

# Colloque multi-acteur sur la gestion durable des ressources naturelles, En particulier dans les écosystèmes de mangroves



## Table ronde 3 : les mangroves, un levier de résilience face aux changements climatiques

Université de Lomé, Togo  
20 février 2019

Organisé dans le cadre du projet  
*Expertise Universitaire - Mangroves*





# Avec la participation de :

## **Dr. Ir. Expédit Evariste AGO**

*Expert Environnement, Flux de GES, Changement Climatique et Développement Durable. Président de A2D-ONG*  
Université d'Abomey-Calavi, **Bénin**  
[ago.expedit@gmail.com](mailto:ago.expedit@gmail.com)

## **Gautier AMOUSSOU**

*Directeur de l'ONG Eco-Bénin – Membre du Collectif du Golfe du Bénin, Bénin*  
[gautier.amoussou@gmail.com](mailto:gautier.amoussou@gmail.com)

## **Damien KUHN**

*Directeur des Operations Internationales chez Kinomé, Spécialiste du développement de projets carbone, France*  
[damien.kuhn@kinome.fr](mailto:damien.kuhn@kinome.fr)

## **Amie SOW**

*Chef du projet DEMETER, Kinomé*  
[amie.sow@kinome.fr](mailto:amie.sow@kinome.fr)



## PARTIE 1 : ECHANGE D'ACTEURS

Séquestration du carbone dans les zones de mangroves :  
principes, méthodes d'évaluation et opportunités de  
valorisation

14h00 – 15h30

## PARTIE 2 : REVUE DE QUELQUES OUTILS

OUTIL 1: Quantification des gains carbone (Kinomé)

OUTIL 2: Foyers améliorés banco (APIL)

15h30 – 17h00

# Mesure des échanges et séquestration de carbone dans les écosystèmes terrestres

**Dr. Ir. Expédit Evariste AGO**

# *Plan de l'exposé*

**1. Introduction**

**2. Méthode d'eddycovariance**

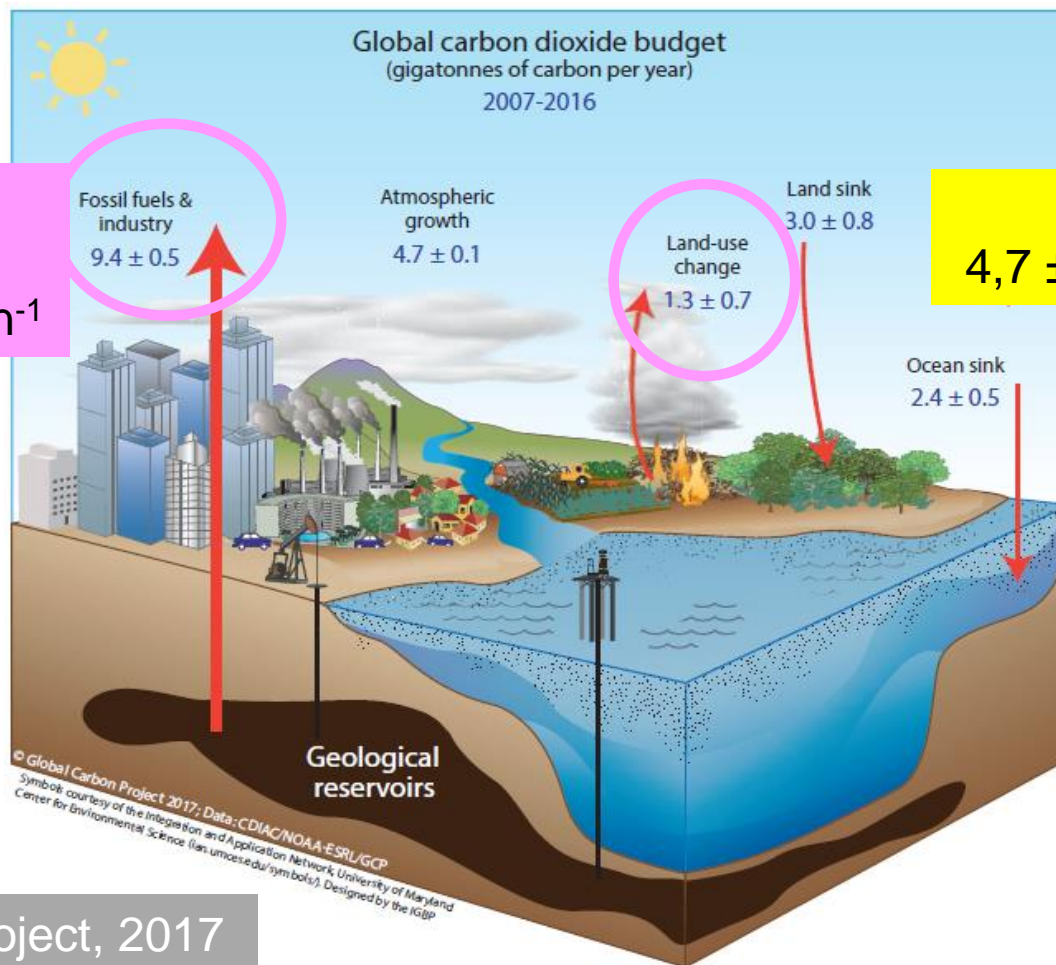
**3. Résultats / Succès**

**4. Perspectives**

# □ Pourquoi mesurer les flux de GES ?

## Bilan de carbone de la planète

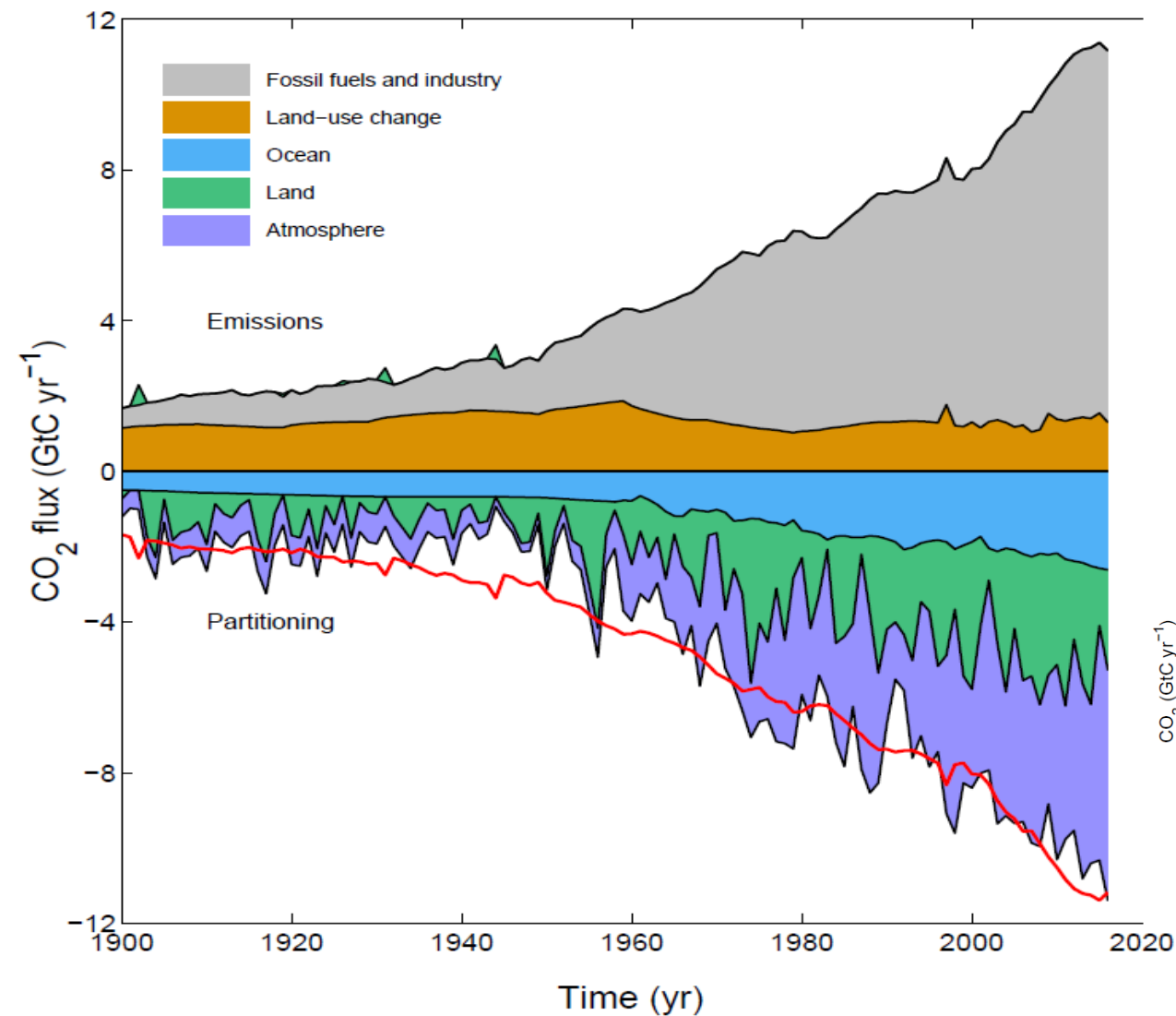
Sources anthropiques  
 $10,7 \pm 0,9 \text{ Pg C an}^{-1}$



Bilan  
 $4,7 \pm 0,1 \text{ Pg C an}^{-1}$

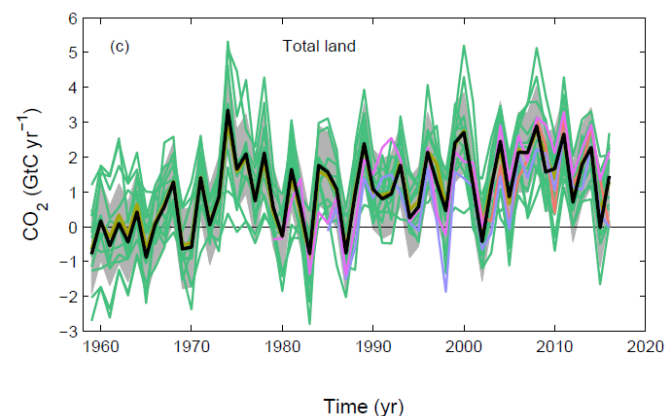
Global Carbon Project, 2017

## □ Pourquoi mesurer les flux de GES ?



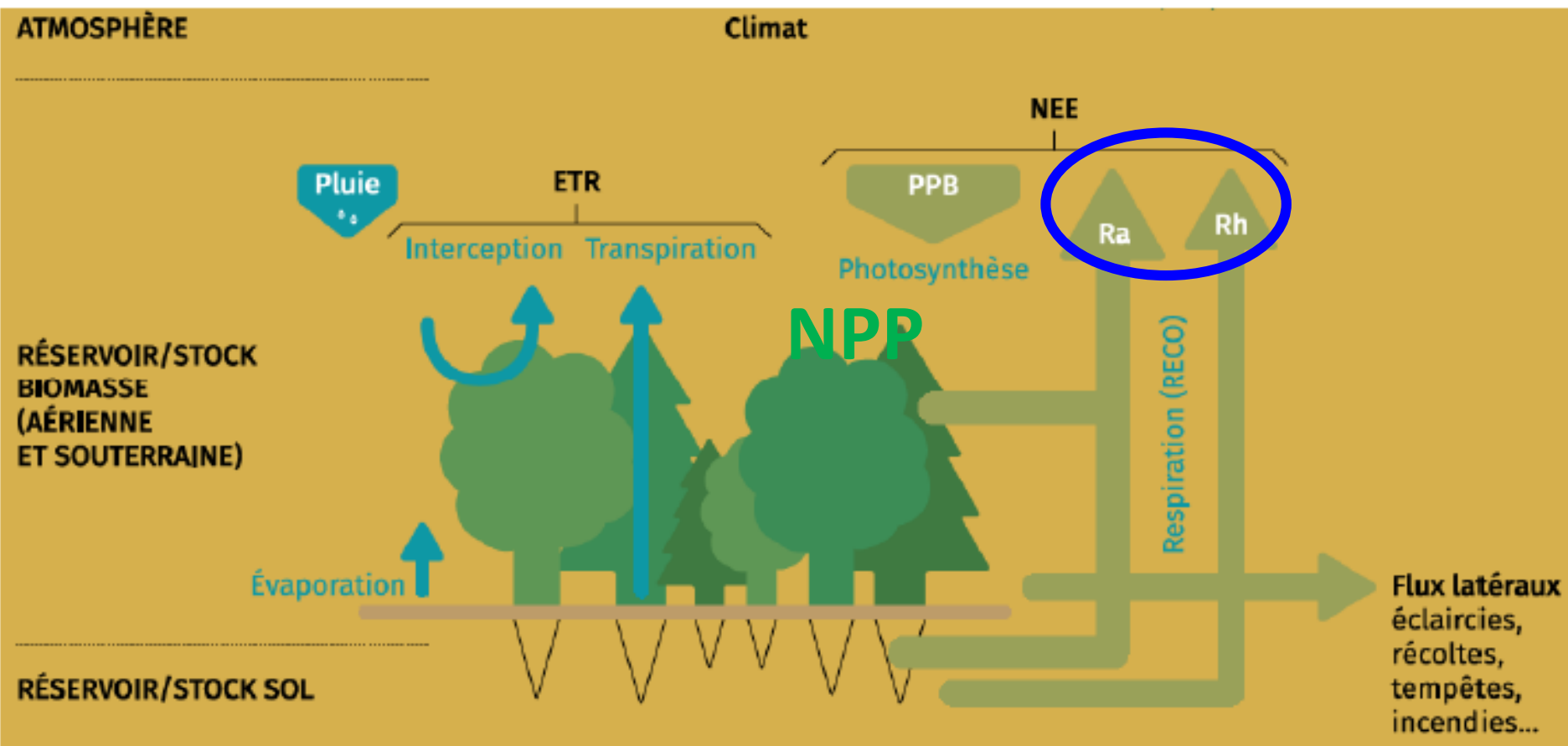
(Le Quéré et al., 2017)

**Biosphère terrestre  
environ 30 %**



# Que mesure ou estime - t - on? Mécanisme

$$\text{Séquestration C (NEE)} = \text{NPP} + \text{Rh} = \text{PPB} + \text{RECO}$$



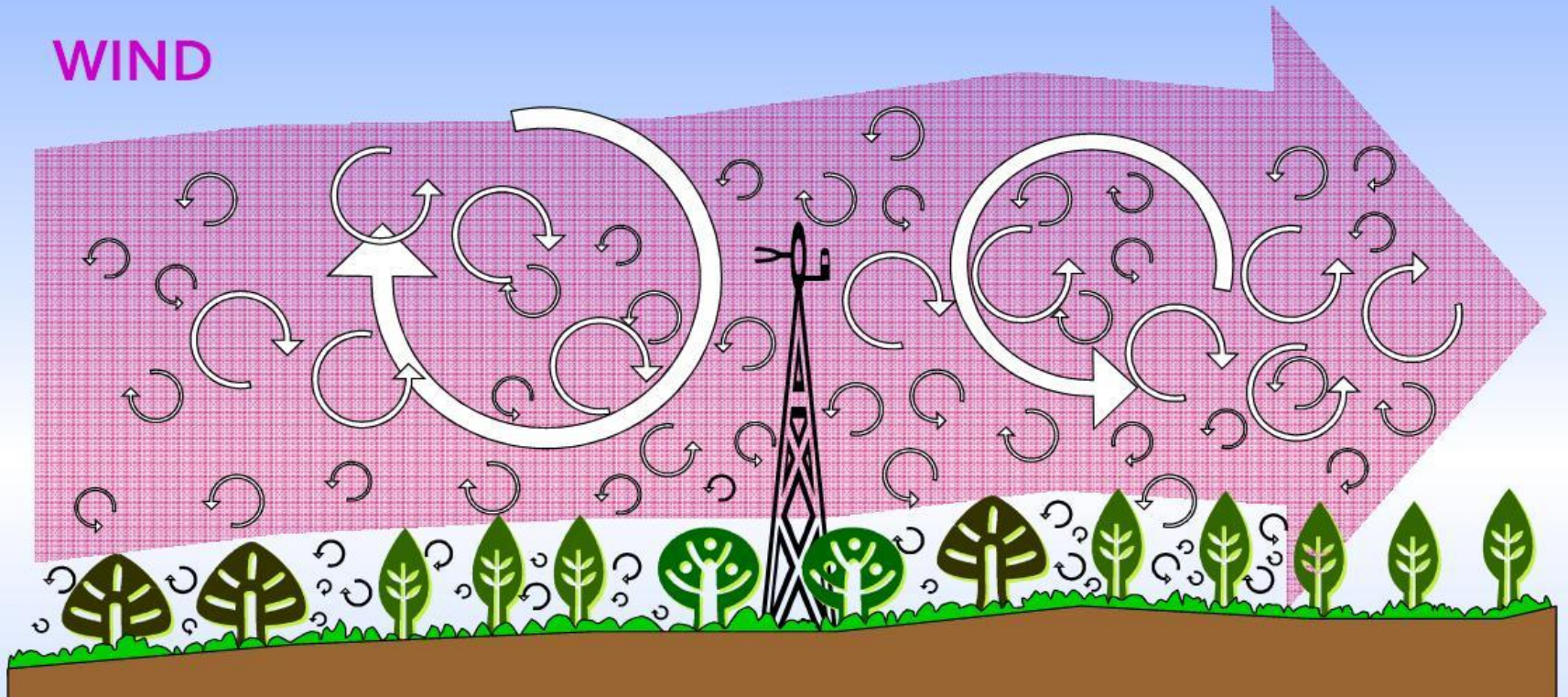
**NEE < 0** => photosynthèse domine ; **NEE > 0** => respiration domine



## Méthode d'estimation des flux : Technique d'eddy-covariance

### AIR FLOW IN ECOSYSTEM

WIND



$$F_c \approx \overline{w'c'}$$

Burba & Anderson, 2010

Sonic anemometer **vertical velocity**

Fonctionne à haute fréquence 8-20 Hz, *ie* (8-20 mesures par seconde)



**Fluctuations**



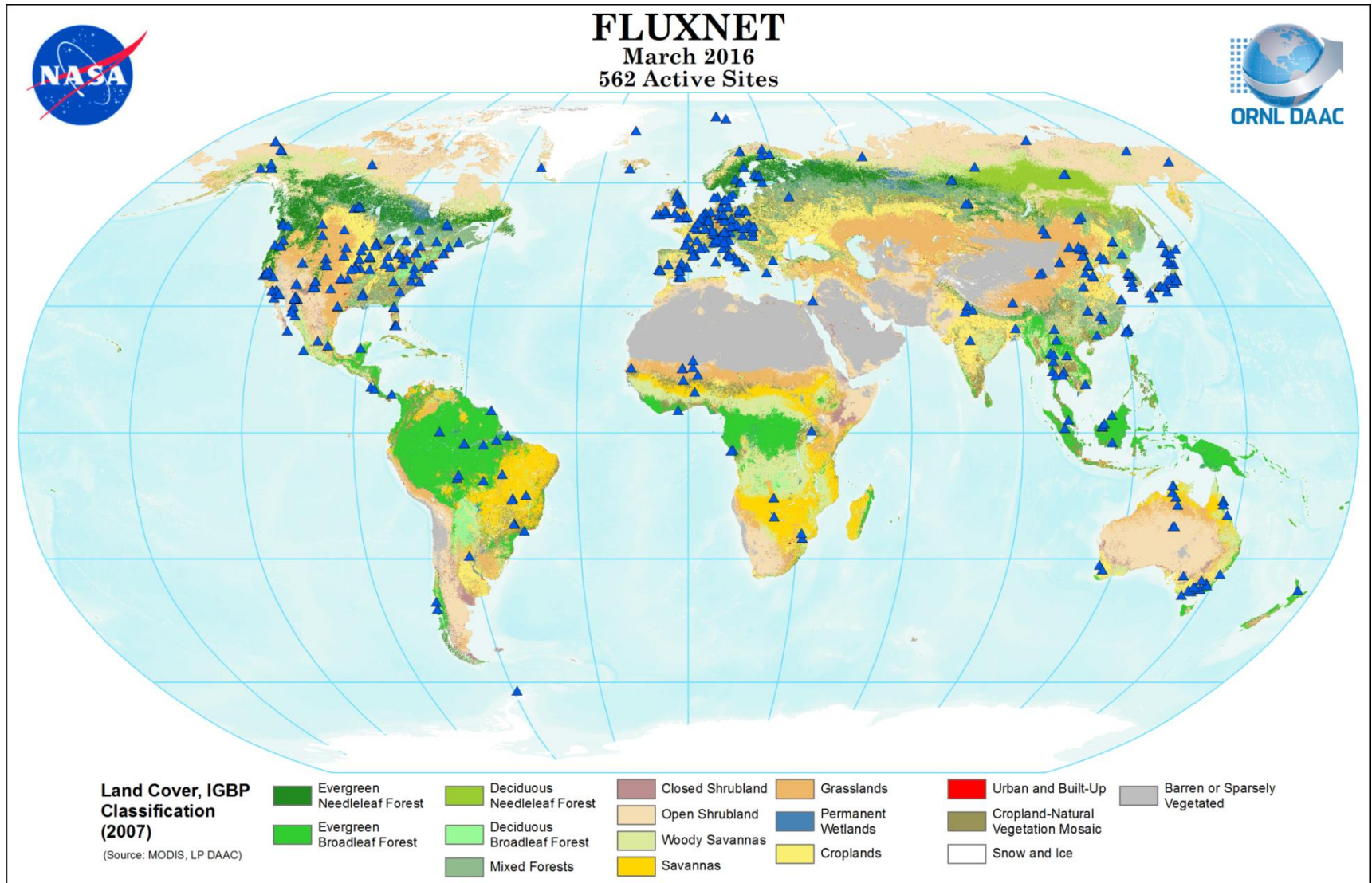
**Tracer  
Concentration  
Open-path  
(Li-COR 7500)**

$\overline{w'c'}$   $h$

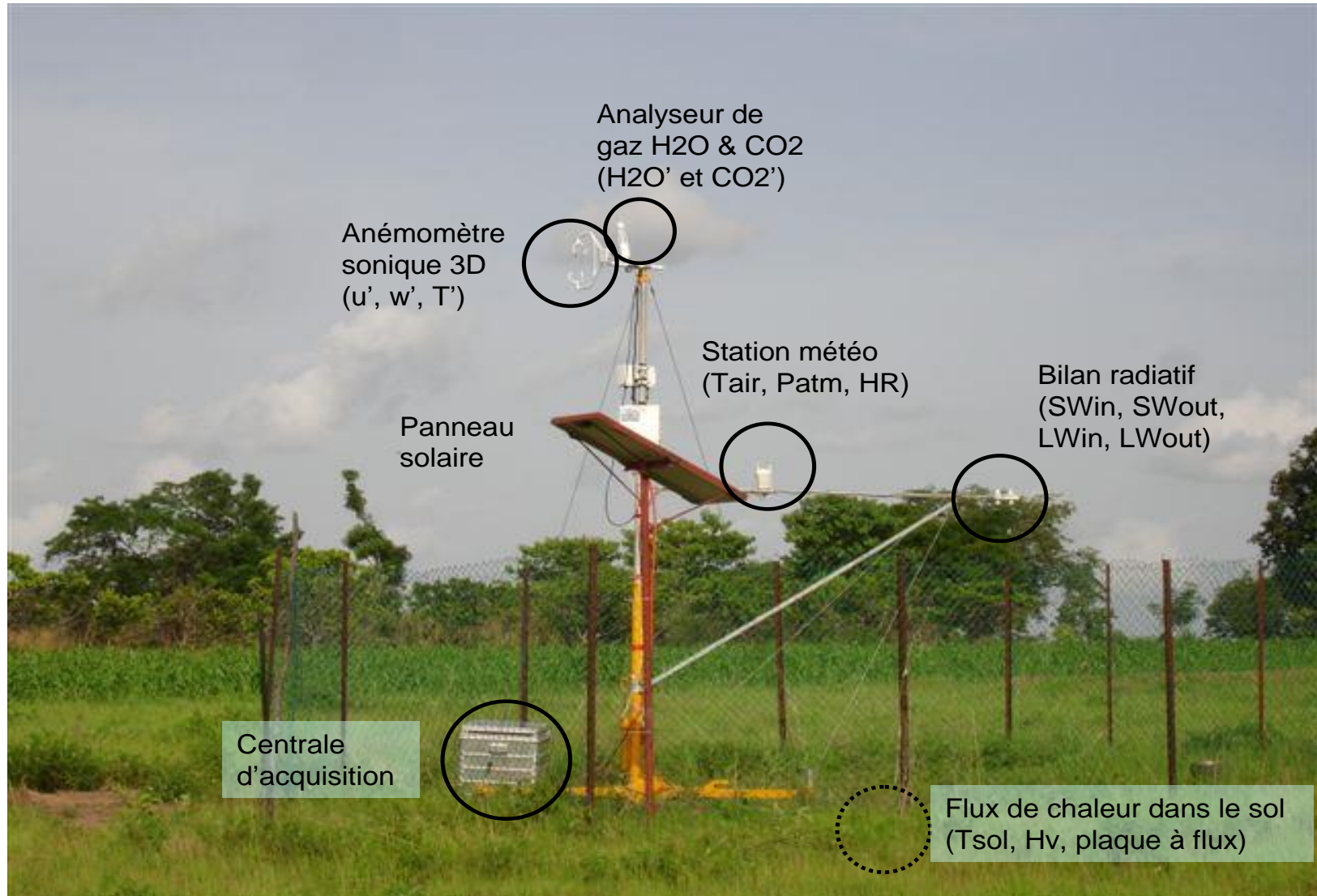
( $q$  &  $CO_2$ )

**Above  
the canopy**

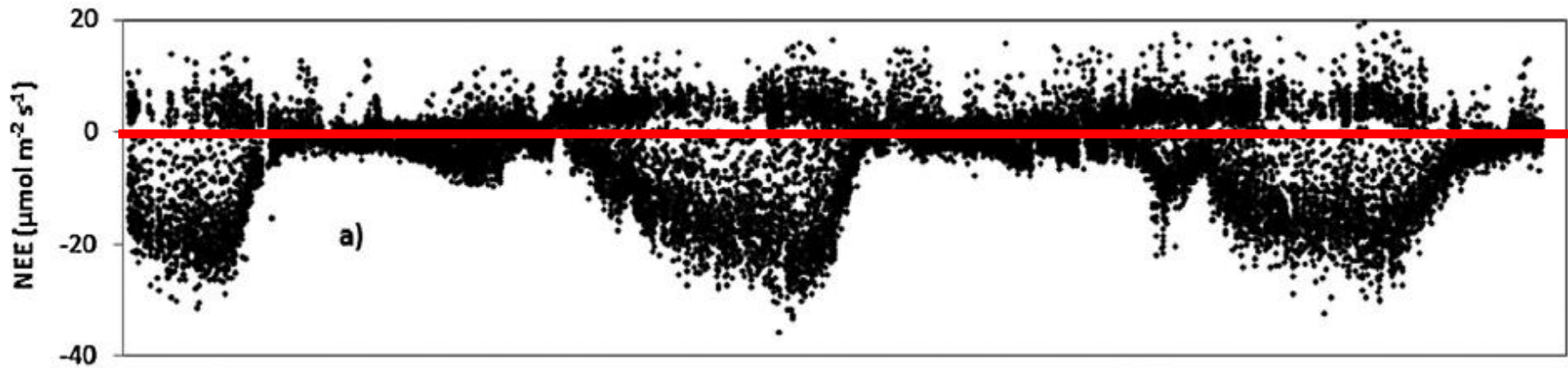
# Eddycovariance dans le monde



# Site de Nalohou (Bénin): Savane cultivée

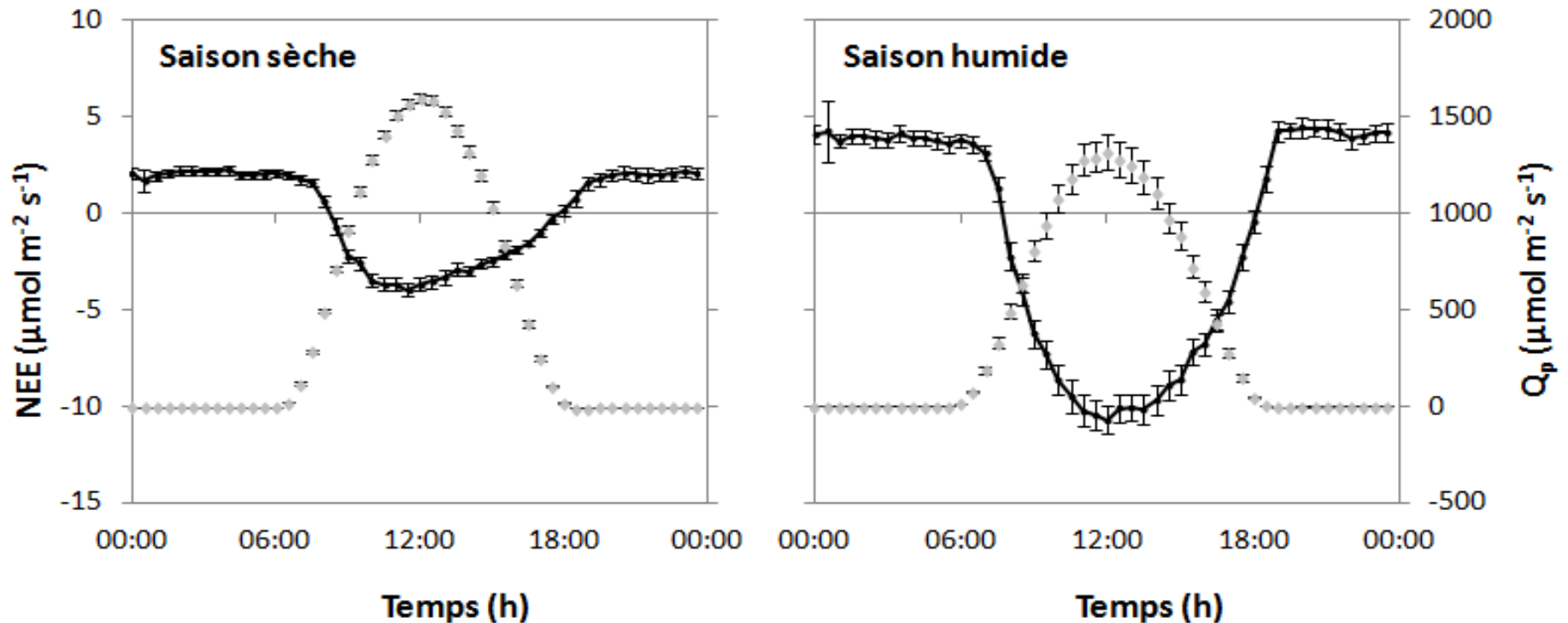


## Dynamique horaire : flux de CO<sub>2</sub>



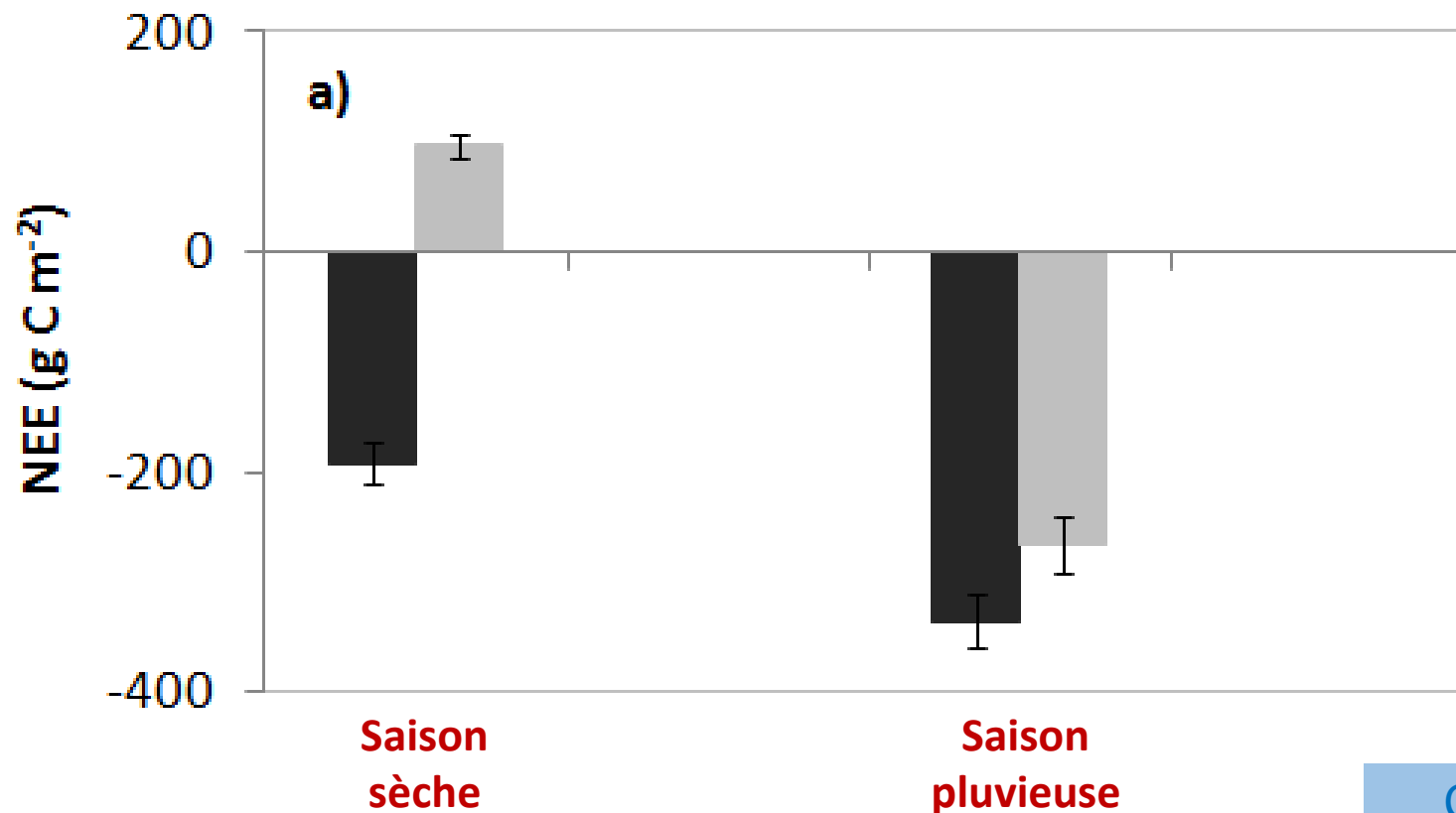
Carbon dioxide  
Cultivated Savanna  
(Ago et al., 2014)

## Dynamique journalière : flux de CO<sub>2</sub>



Carbon dioxide  
Woodland  
(Ago et al., 2015)

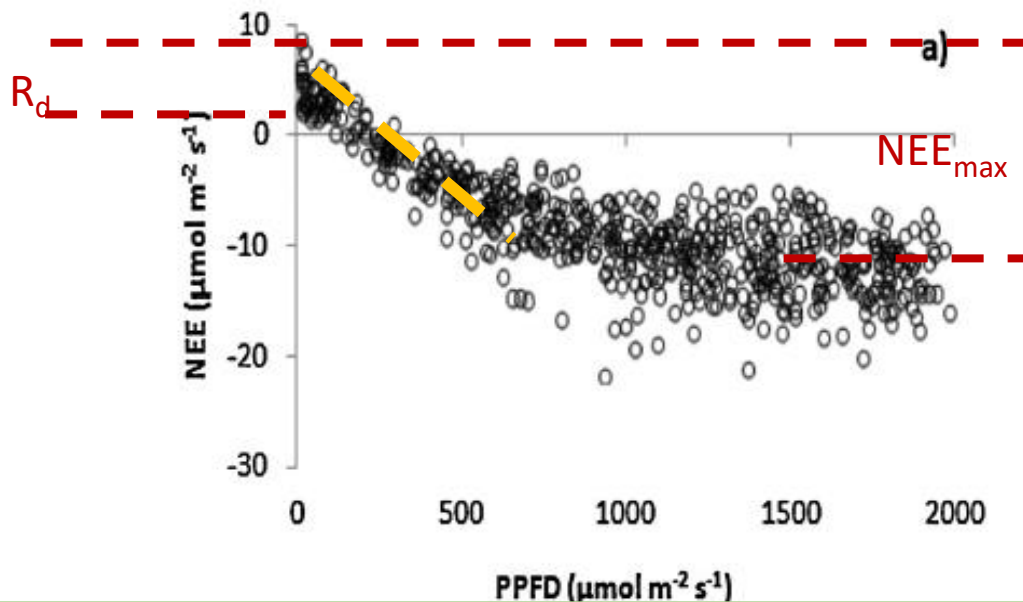
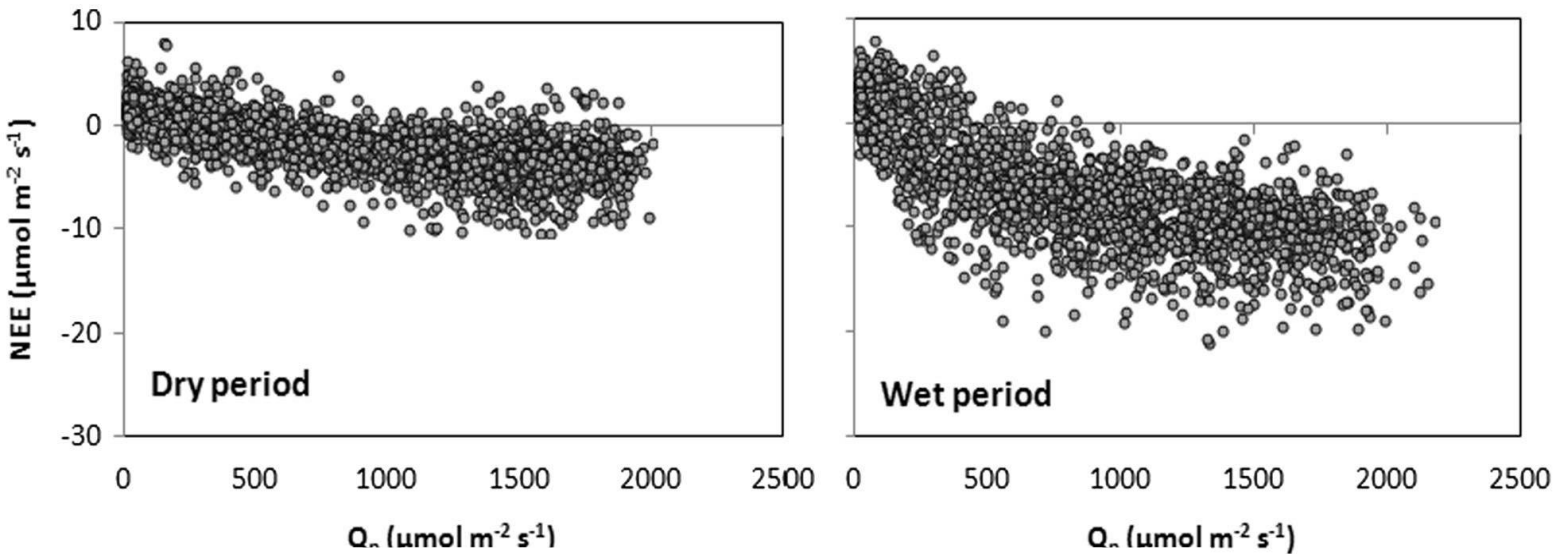
## Dynamique saisonnière: flux CO<sub>2</sub>



Carbon dioxide  
Woodland/ Savanna  
(Ago et al., 2016b)

**Forêt séquestre du carbone tout au long de l'année**

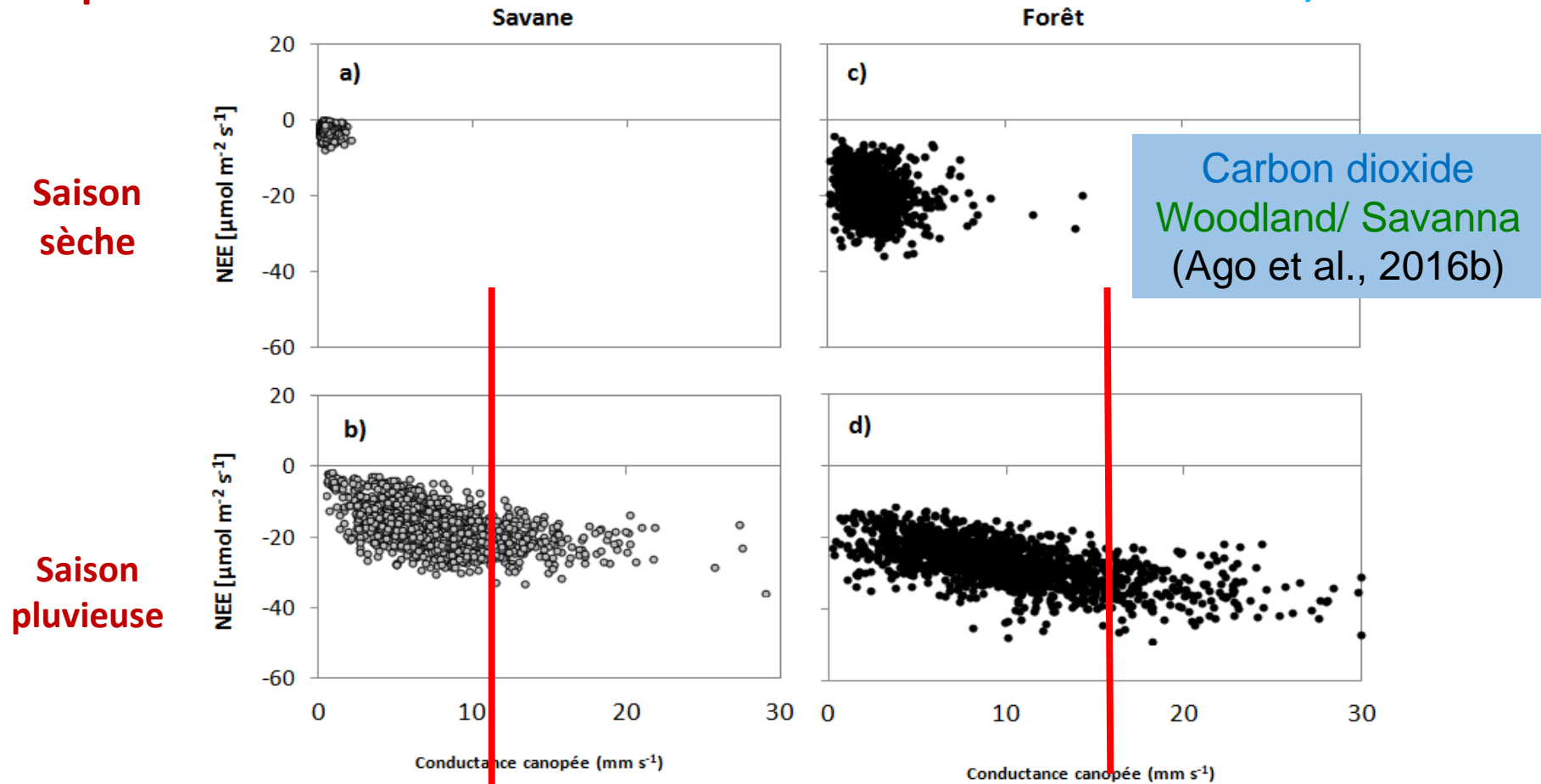
# Réponses fonctionnelles: NEE vs Radiation



Carbon dioxide  
Woodland / Savanna  
(Ago et al., 2014, 2015)

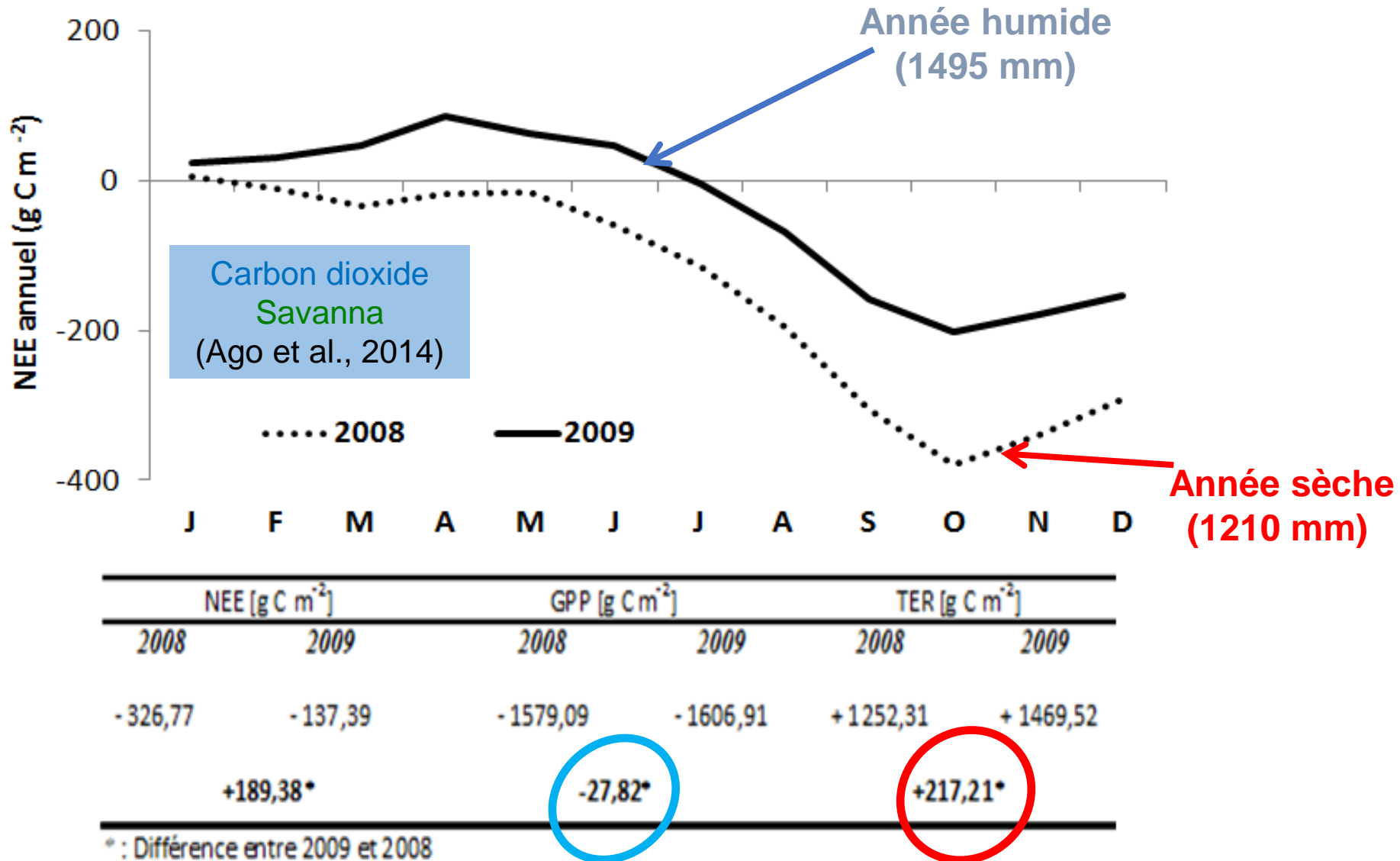


# Réponses fonctionnelles: Rôle des stomates ; CO<sub>2</sub>

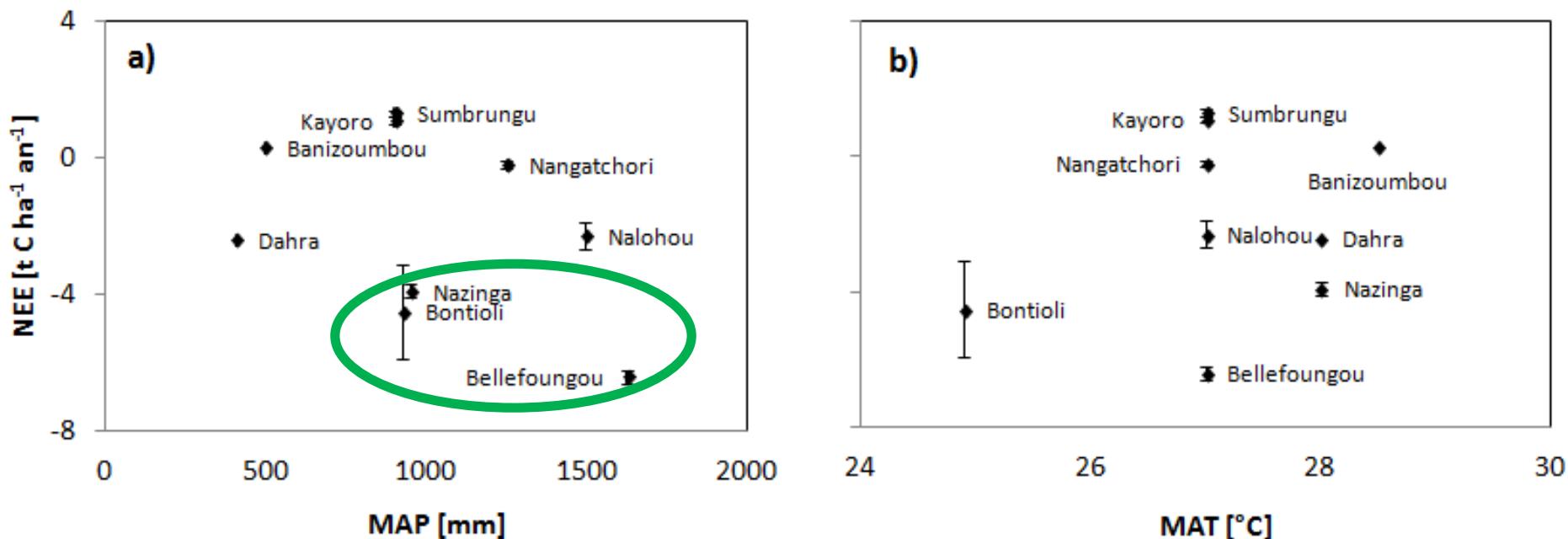


Régulation partielle par les stomates en dehors du contrôle du rayonnement

# Dynamique inter-annuelle / Impact de la précipitation



## Impact de la précipitation

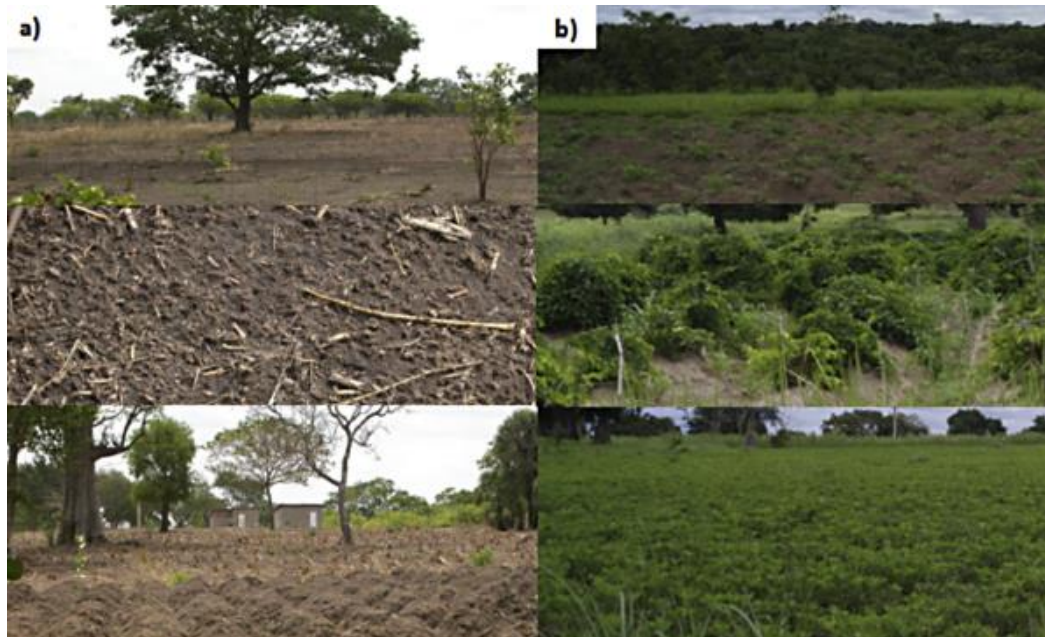
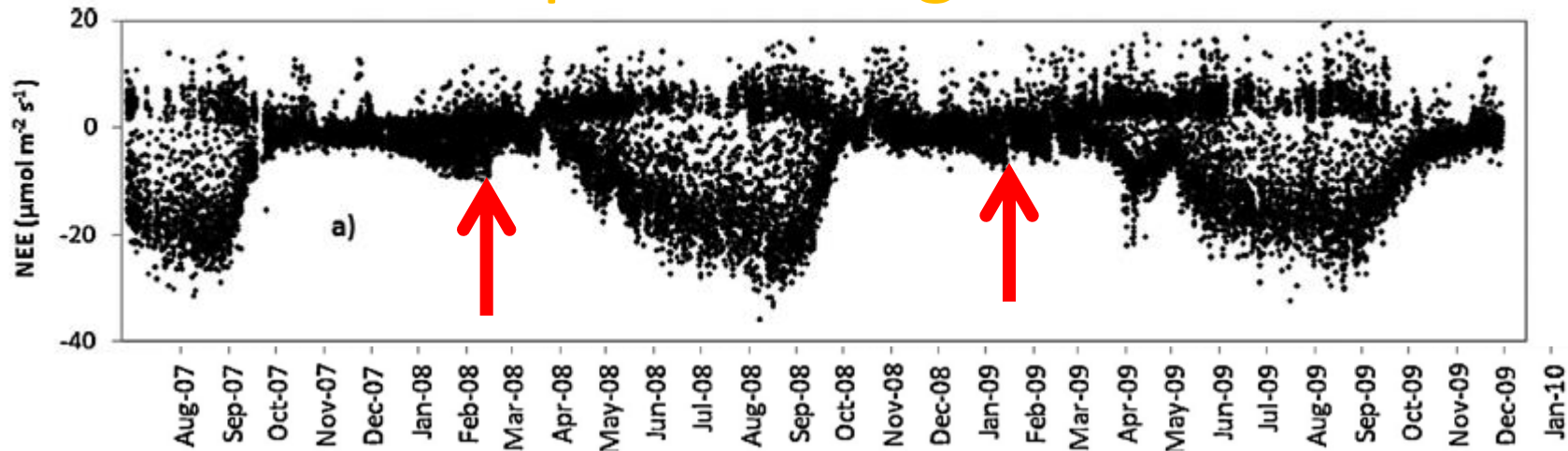


Carbon dioxide  
(Ago et al., 2016a)

**Aucune influence claire de la MAP et MAT → →**

**Suggère le contrôle de NEE par d'autres facteurs : Type de végétation, Anthropisation, Mode de gestion?**

# Impact de la gestion



Carbon dioxide  
Savanna  
(Ago et al., 2014)

Récolte Igname/Manioc



Réduction **NEE**

# Eddy-covariance : principes/avantages

Etendre aux Mangroves

Résolution temporelle : 1/2 heure

Etude de la physiologie des écosystèmes

Mécanismes responsables des variabilités

Intégration de tous les échanges / Bilan

Représentativité spatiale : 1 ha

Durée : ..... (> 20 ans)

Traceurs, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, COV, O<sub>3</sub>, ...

**Merci pour votre attention**

**[ago.expedit@gmail.com](mailto:ago.expedit@gmail.com)**

# Mise en place du dispositif de suivi de biomasse & valorisation des gains carbone issus de la conservation des mangroves



Dans le cadre du **Projet de Restauration et de Conservation de l'Ecosystème Mangrove** dans la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum (PRECEMA)

**Université de Lomé, Togo**

20 février 2019

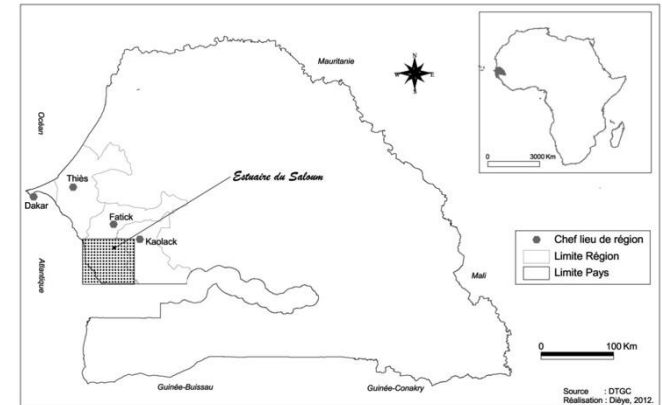
**Damien KUHN, Kinomé**

# Contexte

**PRECEMA** : Projet de Restauration et de Conservation de l'Ecosystème Mangrove dans la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum (2013 – 2015)

**Delta du Saloum, Sénégal**

**Objectif** : Atténuer la vulnérabilité de la mangrove et des populations face aux changements climatiques



## 3 composantes:

- La restauration des mangroves
- La gestion participative des mangroves
- La valorisation des produits et services des mangroves.



**Mangrove plus productive, stocke du carbone**



# Questions

---

- Quelle est la contribution du PRECEMA sur **l'atténuation des changements climatiques (mesure et suivi des stocks de carbone )** ?
- Comment valoriser ces stocks de carbone pour **mobiliser des financements complémentaires** ?



# Objectif



## Développer un modèle de quantification carbone simple...

Adaptée aux données disponibles

- Inventaire forestier
- Littérature scientifique

Adaptée à la certification carbone

- Quantité de carbone **certifiable** et non réelle

**... afin de fournir des recommandations sur une potentielle stratégie de financement carbone**

## Méthodologie CCNUCC pour les projets MDP

- Principe de conservation
- Principe d'additionnalité

$$\Delta C_{E,t} = \Delta C_{PRECEMA,t} - \Delta C_{BSL,t}$$

# Méthode

---

## Délimitation et caractérisation de la zone d'étude

- 5700 ha sous gestion durable
- 300 ha reboisés
- 300 000 plants *d'Avicennia germinans* sur 50 ha
- 1 250 000 plantules de *Rhizophora species* sur 250 ha

## Stratification de la zone d'étude

- Haute et Basse Mangrove

## Identification des sources et puits de carbone

- Biomasse aérienne et souterraine
- Bois mort
- Sols
- Source

$$\Delta C_t = \Delta C_{TREE, ,t} + \Delta C_{DW, ,t} + \Delta C_{SOC, ,t}$$



# Méthode

## Quantification Carbone à t

Estimation de la quantité de carbone des arbres

- Estimation de la quantité de biomasse aérienne: allométrie
- Extrapolation de la quantité de biomasse souterraine

Allométrie:

$$AGB_{Avi,t} = 0,0942 \cdot DBH_{Avi,t}^{2,54}/1000 \quad (\text{Day et al., 1987})$$

$$AGB_{Rhi,t} = 10^{2,685 \cdot \text{LOG}_{10}(DBH_{Rhi,t}) - 0,979} / 1000 \quad (\text{Clough et Scott, 1989})$$

Estimation de la quantité de carbone dans le bois mort et dans les sols (littérature)

## Modélisation de l'évolution de la mangrove sur 30 ans

Estimation de l'évolution de la densité (inventaire)

Estimation de l'évolution de la croissance des arbres

Estimation de l'évolution de la croissance des arbres

Equation FORET (Botkin et al., 1972 ; Chen et Twilley, 1998)

$$DBH_{j,t+1} = DBH_{j,t} + \frac{G_j \cdot DBH_{j,t} \cdot (1 - DBH_{j,t} \cdot H_{j,t} / DBH_{max,j} \cdot H_{max,j})}{274 + 3 \cdot a_j \cdot DBH_{j,t} - 4 \cdot b_j \cdot (DBH_{j,t})^2}$$

# Résultats

---

## Quantité de CO2 stocké

- 190 000 tCO2eq stockée sur 30ans
  - 29t/ha sur 30 ans en zone de gestion
  - 87 t/ha sur 30 ans en zone de reboisement
- 6 000 tCO2eq en moyenne /an

## Fiabilité des résultats:

- Données d'inventaire
- Résultats à minima

## Quantité de carbone stocké

- Carbone des arbres >> Carbone des sols > Carbone du bois mort

# Recommandations

---

## **Obtenir des financement carbone?**

- Processus long et complexe pour obtenir des crédits carbone à partir des mangroves (maitrise foncière)
- Marché volontaire (marché obligatoire incertain)
- Coût fixes : 80 000 à 150 000€
- Rentabilité : à partir de 5000 tCO<sub>2</sub>eq pendant 7ans minimum
- Carbone bleu > très valorisable sur le marché car impacts sociaux et environnementaux forts en plus du carbone

## **Améliorer les résultats**

- Refaire une collecte de données (contrôle)
- Elaborer des équations allométriques locales
- Mesurer le carbone des sols
- Réaliser les études conjointement avec les autres porteurs de projets de la zone ?

# Recommandations

---

## Un projet pour nos collectifs d'acteurs ?

- Coordonner/encourager le regroupement d'acteurs pour la certification carbone des projets de reboisement / gestion durable des mangroves dans les 5 deltas
- Mutualiser une équipe technique pour réaliser leur quantification carbone
  - Equipes d'inventaires forestiers
  - Une même méthodologie
  - Faciliter le dépôt des dossiers de certification
- Mutualiser les efforts de communication et de commercialisation des crédits carbone
- Réaliser des études scientifiques pour améliorer les résultats
  - Elaborer des équations allométriques locales
  - Développer une méthodologie de mesure du carbone des sols



**Merci !**  
**Des questions?**





# Evolution de la densité

## Estimation de l'évolution de la densité

Densité initiale :

- Reboisement = nombre de plants et de plantules plantés
- Gestion = inventaire forestier

	Haute Mangrove		Basse Mangrove	
	Rhizo	Avi	Rhizo	Avi
Reboisement	6000	5000	6000	5000
Gestion	379	1407	925	651

Densité finale : 2000 individus par hectare

	Haute Mangrove		Basse Mangrove	
	Rhizo	Avi	Rhizo	Avi
Proportion/ esp	0,78	0,22	0,41	0,59
Densité finale	1576	424	826	1174

(Dé)croissance exponentielle

Scénario BAU : taux de déforestation (2% /an entre 2000 et 2005)

# Evolution de la mangrove

Estimation de l'évolution de la croissance des arbres

Equation FORET (Botkin et al., 1972 ; Chen et Twilley, 1998)

$$DBH_{j,t+1} = DBH_{j,t} + \frac{G_j \cdot DBH_{j,t} \cdot (1 - DBH_{j,t} \cdot H_{j,t} / DBH_{max,j} \cdot H_{max,j})}{274 + 3 \cdot a_j \cdot DBH_{j,t} - 4 \cdot b_j \cdot (DBH_{j,t})^2}$$

Paramètres de croissance Haute Mangrove		
Paramètres	Rh	Avi
G	267	162
DBH <sub>max</sub> (cm)	7	12
DBH <sub>t0,gestion</sub> (cm)	4,29	5,93
DBH <sub>t0,reboisement</sub> (cm)	1	1
H <sub>max</sub> (m)	10	6
H <sub>t0,gestion</sub> (cm)	4,6	4,2
H <sub>t0,reboisement</sub> (cm)	2,1	1,8
b2	77,26	48,04
b3	0,396	0,172

Paramètres de croissance Basse Mangrove		
Paramètres	Rh	Avi
G	267	162
DBH <sub>max</sub> (cm)	<b>6</b>	<b>5</b>
DBH <sub>t0,gestion</sub> (cm)	4,29	5,93
DBH <sub>t0,reboisement</sub> (cm)	1	1
H <sub>max</sub> (m)	5	5
H <sub>t0,gestion</sub> (cm)	4,6	4,2
H <sub>t0,reboisement</sub> (cm)	2,1	1,8
b2	77,26	48,04
b3	0,396	0,172

# Quantification carbone

## Estimation de la quantité de carbone des arbres

$$C_{TREE,t} = 44/12 \cdot FC_{TREE} \cdot B_{TREE,t}$$

## Estimation de la quantité de biomasse des arbres

$$B_{TREE,t} = b_{TREE\_HM,t} \cdot Surface_{Proj} \cdot \%HM + b_{TREE\_BM,t} \cdot Surface_{Proj} \cdot \%BM$$

$$b_{TREE,HM/BM,t} = \sum AGB_{j,t} \cdot densité_{j,t} \cdot (1 + R_{j,t}) * 0,5$$

$$R_{j,t} = e^{(-1,085 + (0,9256 * \ln(AGB_j \cdot densité_j))} / (AGB_{j,t} \cdot densité_{j,t})$$

## Allométrie:

$$AGB_{Avi,t} = 0,0942 \cdot DBH_{Avi,t}^{2,54} / 1000 \quad (\text{Day et al., 1987})$$

$$AGB_{Rhi,t} = 10^{2,685} \cdot \text{LOG}_{10}(DBH_{Rhi,t})^{-0,979} / 1000 \quad (\text{Clough et Scott, 1989})$$

# Quantification carbone

## Estimation de la quantité de carbone dans le bois mort

$$C_{DW,t} = C_{TREE,t} * DF$$

- $DF = 1\%$

## Estimation de la quantité de carbone dans les sols

$$\Delta C_{SOC,t} = 44/12 * Surface_{Proj} * dSOC_t$$

- $dSOC_t = 0,5 \text{ tC/ha/an pour } t < t20$
- $dSOC_t = 0 \text{ tC/ha/an pour } t > t20$

### 1°/ Modélisation de la densité

- Densité initiale /esp/strate /scénario
- Densité finale /esp/strate/scénario
- Equation décroissante exponentielle

Pour chacun des 3 scénarios

### 2°/ Evolution de DBH et H

DBH et H initial moyen /esp/strate  
Equation Forêt + paramètre de croissance

### 3°/ Biomasse des arbres

AGB /ha/esp/strate  
R /ha/esp/strate  
barbres /ha/esp/strate

### 4°/ Carbone par pool

barbres /strate  
Barbres  
CO2 ARBRES  
CO2 BOIS MORT  
CO2 SOL

### 4°/ Stock de carbone

Δ CO2 ARBRES  
Δ CO2 BOIS MORT  
Δ CO2 SOL  
Δ CO2 TOTAL

Années	Reboisement				Gestion, Scénario « PRECEMA »				Gestion, scénario de référence			
	Haute mangrove		Basse Mangrove		Haute Mangrove		Basse Mangrove		Haute mangrove		Basse Mangrove	
	Avi	Rhizo	Avi	Rhizo	Avi	Rhizo	Avi	Rhizo	Avi	Rhizo	Avi	Rhizo
0	0	0	0	0	379	1407	925	651	379	1407	925	651
1	6000	5000	6000	5000	388	1439	970	683	379	1407	925	651
2	2080	3150	3124	2433	397	1472	1017	716	371	1379	907	638
3	1224	2501	2254	1698	406	1506	1067	751	364	1351	888	625
4	721	1985	1627	1184	415	1540	1119	788	357	1324	871	613
5	424	1576	1174	826	424	1576	1174	826	350	1298	853	600

REBOISEMENT											
Temps Temps	HAUTE MANGROVE						BASSE M...				
	Rhizophora spp			Avicennia spp			Rhizophora spp			Avi...	
	densité	H <sub>rhizo, HM, t</sub>	DBH <sub>rhizo, HM, t</sub>	densité	H <sub>avi, HM, t</sub>	DBH <sub>avi, HM, t</sub>	...	...	...	...	...
Année	Idv/ha	m	cm	Idv/ha	m	cm	...	...	...	...	...
0	0	0	0	0	0	0	...	...	...	...	...
1	5000	2,1	1,0	6000	1,8	1,0	...	...	...	...	...

REBOISEMENT							
Temps	HAUTE MANGROVE						
	Rhizophora spp						Avi ...
	Densité <sub>rhizo, BM, t</sub>	H <sub>rhizo, BM, t</sub>	DBH <sub>rhizo, BM, t</sub>	AGB/ha <sub>rhizo, BM, t</sub>	R <sub>i, t</sub>	b <sub>arbres, Rhizo, BM, t</sub>	...
Année	Idv/ha	m	cm	tdm/ha	/	tdm/ha	...
0	0	0	0	0,0	0,00	0,00	...
1	5000	2,1	1,0	0,5	0,35	0,36	...
2	2422	2,5	1,5	0,7	0,35	0,50	...

Temps	b <sub>arbres, HM, t</sub>	b <sub>arbres, BM, t</sub>	B <sub>arbres, t</sub>	CO <sub>2</sub> ARBRES, t	CO <sub>2</sub> BOIS MORT, t	dSOC <sub>t</sub>	3	2	2	1	1	0	0
	tdm/ha	tdm/ha	tdm	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>							
Année	tdm/ha	tdm/ha	tdm	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	0,82	1,12	1,31	1,93	2,58	3,18	...
0	0	0	0	0	0	0							
1	0,74	0,74	230	397	4	0,5							
2	0,97	0,94	297	512	5	0,5							
3	1,68	1,44	483	832	8	0,5							
4	2,58	1,91	692	1 192	12	0,5							
5													
6													
7													
Année du projet	Biomasse des arbres			Bois mort		Sol		Total					
	stocks annuels ΔCO <sub>2</sub> ARBRES, t	Stocks cumulatifs	stocks annuels ΔCO <sub>2</sub> BOIS MORT, t	Stocks cumulatifs	stocks annuels ΔCO <sub>2</sub> SOL, t	Stocks cumulatifs	stocks annuels ΔCO <sub>2</sub> t	Stocks cumulatifs					
Années	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>	teqCO <sub>2</sub>					
2003	397	397	4	4	550	550	951	951					
2004	116	512	1	5	550	1100	667	1 617					
2005	320	832	3	8	550	1650	873	2 490					
2006	360	1 192	4	12	550	2200	913	3 404					
2007	333	1 525	3	15	550	2750	886	4 290					
2008	848	2 373	8	24	550	3300	1 406	5 696					
2009	1 016	3 388	10	34	550	3850	1 576	7 272					
2010	1 127	4 515	11	45	550	4400	1 688	8 960					
2011	1 175	5 691	12	57	550	4950	1 737	10 697					
2012	1 167	6 858	12	69	550	5500	1 729	12 426					
2013	1 114	7 972	11	80	550	6050	1 675	14 101					

## 5°/ Gains Carbone du projet PRECEMA

- $\Delta CO_2$  TOTAL EN ZONE DE GESTION "PRECEMA"
- $\Delta CO_2$  TOTAL EN ZONE DE GESTION "BAU"
- $\Delta CO_2$  TOTAL EN ZONE DE GESTION GRACE A PRECEMA
- $\Delta CO_2$  TOTAL EN ZONE DE REBOISEMENT
- $\Delta CO_2$  TOTAL DU PROJET

GESTION				
Année du projet	Scénario de Référence	Scénario PRECEMA	Leakages	Stockage net du à la gestion
<i>Années</i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>
2003	20 751	22 913	-	2 162
2004	17 208	23 114	-	5 906
2005	17 118	24 905	-	7 787
2006	16 189	25 792	-	9 604
2007	14 625	25 818	-	11 193
2008	12 663	22 008	-	9 345
2009	10 525	17 521	-	6 996
2010	8 390	15 375	-	6 985
2011	6 381	13 253	-	6 872

REBOISEMENT				
Année du projet	Scénario de Référence	Scénario PRECEMA	Leakages	Stockage net du au reboisement
<i>Années</i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>	<i>teqCO<sub>2</sub></i>
2003	-	951	-	951
2004	-	667	-	667
2005	-	873	-	873
2006	-	913	-	913
2007	-	886	-	886
2008	-	1 406	-	1 406
2009	-	1 576	-	1 576
2010	-	1 688	-	1 688
2011	-	1 737	-	1 737

TOTAL
Stockage net du au projet PRECEMA
<i>teqCO<sub>2</sub></i>
3 113
6 573
8 660
10 517
12 080
10 752
8 571
8 673
8 600