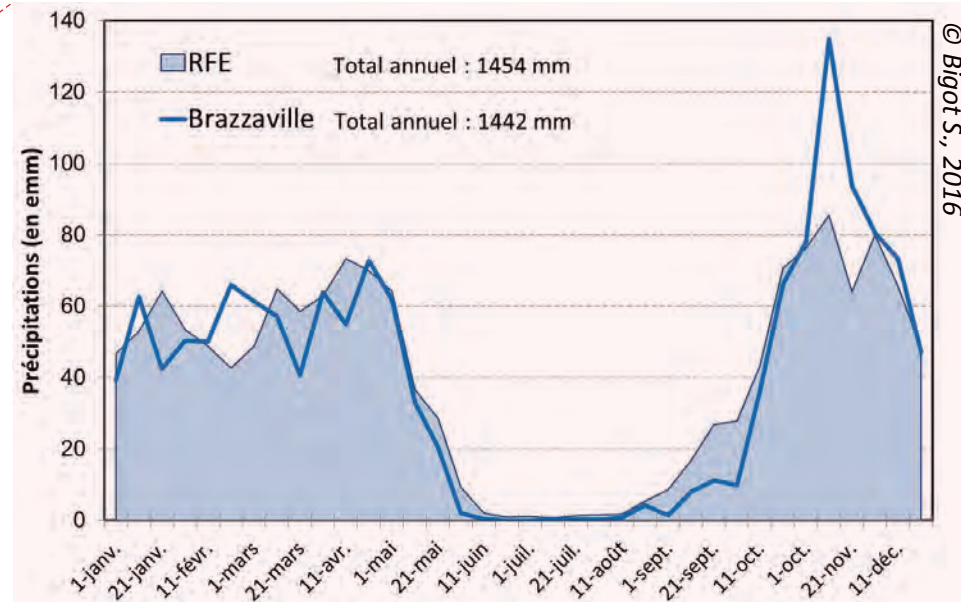
*D'après OFAC, 2016.*



# Un besoin de réseaux de mesures opérationnels : le recours actuel à des séries lacunaires et/ou anciennes

Le recours aux estimations satellitaires est utile et incontournable ...  
mais à condition d'avoir des mesures *in situ* denses et de qualité

*Exemple de la comparaison entre le cycle pluviométrique annuel moyen (2002-2014) à la station de Brazzaville et la moyenne régionale RFE (Rainfall Estimate).*



Calculé à partir des  
données RFE décadales  
USGS FNDP.

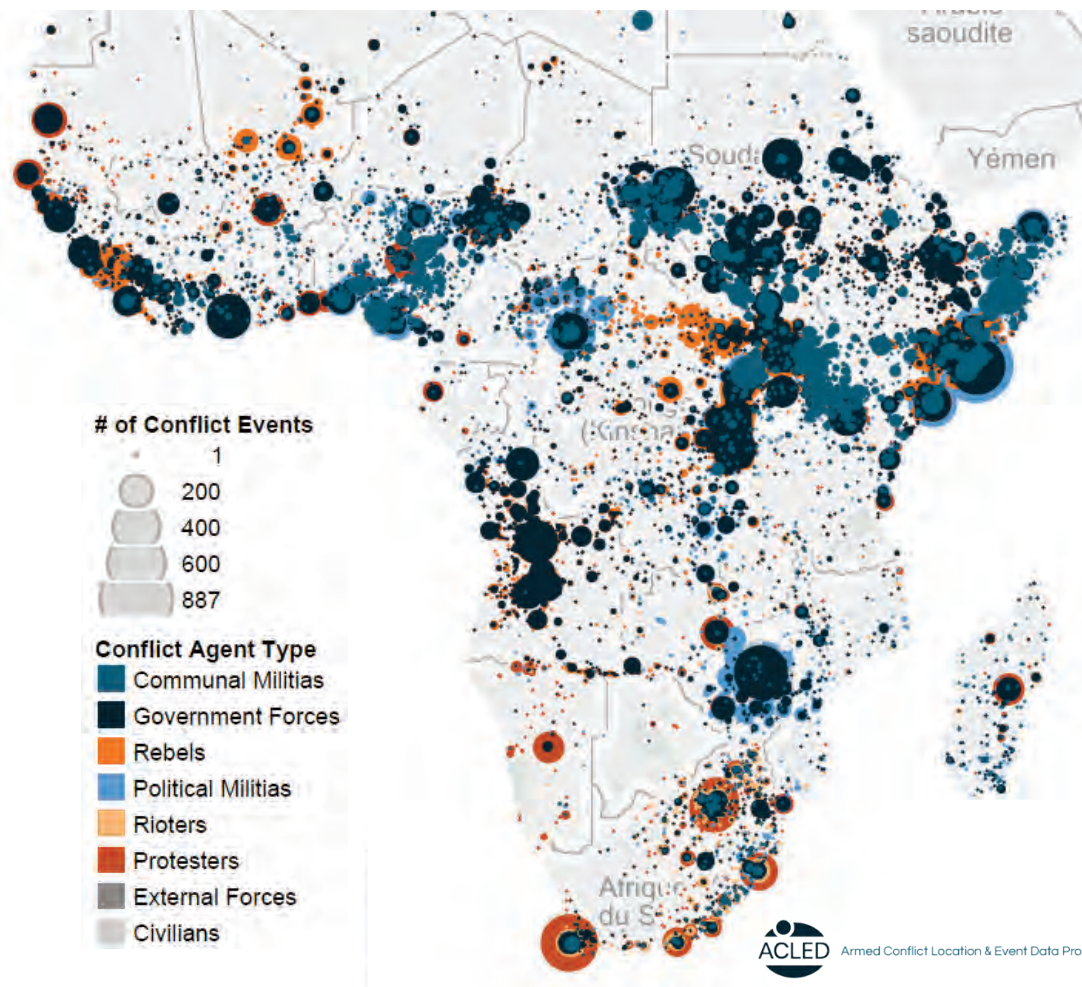
# Un besoin de réseaux de mesures opérationnels : un facteur clé dans leur existence et pérennité

➔ les conditions socio-politiques et de sécurité régionales « complexes »...

*Exemple des principaux agents de conflits en Afrique (1997-2015)*

*Conséquences majeures sur :*

- Installation et maintenance,
- Recueil des données,
- Qualité des séries,
- Intégration dans les bases de données...



# Quel réseau de mesures climatiques en activité ?

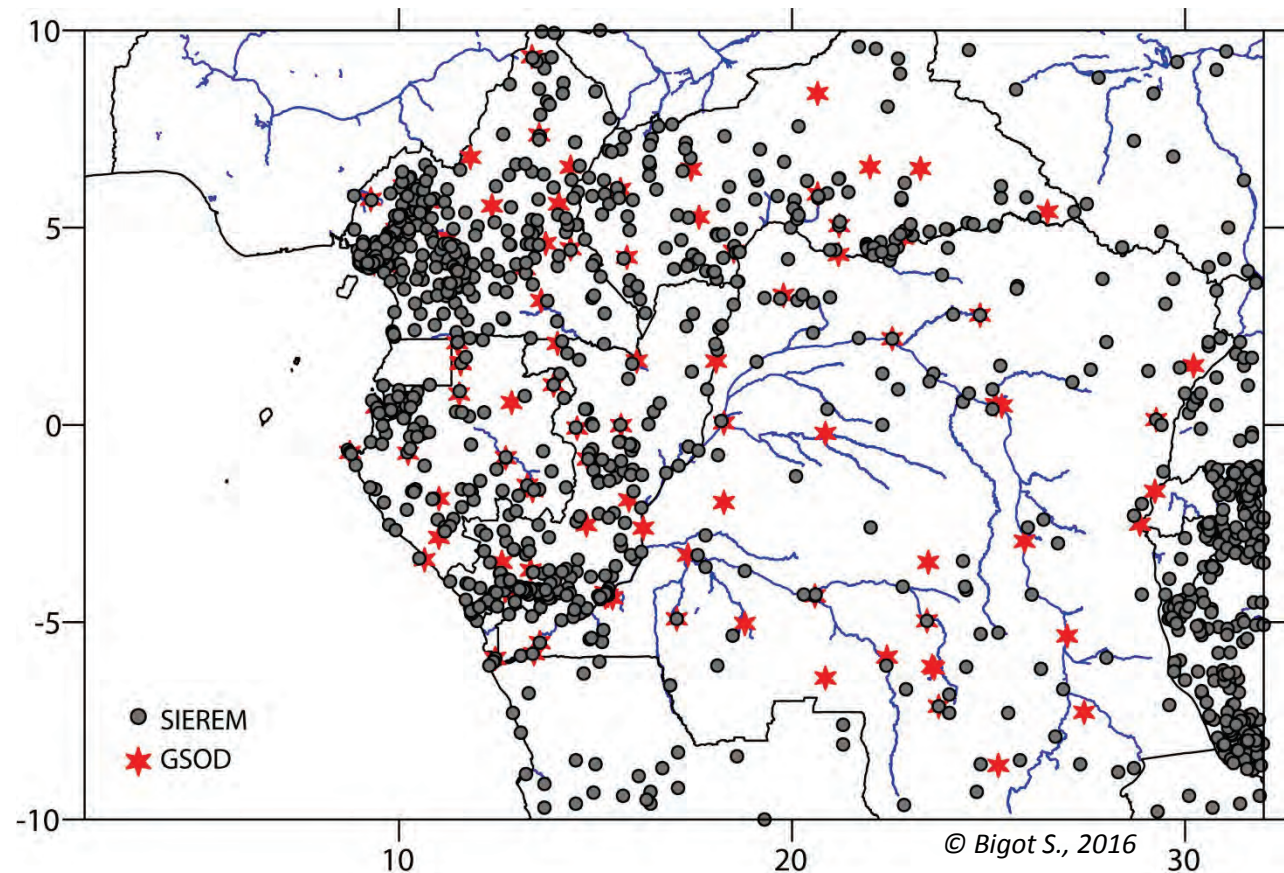
## Sur le plan historique (XX<sup>ème</sup>) : un réseau de 996 implantations

(liste officielle des différents Services Nationaux africains recensée dans la base de données SIEREM - ©Hydrosciences Montpellier)

**Avec 102 stations  
théoriquement en  
fonctionnement sur la  
période 1973-2015**

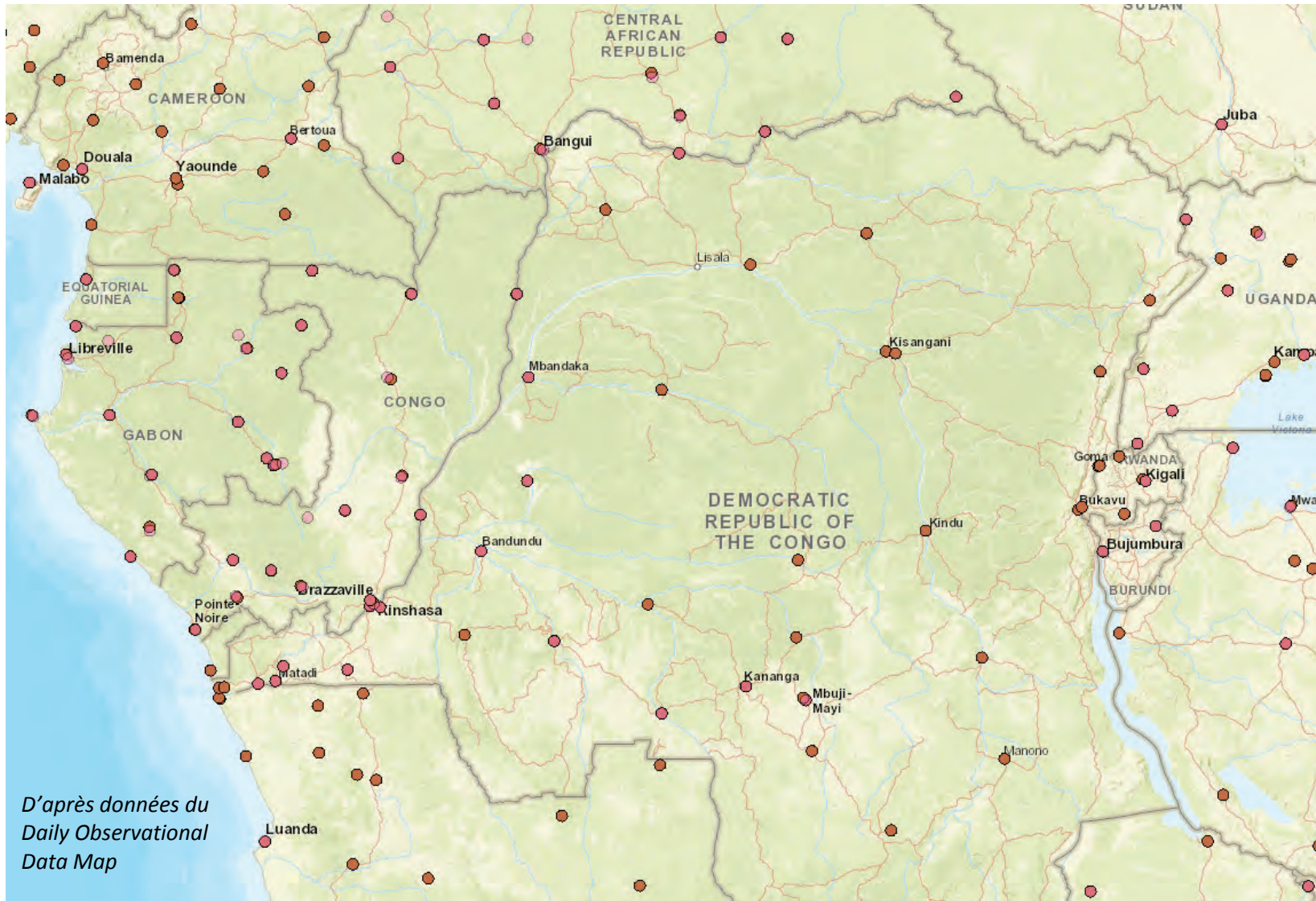
(base WMO/GSOD –  
Global Surface Summary  
of the Day)

... une cartographie  
en fait totalement  
illusoire !



# Quel réseau de mesures climatiques en activité ?

## Les implantations historiques recensées dans les bases GHCN et GSOD



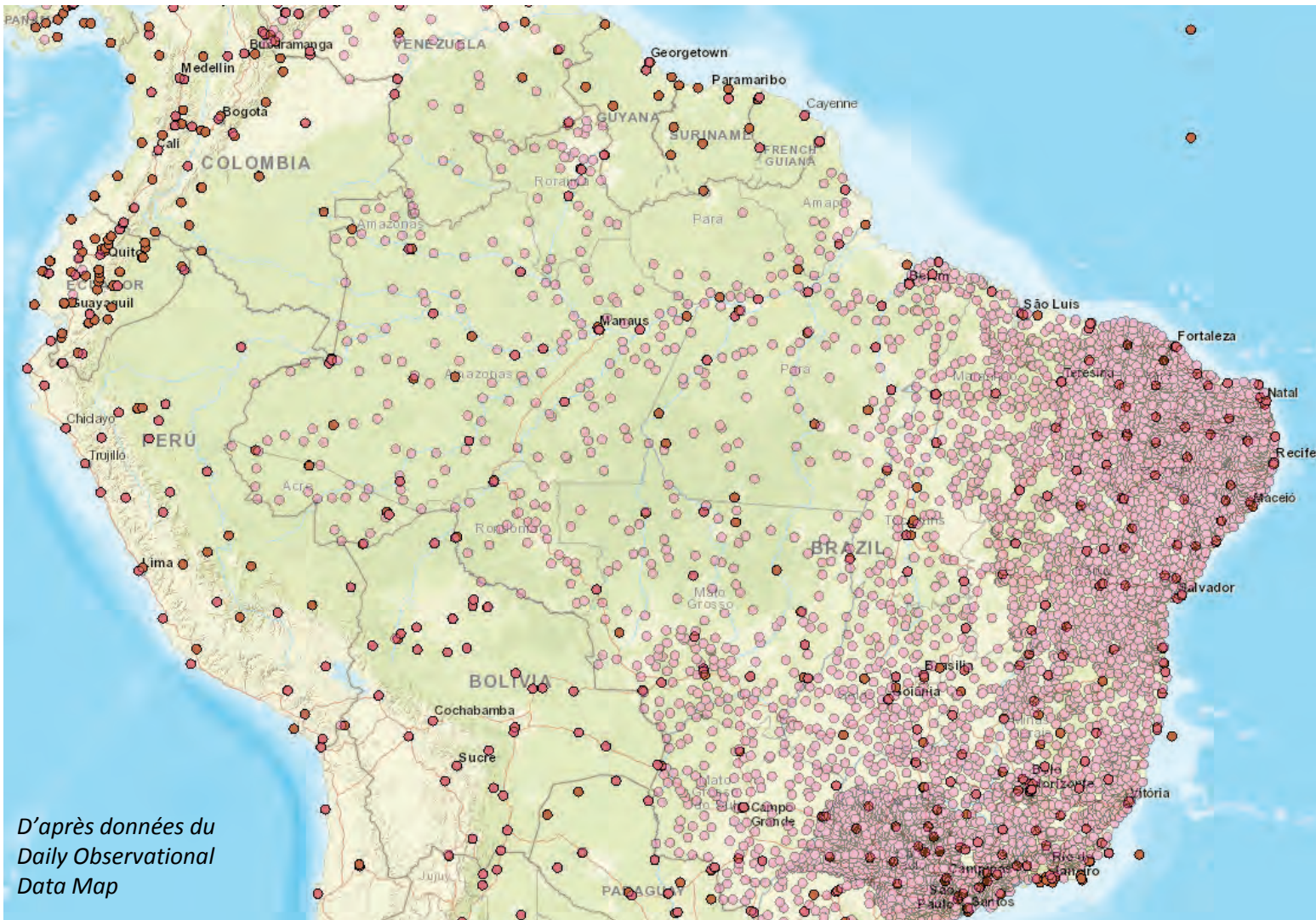
● Station  
GHCN

● Station  
GSOD

*D'après données du  
Daily Observational  
Data Map*

# Quel réseau de mesures climatiques en activité ?

... juste pour comparaison avec toutes les implantations historiques (GHCN et GSOD) dans le bassin amazonien



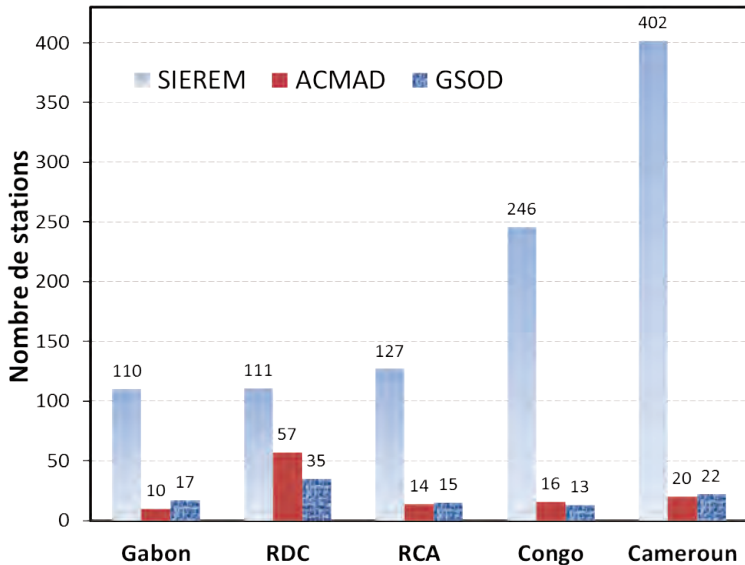
D'après données du  
Daily Observational  
Data Map

●  
Station  
GHCN

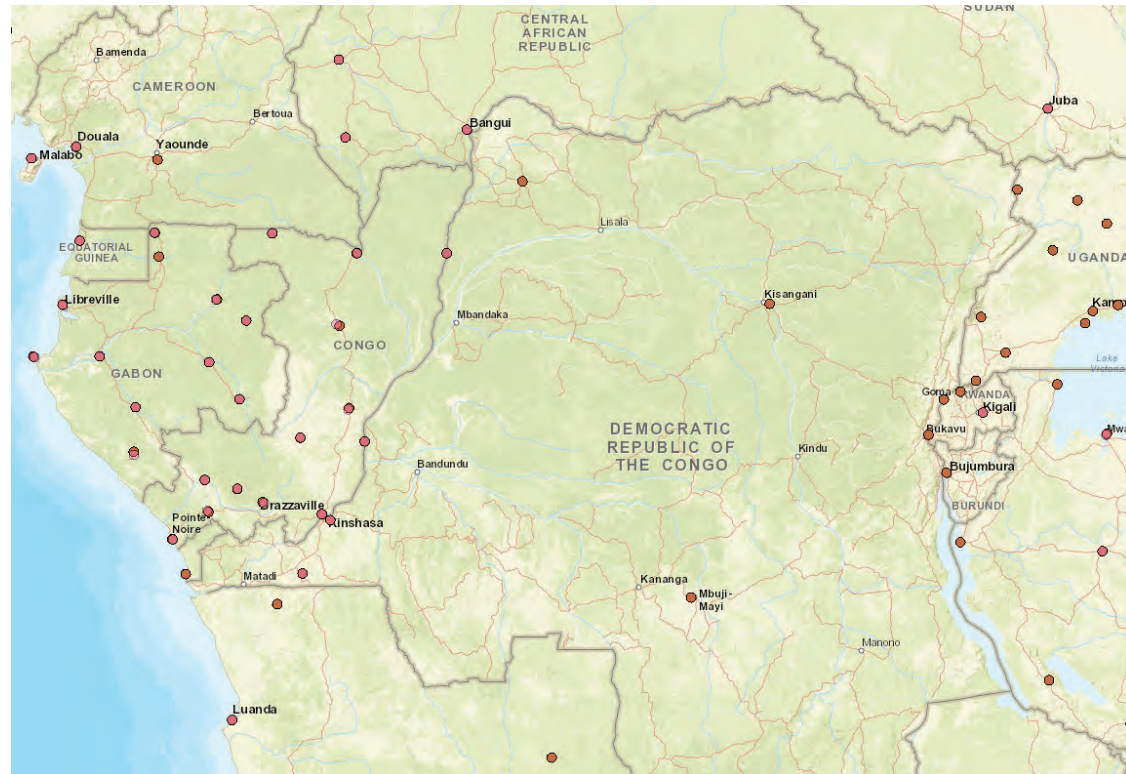
●  
Station  
GSOD

# Quel réseau de mesures climatiques en activité ?

Pour les 5 pays étudiés,  
102 stations GSOD sur la période 1973-2015



... mais seulement 54 stations réellement actives sur la période récente



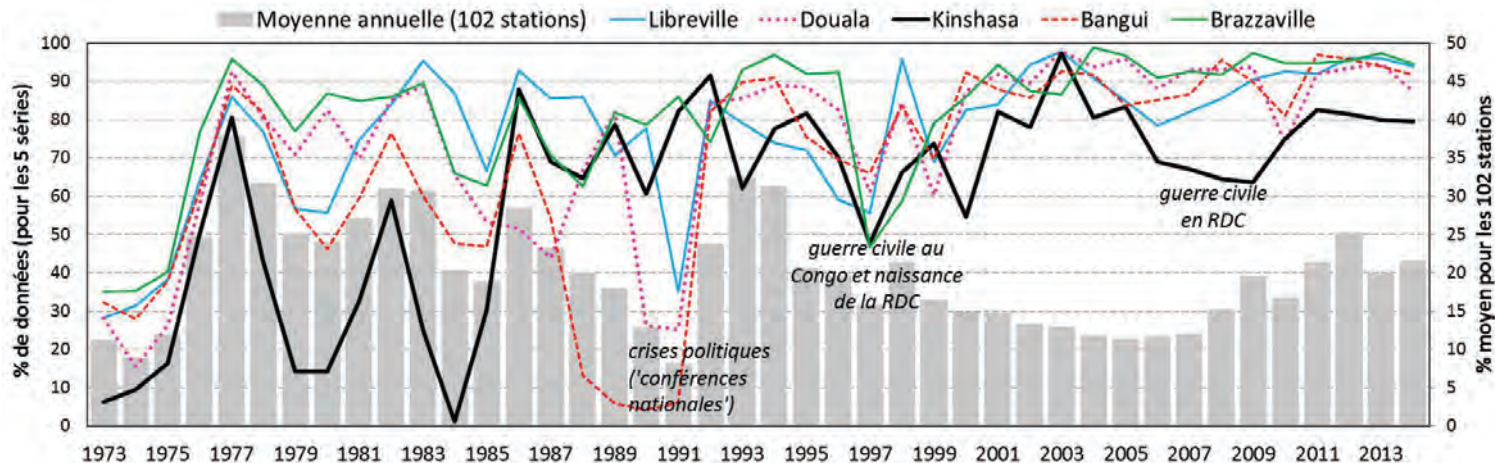
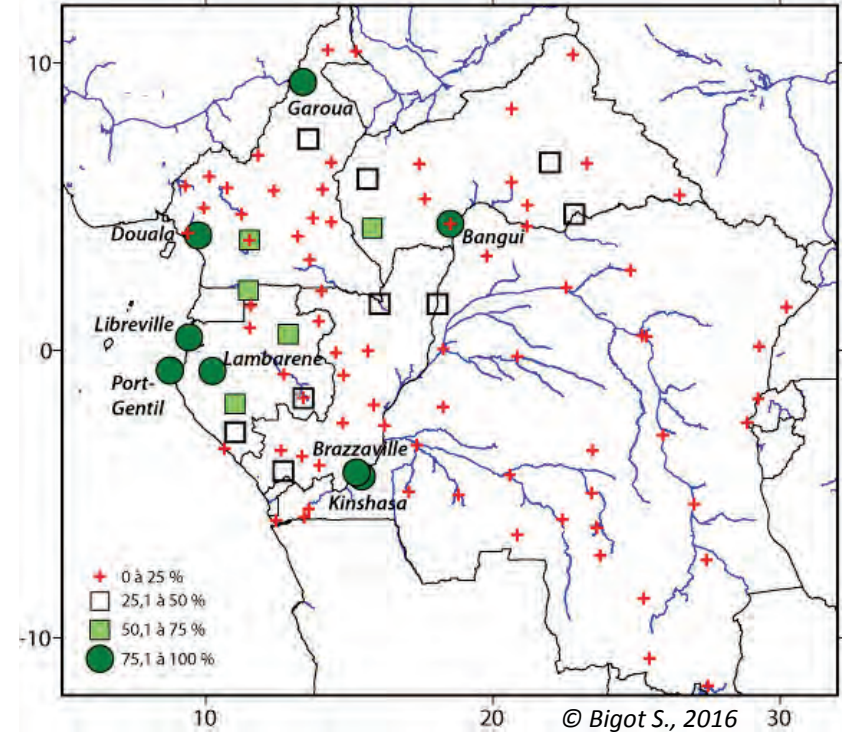
- Situation critique dans 2 pays :  
RCA (3 postes) et RDC (4 postes)
- Amélioration au Cameroun  
(nouvelles implantations en cours)

# Quel réseau de mesures climatiques en activité ?

## 102 séries GSOD (1973-2014)

(100 % = 365 jours x 42 ans = 15 330 valeurs)

- ❑ Peu de séries longues ;
- ❑ Quasiment aucune série complète ;
- ❑ Un contraste W-E dans la qualité ;
- ❑ Peu de séries disponibles pour des études sur les tendances climatiques des dernières décennies.



Poids des événements socio-politiques.

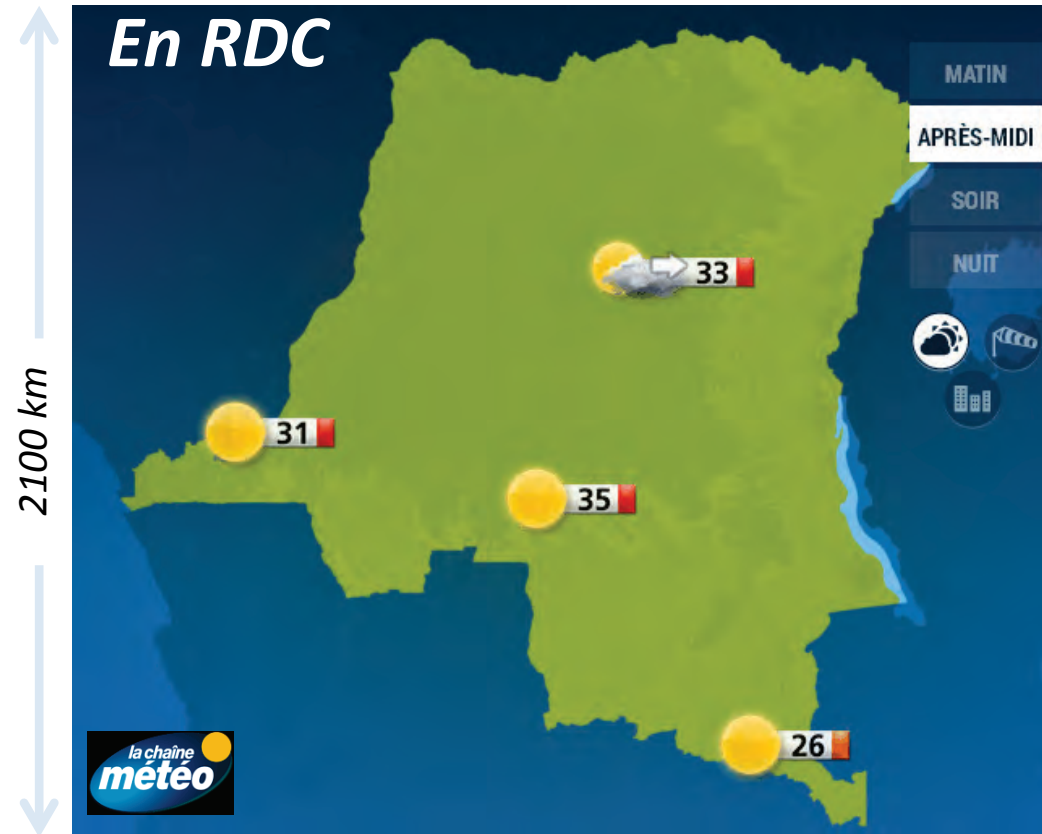
# Quel réseau de mesures climatiques en activité ?

Un rapide petit calcul géographique sur la densité stationnelle dans le bassin du Congo ...

Pays	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité stationnelle
Cameroun	475 442	21 611
Congo	342 000	26 307
Gabon	267 667	15 745
RCA	622 984	207 661
RDC	2 345 000	586 250

Densité minimale recommandée par norme OMM (1994) pour un poste pluviométrique enregistreur en zone de plaine intérieure : **5750 km<sup>2</sup> par station.**

... d'où une cartographie météorologique ultra simpliste (voire fausse) ...





# Quel réseau de mesures climatiques en activité ?

Un rapide petit calcul géographique sur la densité stationnelle dans le bassin du Congo ...

Pays	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité stationnelle
Cameroun	475 442	21 611
Congo	342 000	26 307
Gabon	267 667	15 745
RCA	622 984	207 661
RDC	2 345 000	586 250

Densité minimale recommandée par norme OMM (1994) pour un poste pluviométrique enregistreur en zone de plaine intérieure : **5750 km<sup>2</sup> par station.**

... d'où une cartographie météorologique ultra simpliste (voire fausse) ...



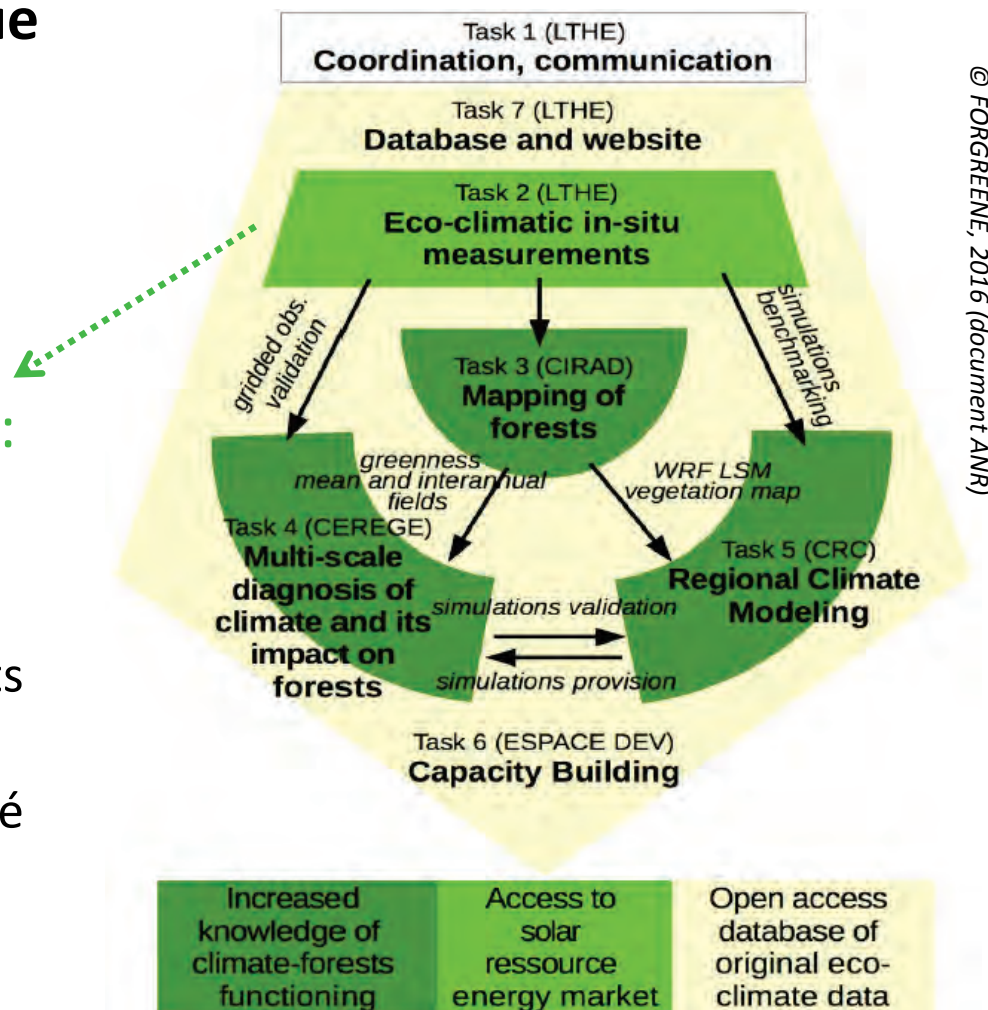
# Face à ces enjeux, les apports attendus de FORGREENE : mise à niveau, densification et pérennisation

une programmation scientifique internationale intégrant universités, laboratoires et partenaires industriels privés

## Un premier objectif essentiel :

- l'instrumentation *in situ* ;
- la formation en métrologie ;
- la mise à disposition d'instruments et des données ;
- l'organisation d'une communauté internationale et régionale.

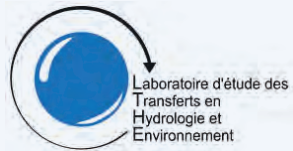
Les 7 volets scientifiques de FORGREENE



Coord. : Nathalie PHILIPPON (LTHE, CNRS)

# FORGRENE, un réseau scientifique international

## Laboratoires européens



Gembloux Agro-Bio Tech  
Université de Liège

## Universités africaines (via centres de recherche)



Yaoundé 1



CENAREST Gabon



Faculté Polytechnique de Kinshasa



Université de Bangui

## Acteurs privés : entreprises et groupes industriels

*Simulation et bilan radiatif*



*Ingénierie et exploitation forestière*



# FORGREENE, un nouveau partenaire scientifique dans les programmations en Afrique Centrale

## Une collaboration étroite avec le programme de recherche DYNAFFOR (2013-2017)



*Dynamique des Forêts d'Afrique Centrale*

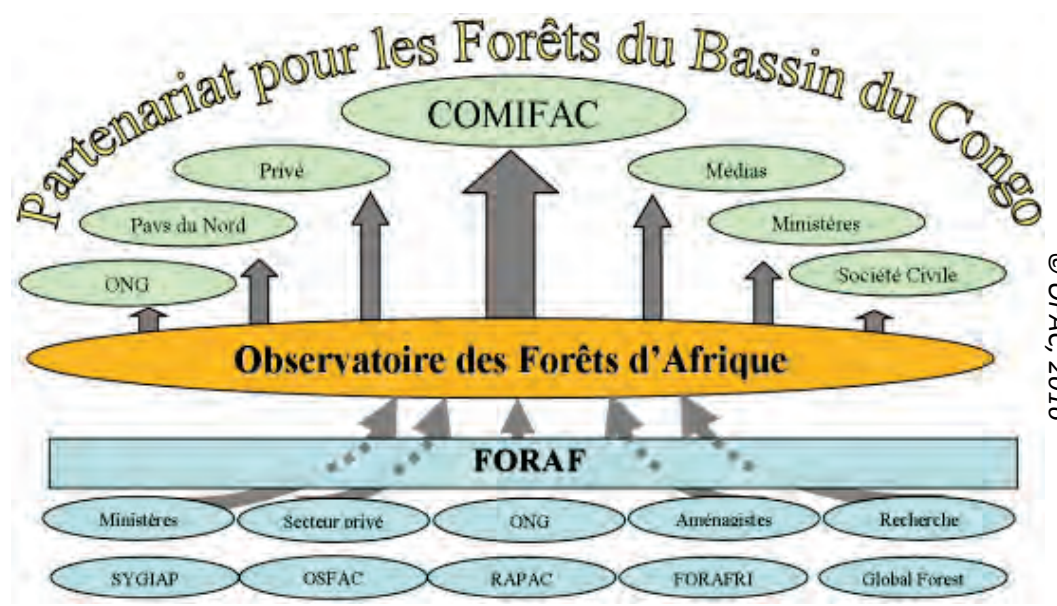
Soutenu par FFEM (Fonds Français pour l'Environnement Mondial) et AFD (Agence Française de Développement)



© S. Gouret-Fleury

Interactions avec les différents acteurs régionaux étudiant les milieux forestiers en Afrique centrale

### Commission des Forêts d'Afrique Centrale



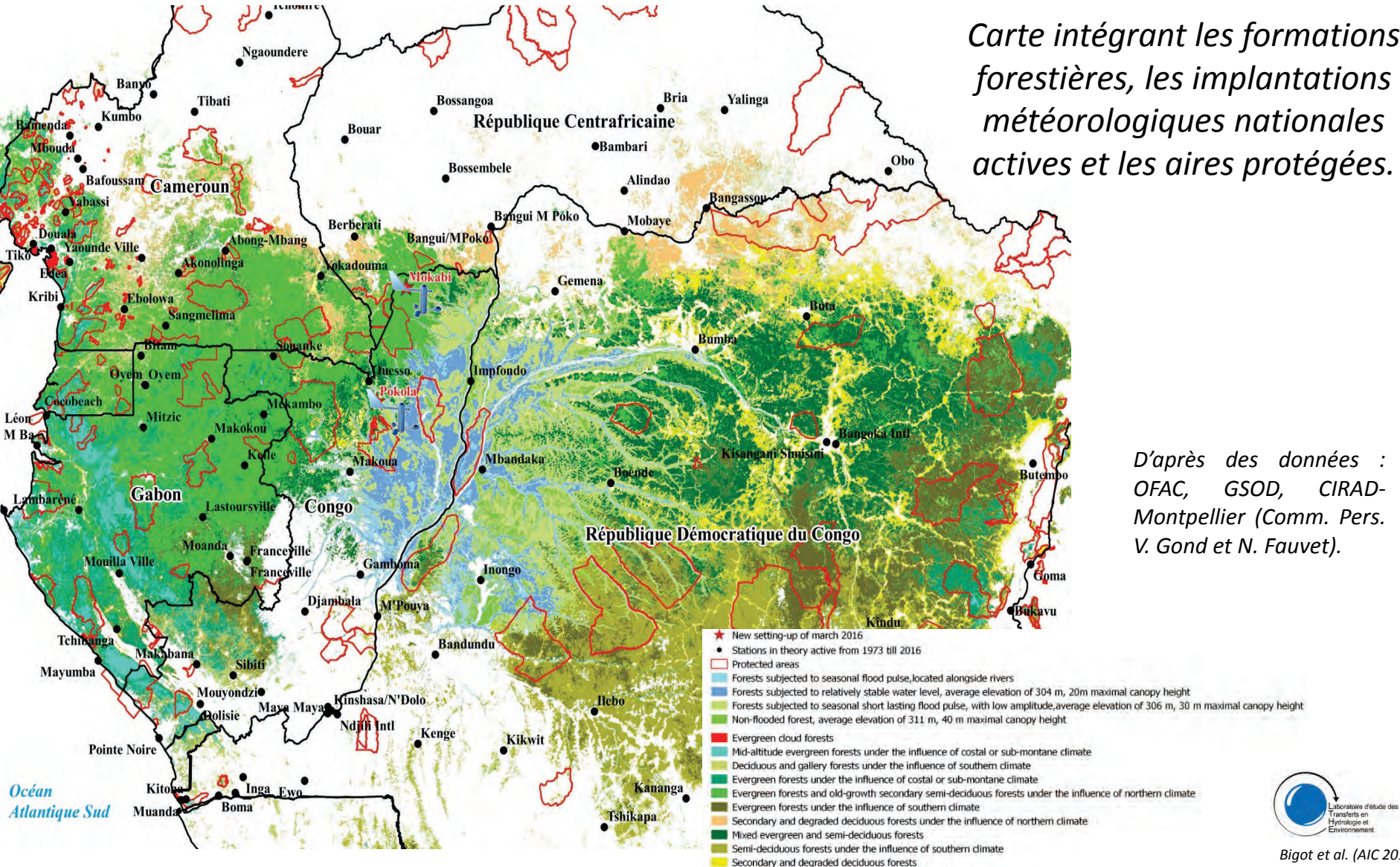
© OFAC, 2016

Liens privilégiés avec l'OFAC



# Les 2 premières stations FORGREENE transmettent leurs données depuis mars 2016... Pokola et Mokabi

*Carte intégrant les formations forestières, les implantations météorologiques nationales actives et les aires protégées.*

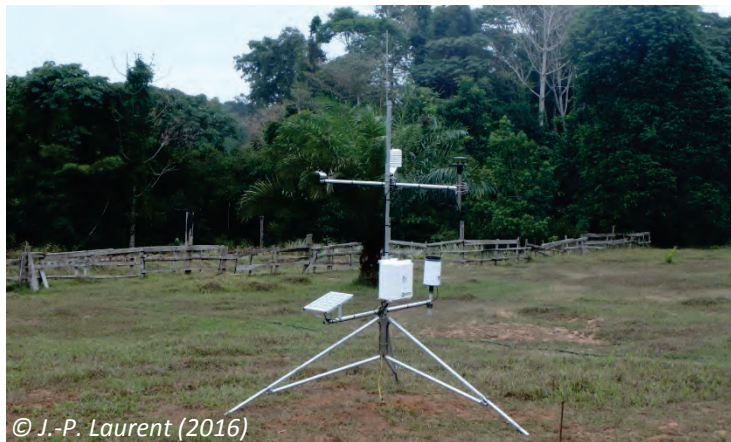


*D'après des données : OFAC, GSOD, CIRAD-Montpellier (Comm. Pers. V. Gond et N. Fauvet).*

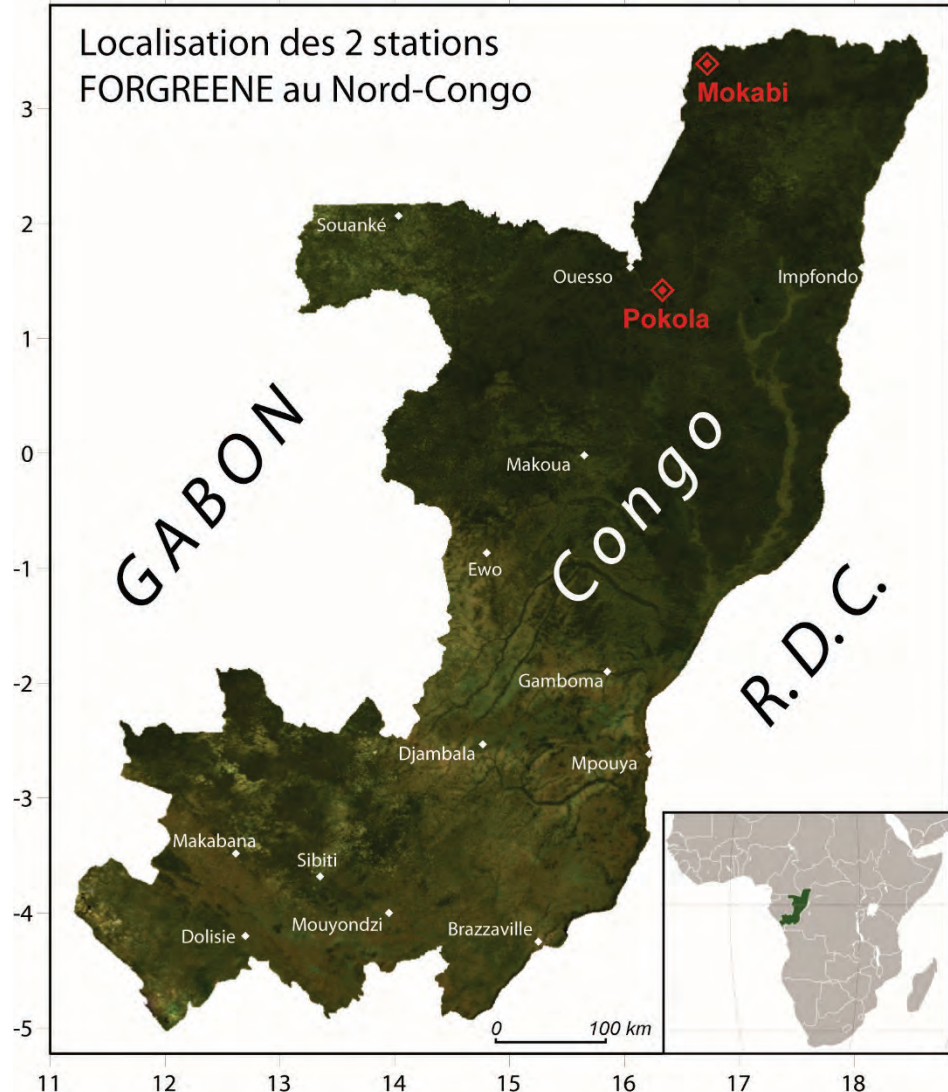


# Les 2 premières stations FORGREENE transmettent leurs données depuis mars 2016... Pokola et Mokabi

Collaboration



Localisation des 2 stations FORGREENE au Nord-Congo



Sur site



Sur site



© S. Bigot (2016)

# Les 2 premières stations FORGREENE transmettent leurs données depuis mars 2016... Pokola et Mokabi

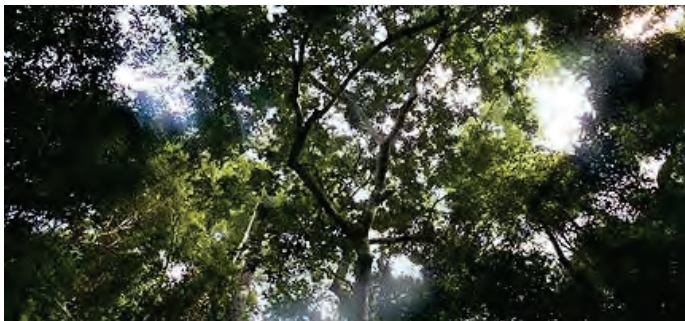
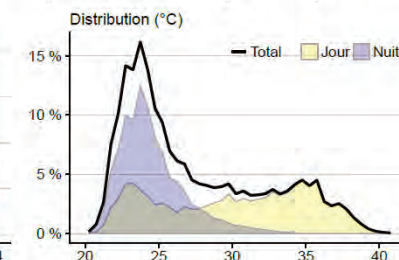
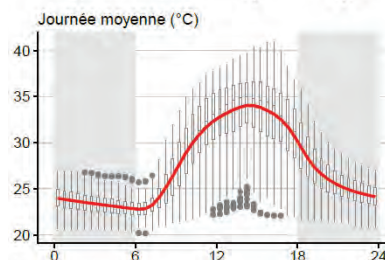
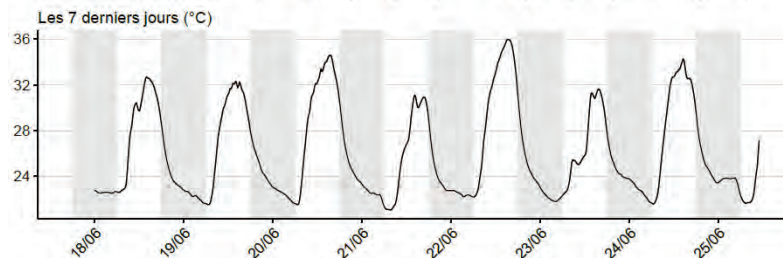
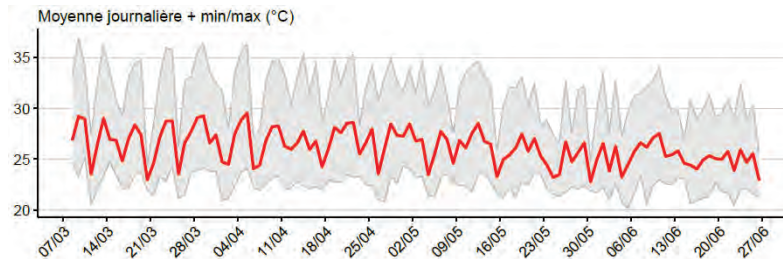
Type d'équipements installés :

Paramètre	Capteur <sup>3</sup>	Fabricant	N° de série	Localisation
Pression atmosphérique	CS100	SETRA	6610226	Dans le coffret
Température et HR de l'air	CS215	Campbell Scientific	E15019	Ouest, h 2.5m
Rayonnement solaire global	CS300	Apogee	46038	Sud, h 2.3m
Vitesse & direction du vent	WindSonic	Gill Instruments	15450046	Nord, h 2.5m
Pluie	05103-5	Young	TB12776	Ouest, h 1.6m
Tension de la batterie	Interne	Campbell Scientific		Dans la centrale
Température de la centrale	Interne	Campbell Scientific		Dans la centrale

1<sup>ère</sup> étape :

Diffusion d'un bulletin automatique hebdomadaire

L'exemple des températures atmosphériques à 2 m



# Les 2 premières stations FORGREENE transmettent leurs données depuis mars 2016... Pokola et Mokabi

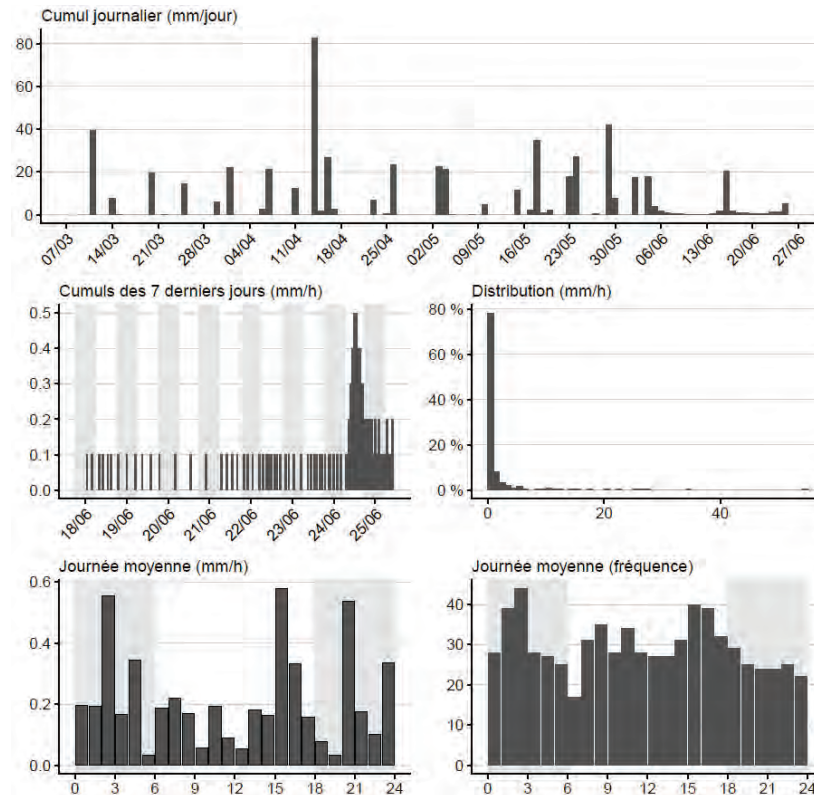
Type d'équipements installés :

Paramètre	Capteur <sup>3</sup>	Fabricant	N° de série	Localisation
Pression atmosphérique	CS100	SETRA	6610226	Dans le coffret
Température et HR de l'air	CS215	Campbell Scientific	E15019	Ouest, h 2.5m
Rayonnement solaire global	CS300	Apogee	46038	Sud, h 2.3m
Vitesse & direction du vent	WindSonic	Gill Instruments	15450046	Nord, h 2.5m
Pluie	05103-5	Young	TB12776	Ouest, h 1.6m
Tension de la batterie	Interne	Campbell Scientific		Dans la centrale
Température de la centrale	Interne	Campbell Scientific		Dans la centrale

1<sup>ère</sup> étape :

Diffusion d'un bulletin automatique hebdomadaire

L'exemple de la pluviométrie





# Les 2 premières stations FORGREENE transmettent leurs données depuis mars 2016... Pokola et Mokabi

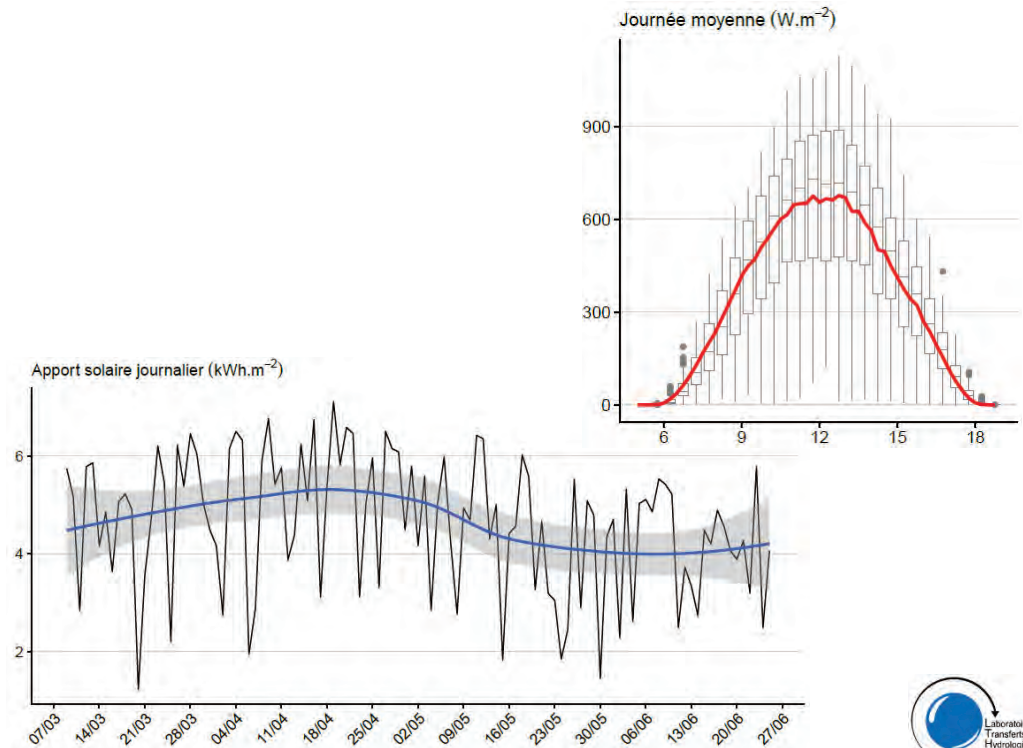
Type d'équipements installés :

Paramètre	Capteur <sup>3</sup>	Fabricant	N° de série	Localisation
Pression atmosphérique	CS100	SETRA	6610226	Dans le coffret
Température et HR de l'air	CS215	Campbell Scientific	E15019	Ouest, h 2.5m
Rayonnement solaire global	CS300	Apogee	46038	Sud, h 2.3m
Vitesse & direction du vent	WindSonic	Gill Instruments	15450046	Nord, h 2.5m
Pluie	05103-5	Young	TB12776	Ouest, h 1.6m
Tension de la batterie	Interne	Campbell Scientific		Dans la centrale
Température de la centrale	Interne	Campbell Scientific		Dans la centrale

1<sup>ère</sup> étape :

Diffusion d'un bulletin automatique hebdomadaire

L'exemple de l'apport solaire



# Les sites de mesures FORGREENE seront complétés, associés à des campagnes de mesures éco-climatiques

## Equipements à ajouter prochainement + capteurs déportés (mesures continues ou campagnes de mesure)



**Pyranomètre SPN1**



**Capteurs SRS  
(Spectral reflectance Sensor)**



**Ceptomètre  
(AccuPAR LP-80)**

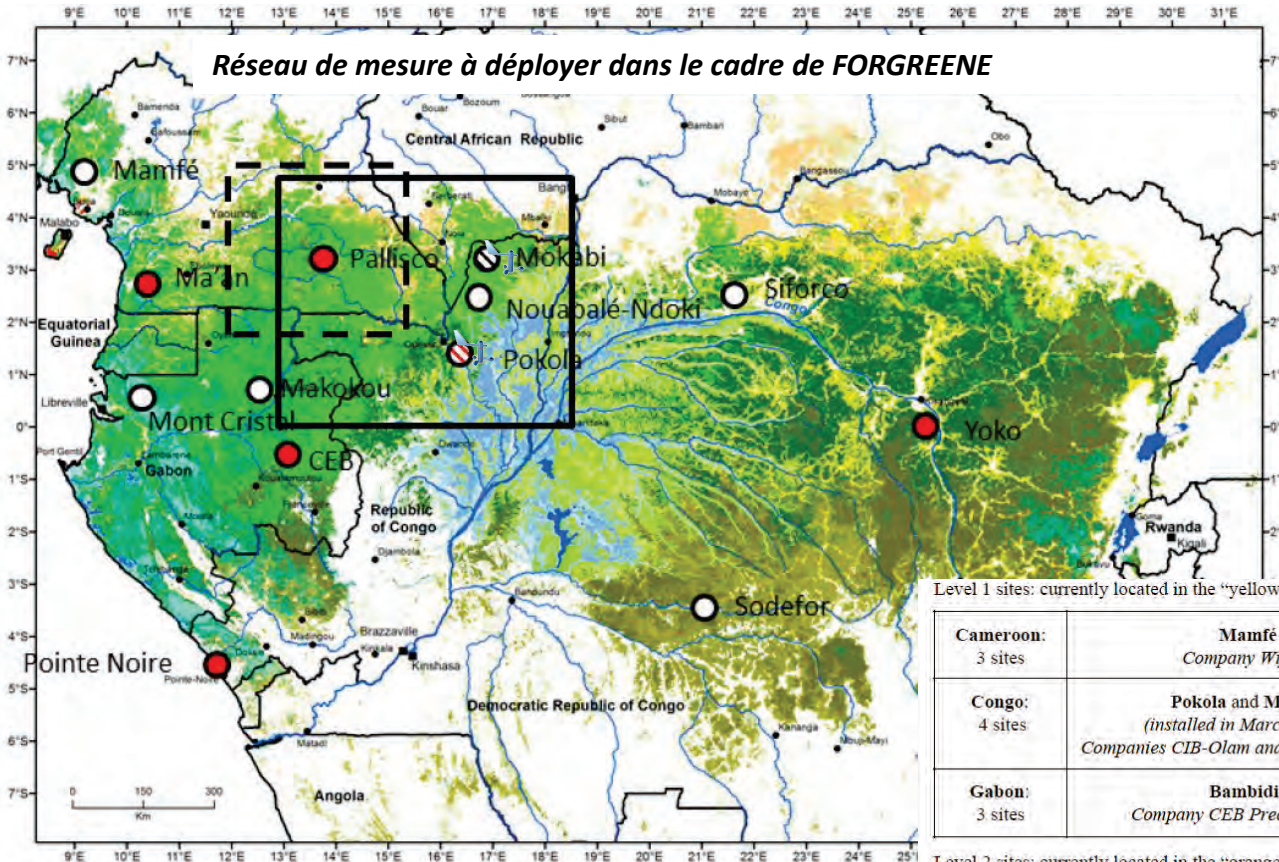


**Datalogger  
(T /RH/Light)**

- + Projet de transects forestiers (mesure de biomasse...),
- + Projet de surveillance forêt/atmosphère par webcam,
- + Projet de cartographie environnementale par drone.

# Le réseau de mesure FORGREENE envisagé pour 2017

Réseau de mesure à déployer dans le cadre de FORGREENE



12 sites équipés complets,  
dont 6 possédant un  
pyranomètre de type  
SPN1.

Level 1 sites: currently located in the "yellow zone" according to the French Ministry of Foreign Affairs security map

<b>Cameroon:</b> 3 sites	<b>Mamfé</b> <i>Company Wij'ma</i>	<b>Ma'an</b> <i>Company Wij'ma</i>	<b>Mindourou</b> <i>Company Pallisco-CFIM</i>
<b>Congo:</b> 4 sites	<b>Pokola and Mokabi</b> <i>(installed in March 2016)</i> <i>Companies CIB-Olam and Rougier Mokabi.</i>		<b>Pointe-Noire</b> <i>CIRAD site</i>
<b>Gabon:</b> 3 sites	<b>Bambidie</b> <i>Company CEB Precious Wood</i>	<b>Makokou</b> <i>IRET-CENAREST</i>	<b>Mont Cristal</b> <i>National Park</i>

Level 2 sites: currently located in the "orange zone"

<b>DRC:</b> 3 sites	<b>Siforco</b> <i>Logging company</i>	<b>Yoko</b> <i>Kisangani University</i>	<b>Sodefou</b> <i>Logging company</i>
------------------------	--	--	--

## 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

○ Station planned (FORGREENE project) ● with SPN1 ⊘ Stations already installed in March (DyNaFfor) □ Coforchange-Vegreene study area ◻ Cameroon window (IRD)

# En dehors des interrogations climatologiques, de nombreuses questions météorologiques à régler...

➔ Evolution (et influences) des sites de mesure : variations du microclimat journalier/saisonnier/interannuel...

*Exemple de l'évolution du couvert forestier sur le site de Pokola*



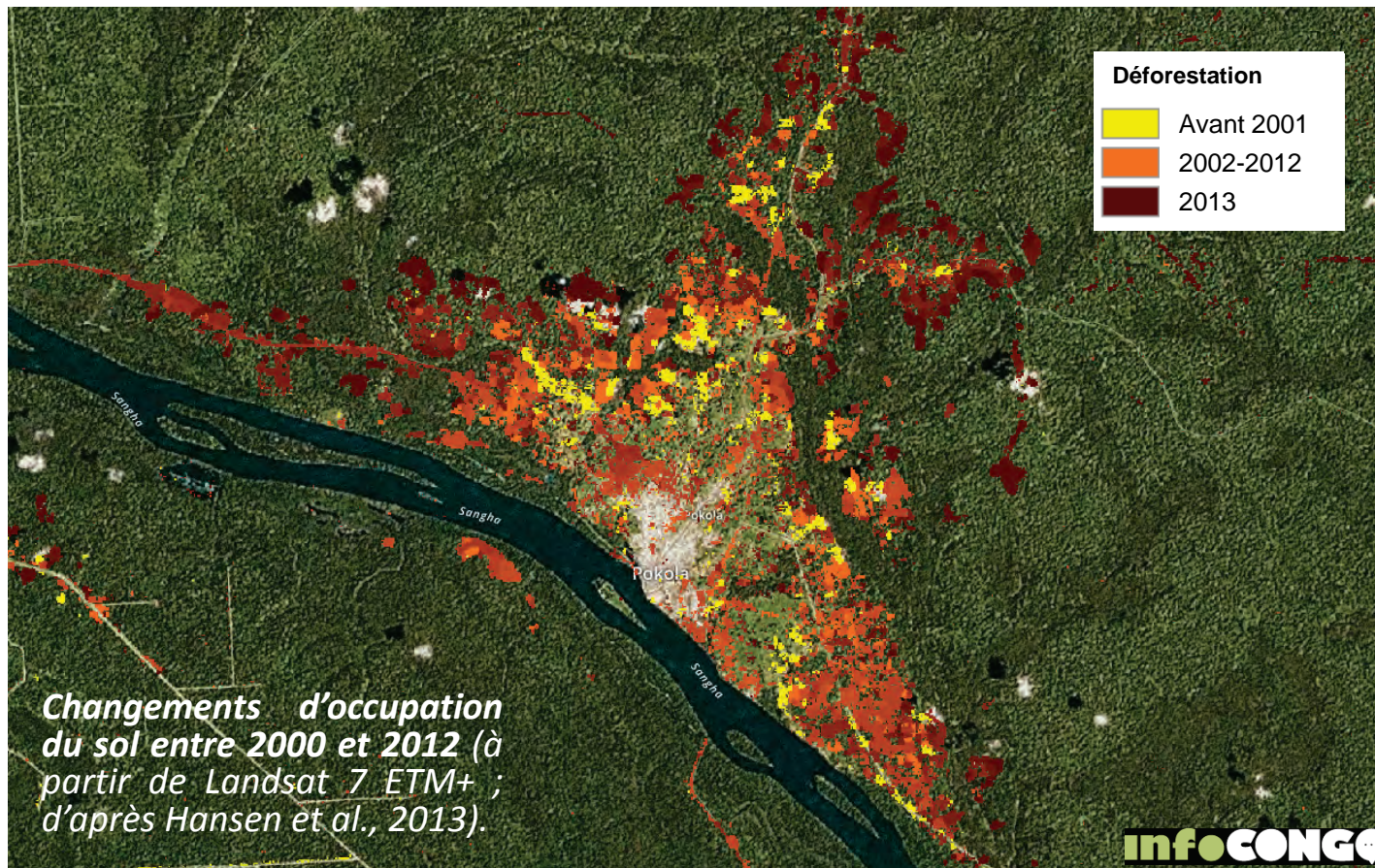
## INFLUENCES :

- Déforestation ;
- Activités humaines ;
- Distance au fleuve ;
- Incendies.

# En dehors des interrogations climatologiques, de nombreuses questions météorologiques à régler...

➔ Evolution (et influences) des sites de mesure : variations  
du microclimat journalier/saisonnier/interannuel...

*Exemple de l'évolution du couvert forestier sur le site de Pokola*



*La cité ouvrière  
forestière de Pokola*

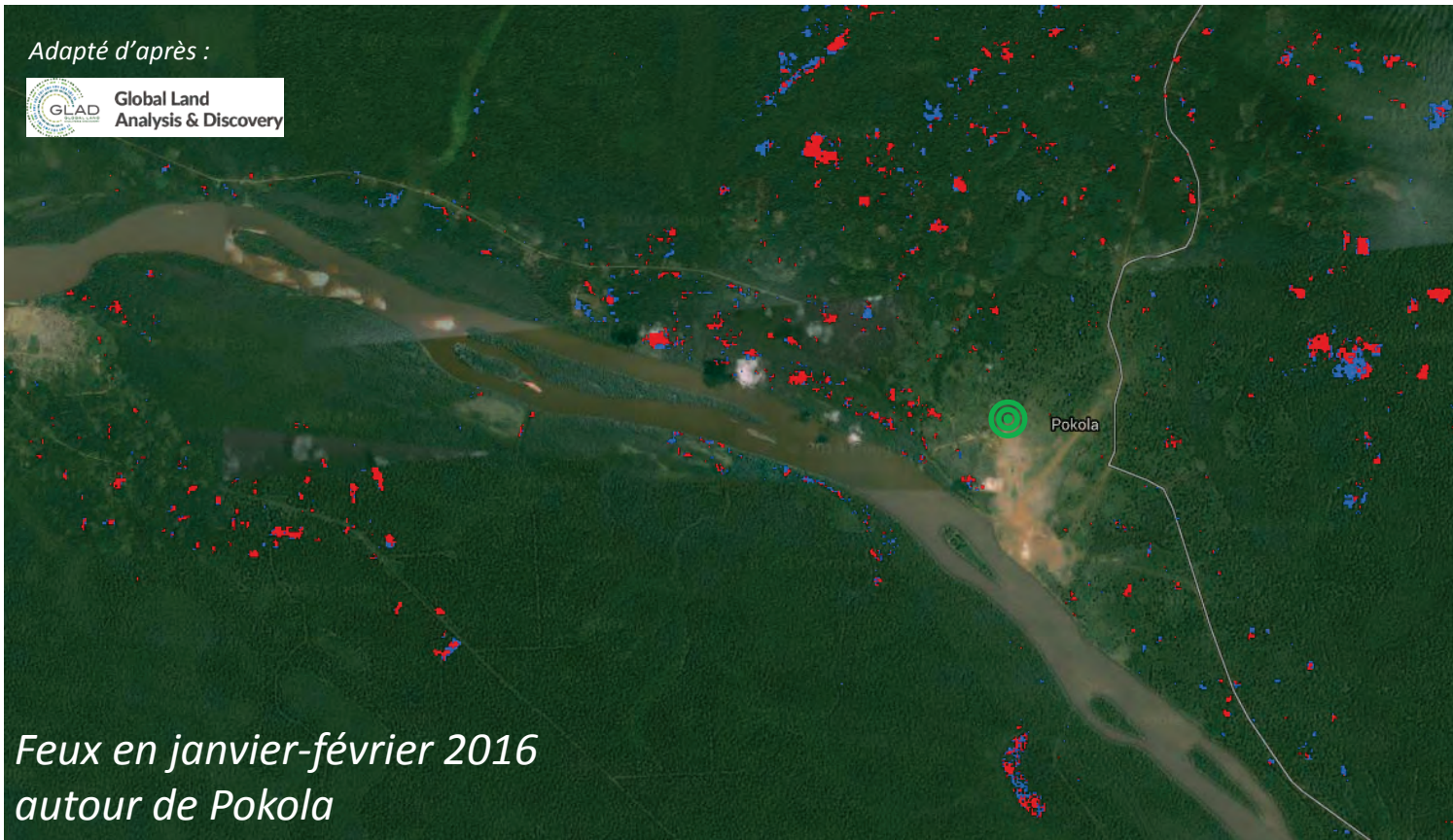


# En dehors des interrogations climatologiques, de nombreuses questions météorologiques à régler...

➔ Evolution (et influences) des sites de mesure : variations  
du microclimat journalier/saisonnier/interannuel...

*Exemple de l'évolution du couvert forestier sur le site de Pokola*

Adapté d'après :



Site météo  
**FORGREENE**



Feu  
confirmé



Feu non  
confirmé

*Feux en janvier-février 2016  
autour de Pokola*

## Synthèse et prochaines étapes ...

- ❑ **Situation instrumentale et climatologique** qui demeure critique en Afrique Centrale, surtout en RCA et en RDC ;



*Le mât de l'anémomètre de la station météorologique de Mékambo (NE Gabon) phagocyté par un manguier (cliché d'avril 2008).*

*D'après Maloba (2009)*

## Synthèse et prochaines étapes ...

- ❑ **FORGREENE peut être une opportunité** pour fédérer une communauté dans le bassin du Congo autour de l'étude métrologie-climatologie-écologie-modélisation ;





# Synthèse et prochaines étapes ...

- ❑ **Les difficultés seront importantes** : accès à certains sites, mise en œuvre des parcs à instrument et des campagnes de mesure, collaborations partenariales, sécurité, diffusion des données...



... et surtout avant, que l'ANR accepte de financer FORGREENE !



?

