

Les régions tropicales sont très vulnérables au changement climatique

Le changement climatique aura - et a déjà - des conséquences très fortes dans les régions intertropicales parce que là-bas il fait déjà très chaud et qu'il fera encore plus chaud. Mais aussi parce que on y manque d'eau et qu'il y en aura encore moins; et que si on a moins d'eau et qu'il fait plus chaud c'est plus difficile de cultiver et que l'insécurité alimentaire pourrait augmenter. La croissance démographique est forte, plus de gens vont être affectés et ils vont tous partir vers l'Europe, ce qui va exacerber la montée des nationalismes populistes.

FIN



Enjeux du changement climatique pour la zone intertropicale



Enjeux scientifiques et enjeux sociétaux

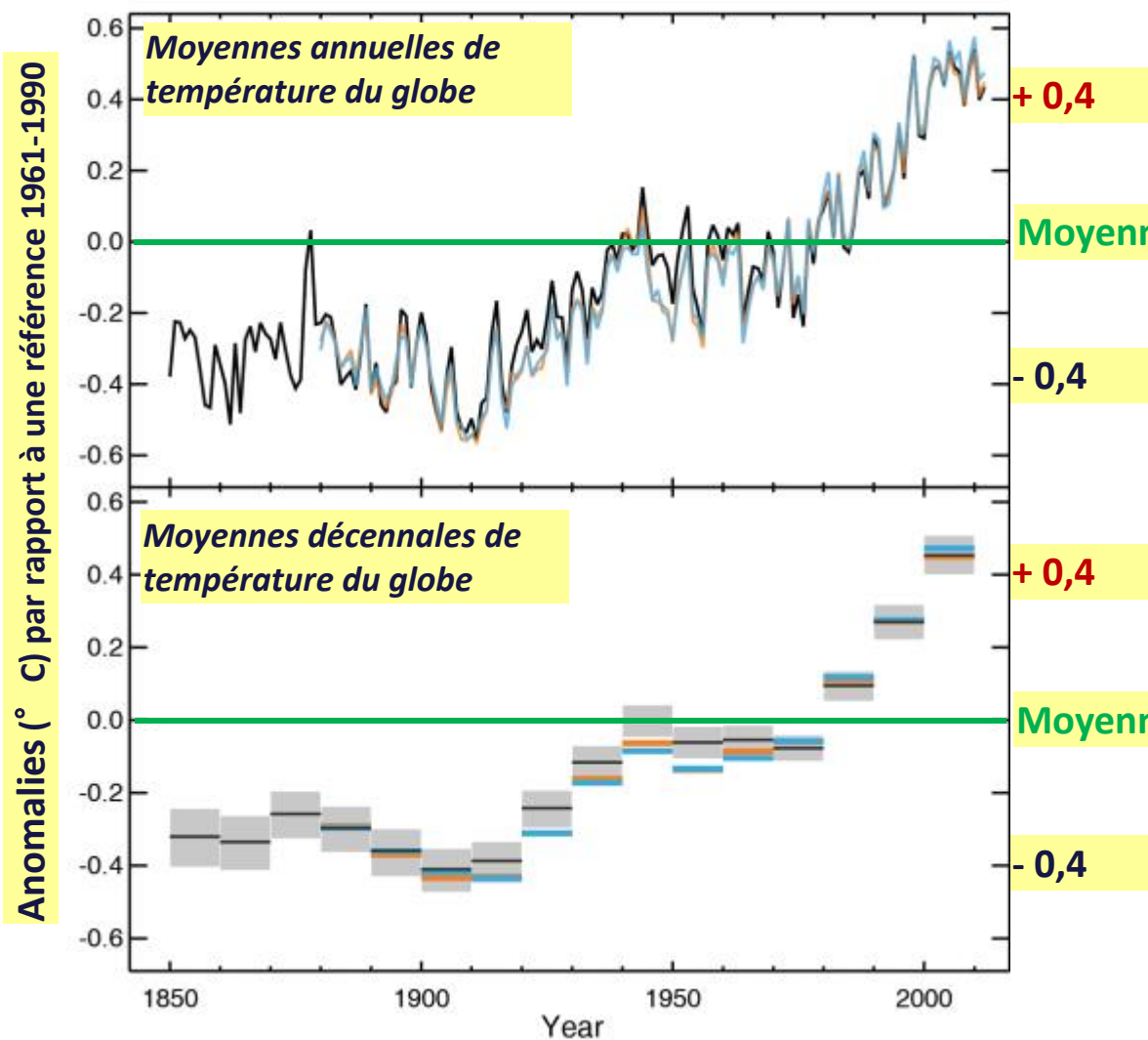
1. Pour comprendre la problématique des impacts dans une région spécifique, il faut avoir en tête les principaux mécanismes à l'œuvre sur la région en question.

2. La zone intertropicale est emblématique de la continuité de questionnement CC <--> CG

- Usage des terres et végétation
- Dynamiques sociétales
 - Local versus global
 - Connaissances académiques versus capacité d'action

- ✓ Un système physique particulier (climats de mousson notamment)
- ✓ Végétation, cycle de l'eau: rétroactions régionales / réchauffement global
- ✓ Des sociétés en pleine mutation confrontées à une pauvreté endémique et aux défis de la globalisation: plus vulnérables ?
- ✓ Nécessité d'une vision globale et d'approfondir le lien entre questionnement scientifique et enjeux sociétaux

Un réchauffement global ...

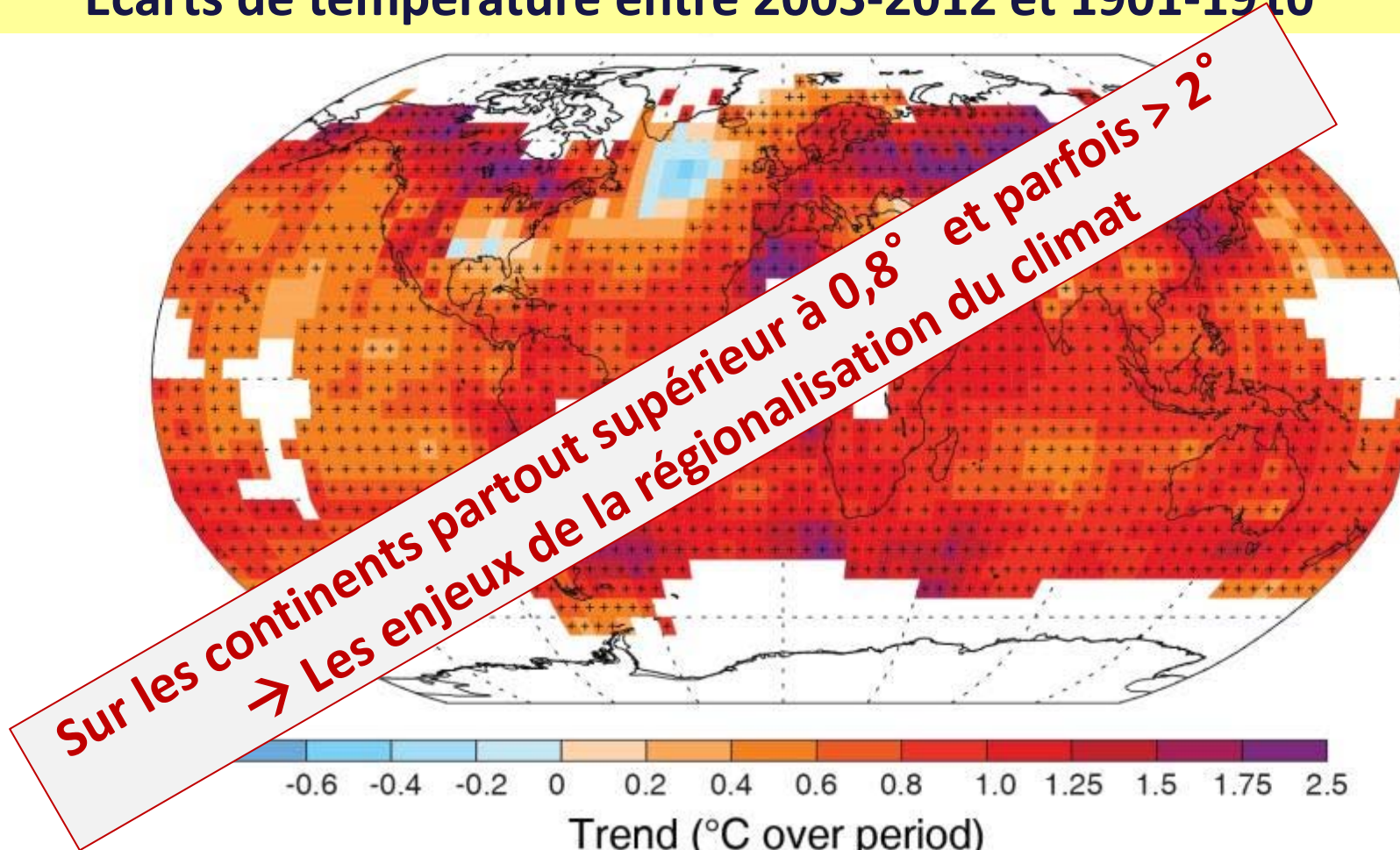


Hormis 1998, toutes les années les plus chaudes se situent au 21^{ème} siècle. 2014 a été l'année la plus chaude jamais enregistrée, puis 2015 (+1° pour la première fois) et encore 2016 (+1,15° en lien avec un fort Niño).

+0,85° 1900-1993
(+ 1° en 2015)

... mais avec de fortes disparités

Ecart de température entre 2003-2012 et 1901-1910

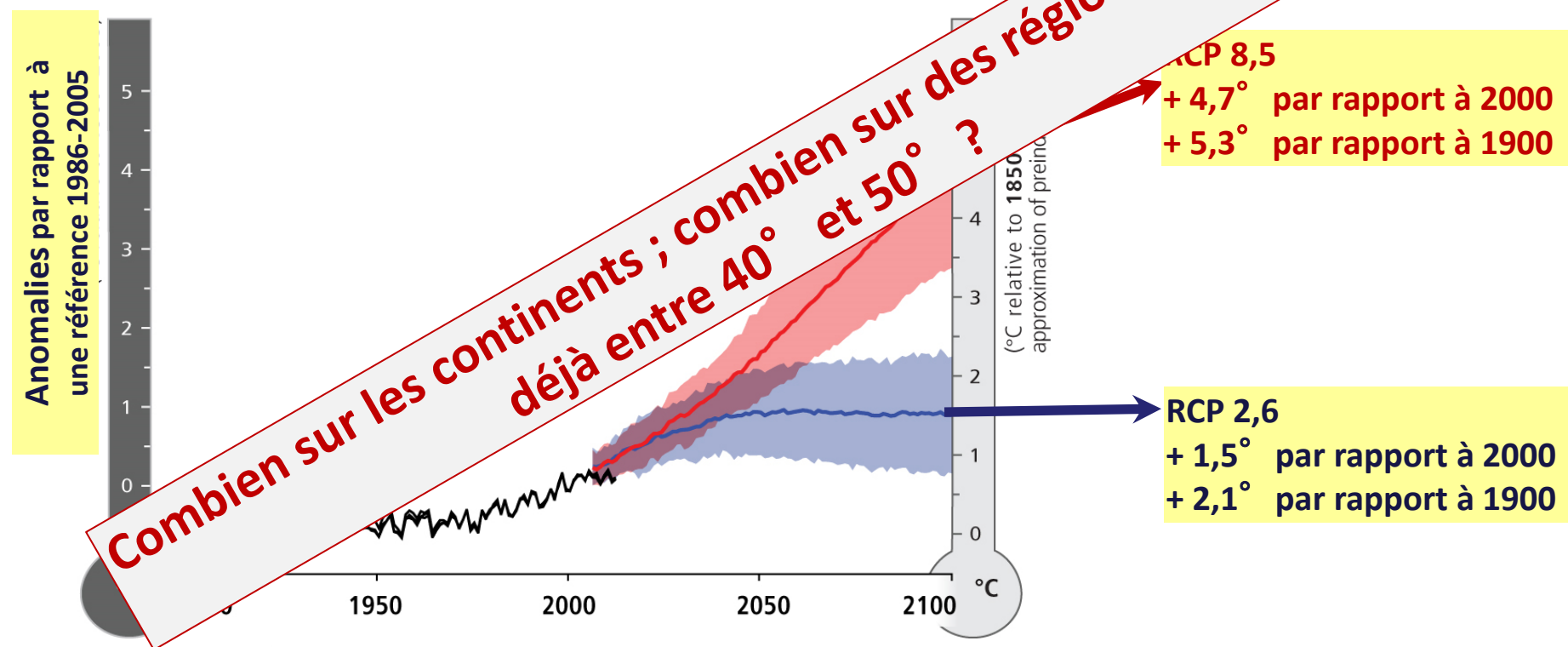


Et pour le futur : les scénarios

Changement de paradigme suite à l'échec de Copenhague

Scénarios guidés par le point d'arrivée, exprimé en forçage radiatif supplémentaire:

2,6 w/m²; 4,5; 6,0; 8,5. Chacun de ces scénarios peut correspondre à différentes combinaisons de mix énergétique et de stratégies d'adaptation/





Le système physique

Illustration: la Mousson d'Afrique de l'Ouest



La zone intertropicale: enjeux climatiques

Le rôle des tropiques dans l'équilibre climatique de la planète

Source chaude du climat planétaire: redistribuer l'énergie vers les latitudes moyennes

La spécificité des climats de mousson

Des gradients d'énergie statique humide et interactions avec la biosphère

Des questions communes mais aussi des différences entre continents

Andes, Sahara, Himalaya

Les modèles à la peine

La question cruciale des précipitations

Intensification du cycle de l'eau

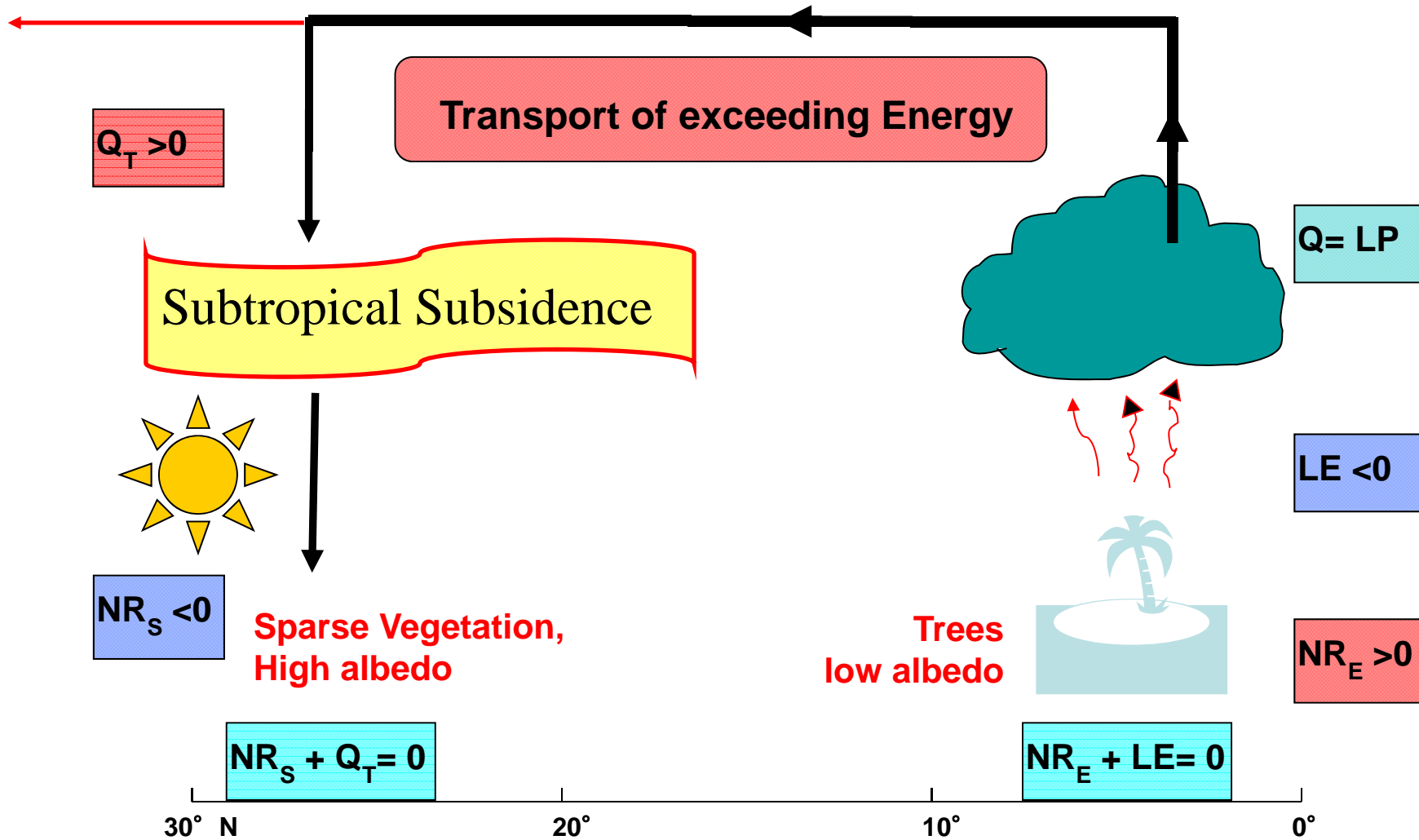
Ruissellement, inondations, sécheresses

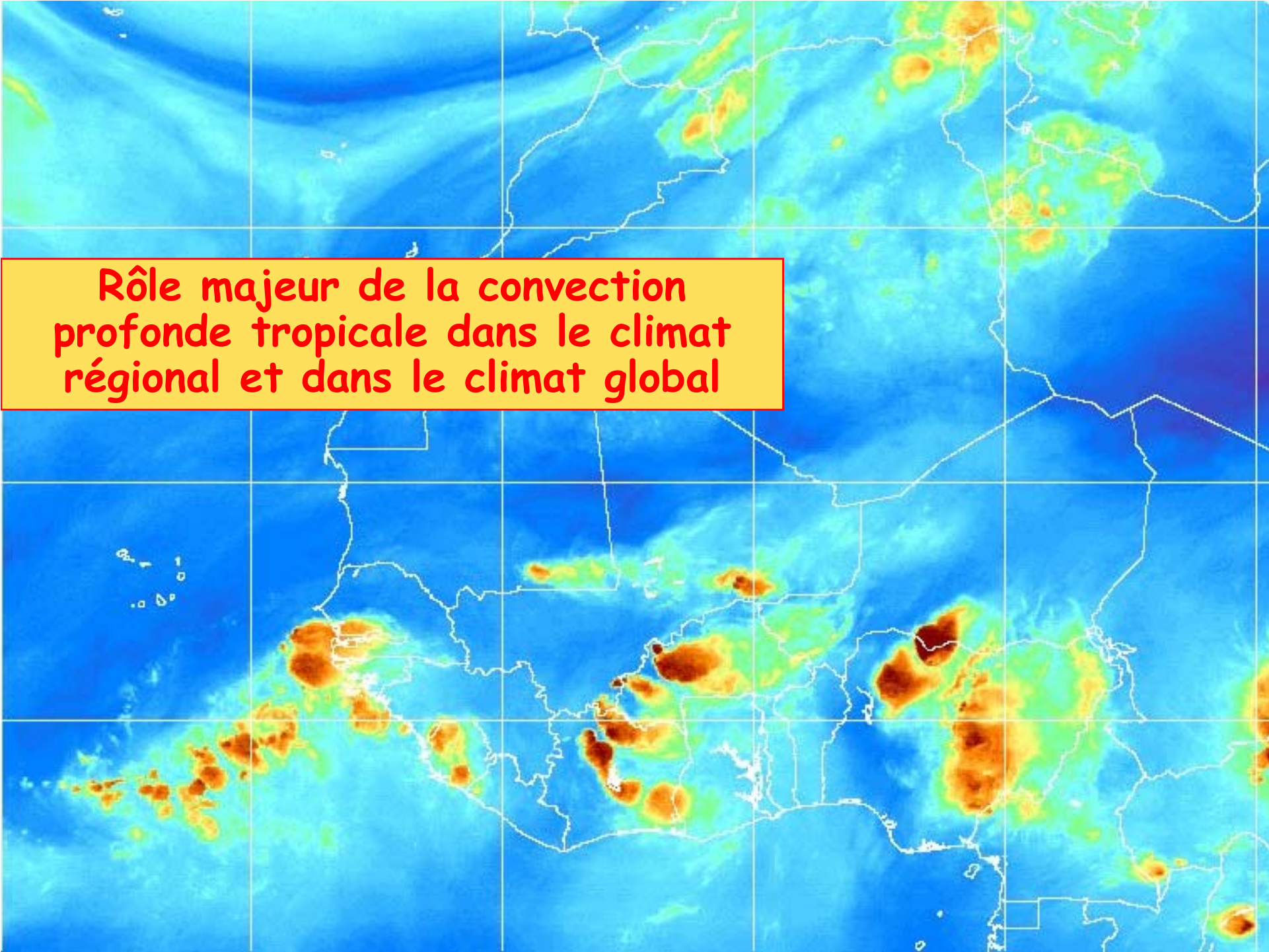
La question clef de l'attribution (Voir atelier cette am)



La circulation atmosphérique tropicale.

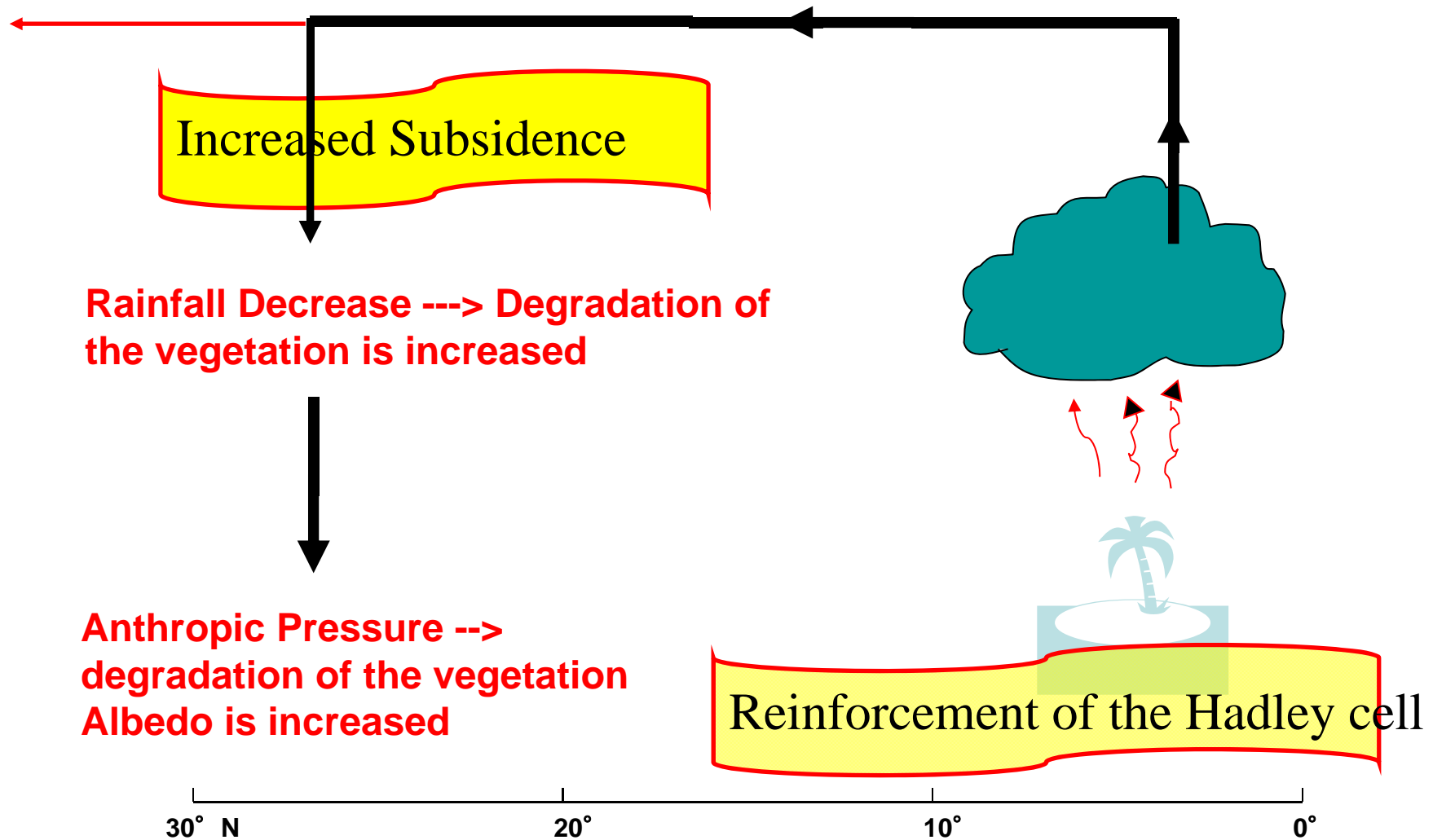
Rééquilibrer le bilan énergétique entre basses et hautes latitudes





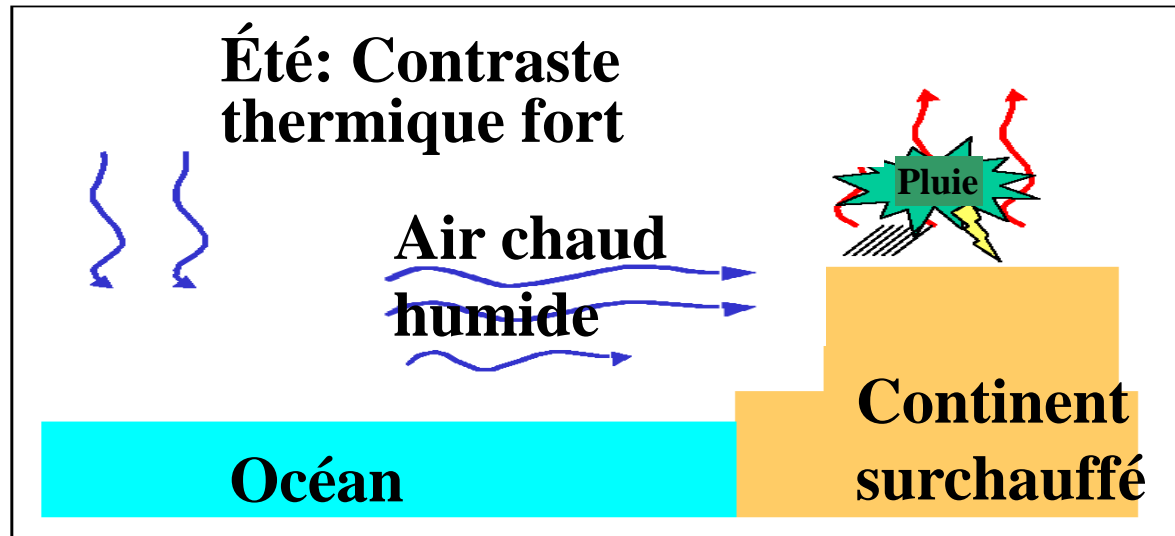
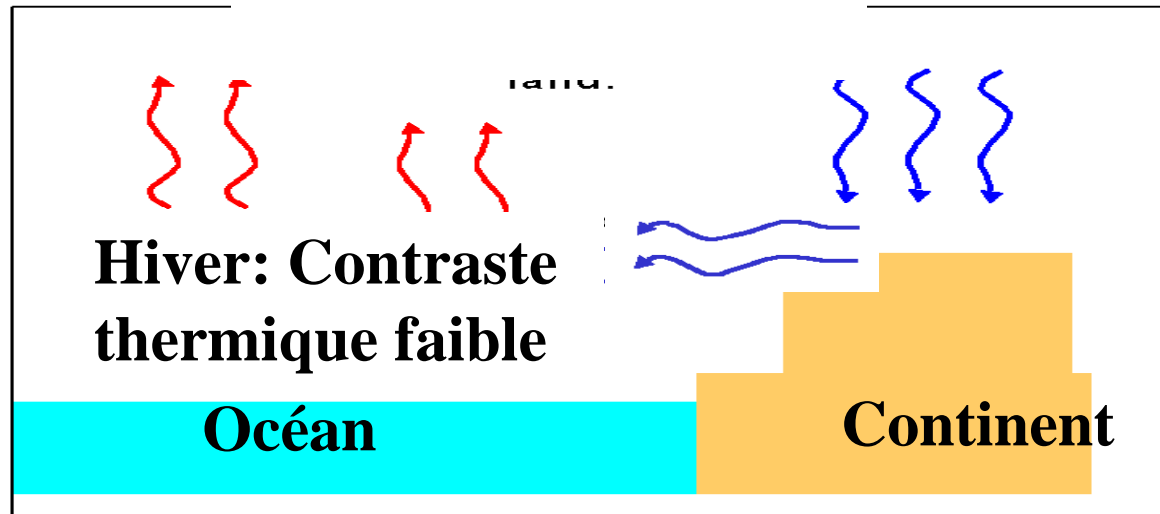
**Rôle majeur de la convection
profonde tropicale dans le climat
régional et dans le climat global**

Charney (1975): une première incursion dans le monde des rétro-actions

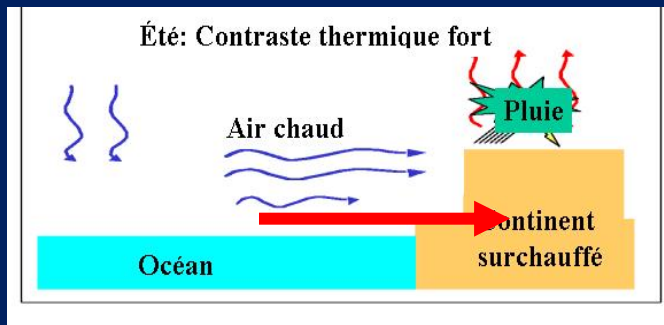


Les climats de mousson

Mousson ~
Réponse
saisonnnière aux
contrastes
Océan-Continent
dans les
tropiques avec
déviatiion aux
alentours de
l'Equateur
(inversion de la
force de
Coriolis)



Mousson d'Afrique de l'Ouest

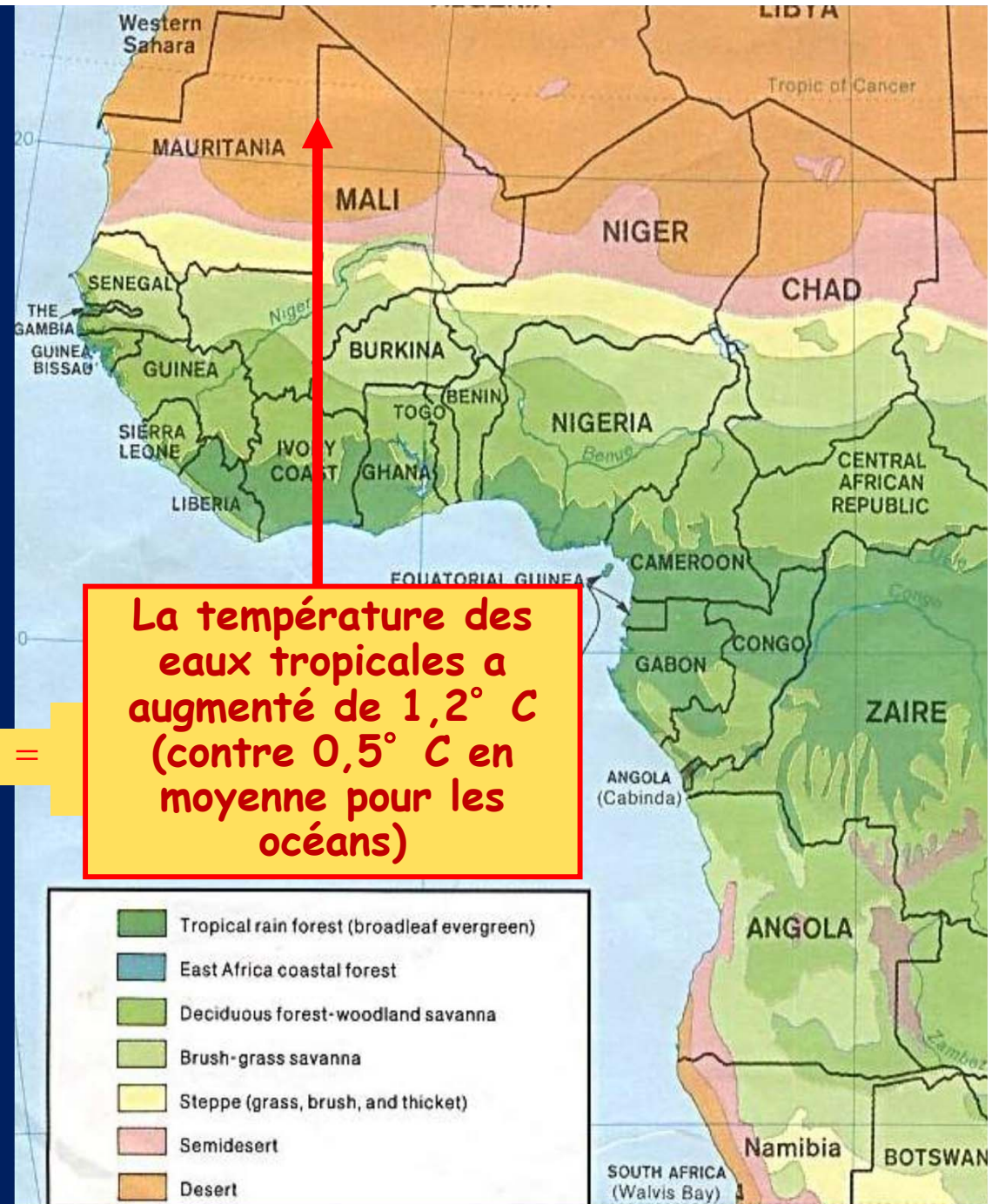


Contrastes terre/océan
(Gradients méridiens)

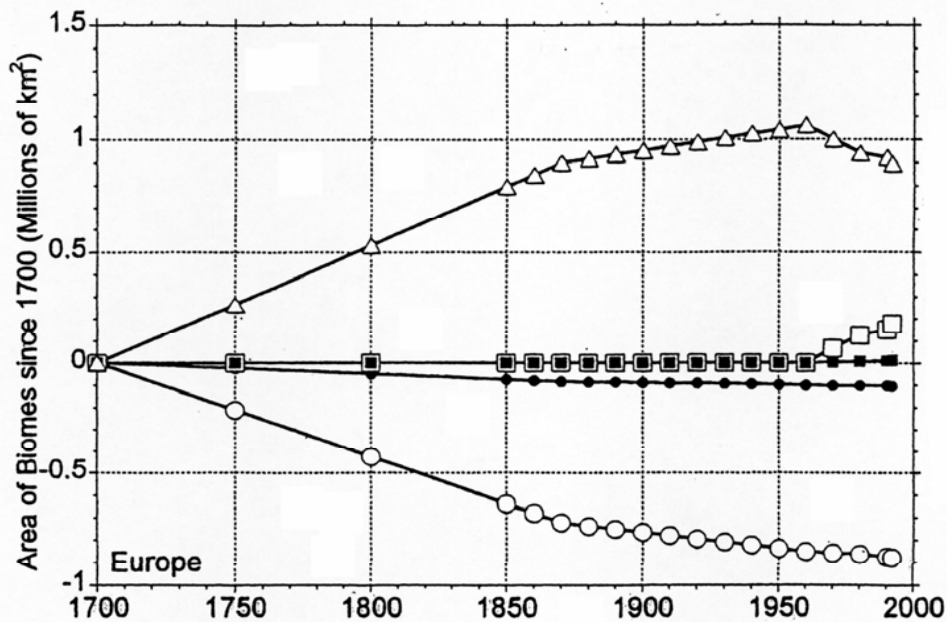
=

La température des
eaux tropicales a
augmenté de $1,2^{\circ}\text{C}$
(contre $0,5^{\circ}\text{C}$ en
moyenne pour les
océans)

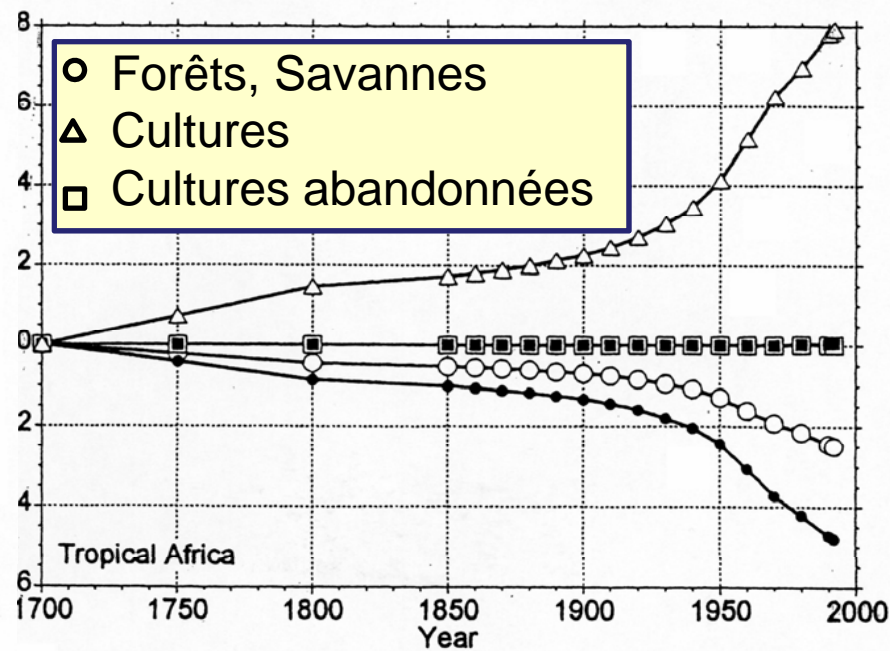
Changement conditions
de surface \rightarrow
changement dynamique
de la mousson



Changements des surfaces continentales



Europe



Afrique de l'Ouest

Moteur de la mousson: gradients d'énergie statique humide dans la couche de mousson

Baisse de l'énergie statique humide aux limites du domaine
(Sahara, Andes, Himalaya)

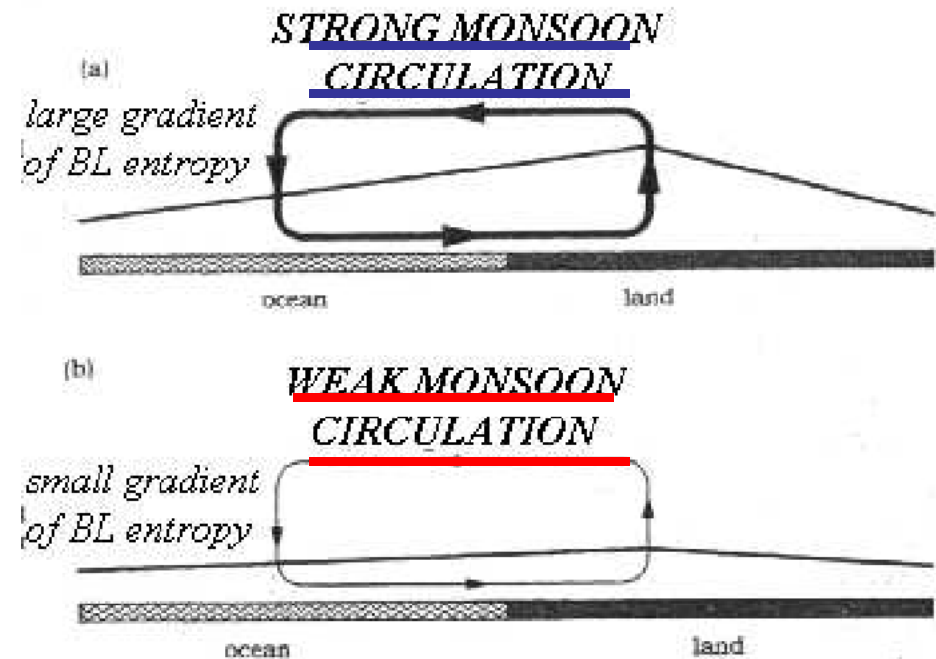
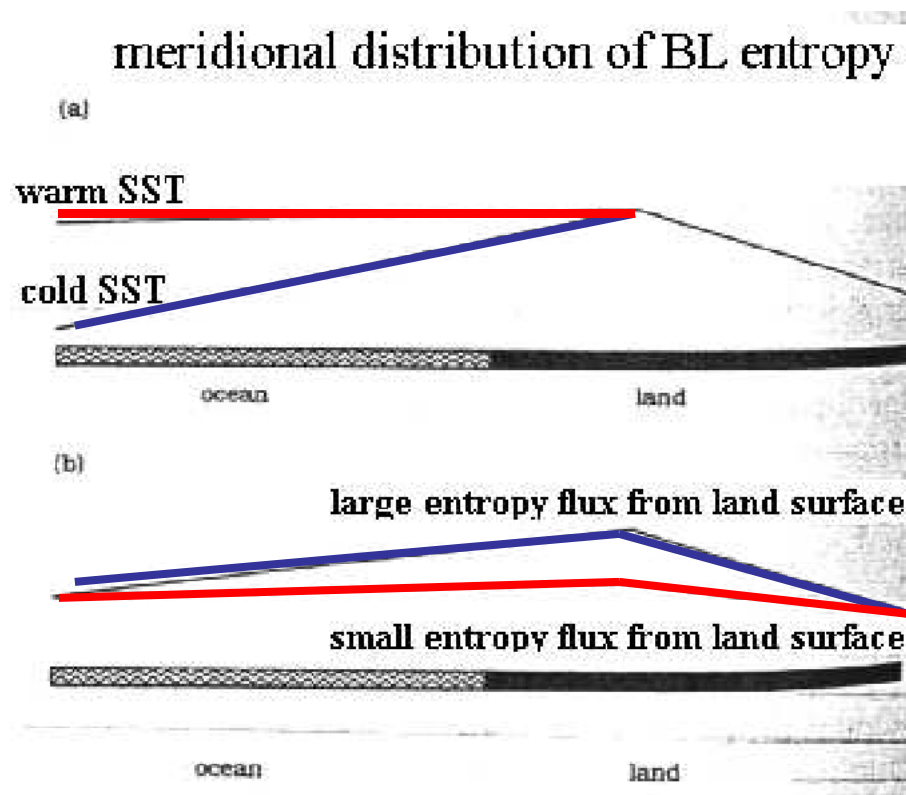


FIG. 9. A schematic of the proposed land-atmosphere-ocean interaction in West Africa.

L'eau facteur essentiel du climat

2 éléments majeurs pour la machine climatique

- La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre
- La chaleur latente est un facteur essentiel des climats de mousson
- Le cycle de l'eau redistribue l'énergie à la surface du globe:
 - **Par le biais de la circulation océanique**
 - **À travers la convection tropicale et la circulation atmosphérique**

Quelques questions clefs: articulation Global/Régional

- La grande sécheresse des années 1970-2000 préfigure-t-elle une modification durable du climat de la région ?
- Part des facteurs régionaux (changements végétation) versus globaux (SST)
- Quelle évolution fin de 21^{ème} Siècle, si la température de l'océan continue à augmenter et la végétation à se dégrader ?

➤ Que nous disent les modèles sur le sujet ?



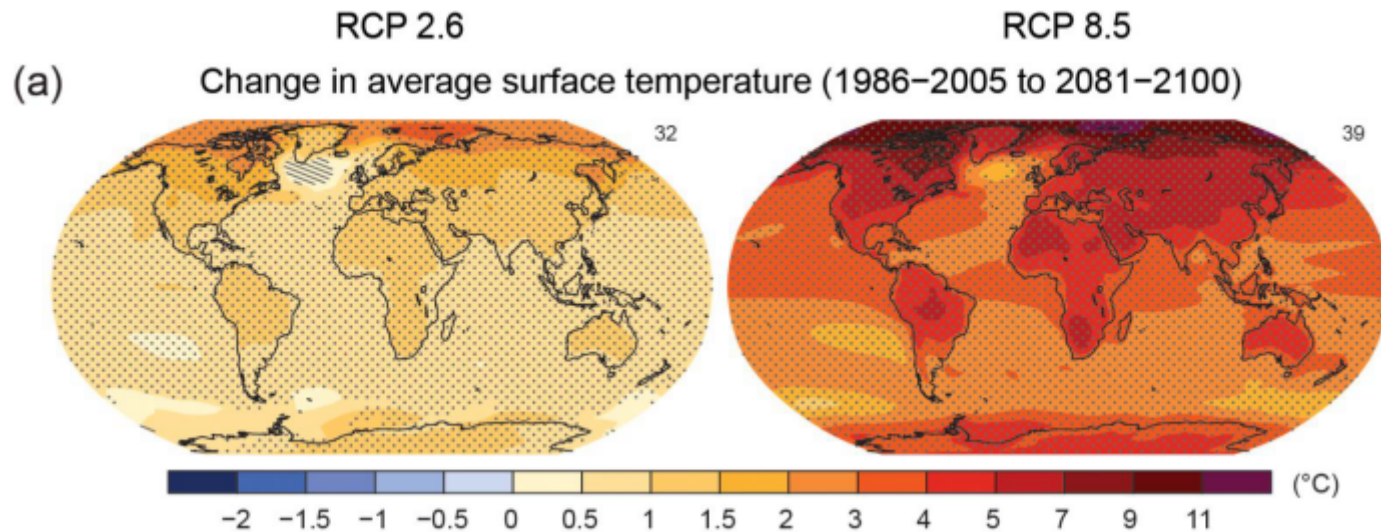
COP21 Grenoble-Alpes



ipcc
climate change

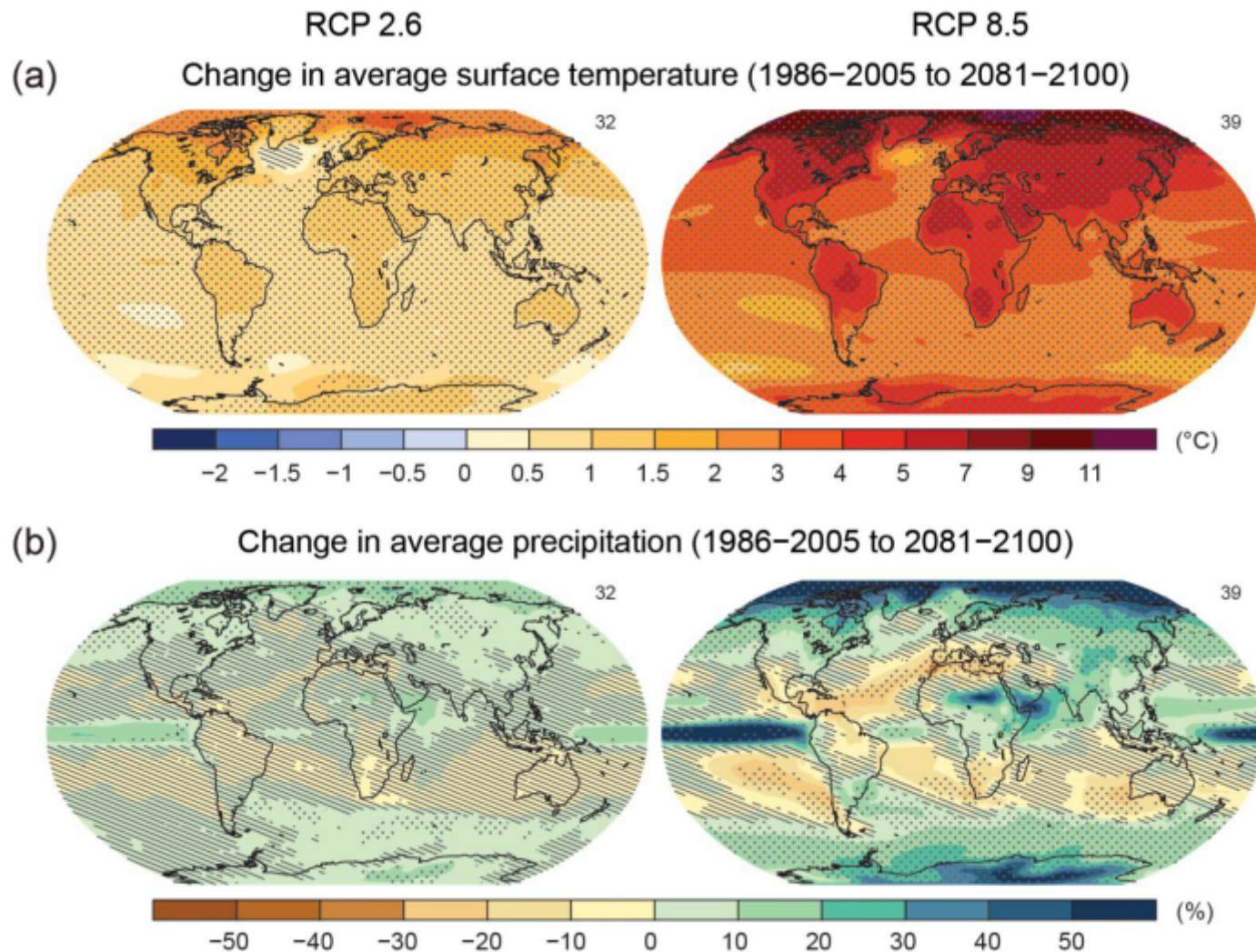


Températures: détection + aisée & impacts critiques



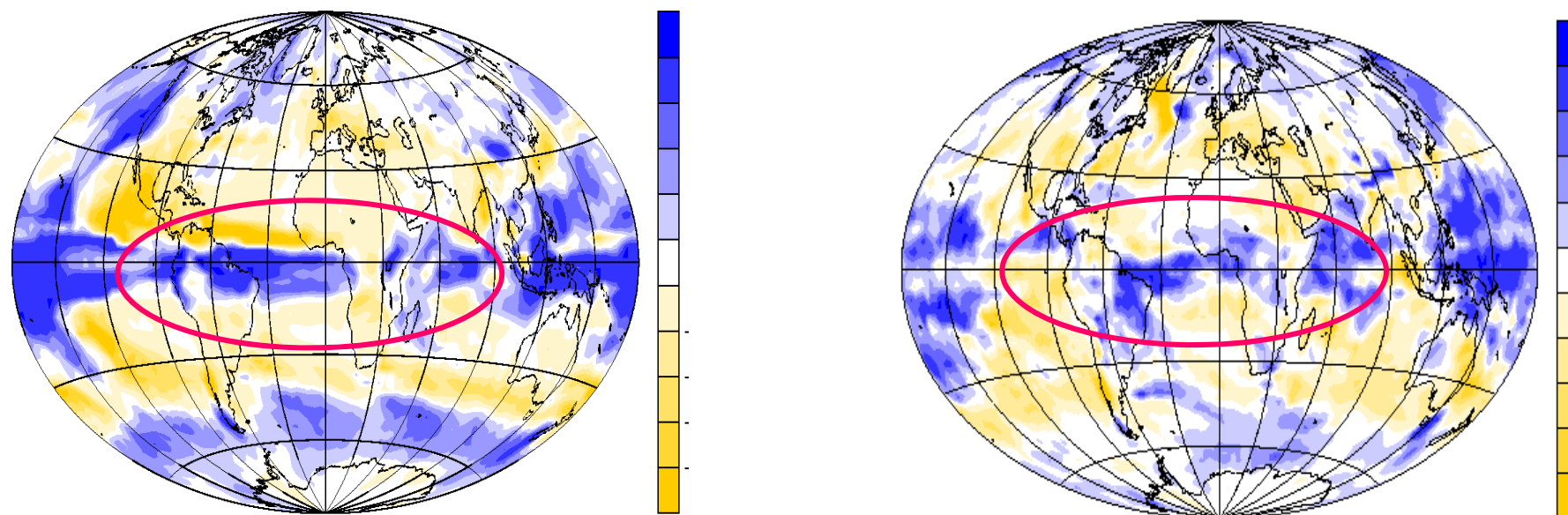
- Le climat intertropical: variabilité interannuelle des températures plus faible qu'aux latitudes moyennes, donc on a un meilleur rapport signal/bruit pour détecter des tendances sur les moyennes annuelles
- L'impact des hausses températures sera fortement ressenti (plus qu'ailleurs ?)
 - **Le nombre de personnes touchées croît rapidement (diagnostic par l'impact)**
 - **Certaines régions sont déjà proches de l'inhabitabilité**

Ça se complique un peu pour les précipitations ...



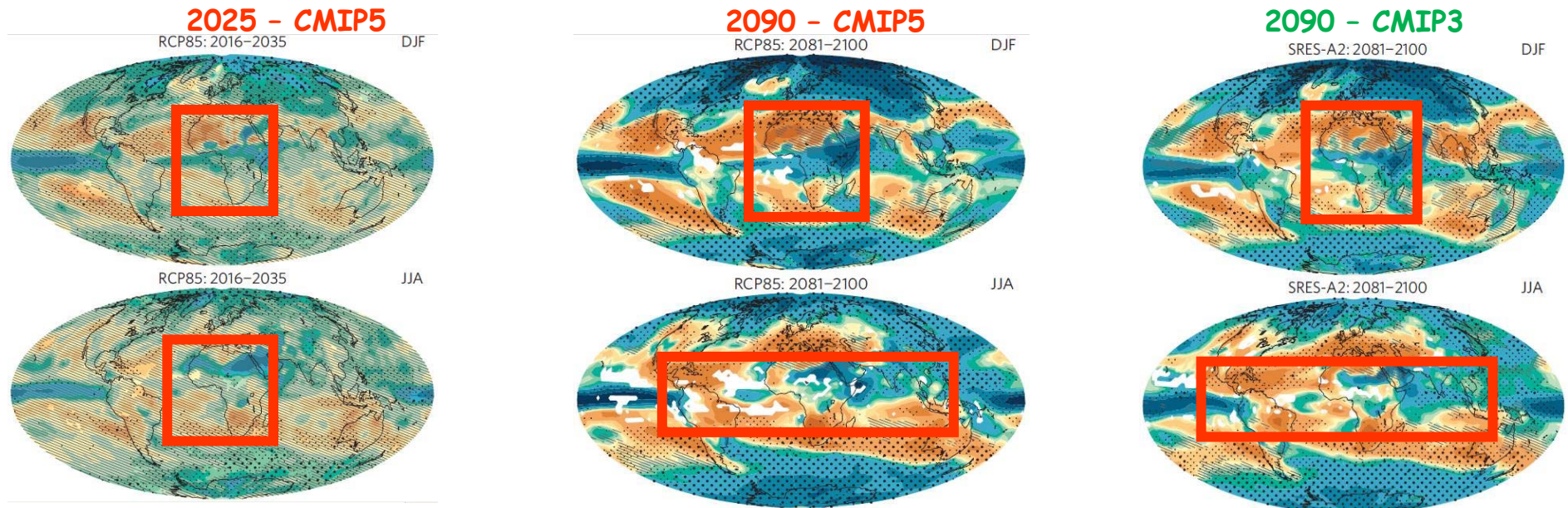
Les modèles en difficulté

Différence pluie 2090:2099 – 2000:2009

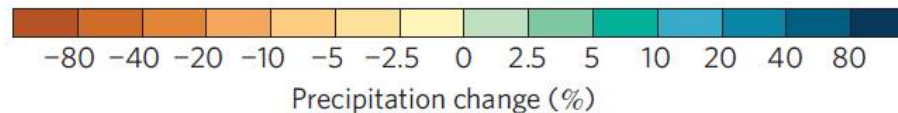


Les modèles de climat représentent mal les climats de mousson en général et notamment leur composante pluviométrique

Precip. : Incertitudes persistantes



Patterns of precipitation change relative to 1986–2005



- Points - Robuste
- Hachures- Non Significatif
- Blanc- Inconsistant

Sous les tropiques

1. Limite d'habitabilité face à une hausse certaine des températures
2. Difficulté à définir des politiques d'adaptation du fait d'un signal confus sur les précipitations

Détection et attribution

Le rôle des tropiques dans l'équilibre climatique de la planète

La spécificité des climats de mousson

Des gradients d'énergie statique humide extrêmement forts

Les modèles à la peine

L'importance du cycle de l'eau dans la machine climatique

Andes, Sahara, Himalaya

Intensification du cycle de l'eau (voir atelier # 1 cette am)

Ruissellement, inondations, sécheresses

La question clef de l'attribution

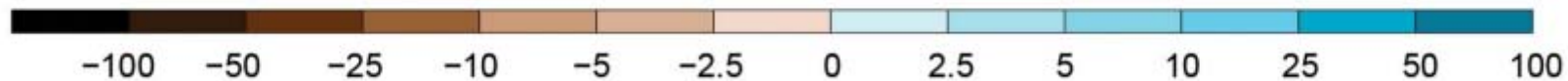
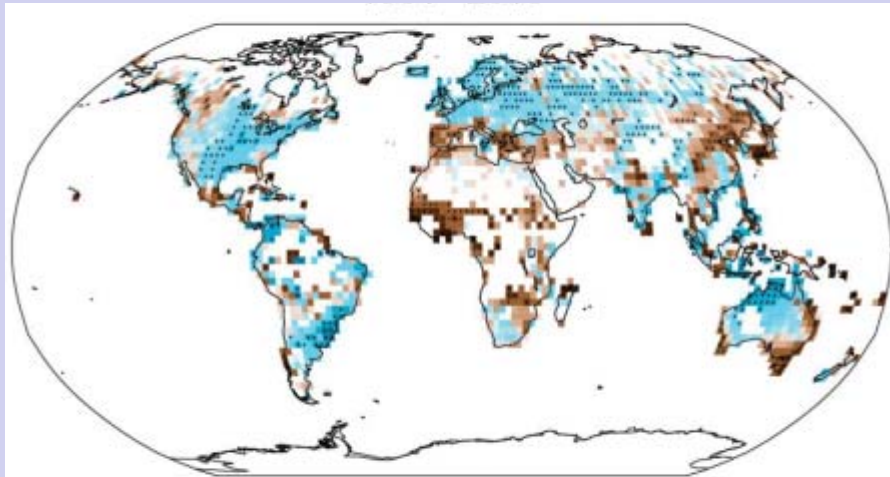
L'eau facteur essentiel de la vie terrestre

2 effets de la hausse des températures :

- Changements dans la circulation atmosphérique → sècheresses
- Plus chaud, plus d'humidité dans l'air → potentiel pour pluies plus violentes

= un climat plus extrême:
des périodes sans pluie plus longues mais
des pluies plus intenses quand elles se
produisent

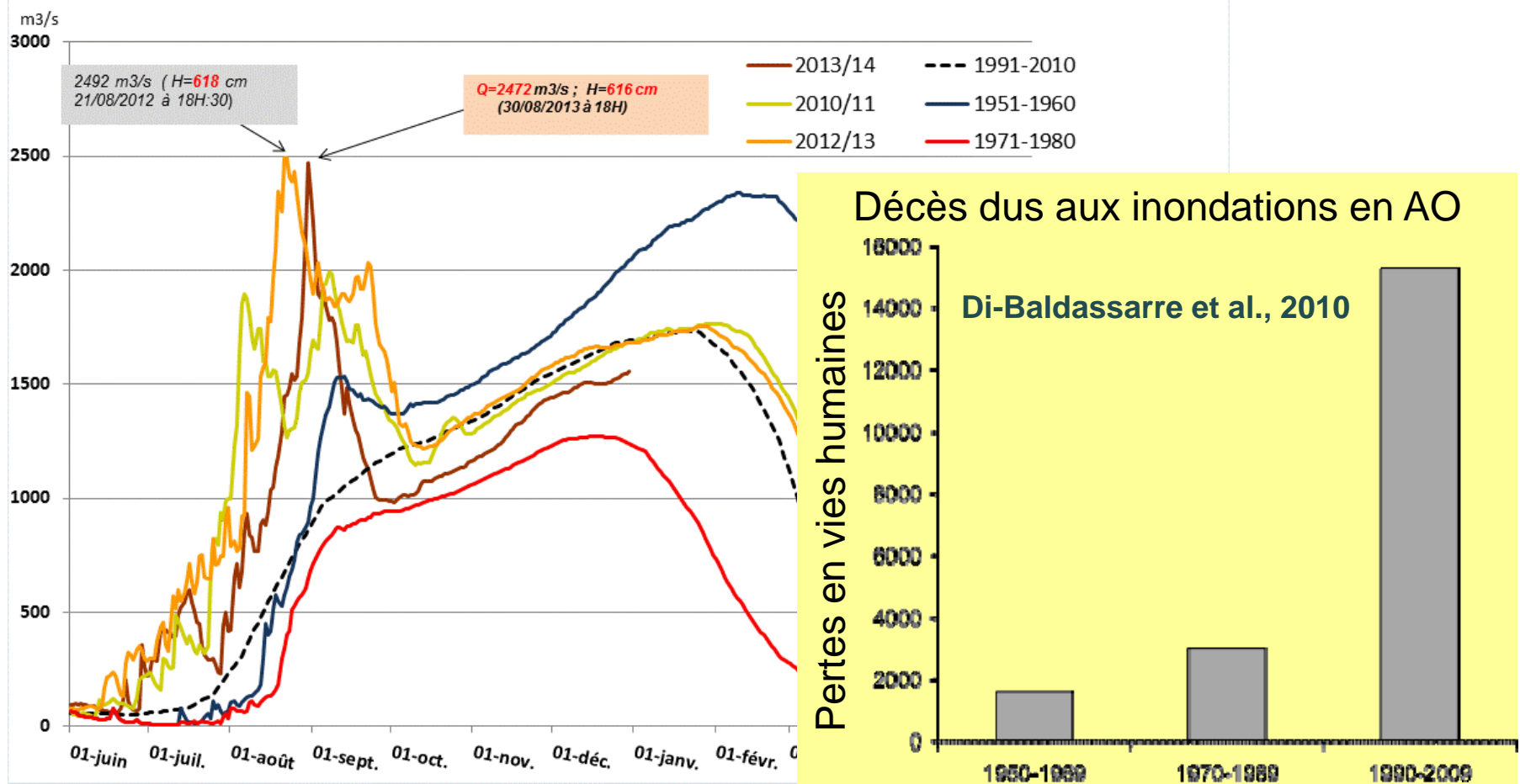
Ecarts de précipitations sur la période 1951-2010



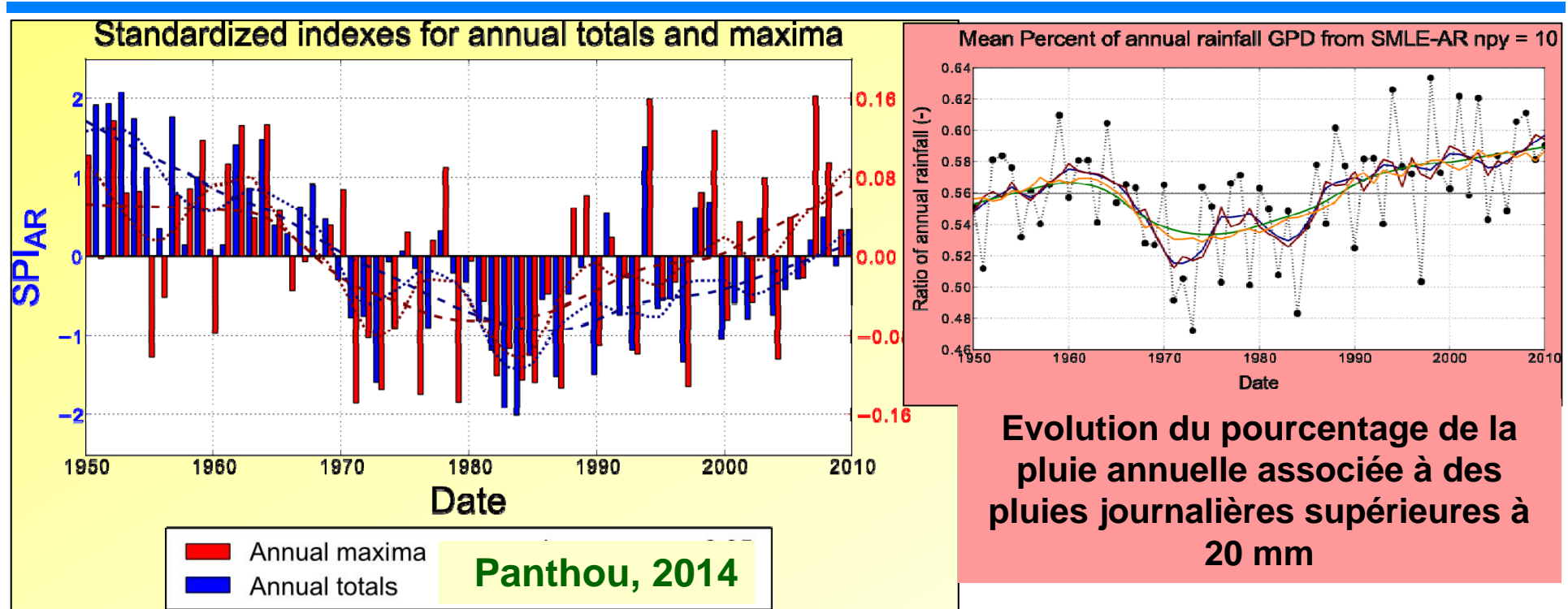
Δ pluie annuelle en 10 ans (mm)

Des impacts déjà sensibles

Sécheresse prolongée et forte et pourtant
Plus d'inondations catastrophiques depuis le début du siècle



Intensification du climat sahélien



La "reprise" des pluies au Sahel: persistance d'un déficit d'occurrence mais augmentation des totaux annuels car pluies plus fortes.

→ *Typiquement ce que Giorgi a appelé un climat plus "intense" : il pleut moins souvent mais quand il pleut c'est plus fort*



Le rôle de la biosphère dans les climats de mousson des régions tropicales

Illustration: transition Amazonie → Andes



La végétation: un facteur climatique déterminant

Via son rôle dans le bilan radiatif (albedo)

Via son rôle dans le cycle de l'eau (ETR, Ruissellement)

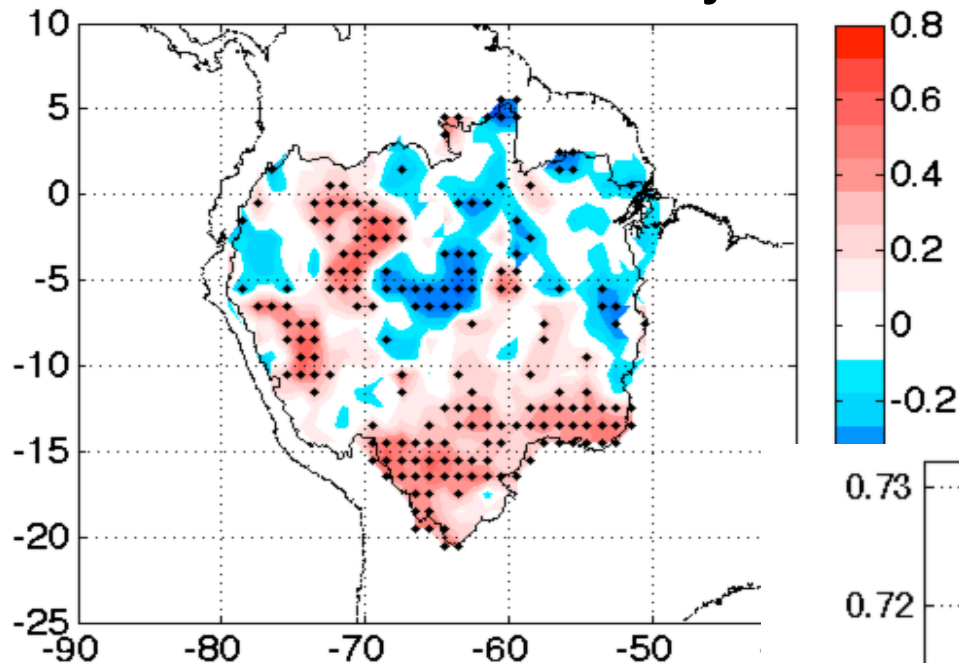
Ressources (eau, sol, sécurité alimentaire)

→ *Deux questions clefs:*

- *Rétroaction sur le climat (échelle ?)*
- *Modification composante continentale cycle de l'eau*

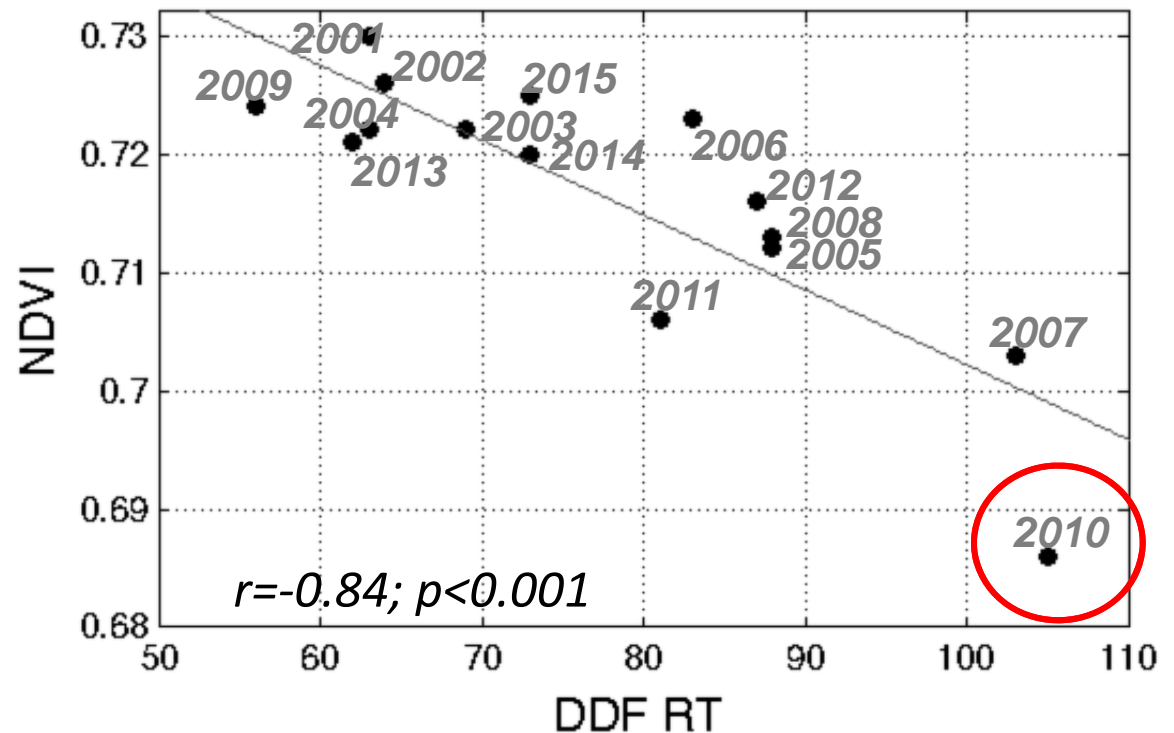
Impacts de la fréquence de jours secs (DDF)

Tendance du nombre de jours secs par an



En rouge: Augmentation significative du nombre de jours secs (depuis 1986)

Relation entre fréquence de jours secs et NDVI (ASO)

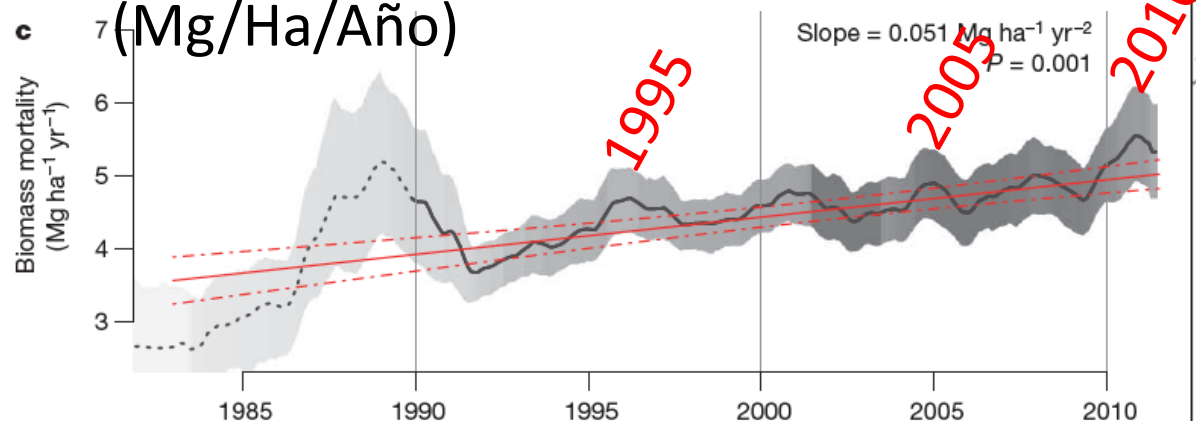


Evolution de la Biomasse de la forêt Amazonienne depuis 30 ans

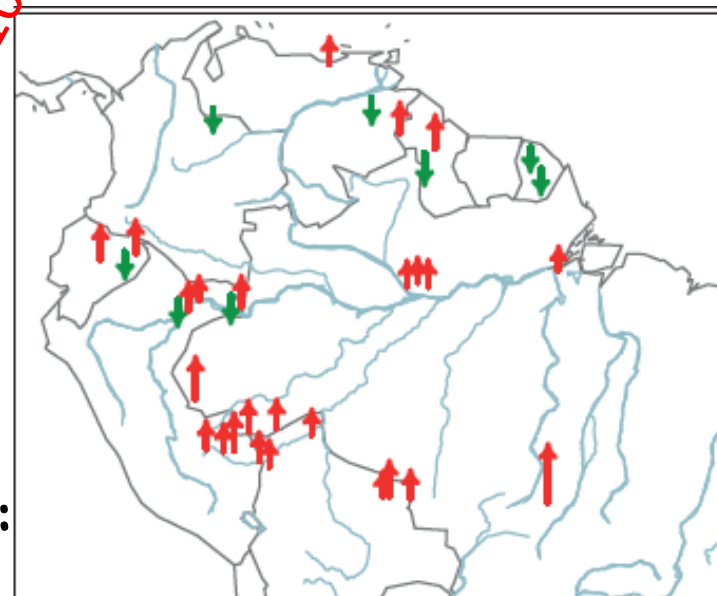
Diminution de sa capacité à capter le carbone

Tendance globale de disparition de biomasse dans le bassin amazonien

(Mg/Ha/Año)



Tendances in-situ

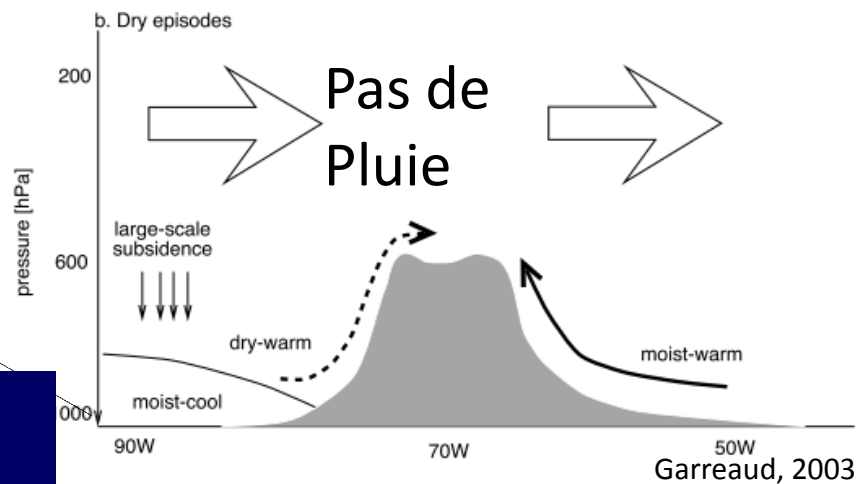
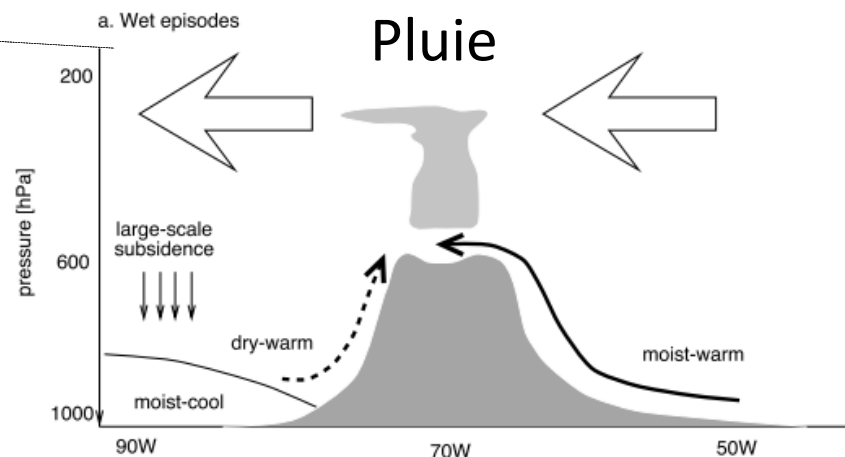
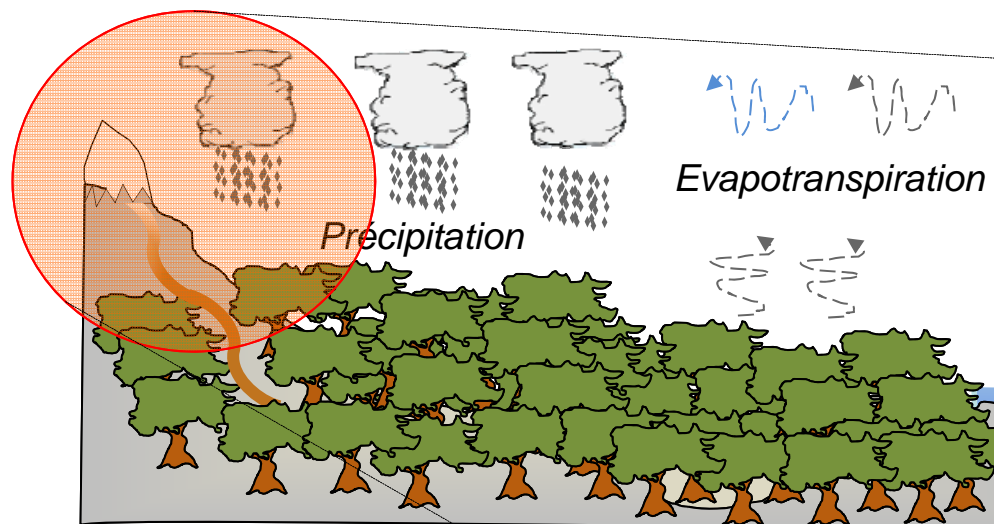


Brienen et al., Nature, 2015

Causes potentielles suggérées par les auteurs:

- Accroissement des événements extrêmes
- Croissance plus rapide des arbres mais moindre durée de vie

Le climat Andin est étroitement lié à la forêt amazonienne



Les vents d'Est à 200 hPa contrôlent la pluie dans les Andes en modulant l'ascendance de l'humidité amazonienne

Réponse de la biosphère: "Savanisation"

Projection Biomasse naturelle fin de XXIème siècle
selon 15 modèles de l'IPCC (AR4, A2)

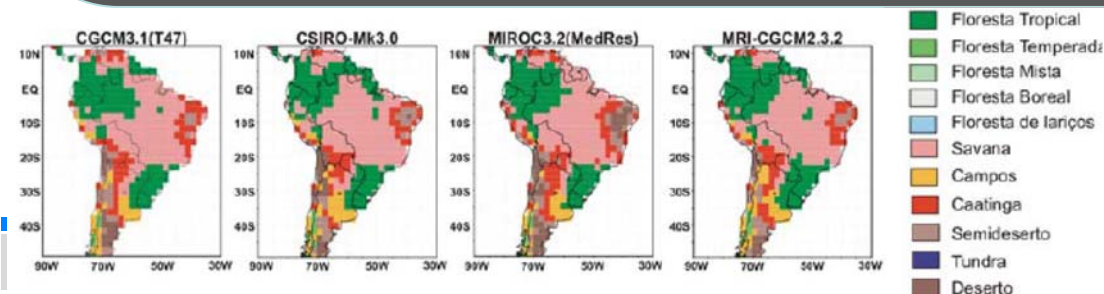
Actuel



* Impacts directs sur les ressources amazoniennes

** Impacts sur la région Andine
(la forêt amazonienne est une source d'humidité)

*** Impacts globaux
(balance globale du carbone)



Salazar et al. (2007)

« Autour du 2^o », Autrans, 12-16 Juin 2017

Modifications des températures et des pluies liées à la déforestation et au Changement Climatique

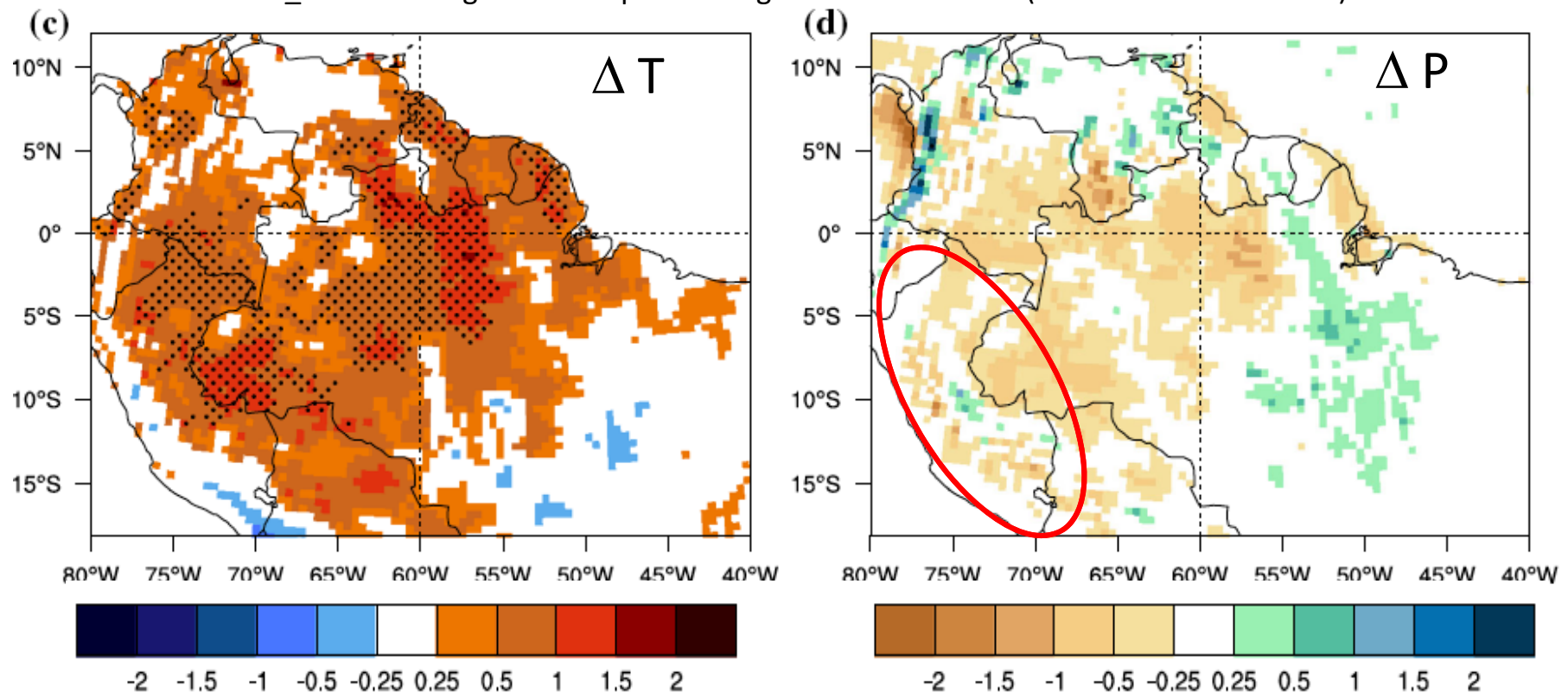
Lejeune et al., 2015

Fraction of grid cells occupied by trees

Actual = 66%

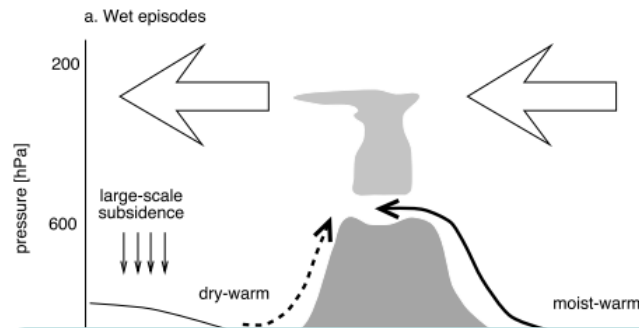
DEF_A2 = 22%

DEF_A2: 2100 vegetation map according to the A2 scenario (Nakicenovic et al. 2000)



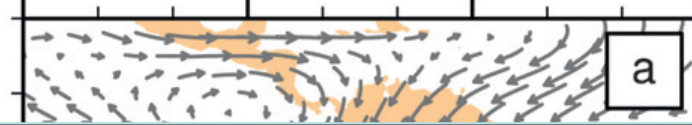
Deforestation-induced annual mean anomalies in 2-m temperature (a, in C) and precipitation (d in mm/day) in the DEF_A2 simulations compared to CTL, for the period 1987–2010.

Les vents à 200 hpa vont diminuer



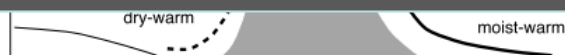
Modification Vents 200 hPa (10km) de décembre à Février d'ici la fin du 21ème siècle

Multimodel mean difference of DJF wind at 200 hPa between the periods 2070–99 and 1970–99 from the A2 and 20C3M simulations.



Deux processus clefs:

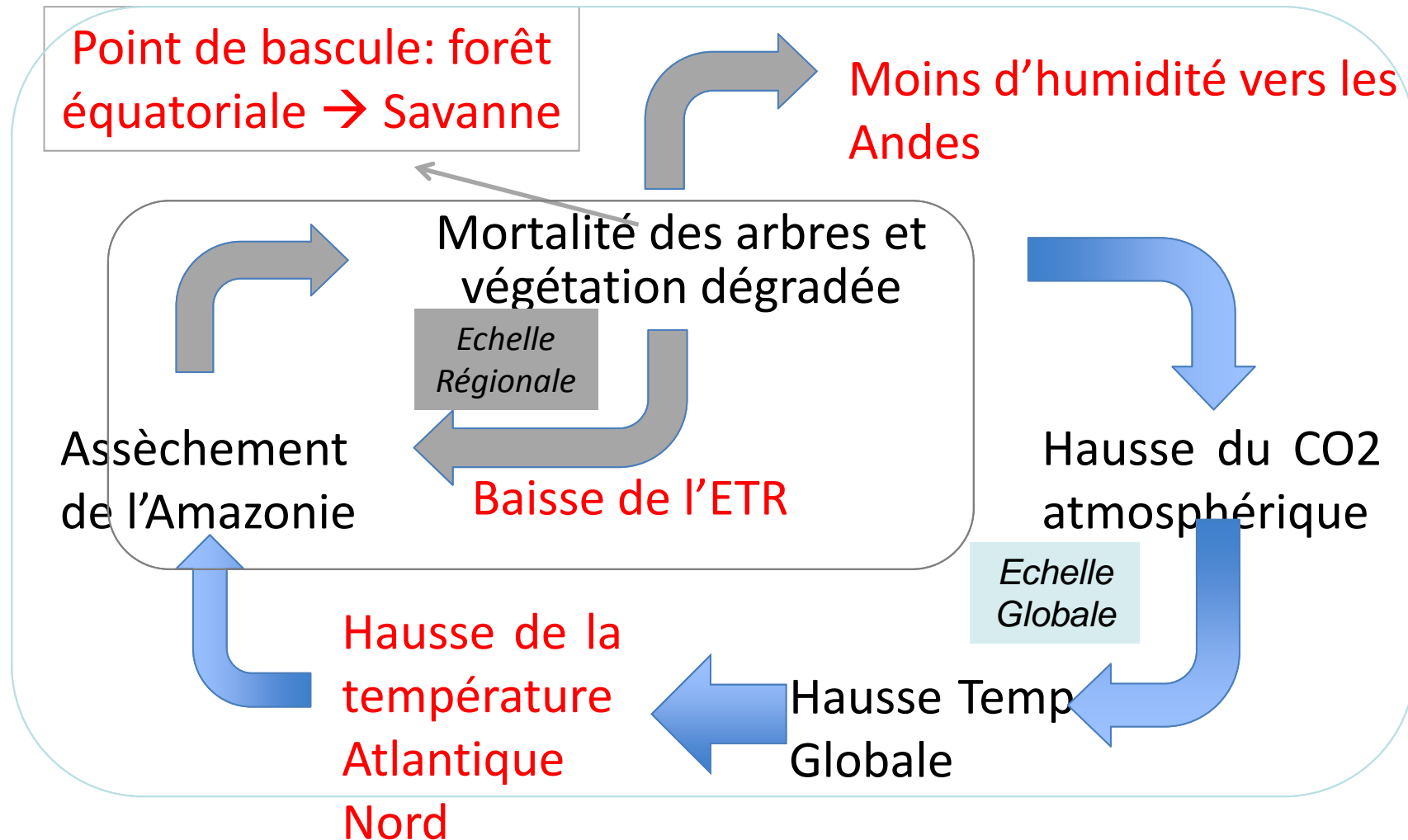
- 1) Apport d'humidité depuis l'Amazonie
- 2) Vents d'Est à 200 hPa (10km)



Diminution des vents d'Est à 200 hPa → baisse des pluies de 10 à 30% sur les Andes centrales (à humidité constante).

Or l'apport d'humidité va aussi diminuer (Réchauffement Atlantique Nord et dégradation de la végétation; effet global et effet régional)

Interactions Biosphère – Atmosphère - Hydrosphère



Scénario spéculatif mais tout à fait envisageable



Des sociétés en pleine mutation



Régions tropicales: enjeux sociétaux particulièrement forts

**1/3 de la population mondiale vit dans les régions semi-arides
(60% à moins de 60 km du littoral)**

Sur les 14 *super-mégapoles* (villes de plus de 15 millions d'habitants) que compte la planète, 9 sont situées en zone inter ou sub-tropicale, dont 4 des 5 plus grosses

source:

Une population fortement dépendante de l'agriculture, qui est encore essentiellement basée sur les pluies ("*rainfed*")

**Une pénurie chronique de ressources en eau
La plus forte variabilité climatique complique la gestion de la pénurie**

**Des inégalités qui handicapent la sortie de la pauvreté
---> le CC risque d'en aggraver les conséquences**

2-Delhi (Inde)
3-Shanghai (Chine)
4-Mexico(Mexique)
5-Sao Paulo(Brésil)

Argentine
Buenos aires

LÉGENDE

Mégapoles de 20 millions d'habitants et plus:



Mégapoles de 15 à 20 millions d'habitants :



Autres mégapoles (à partir de 10 millions d'habitants): ●

Échelle à l'équateur:

2500 km

Hommes et climat: une histoire vieille comme le monde

Synergie des problématiques Climat - Environnement - Sociétés sur des régions aux caractéristiques biophysiques « homogènes »

La zone intertropicale correspond « en gros » à l'espace coloniale du 19^{ième} siècle

Une faible responsabilité historique dans les émissions

Les dynamiques de l'échange inégal

Rattrapage économique et la hausse démographique (donc hausse de la pression environnementale)

La question clef des migrations: économiques, politiques, environnementales, climatiques (?)

→ Résultante de l'intensification climatico-environnementale dans des régions dont certaines sont déjà à la limite de l'habitabilité

Le réchauffement global change notre vision de la planète

Dans la zone intertropicale, des enjeux extrêmement sensibles

1. Climat et Cycle de l'Eau

- L'aventure du "climat numérique"
- Réchauffement global mais inégal
- Cycle de l'eau en interaction
- Intensification (climat + extrême)

2. Zone intertropicale

- Composante chaude du climat
- L'eau: un facteur limitant majeur
- Territoires aux limites de l'habitabilité

3. Défis Scientifiques

- Questions d'échelles (climat régional)
- Incertitudes des modèles
- Observation et Modélisation

4. Enjeux Sociétaux

- L'arc de la Pauvreté
- Sociétés non « occidentales »: filtres cognitifs et mondialisation
- + ou - vulnérables ?



Deux messages de portée générale sur la question des impacts du RC



Pour une vision intégrée sur les changements globaux

- La notion d'impact est contingente des sociétés auxquelles on s'intéresse
- Les ruptures d'équilibre trop rapides augmentent les risques de conflit, qui ne peuvent que compliquer la gestion des crises environnementales.

➤ Construire une science capable de mieux faire le lien entre les différentes composantes du changement climatique, d'une part, et la vulnérabilité de l'environnement et des sociétés humaines à différentes échelles spatio-temporelles, d'autre part.

Climat global, Impacts locaux

✓ On peut s'appuyer sur une science du climat global qui est solide et qui délivre des conclusions qui font consensus

✓ On est confronté à de fortes disparités régionales et aux interactions avec d'autres changements environnementaux et donc aussi avec les comportements humains et les formes d'organisation sociale.

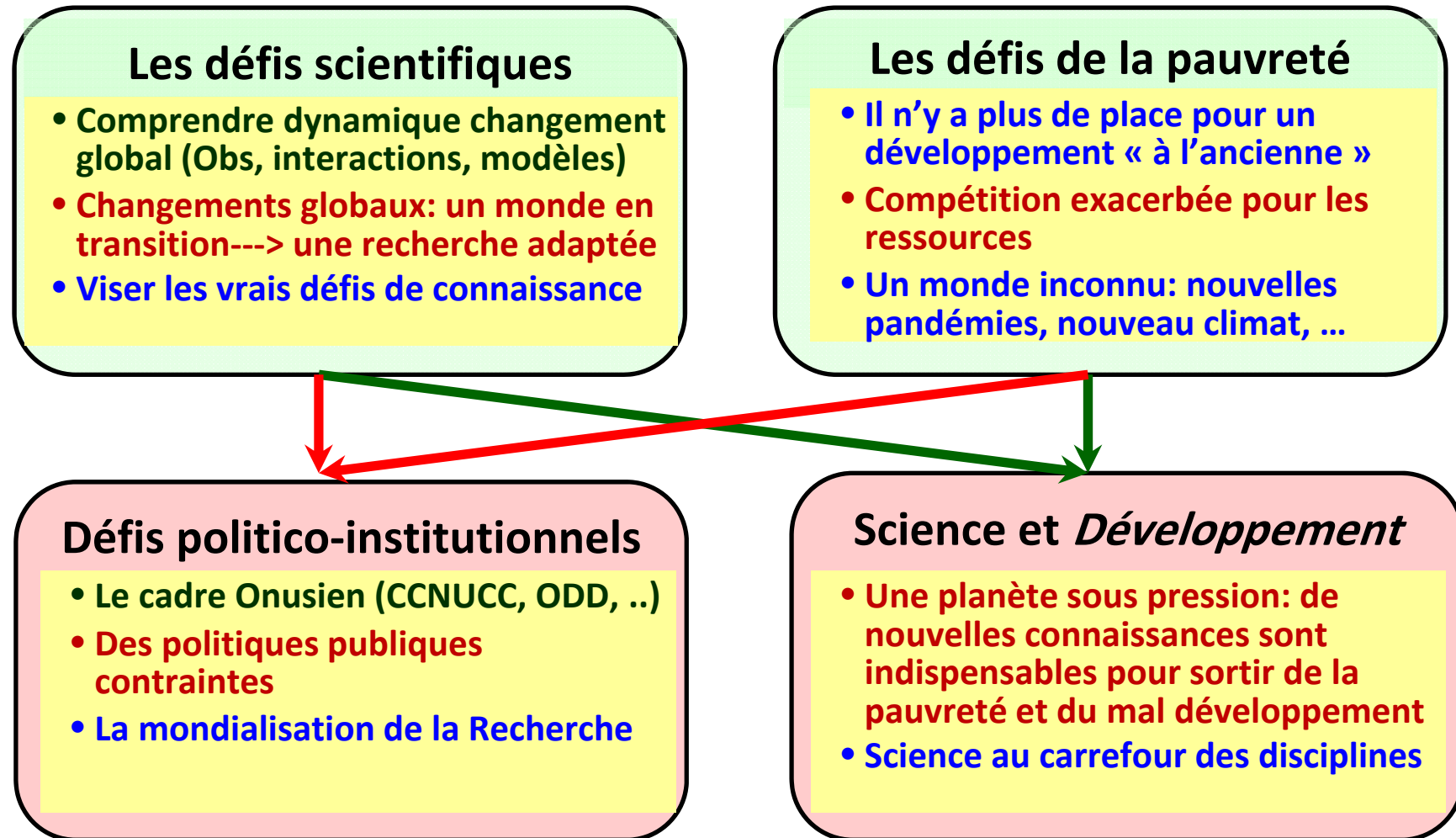




De nouveaux défis à l'articulation entre défis de connaissance et enjeux sociétaux



Des changements profonds de contexte



Changements globaux et développement durable

- Des nouveaux mots clefs: Vulnérabilité (globale), Adaptation, Mitigation
- **Incertitude radicale** sur la notion de vulnérabilité: "*Mesurer*" la vulnérabilité au changement climatique est un sujet qui divise les communautés des politiques et des chercheurs. L'accroissement de la demande des politiques pour des indicateurs de vulnérabilité, n'a d'égal que l'augmentation de la littérature scientifique critiquant le principe même de tels indicateurs »
- Les indicateurs, un exemple typique de communication défailante entre Science et Politique ?
Certains auteurs considèrent que, intrinsèquement, la vulnérabilité n'est pas une quantité mesurable. Trop souvent les experts produisant des indicateurs omettent de définir précisément ce qu'ils sont et ce à quoi ils peuvent servir, tandis que les utilisateurs se gardent bien d'approfondir le sens qu'ils donnent aux notions de sensibilités aux changements environnementaux, ou de capacités d'adaptation
- Risques de développer des politiques publiques de développement durable construites sur des bases conceptuellement erronées et pouvant avoir des conséquences désastreuses pour les pays auxquels elles seraient appliquées: **absence d'un ODD sur le développement de la connaissance**

La Science du monde post-développement

1. Un monde en mutation, non stationnaire par essence, qui oblige à revoir nos outils d'observation et de modélisation. Comment anticiper les points de ruptures éventuels ?
2. La vulnérabilité des milieux et des sociétés: sécurité alimentaire, ressources, maladies émergentes, nouvelles technologies disruptives
3. Un agenda post-COP21: la zone intertropicale pose des questions particulières, qui sont en même temps centrales pour la compréhension du présent et pour le devenir de nos sociétés (des modes de vie menacés, des défis pour la stabilité socio-politique, ...)
4. Les inégalités aggravent les impacts des changements globaux, et pas seulement pour les plus vulnérables.
5. L'injonction des Nations Unies à construire un projet de civilisation durable et humaniste
6. Le développement des capacités de recherche et d'innovation et la massification de l'enseignement supérieur sont des éléments décisifs de coopération internationale

Objectifs du développement durable



Articulation des ODD – la nécessité d’approches intégrées

Environmental sustainability for the Sustainable Development Goals in the 2030 Agenda

In September, the 2030 Agenda for Sustainable Development is expected to be adopted at the United Nations summit held in New York. The 17 Sustainable Development Goals build on the eight Millennium Development Goals and aim to end poverty, protect the planet, and ensure peace and prosperity for all.

⊗ = related goal

