

Occupation des Sols et cycle du CARbone

OSCAR : un modèle biophysique simplifié

Thomas Gasser

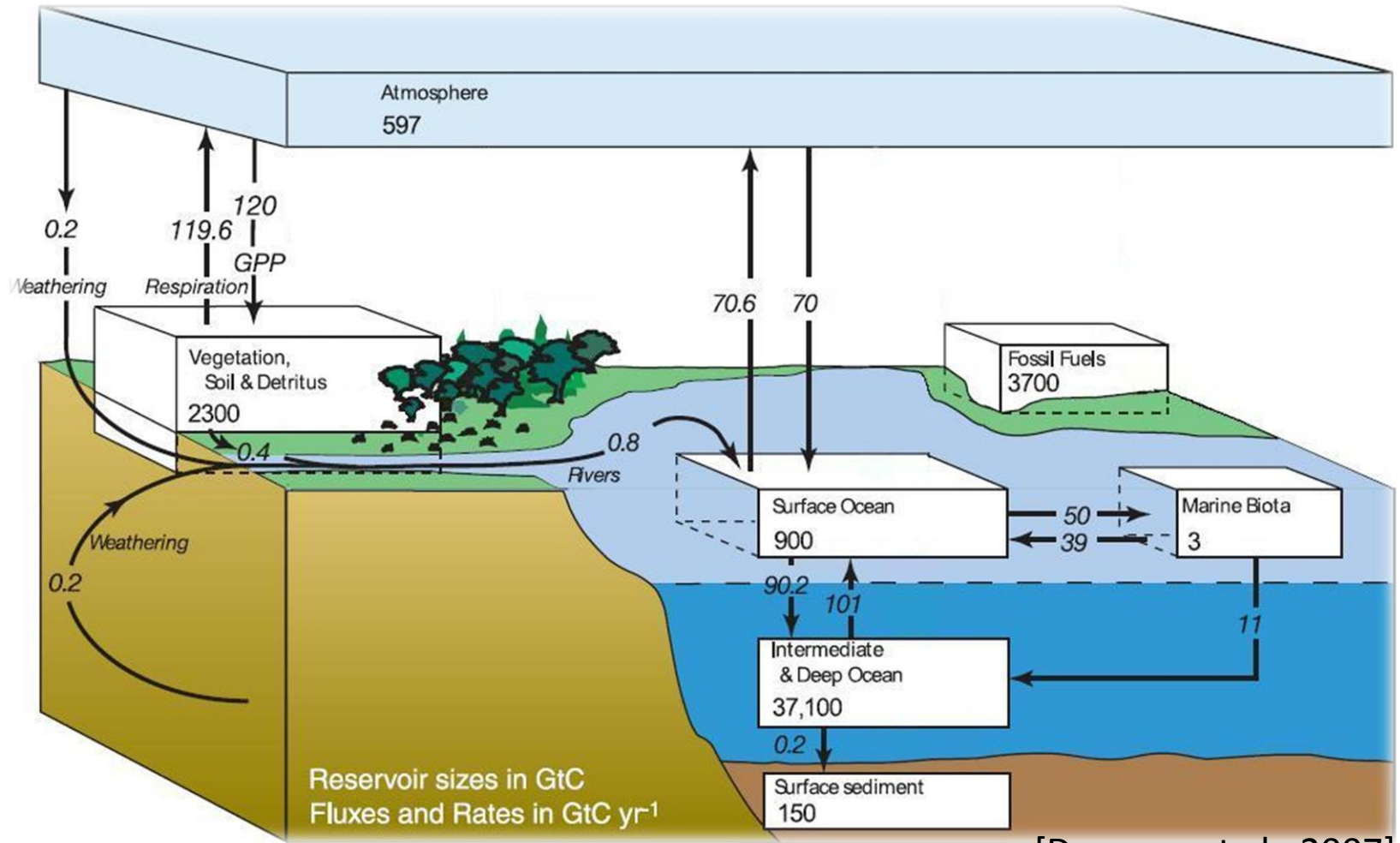
Laboratoire des Sciences du Climat et de
l'Environnement (LSCE)

Remerciements : Philippe Ciais (LSCE), Vincent Gitz (CIRED), Jean-Daniel Paris (LSCE)

Plan

- Cycle du carbone
- Description d'OSCAR
 - Schéma fonctionnel
 - Emissions fossiles
 - Land-use change
 - Puits océanique
 - Puits biosphérique & ELUC
 - Rétroaction climatique
 - Bilan des variables
 - Validation du modèle
- Exemples d'utilisation conceptuelle
 - Effet d'amplification du LUC
 - Attribution des puits de carbone

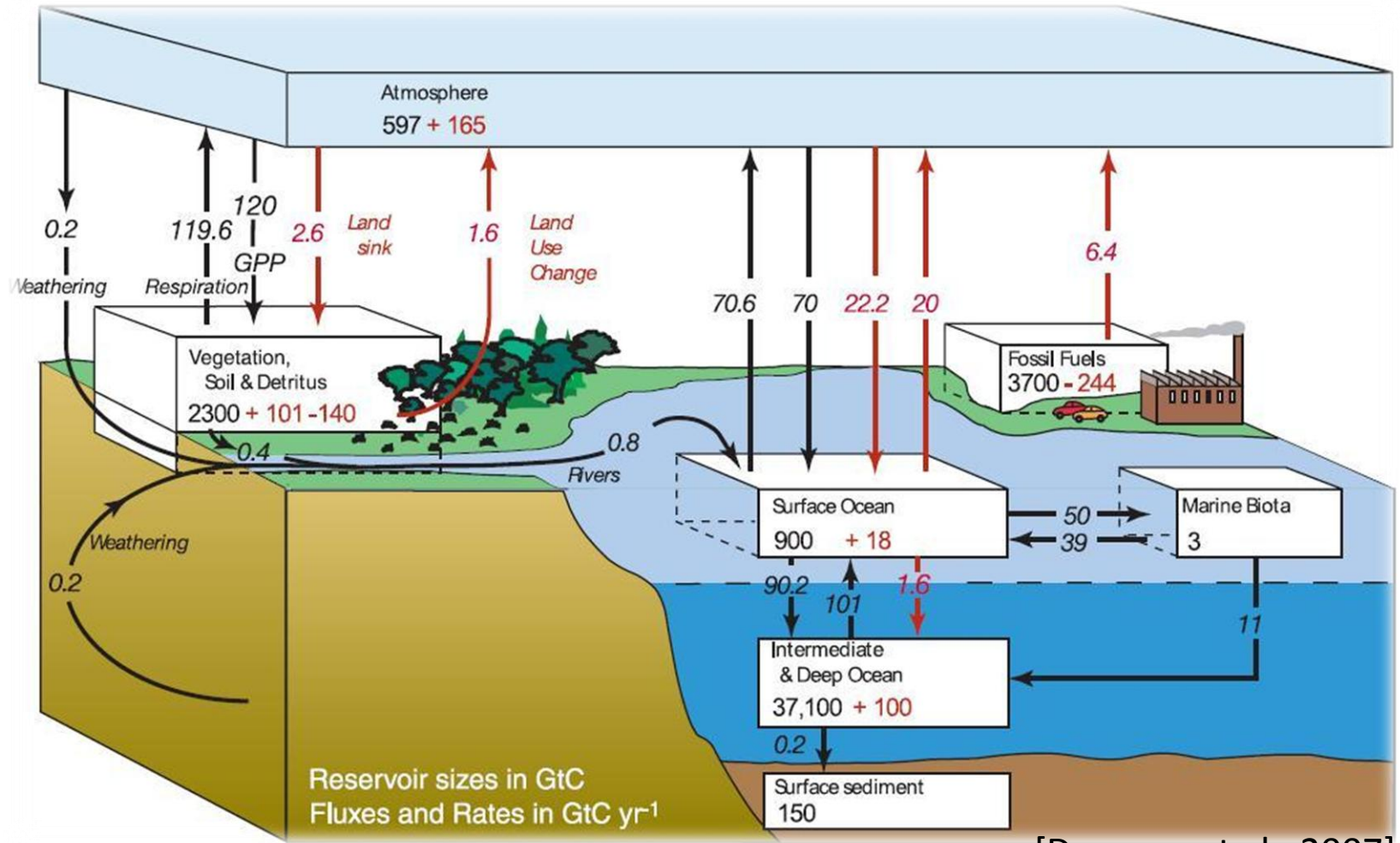
Cycle du carbone



[Denman et al., 2007]

Cycle du carbone

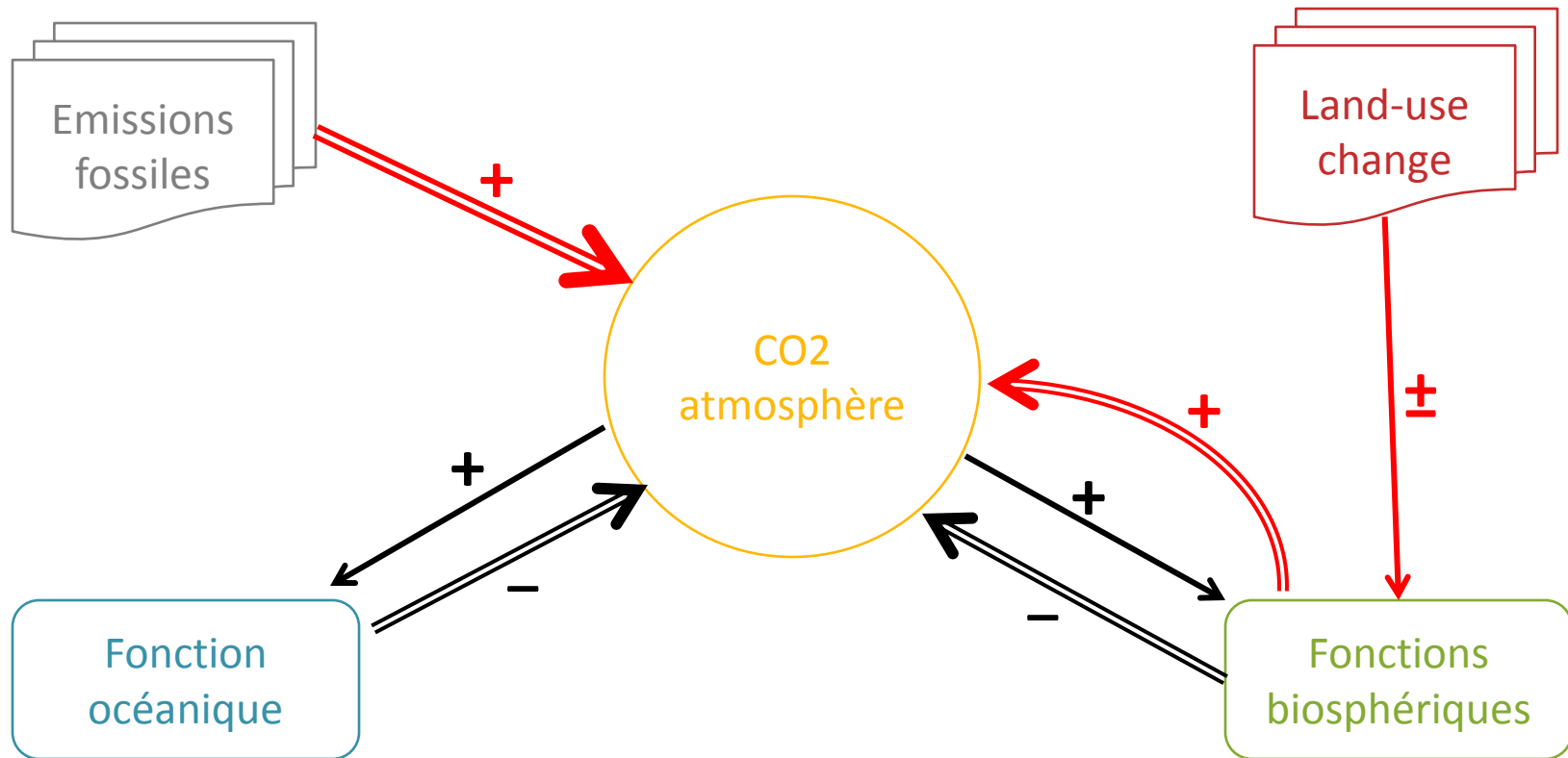
perturbé par l'activité anthropique



[Denman et al., 2007]

Description d'OSCAR

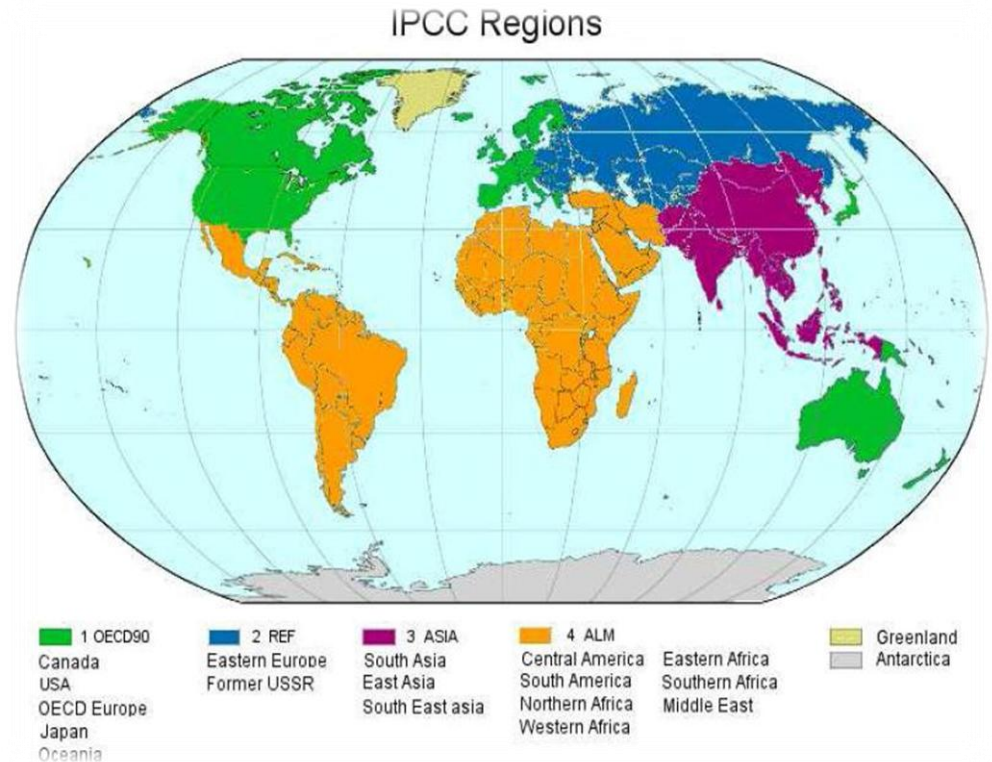
Schéma fonctionnel



Description d'OSCAR

Emissions fossiles [EF]

- Données régionales annuelles prescrites par le CDIAC. [Marland et al., 2008]
- Pas de prise en compte d'*embodied carbon*. [Peters et al., 2009]
- Redistribution éventuelle des *bunkers fuels*.

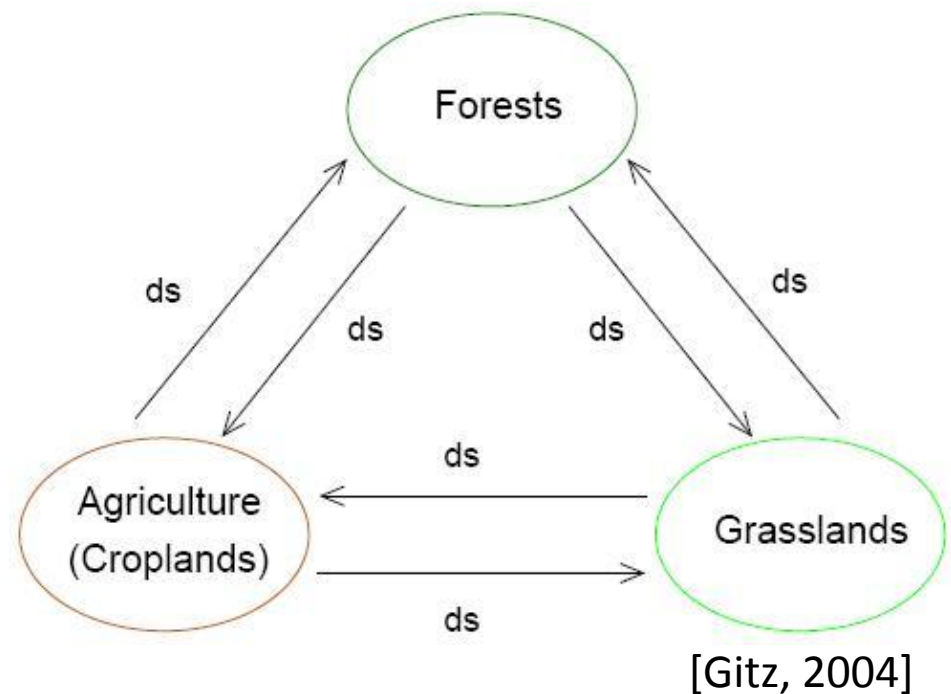


[Prentice, 2001]

Description d'OSCAR

Land-use change [δS]

- Données de changement d'usage des sols prescrites par les études de Houghton (CDIAC). [Houghton et al., 2001]
- Pour chaque région :
3 biomes x 3 climats.
- Potentiellement, deux autres biomes : *biofuels* et *plantations*.
- Transitions 'intra' climat.



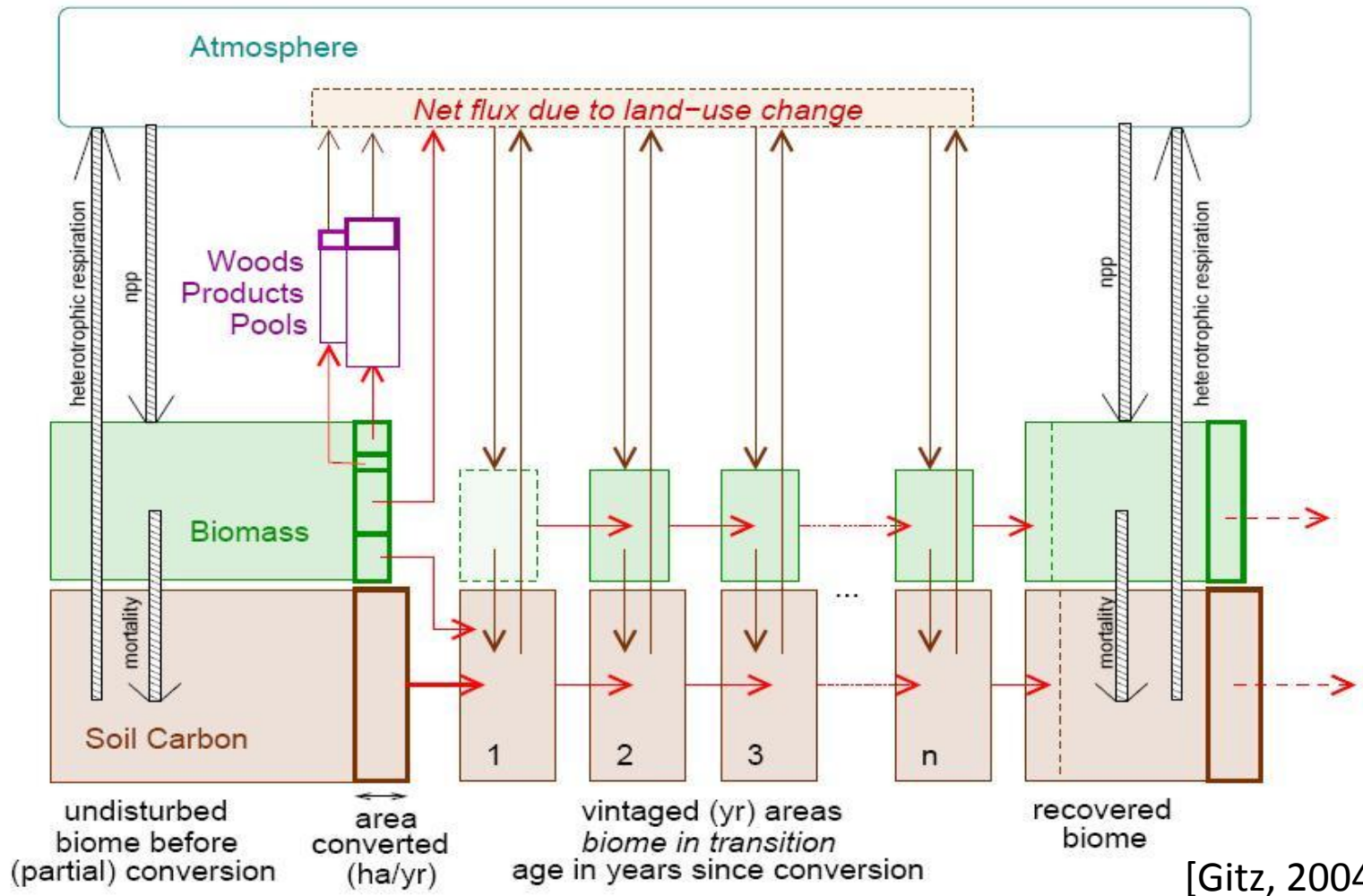
Description d'OSCAR

Puits océanique [OS]

- Fonction de réponse impulsionnelle à couche mixte, issue du modèle océanique de Bern. [Joos et al., 1996]
- Calcul de l'équilibre de la chimie des carbonates et du CO₂ atmosphérique.
- Sous-estimation du puits à long terme (au-delà du XXI^e siècle). [Archer, 2005]
- Mauvaise modélisation de second ordre (pompe biologique).
- Absence de phénomènes 'extrêmes' (bascullement de la circulation thermohaline). [Clark et al., 2002]

Description d'OSCAR

Puits biosphérique [BS] & Emissions de land-use change [EL]



Description d'OSCAR

Puits biosphérique [BS] & Emissions de land-use change [EL]

- Pour chaque biome/climat/âge on calcule :
 - NPP : $\eta(t, T) = \eta(0) \cdot \left(1 + \beta \cdot \log \left(\frac{C_{atm}(t)}{C_{atm}(0)} \right) \right) \cdot f_{npp}(T)$
 - Mortalité : μ
 - Respiration : $\rho(T) = \rho \cdot f_{Rh}(T)$
 - Prélèvement : π
- Les EL sont définis pour les âges de transition.

Description d'OSCAR

Puits biosphérique [BS] & Emissions de land-use change [EL]

- Bilan schématique de la biosphère :

- Biomasse végétation :

$$dC_{bio}(t) = \eta(t) \cdot (S + \delta S) - \mu \cdot C_{bio}(t) - \pi(t)$$

- Carbone sol :

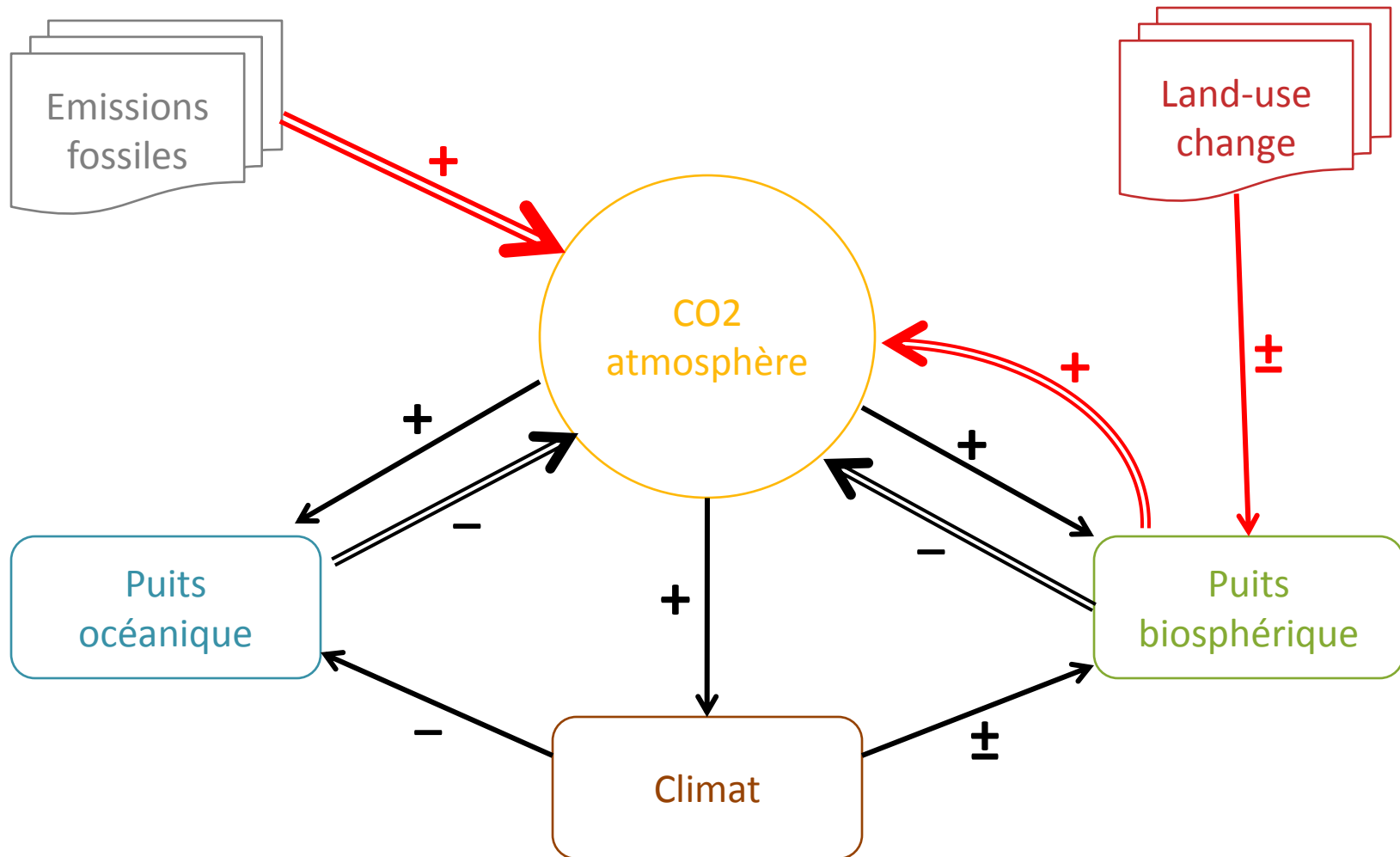
$$dC_{sol}(t) = \mu \cdot C_{bio}(t) - \rho \cdot C_{sol}(t)$$

- Bilan global de l'atmosphère :

$$\begin{aligned} dC_{atm}(t) &= -dC_{sol}(t) - dC_{bio}(t) - OS(t) + EF(t) \\ &= EF(t) + EL(t) - BS(t) - OS(t) \end{aligned}$$

Description d'OSCAR

Rétroaction climatique



Description d'OSCAR

Rétroaction climatique

- Dépendance du puits océanique : diminution de la solubilité des carbonates prise en compte dans le modèle de Bern.

- Dépendance de la NPP [Gitz, 2004] :

$$\eta(t, T) = \eta(t) \cdot \left(\frac{1 + e^{0,2(T^{opt}-10-T(t))}}{1 + e^{0,2(T^{opt}-10-T(0))}} \frac{1 + e^{0,3(T(t)-10-T^{opt})}}{1 + e^{0,3(T(0)-10-T^{opt})}} \right)$$

- Dépendance de la NPP [Friedlingstein et al., 2005] :

$$\eta(t, T) = \eta(t) \cdot \left(1 + \gamma \cdot (T(t) - T(0)) \right)$$

Description d'OSCAR

Rétroaction climatique

- Dépendance de la Rh [Reichstein et al., 2005] :

$$\rho(T) = \rho \cdot Q_{10}^{\frac{T(t) - T(0)}{10}}$$

- Calcul de la température globale [Forster et al., 2007] :

$$T_{glob}(t) = T_{glob}(0) + \frac{dT2}{\log(2)} \cdot \log\left(\frac{C_{atm}(t)}{C_{atm}(0)}\right)$$

- Déduction de la température régionale :

$$\theta(t) = \theta_{glob}(t) \frac{\theta^{ref}(t)}{\theta_{glob}^{ref}(t)}$$

Description d'OSCAR

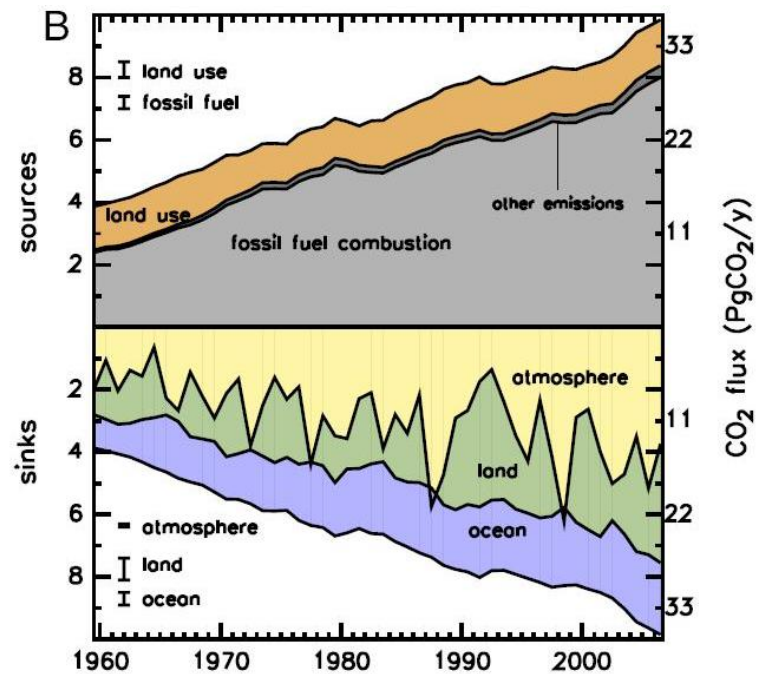
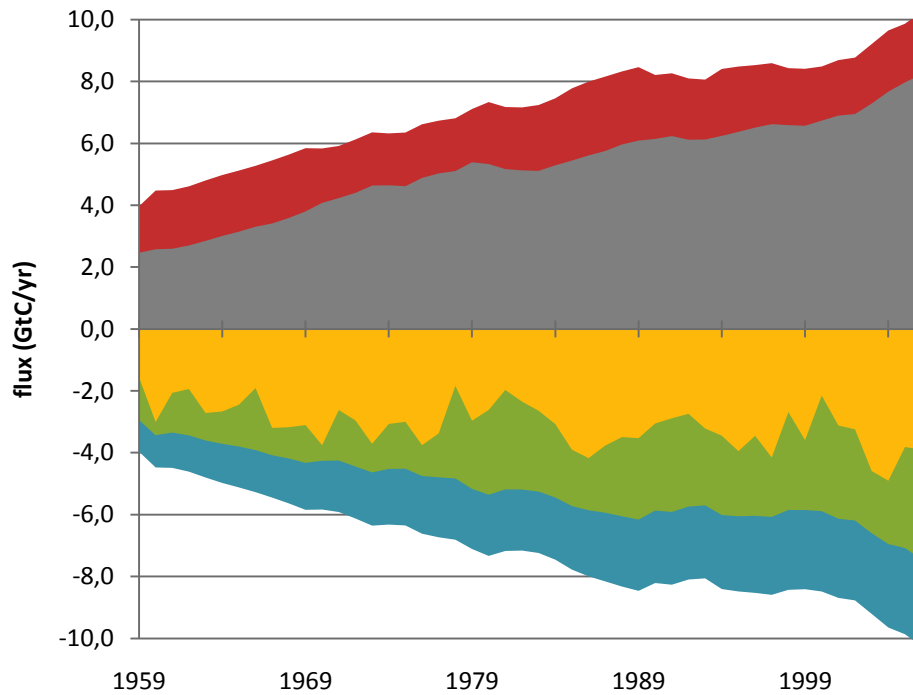
Bilan des variables

- Variables d'entrée :
 - Emissions fossiles régionales (EF)
 - Changements de surface régionaux de chaque biome (δS).
- Paramètres biosphériques :
 - Pour chaque région/biome/climat.
 - Durée de transition (τ) ; NPP (η & β), mortalité (μ), respiration hétérotrophe (ρ), prélèvement (π) ; impact climatique (T^{opt} / γ), référence climatique (θ^{ref}).
- Variables de sortie :
 - Flux de carbone annuels (puits : OS, BS et sources EL, EF).
 - Valeurs biosphériques : stocks de C, surfaces, NPP, etc...

Description d'OSCAR

Validation du modèle

- Airborne fraction : $AF_{OSCAR} = 0,44$; $AF_{Canadell} = 0,43$
- CO₂ atmosphère : $C_{OSCAR} = 380$ ppm ; $C_{Canadell} = 381$ ppm
- EF et OS égaux. Mais $EL_{OSCAR} > EL_{Houghton}$; $|BS_{OSCAR}| > |BS_{Canadell}|$

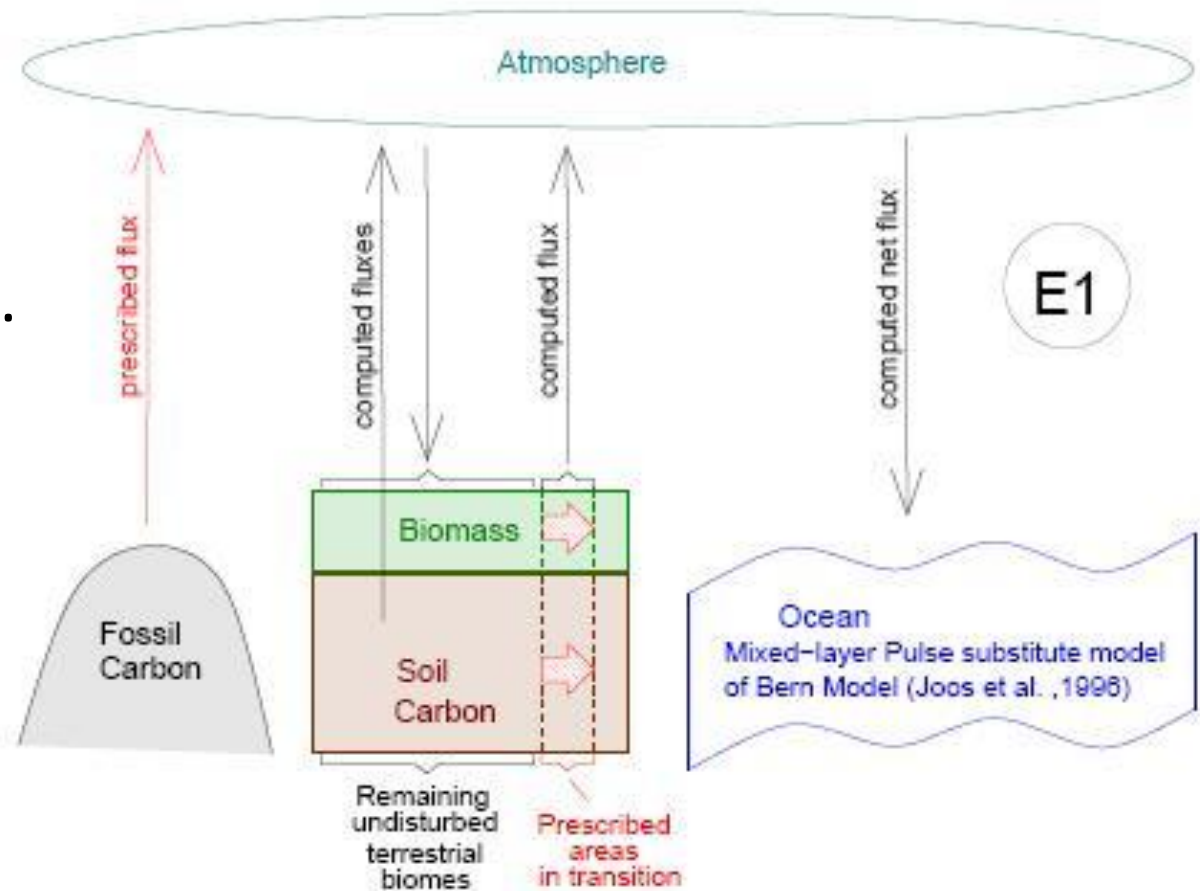


[Canadell et al., 2007]

Exemple d'utilisation

Effet d'amplification du land-use [Gitz et al., 2003]

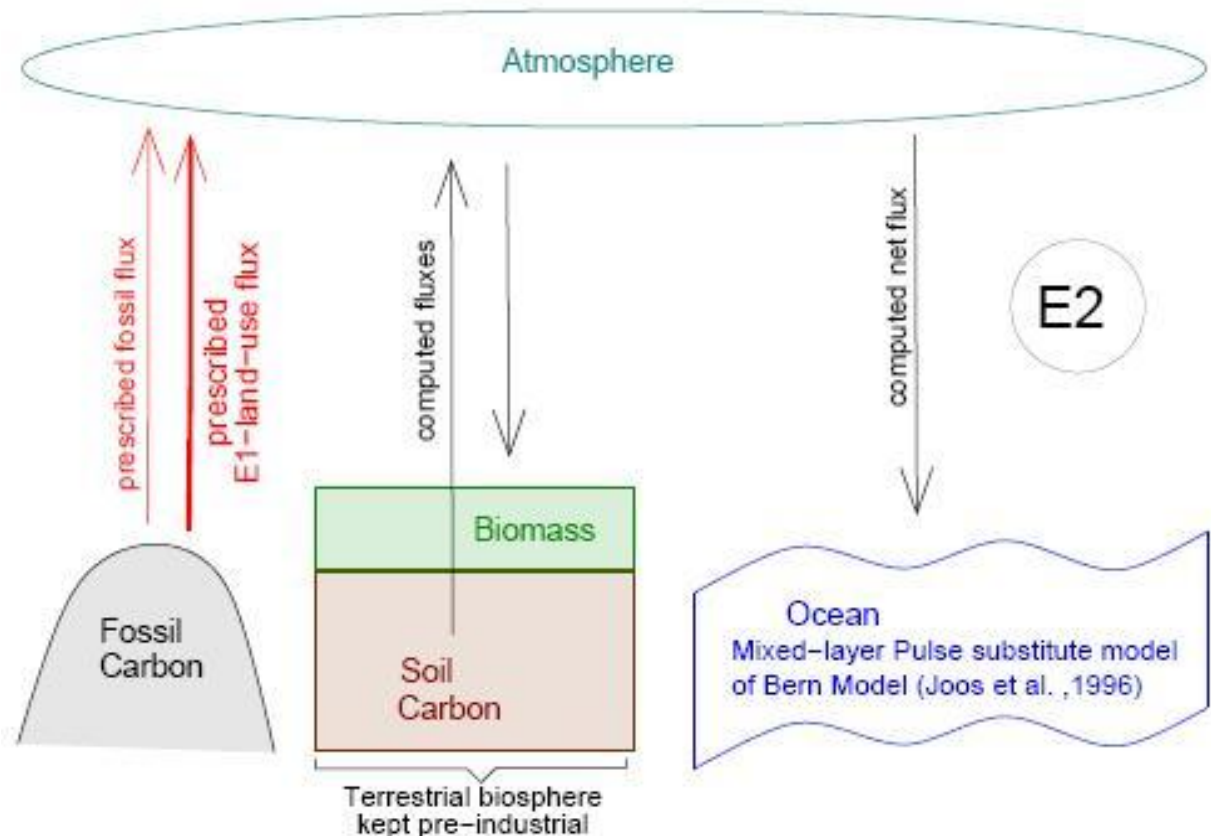
- Expérience 1.
- Scénario A2, jusqu'en 2100.
- Entrées :
 - EF
 - δS



Exemple d'utilisation

Effet d'amplification du land-use [Gitz et al., 2003]

- Expérience 2.
- Scénario A2, jusqu'en 2100
- Entrées :
 - EF + EL(E1)
 - $\delta S = 0$



Exemple d'utilisation

Effet d'amplification du land-use [Gitz et al., 2003]

- Observations :
 - Emissions fossiles et land-use identiques (par hypothèse).
 - Différence des puits océaniques : $OS_{E1} \sim OS_{E2}$.
 - Différence des puits biosphériques : $|BS_{E1}| < |BS_{E2}|$.
- Non équivalence du CO2 d'origine fossile et du CO2 venant du LUC.
- A l'horizon 2100, valeur de cet effet d'amplification dû au land-use :

Scenario	A1F	A2	B1	B2
ΔC (ppm)	38	62	13	26

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

- 1 puits océanique, $OS = ocean(C_{tot})$.
- 4 puits biosphériques, $BS = land_i(C_{tot})$.

Sink provided	total
by OECD	BS_1
by REF	BS_2
by ASIA	BS_3
by ALM	BS_4
by Ocean	OS_{tot}

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

- 1 puits océanique, $OS = ocean(C_{tot})$.
- 4 puits biosphériques, $BS = land_i(C_{tot})$.

Sink provided	to OECD	to REF	to ASIA	to ALM
by OECD	$BS_{1 \leftarrow 1}$	$BS_{1 \leftarrow 2}$	$BS_{1 \leftarrow 3}$	$BS_{1 \leftarrow 4}$
by REF	$BS_{2 \leftarrow 1}$	$BS_{2 \leftarrow 2}$	$BS_{2 \leftarrow 3}$	$BS_{2 \leftarrow 4}$
by ASIA	$BS_{3 \leftarrow 1}$	$BS_{3 \leftarrow 2}$	$BS_{3 \leftarrow 3}$	$BS_{3 \leftarrow 4}$
by ALM	$BS_{4 \leftarrow 1}$	$BS_{4 \leftarrow 2}$	$BS_{4 \leftarrow 3}$	$BS_{4 \leftarrow 4}$
by Ocean	$OS_{\leftarrow 1}$	$OS_{\leftarrow 2}$	$OS_{\leftarrow 3}$	$OS_{\leftarrow 4}$

Table d'Attribution Croisée (TAC)

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

- Etablir une grille d'attribution ?
- Problème de non-linéarité :
 - OS, système non-linéaire de 3 équations à 3 inconnues.
 - BS, fonction de fertilisation logarithmique.
- Cas général, $S = \text{sink}(C_{\text{tot}})$ mais $S_{\leftarrow i} \neq \text{sink}(C_0 + \Delta C_i)$.
- Définition d'un coeff. de partage : $S_{\leftarrow i} = \xi_i \cdot S$.

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

- Calcul des coefficients selon différentes méthodes [Trudinger et al., 2005] :
- Proportionnelle : $\xi_i \propto \Delta C_i$.
- Linéaire-simple : $\xi_i \propto \text{sink}(C_0 + \Delta C_i)$.
- Résiduelle : $\xi_i \propto \text{sink}(C_{\text{tot}}) - \text{sink}(C_{\text{tot}} - \Delta C_i)$.
- Marginale : $\xi_i \propto 1/\varepsilon [\text{sink}(C_{\text{tot}}) - \text{sink}(C_{\text{tot}} - \varepsilon \Delta C_i)]$.

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

Sink provided	to OECD	to REF	to ASIA	to ALM
by OECD	$BS_{1 \leftarrow 1}$	$BS_{1 \leftarrow 2}$	$BS_{1 \leftarrow 3}$	$BS_{1 \leftarrow 4}$
by REF	$BS_{2 \leftarrow 1}$	$BS_{2 \leftarrow 2}$	$BS_{2 \leftarrow 3}$	$BS_{2 \leftarrow 4}$
by ASIA	$BS_{3 \leftarrow 1}$	$BS_{3 \leftarrow 2}$	$BS_{3 \leftarrow 3}$	$BS_{3 \leftarrow 4}$
by ALM	$BS_{4 \leftarrow 1}$	$BS_{4 \leftarrow 2}$	$BS_{4 \leftarrow 3}$	$BS_{4 \leftarrow 4}$

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

- Référentiel absorbeurs.
- $BS_i = \sum BS_{i \leftarrow}$

	Sink provided	to OECD	to REF	to ASIA	to ALM
← by OECD		$BS_{1 \leftarrow 1}$	$BS_{1 \leftarrow 2}$	$BS_{1 \leftarrow 3}$	$BS_{1 \leftarrow 4}$
← by REF		$BS_{2 \leftarrow 1}$	$BS_{2 \leftarrow 2}$	$BS_{2 \leftarrow 3}$	$BS_{2 \leftarrow 4}$
← by ASIA		$BS_{3 \leftarrow 1}$	$BS_{3 \leftarrow 2}$	$BS_{3 \leftarrow 3}$	$BS_{3 \leftarrow 4}$
← by ALM		$BS_{4 \leftarrow 1}$	$BS_{4 \leftarrow 2}$	$BS_{4 \leftarrow 3}$	$BS_{4 \leftarrow 4}$

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

- Référentiel émetteurs.
- $BS_i = \sum BS_{\leftarrow i}$

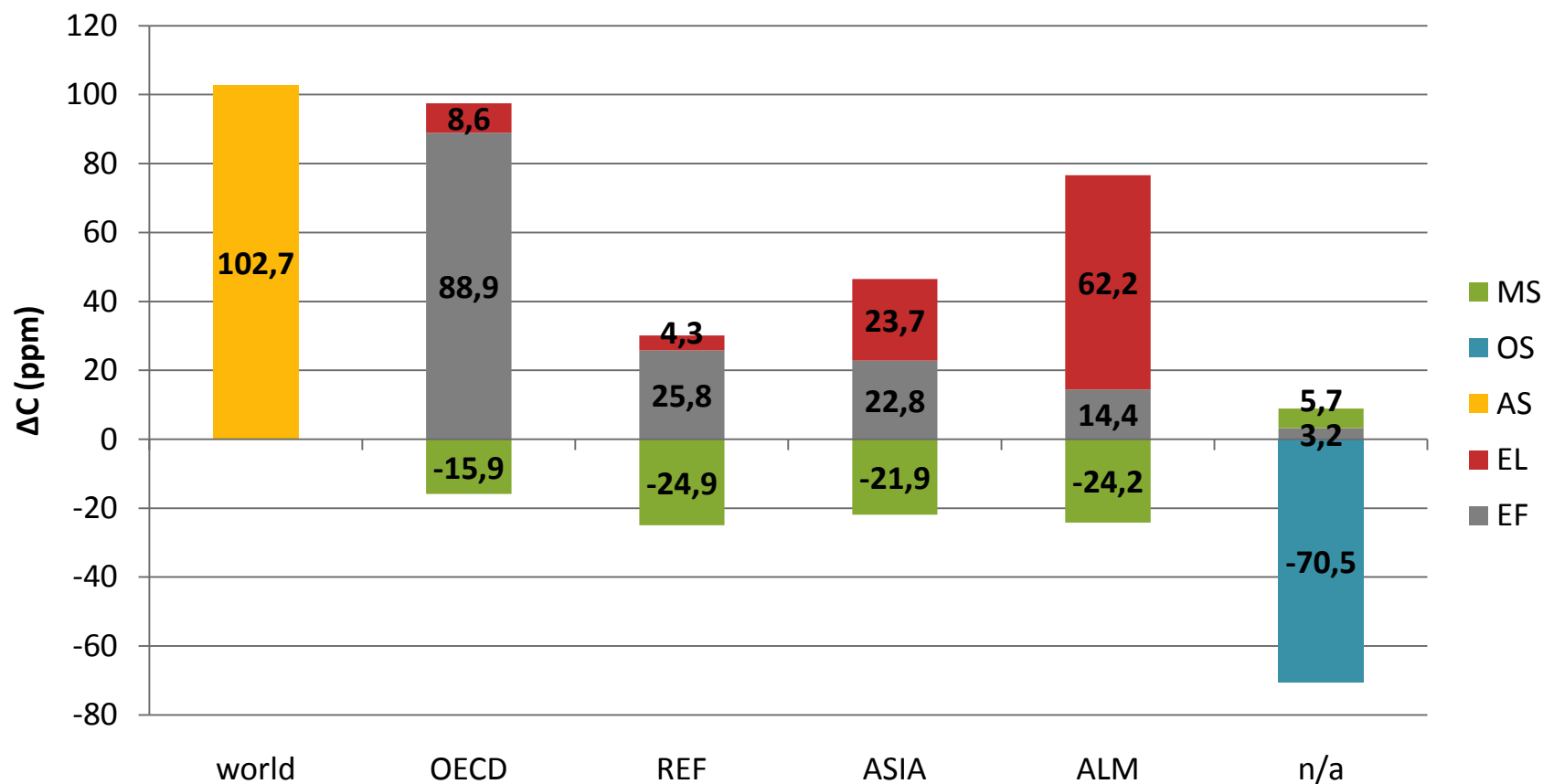


Sink provided	to OECD	to REF	to ASIA	to ALM
by OECD	$BS_{1\leftarrow 1}$	$BS_{1\leftarrow 2}$	$BS_{1\leftarrow 3}$	$BS_{1\leftarrow 4}$
by REF	$BS_{2\leftarrow 1}$	$BS_{2\leftarrow 2}$	$BS_{2\leftarrow 3}$	$BS_{2\leftarrow 4}$
by ASIA	$BS_{3\leftarrow 1}$	$BS_{3\leftarrow 2}$	$BS_{3\leftarrow 3}$	$BS_{3\leftarrow 4}$
by ALM	$BS_{4\leftarrow 1}$	$BS_{4\leftarrow 2}$	$BS_{4\leftarrow 3}$	$BS_{4\leftarrow 4}$

Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

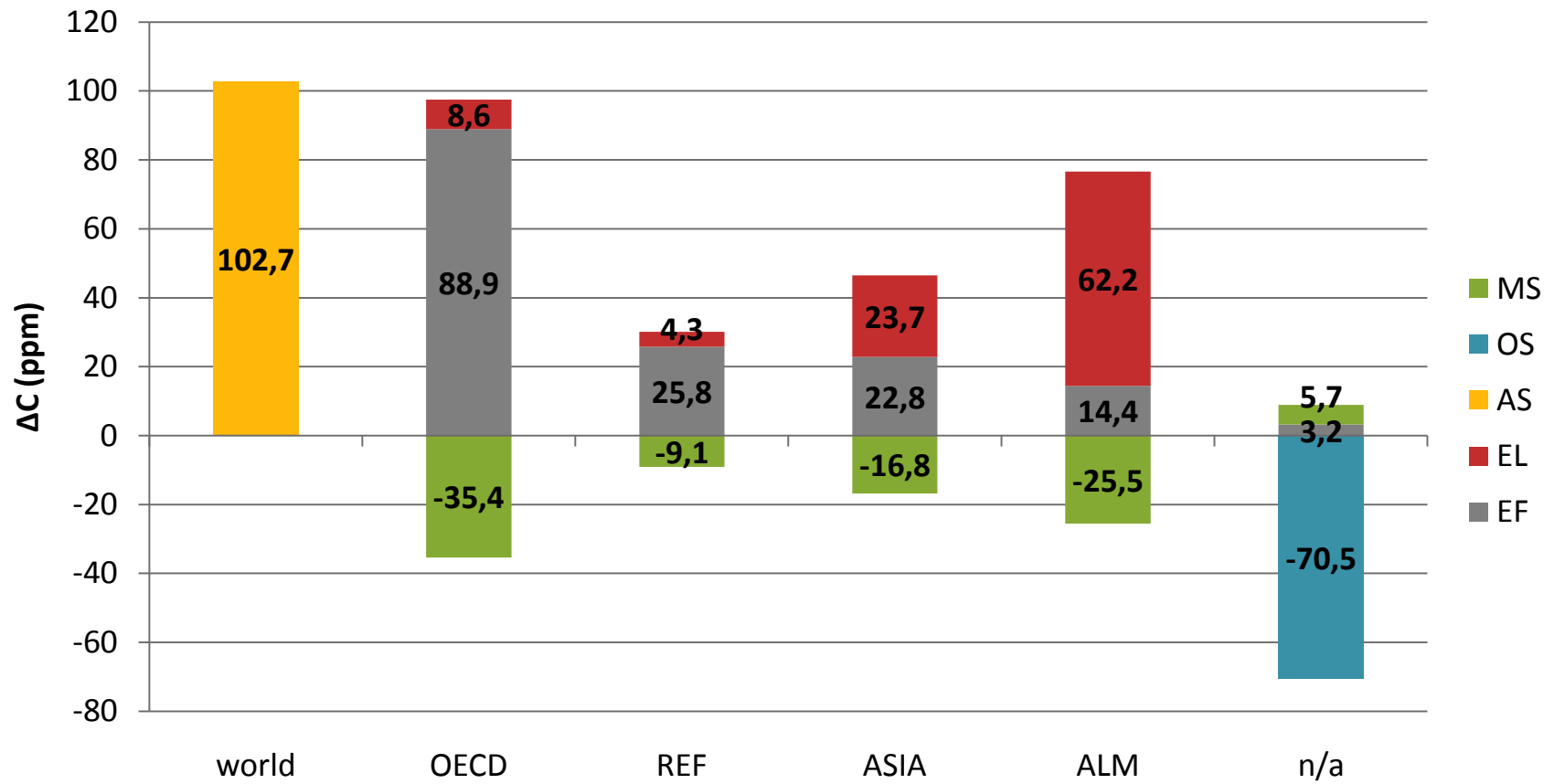
- Attribution de BS du point de vue des absorbeurs.



Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

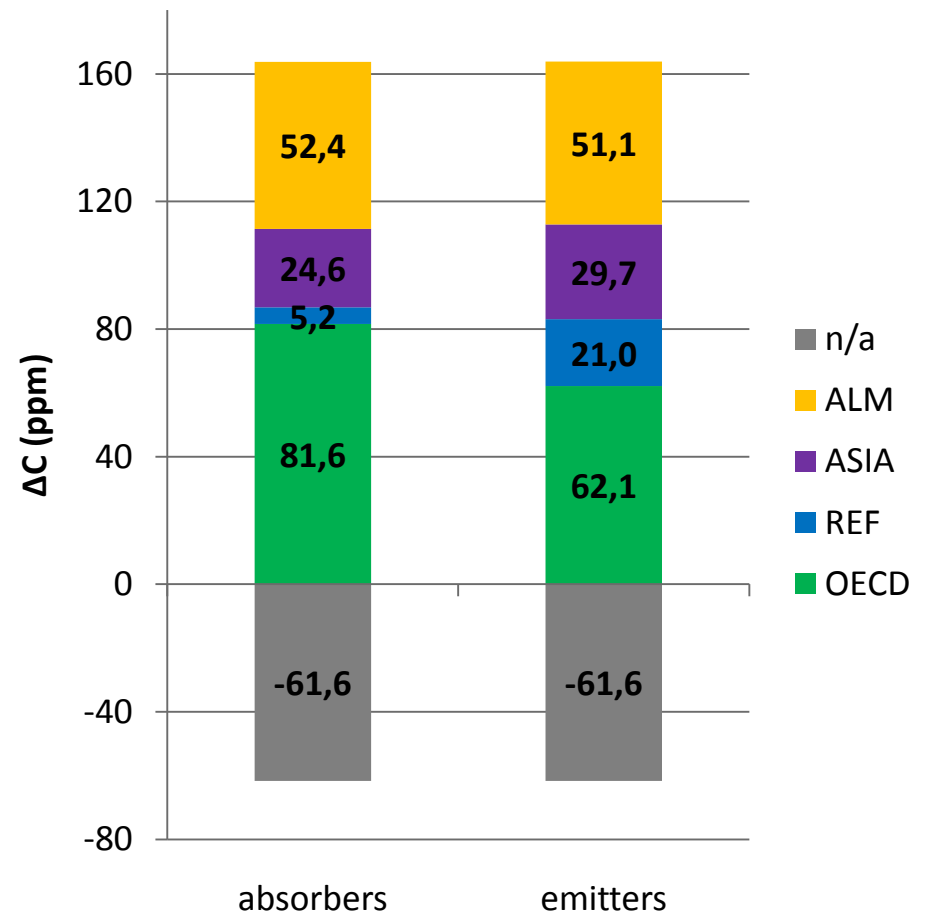
- Attribution de BS du point de vue des émetteurs.



Exemple d'utilisation

Attribution des puits de carbone

- Bilan : redistribution de la responsabilité climatique.
- Attribution similaire possible avec OS.
- Analogie avec l'*embodied carbon* :
 - Producer/Consumer
 - Absorber/Emitter



Conclusions

- OSCAR, un modèle biophysique simple :
 - Approche de manière satisfaisante le cycle réel.
 - Permet de faire des études conceptuelles.
- Cependant,
 - Nécessite un calibrage sur un modèle biophysique plus complexe (ORCHIDEE ...).
 - Certains modules peuvent encore être développés : interaction climatique, prise en compte de la demande en azote et en eau de la végétation, sol à plusieurs réservoirs, prise en compte d'autres GES (CH₄/N₂O).

Conclusions

- Potentialités du couplage biophysique/économie :
 - Etablissement des EF et du LUC en fonction des activités économiques.
 - Calcul de *l'embodied carbon* dans les émissions (EF/EL).
 - Mise en place de taxes, liés à *l'embodied carbon* et/ou à la TAC du puits biosphérique.
 - Etablissement d'équations de Kaya par régions / activités économiques / types d'émissions.