



# Les Besoins Géophysiques & Sociétaux

Pierre H. Flamant

Institut Pierre Simon Laplace

Laboratoire de Météorologie Dynamique

École Polytechnique, Palaiseau

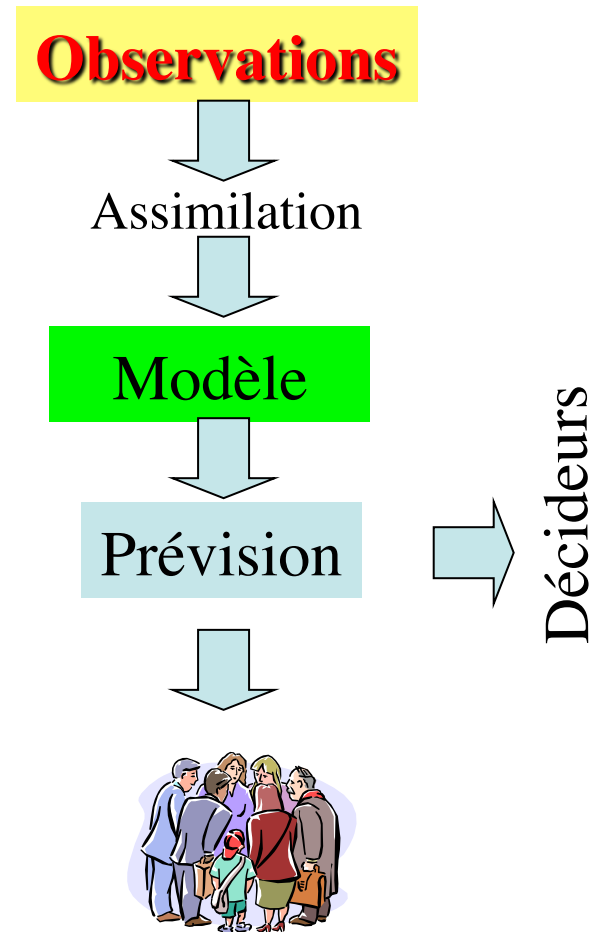
*Courriel:* [pierre.flamant@lmd.polytechnique.fr](mailto:pierre.flamant@lmd.polytechnique.fr)

*Téléphone:* 01 69 33 51 50

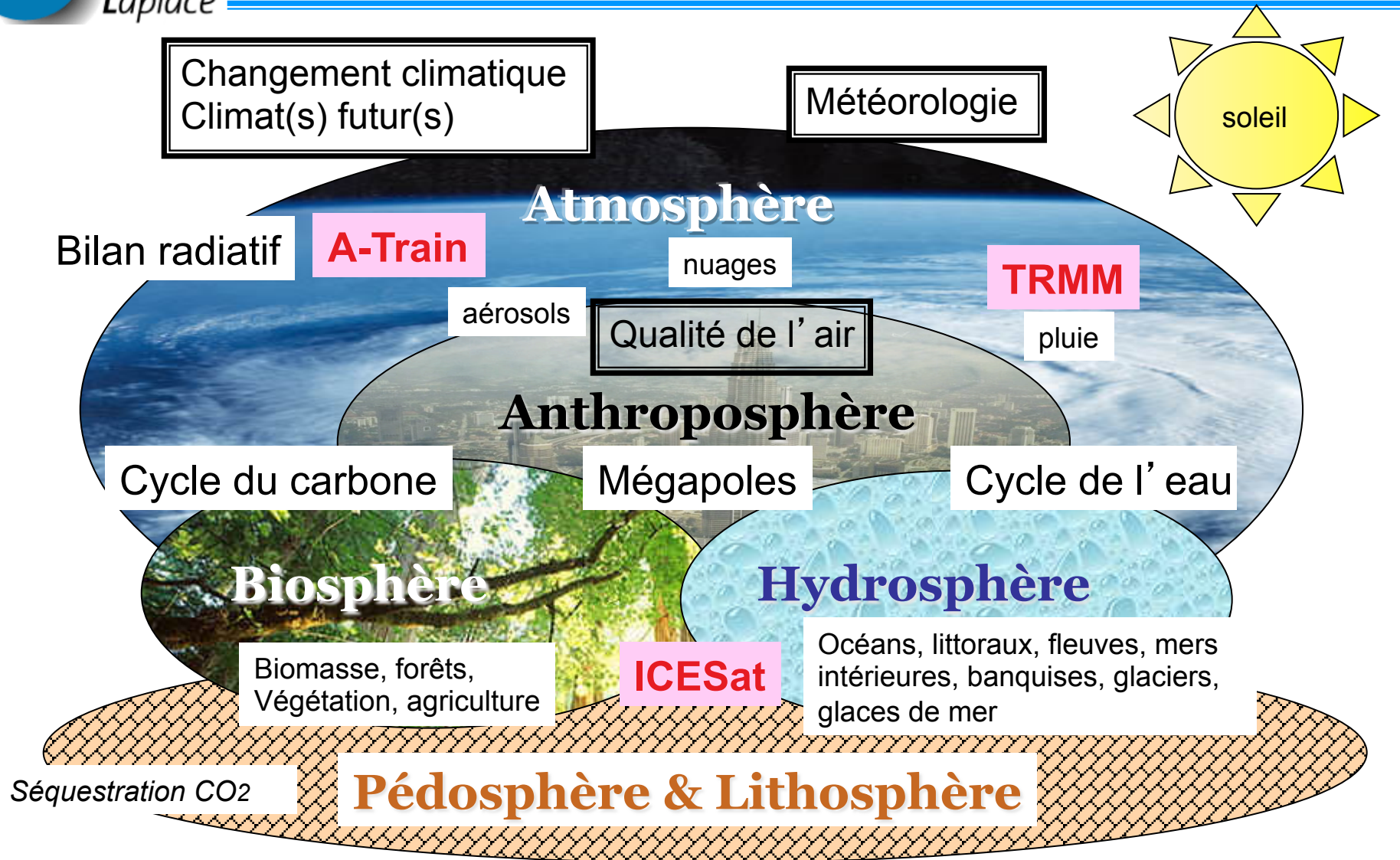
# Société & Environnement

Connaître  $\Rightarrow$  Prévoir  $\Rightarrow$  Maîtriser  $\Rightarrow$  S' adapter

- Connaître
  - **Observer**
- Comprendre
  - Modéliser
- Pour prévoir



# Contexte Scientifique



\*En rouge, exemples de lidar (CALIPSO, ICESat) et radar (COUDSAT, TRMM) spatiaux



# Le Besoin Géophysique

---

- **Atmosphère**
  - Climat, bilan radiatif  $\Rightarrow$  nuages & aérosols, **GES**, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ...
  - Météorologie : champ de vent
  - Chimie atmosphérique
- **Compréhension des grands cycles du système Terre**
  - Hydrologique (l'eau)
  - Carbone



# Les Besoins Sociétaux

---

- **Atmosphère**

- *Engineering climatique en réponse (contre réaction)*
- Qualité de l'air, pollutions gazeuse ( $O_3$ ) & particulaire (PM10, 2,5)
  - Réseau de surveillance associant observations et modélisation
  - Prévention & santé publique
  - Conditions aggravantes pour la pollution, canicule
- Aéronautique => vortex, volcan, aérosols désertiques, ...
- Militaire/tactique

- **Surface**

- Relevés topographiques de zones urbanisées, inondées,
- Végétation, Gestion forestière => canopée => biomasse
- Agriculture
- Gestion du littoral => zones côtières
- Biomasses marines, poissons
- Pollution des eaux, matière organique dissoute, pétrole (suite à un accident ou un dégazage de cuve)
- Gestion écologique



## Sécurité aérienne

- Au sol
  - Brouillard
  - Tourbillons de sillage  $\Rightarrow$  danger  $\Rightarrow$  intervalle de temps entre atterrissage et décollage
- En vol
  - Cisaillement de vent (atterrissage/décollage)  $\Rightarrow$  danger
  - Turbulence en air clair
  - Poussières volcaniques, désertiques



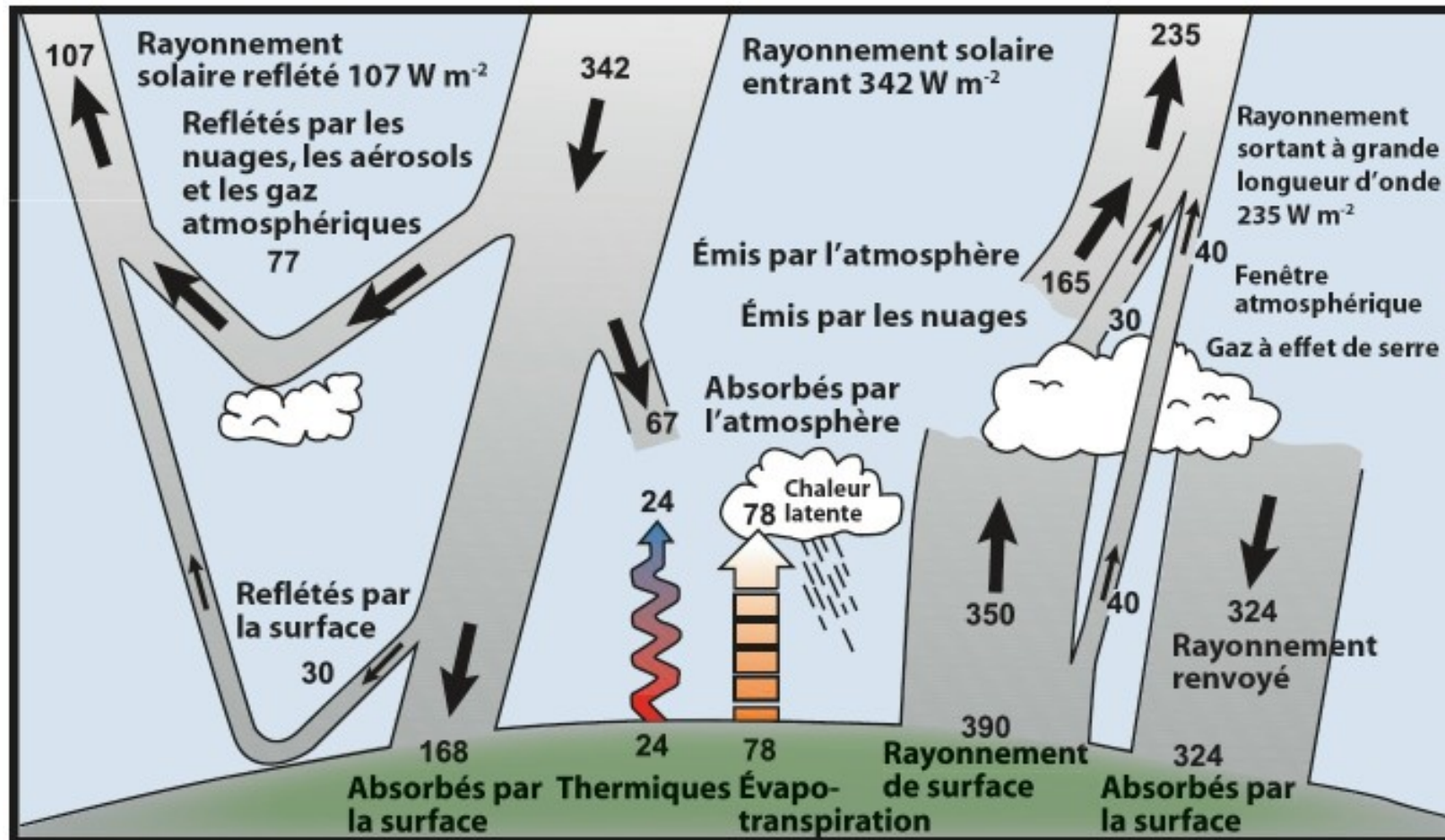
# Militaire

---

- Opération militaire  $\Rightarrow$  champ de vent, caractérisation des écrans obscurcissants et vision au travers de ces écrans (ladar flash)
- Modélisation des conditions météorologiques du champ de bataille

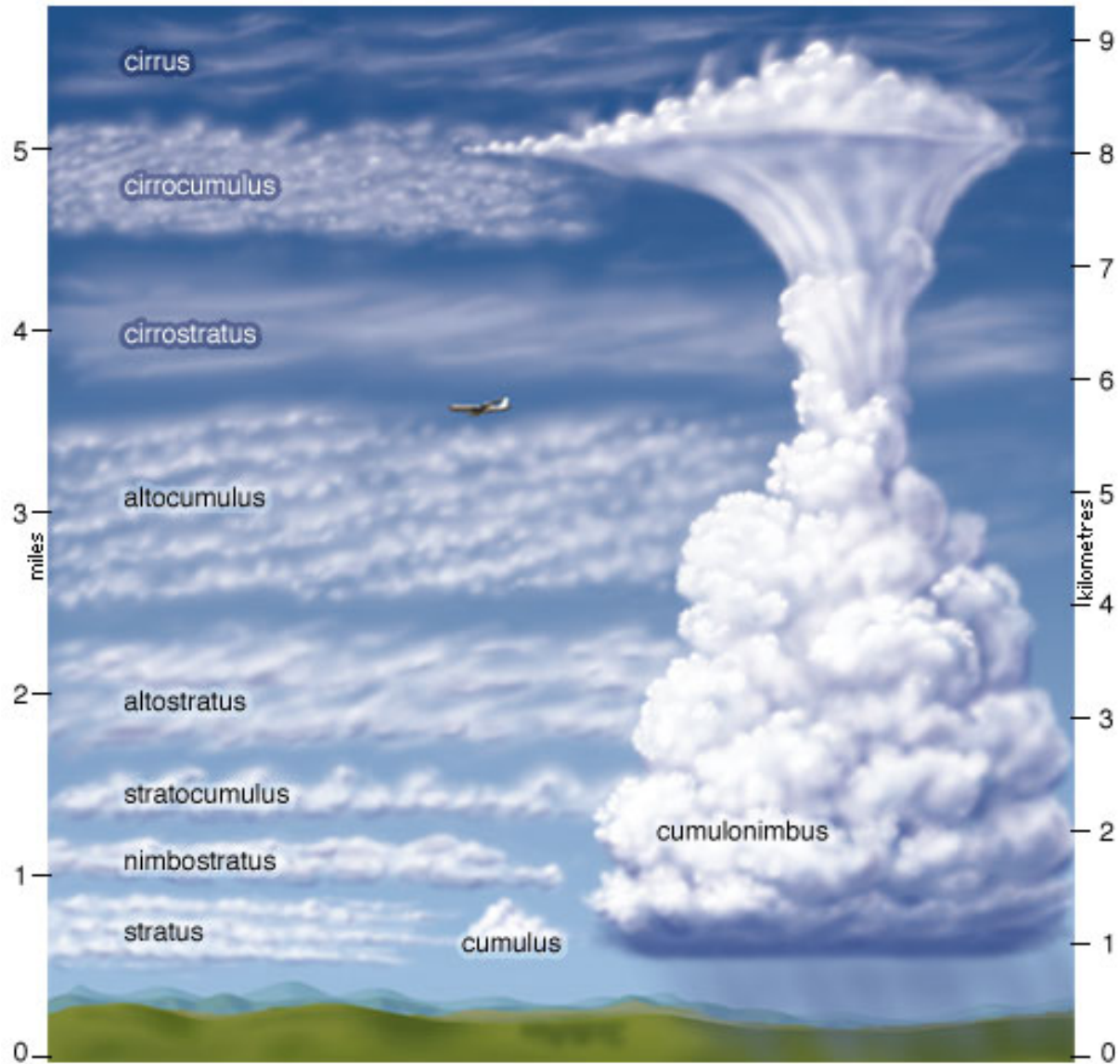
# Bilan radiatif

La terre est en équilibre thermique avec le soleil





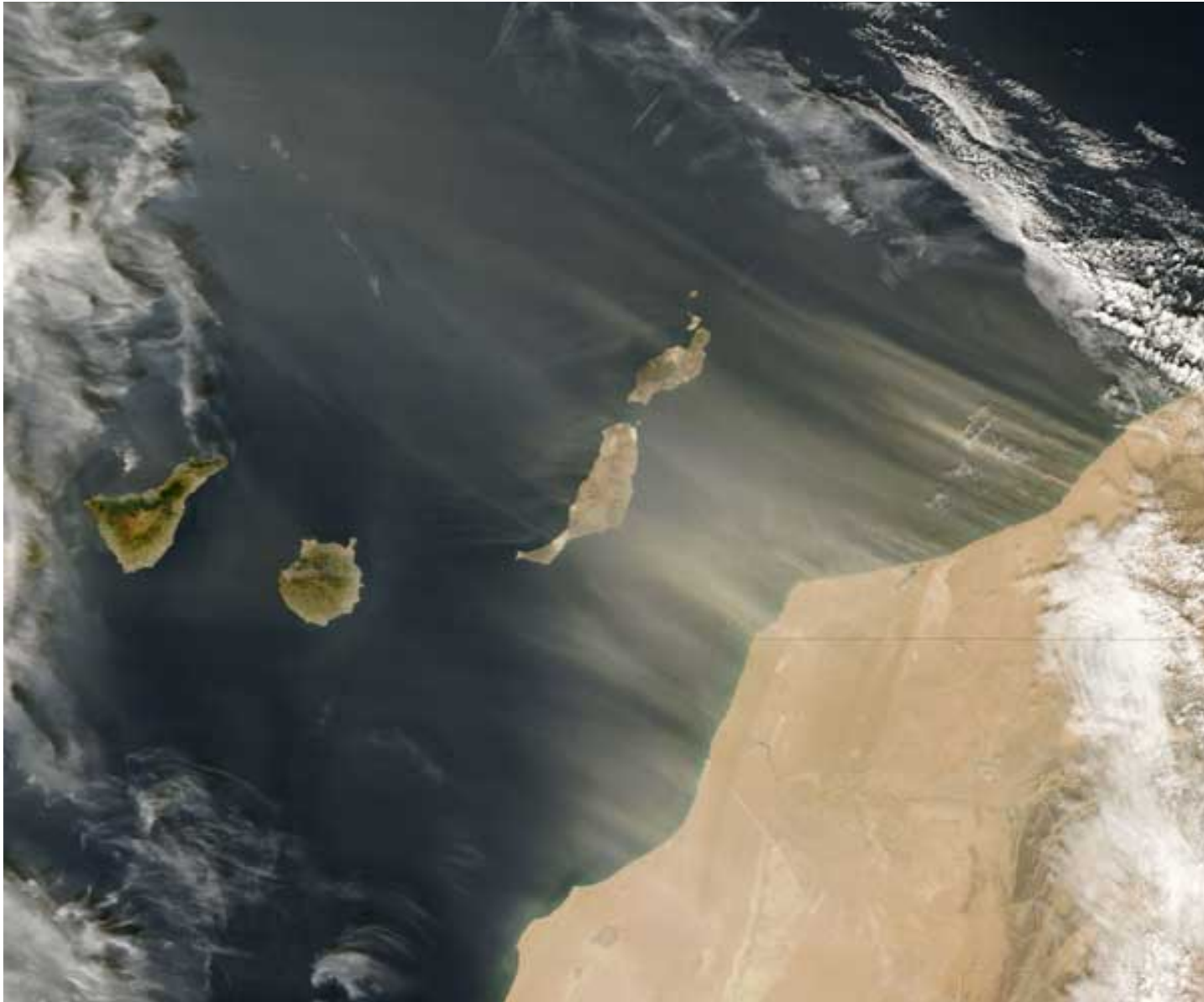
# Nuages



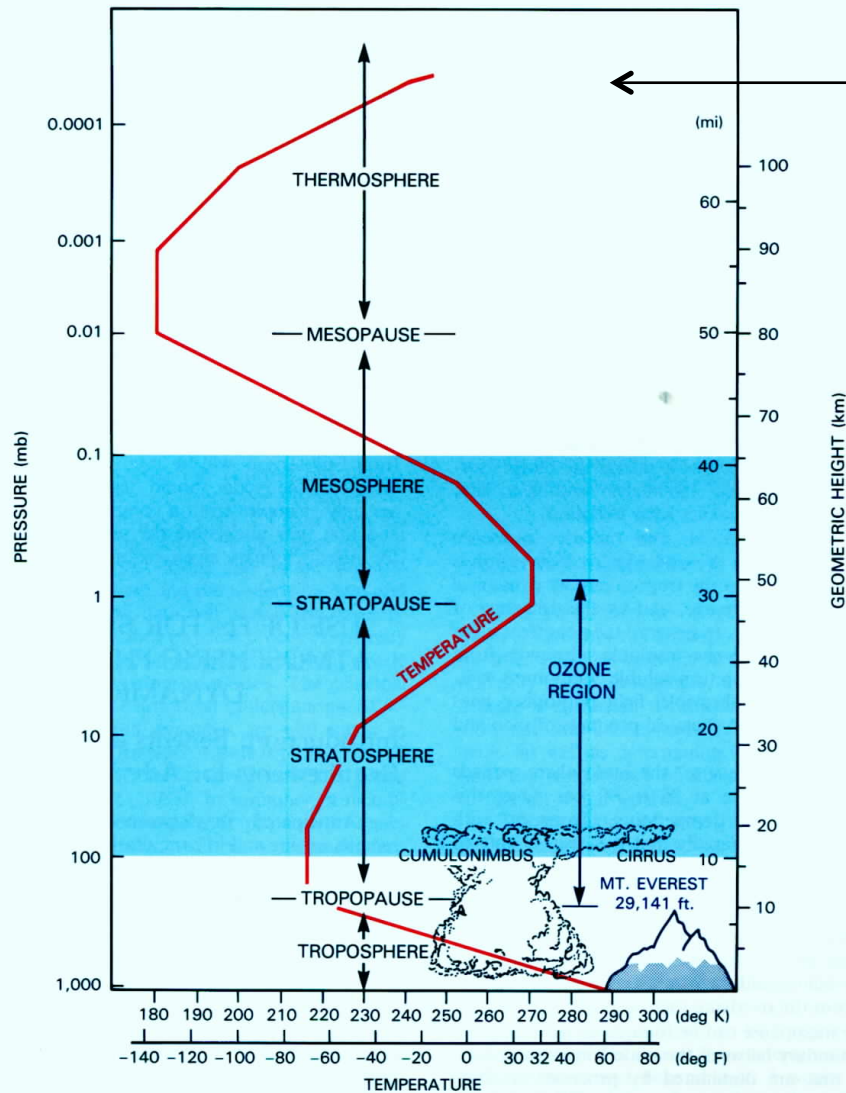


# Poussières Désertiques

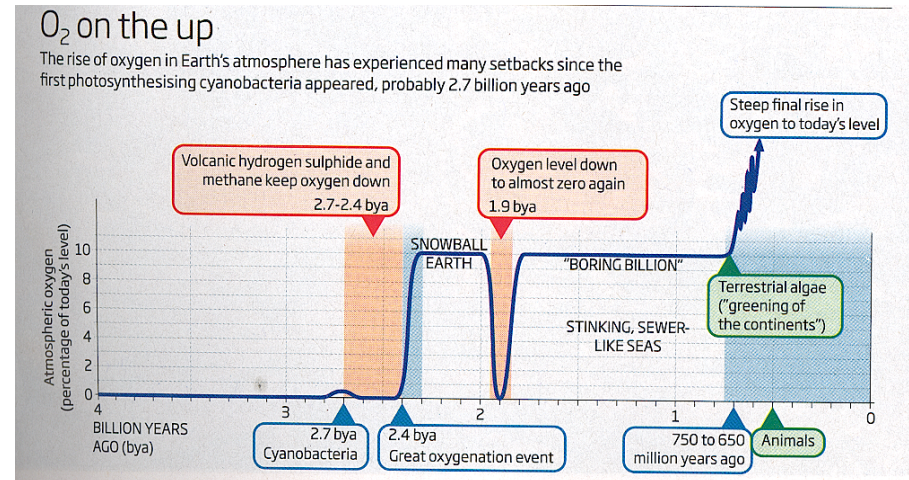
---



# Ozone

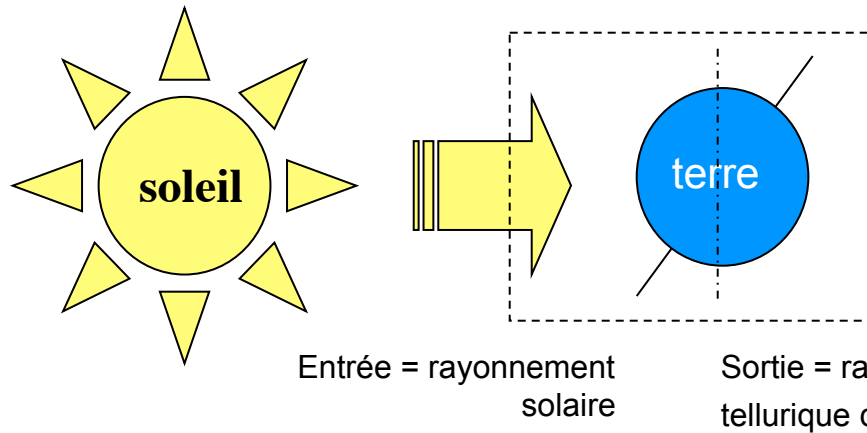
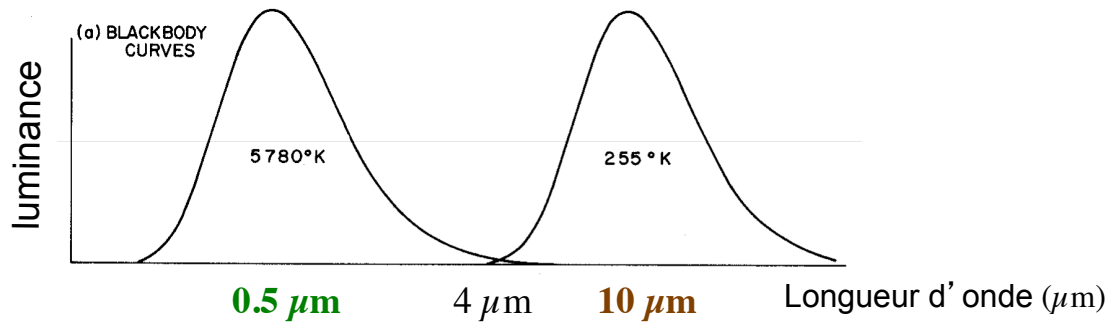


- La composition en gaz et particules détermine la structure thermique de l'atmosphère
- La composition de l'atmosphère a évolué considérablement au cours des temps géologiques
- Exemple de l'oxygène moléculaire (O<sub>2</sub>), on peut en dire autant de l'eau, du méthane, ...



# Terre sans Atmosphère

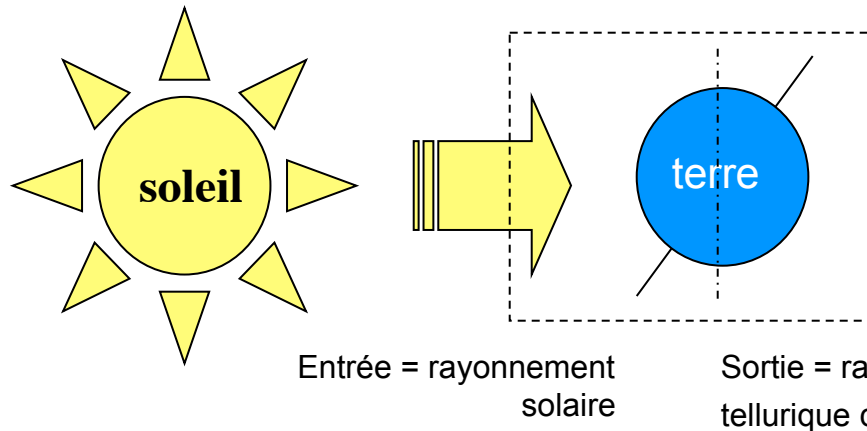
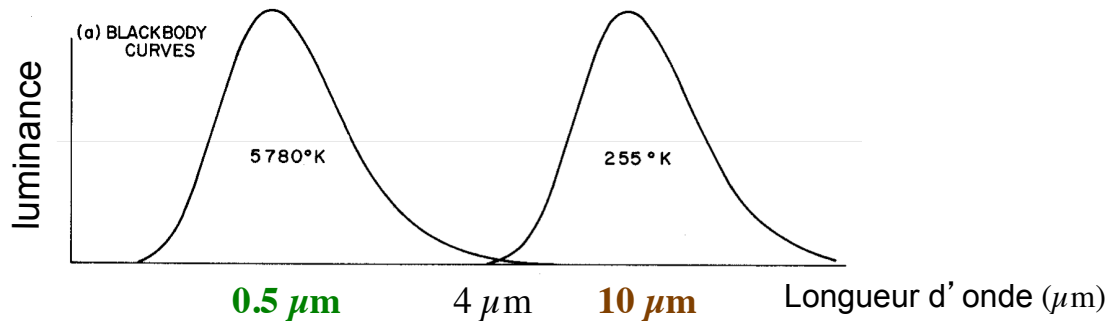
La terre reçoit le rayonnement solaire sur un hémisphère ( $\pi R^2$ ) et rayonne par toute sa sphère ( $4\pi R^2$ )



Terre sans atmosphère à l'équilibre  $\Rightarrow$  **T surface = 255 K** soit - 18°C !

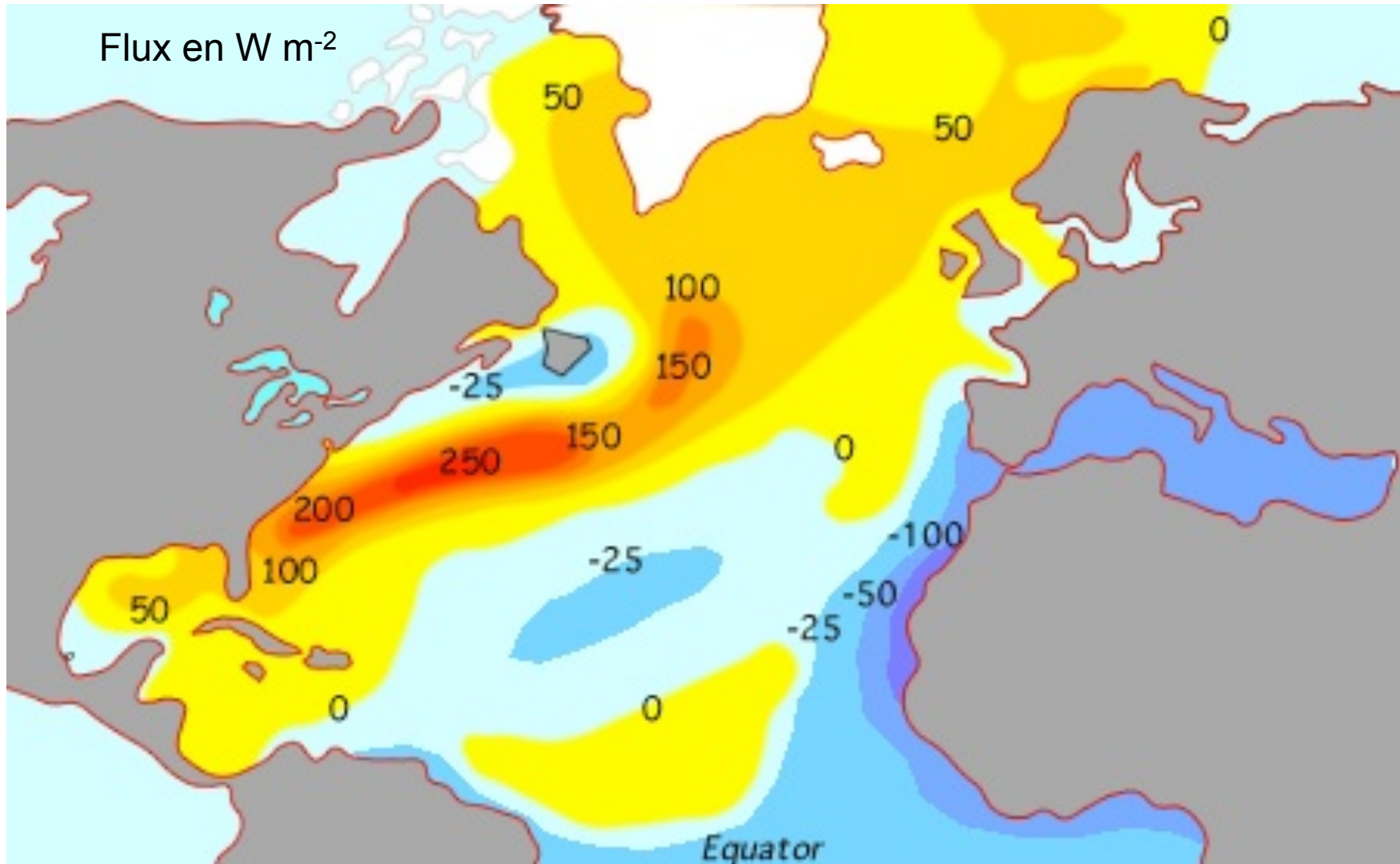
# Terre sans Atmosphère

La terre reçoit le rayonnement solaire sur un hémisphère ( $\pi R^2$ ) et rayonne par toute sa sphère ( $4\pi R^2$ )

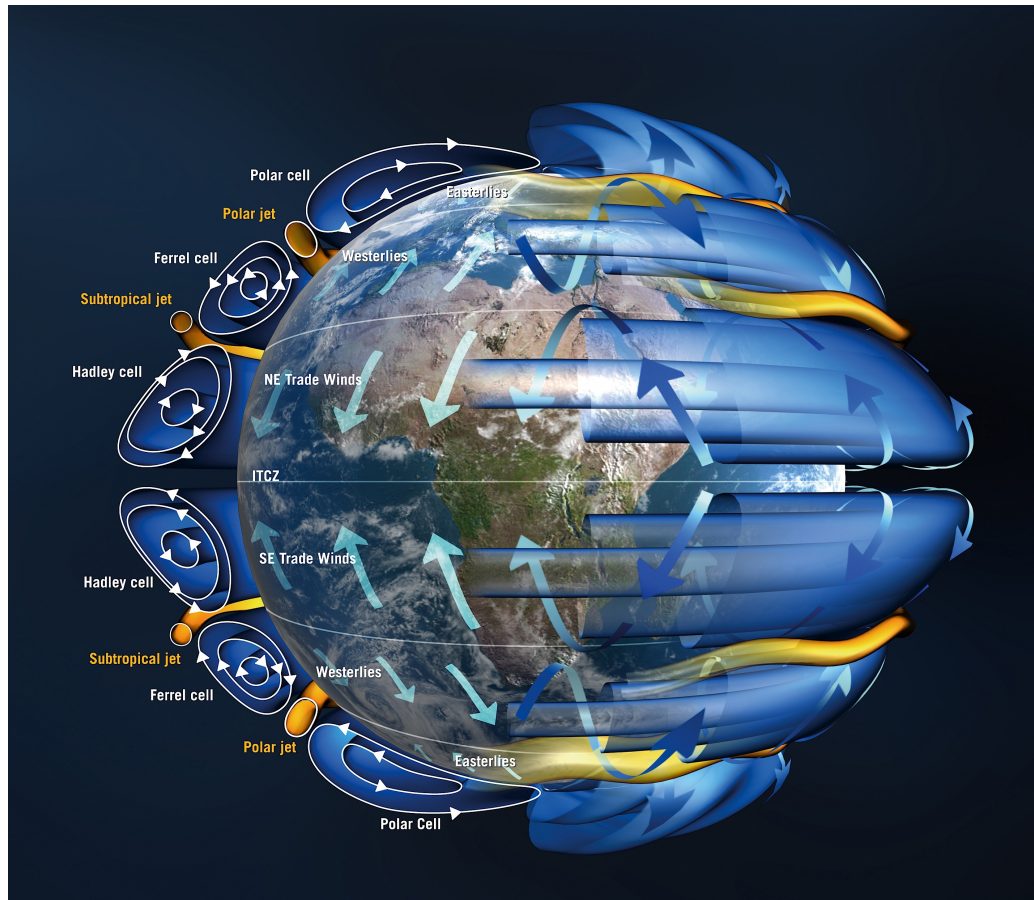


Terre sans atmosphère à l'équilibre  $\Rightarrow$  **T surface = 255 K** soit - 18°C !

# Échanges Radiatifs Océan-Atmosphère



# Dynamique Atmosphérique

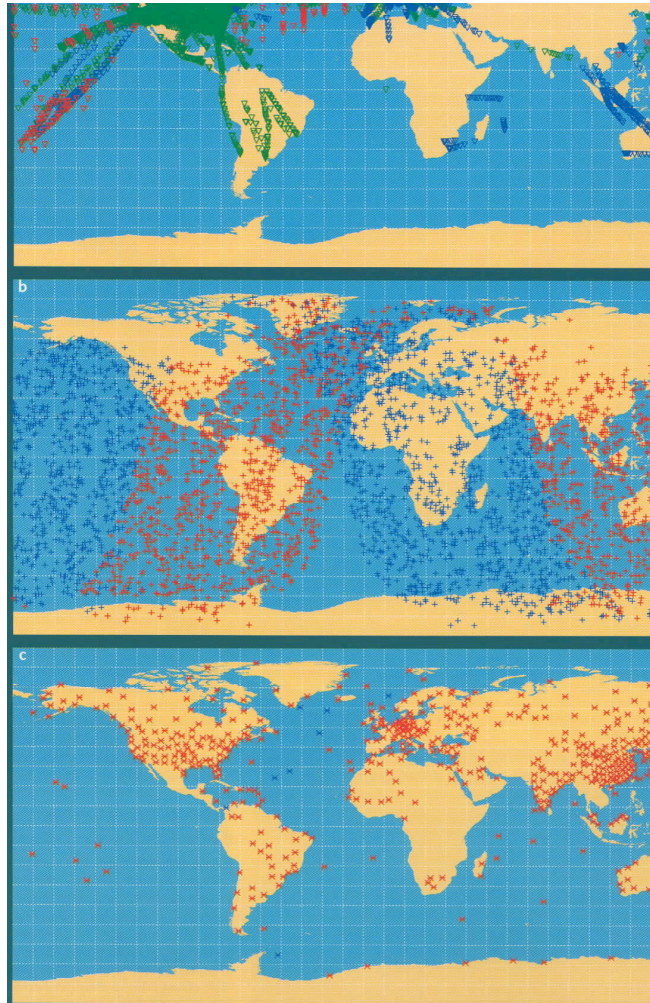


- Système Terre
- Le moteur thermique: excès d'énergie solaire dans les tropiques qui est redistribué vers les hautes latitudes
- Réseau mondial d'informations météorologiques (OMM) : répartition très hétérogène des sites de radiosondage en nombre insuffisant



# Météorologie Opérationnelle

Observations disponibles pour l'assimilation dans une fenêtre de 6 heures à 1200 UTC le 5 mars 2002



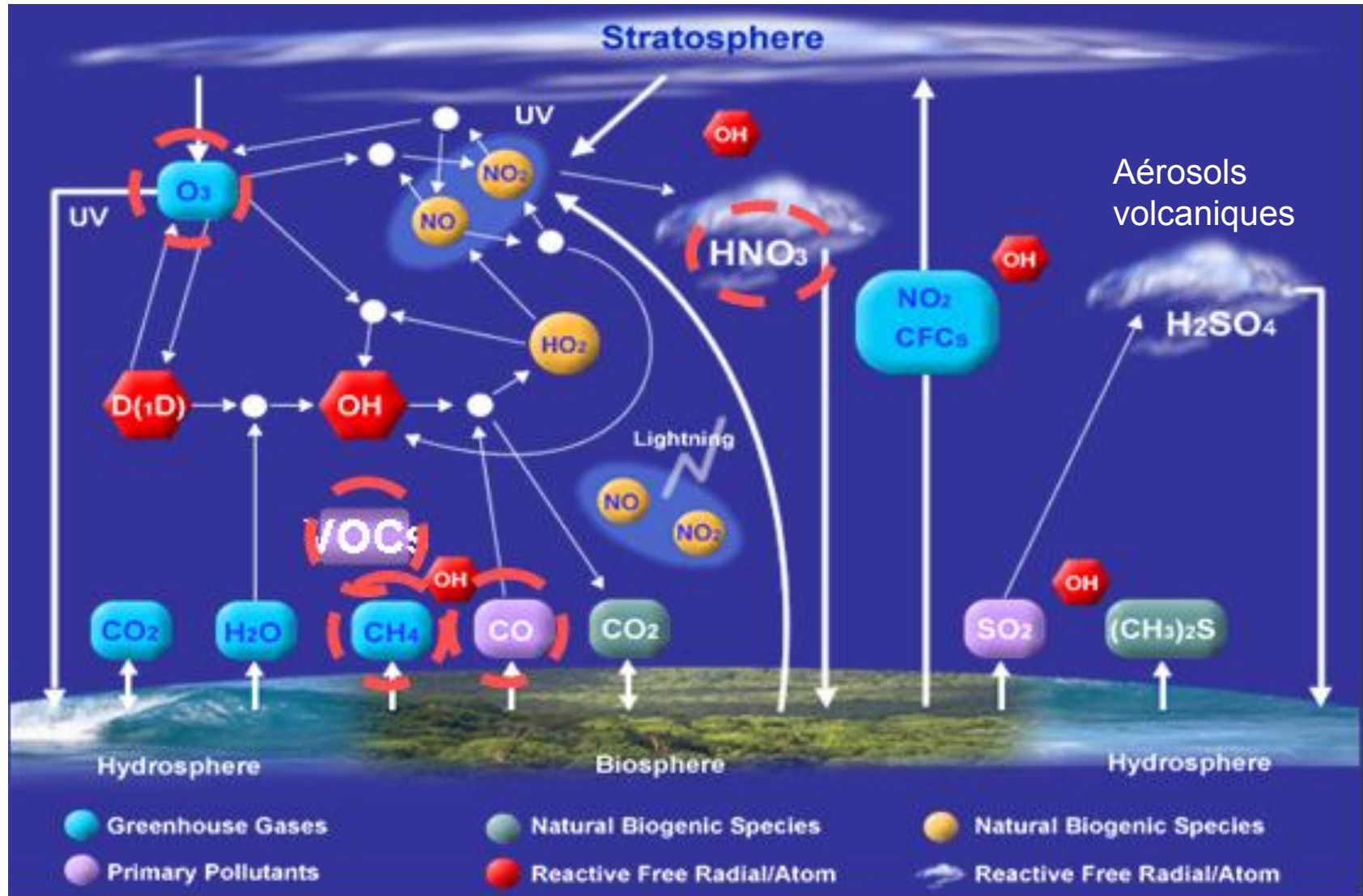
- Avions commerciaux

- Satellite Sondeur vertical => température

- **Radio sondages**



# Chimie Atmosphérique



## Augmentation des Gaz Anthropiques (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ...) à Effet de Serre

Modification du bilan radiatif de l'atmosphère

⇒ Augmentation de la température de surface ⇒ modification de la convection et de la couverture nuageuse ⇒ modification des précipitations ⇒ modification des ressources en eau potable ⇒ mouvement des populations ⇒ etc

⇒ *Se souvenir que la vapeur d'eau est le premier gaz à effet de serre*

⇒ Une augmentation de la couverture nuageuse ⇒ refroidissement ⇒ mais si gouttelettes + petites alors moins de pluie

⇒ Modification de la circulation atmosphérique

⇒ Besoin d'une meilleure compréhension des sources et des puits de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ...

⇒ Énergie renouvelable (éolienne, ...)

⇒ « *Engineering climatique* » (! ?)

## Augmentation du trafic aérien

⇒ Augmentation du CO<sub>2</sub>

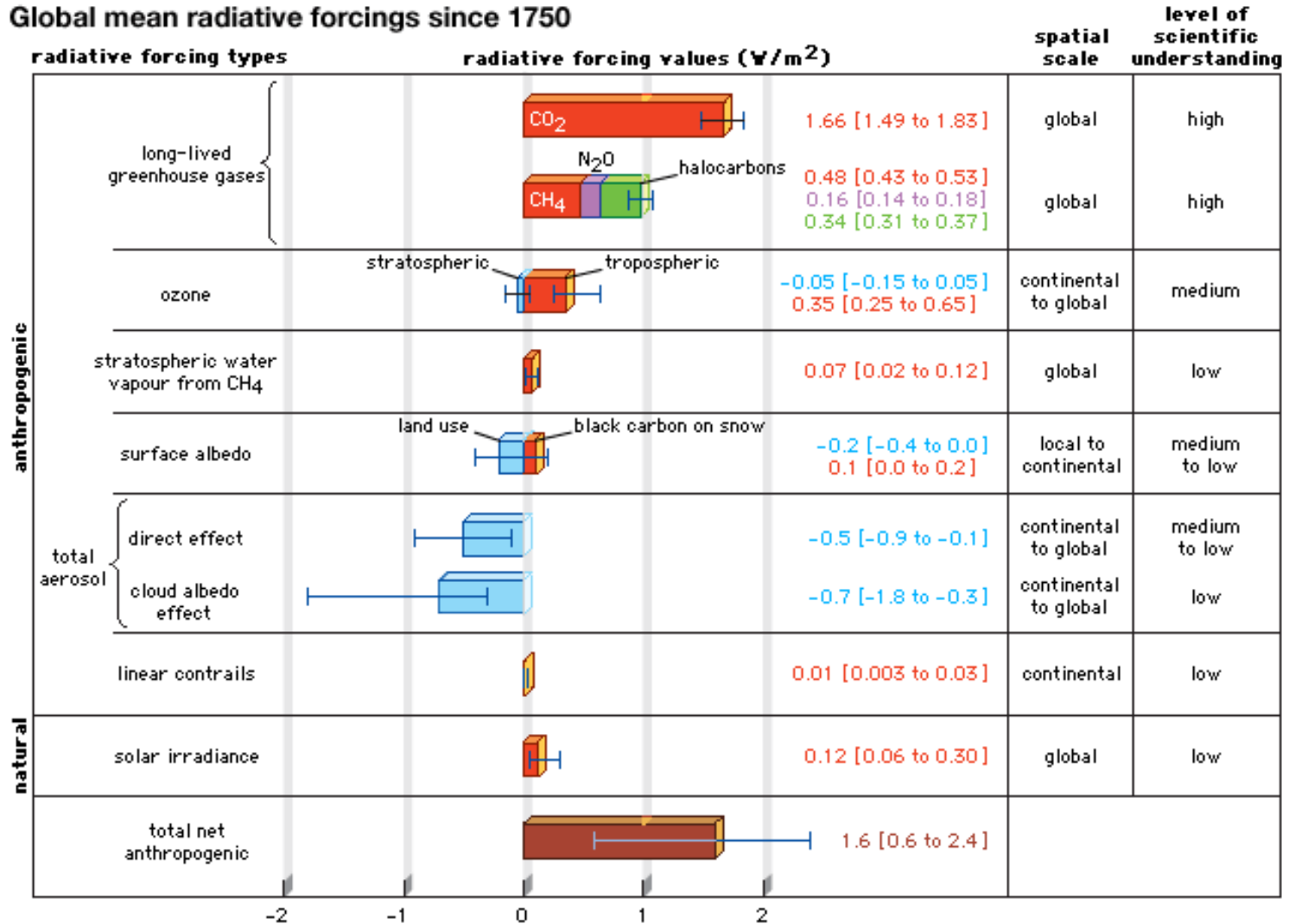
⇒ Augmentation des « contrails » ⇒ ± forçage radiatif

# Forçage Radiatif & Incertitudes

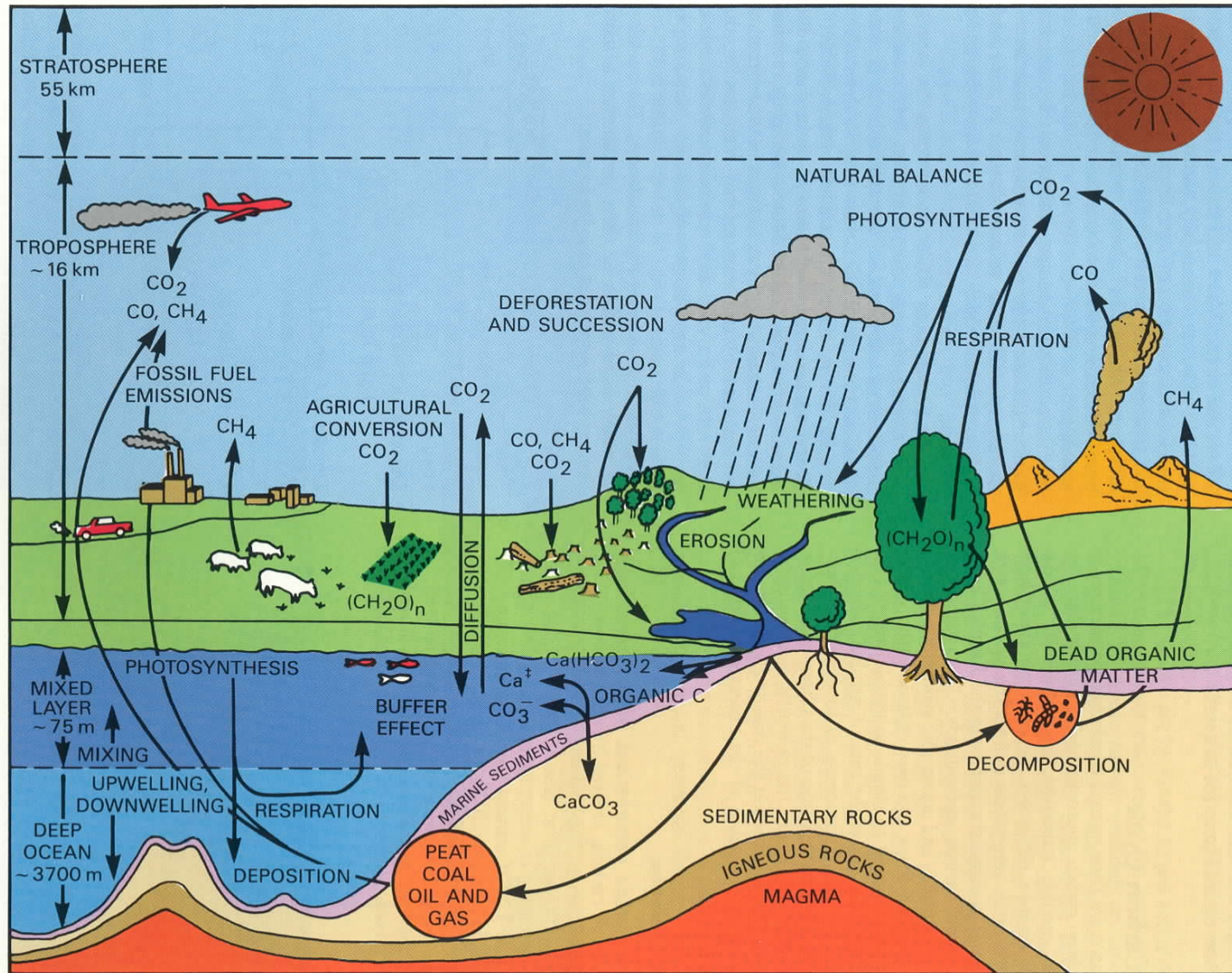
Constante solaire  $1370 \text{ W m}^{-2}$   
 + ça chauffe - ça refroidit

Surtout les contributions  
anthropiques

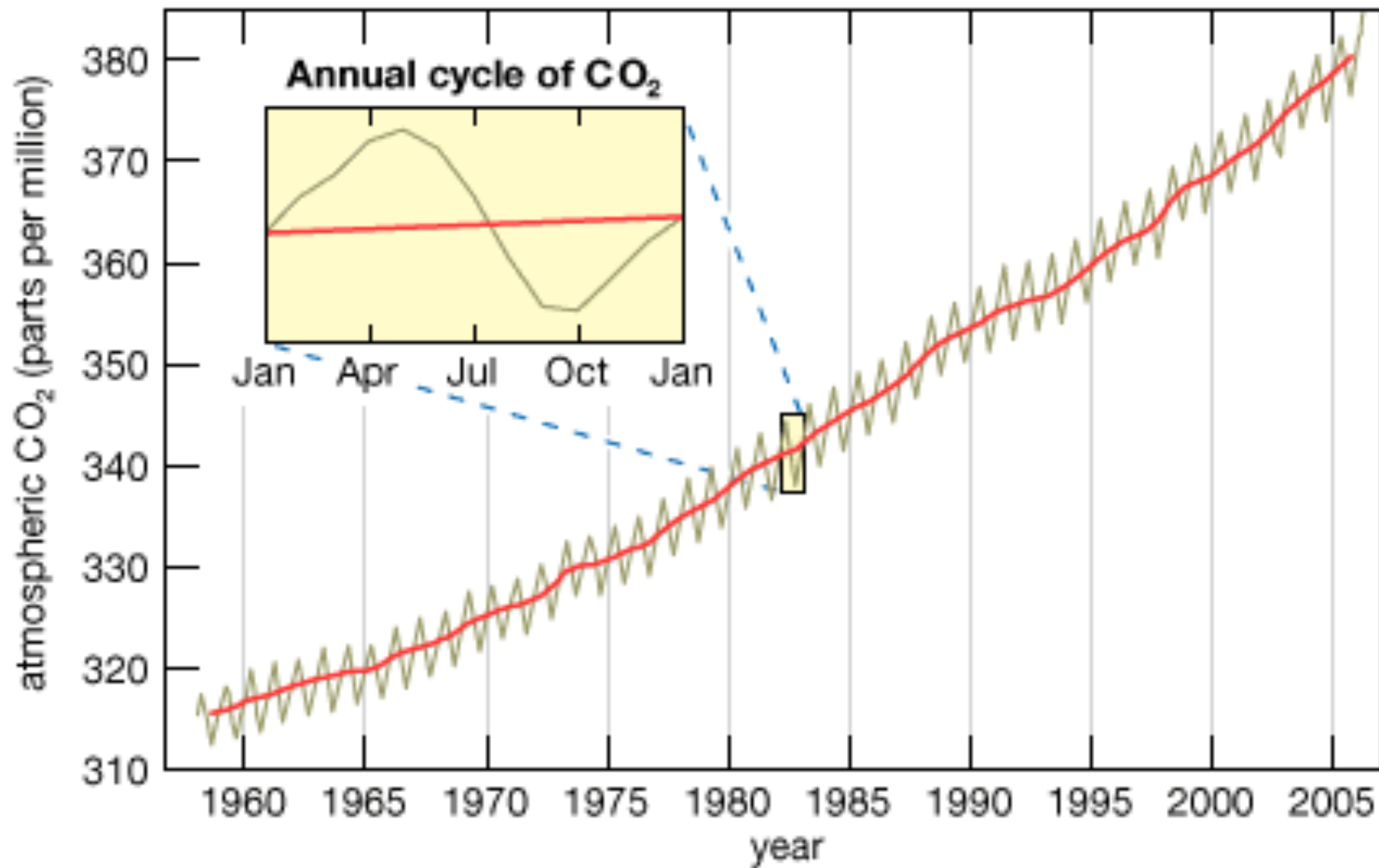
Global mean radiative forcings since 1750



# Cycle du Carbone



## The Keeling Curve Observatoire Hawaiï

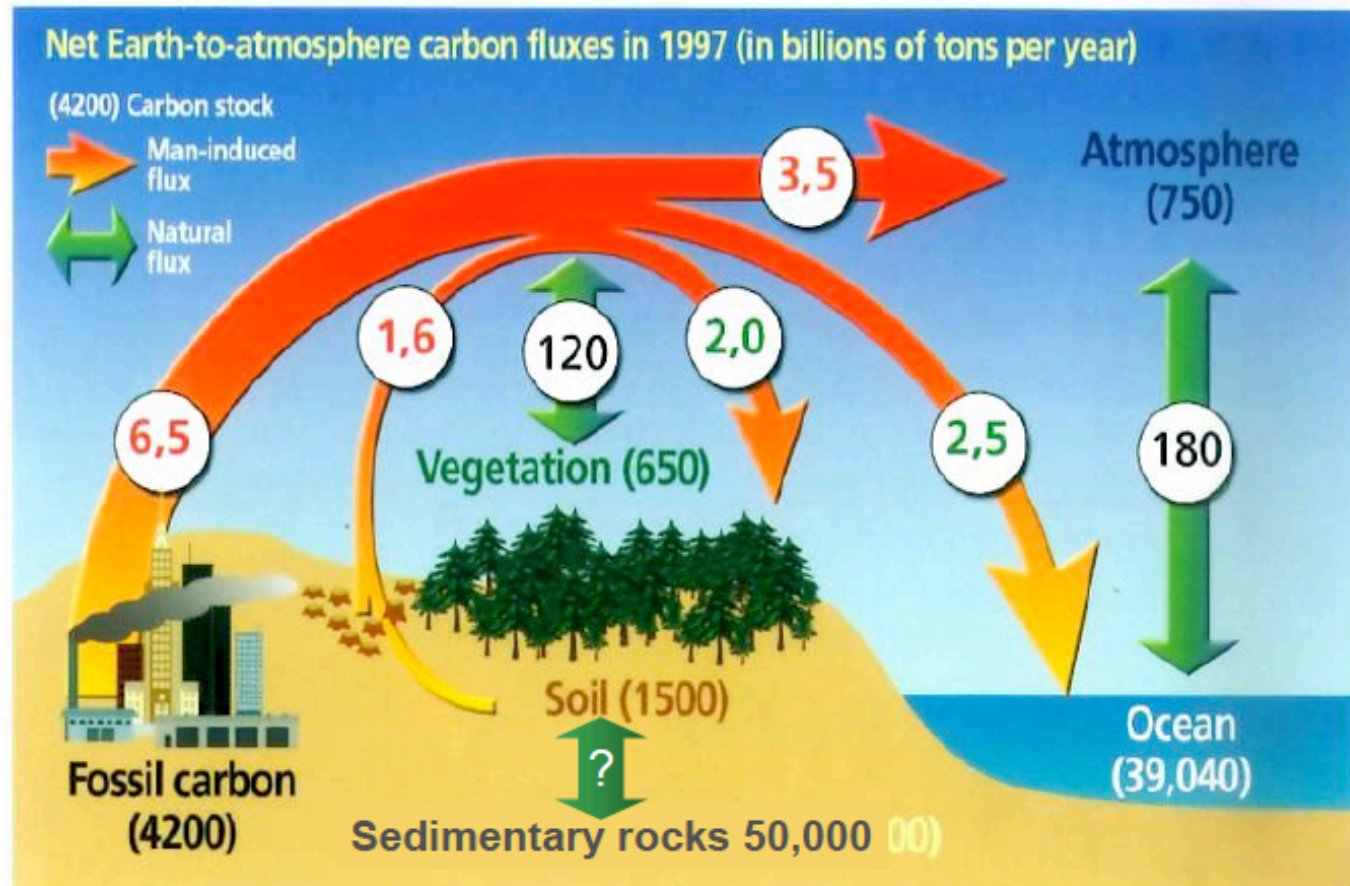


# Flux de Carbone

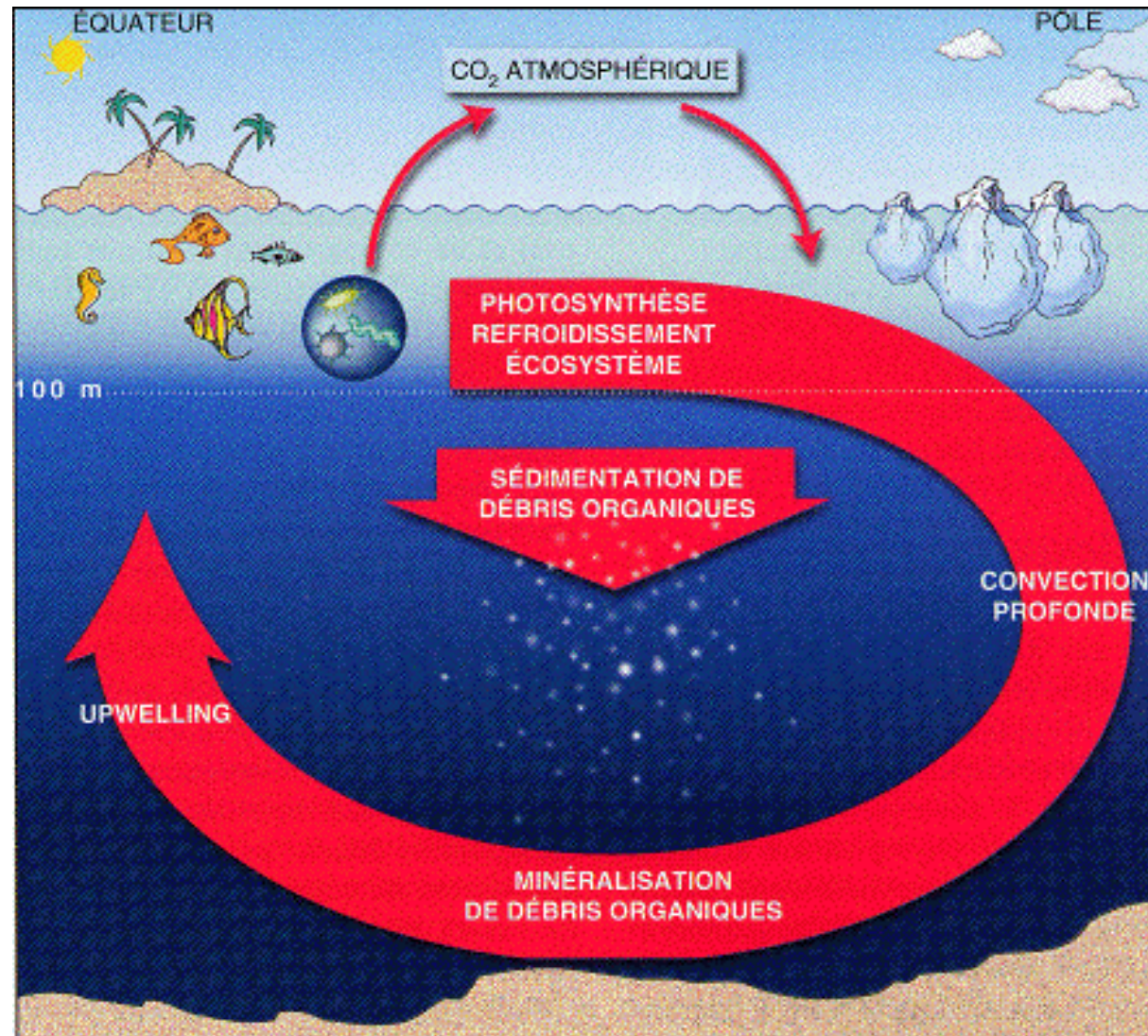
**Puits terrestres et aquatiques sont d'égale importance pour pour la séquestration du CO<sub>2</sub> antropique**

Biomasses continentales => carbone vert

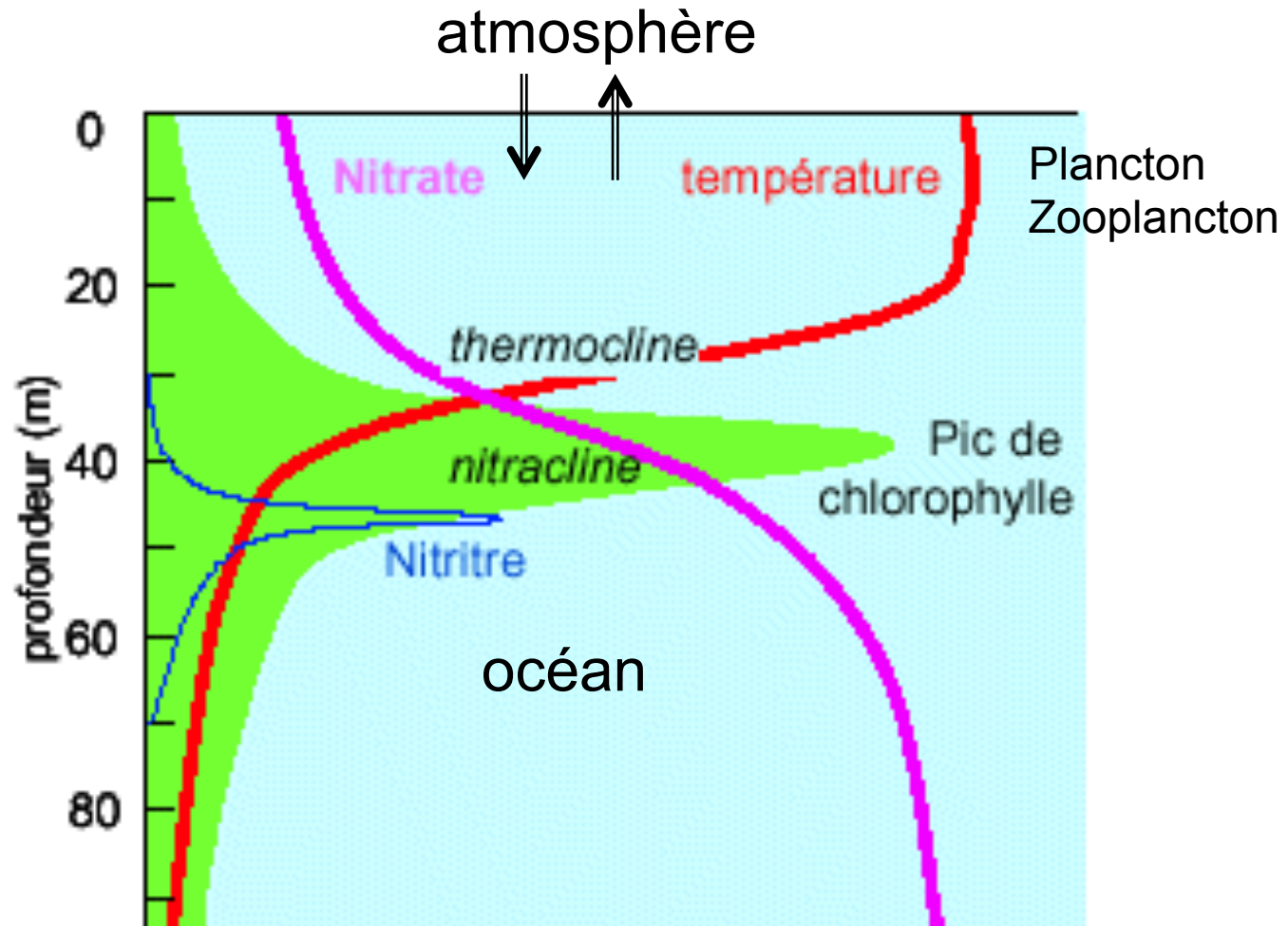
Biomasses aquatiques => carbon bleu



# CO<sub>2</sub>

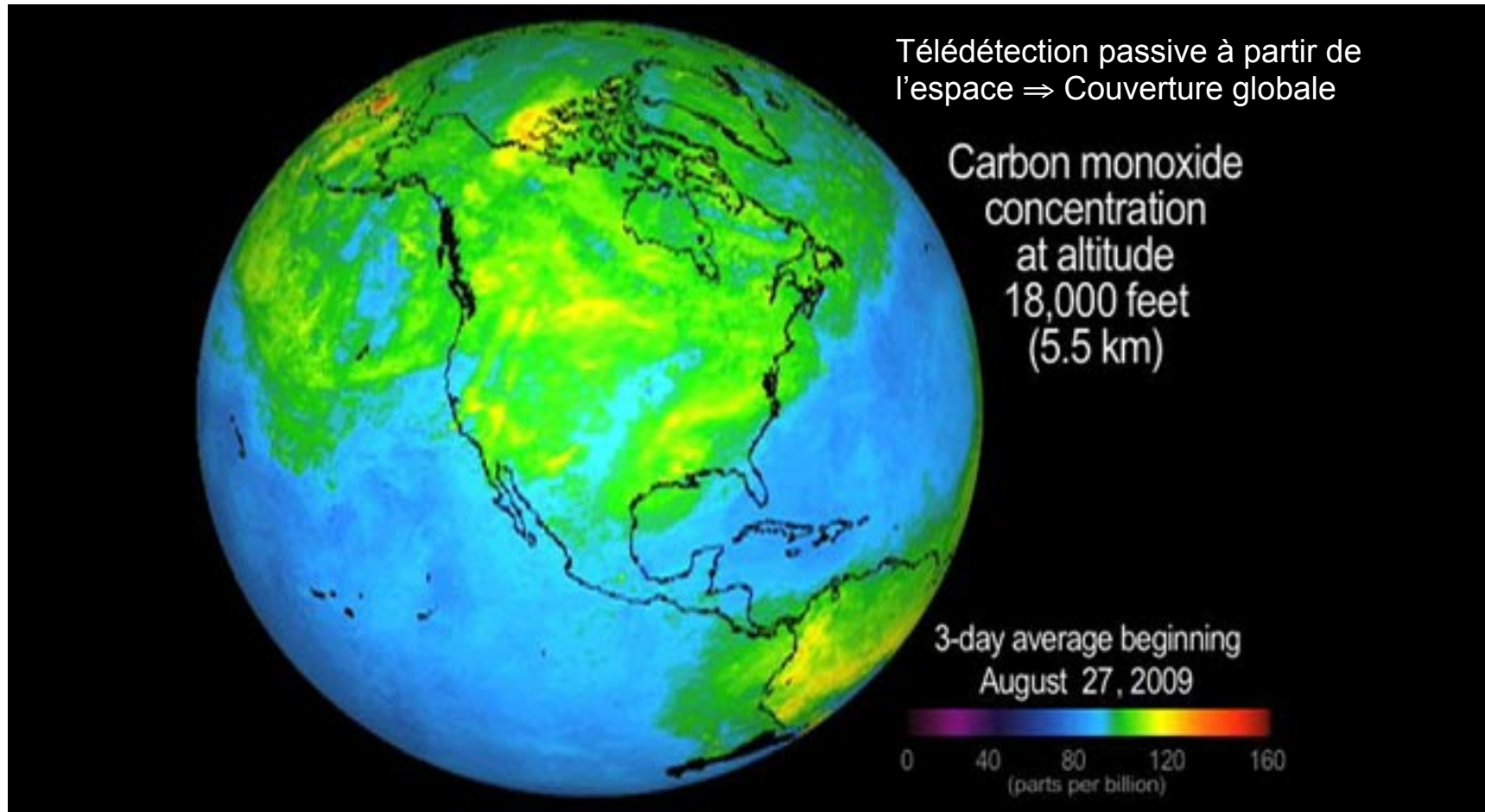


# Chlorophylle dans l'Océan

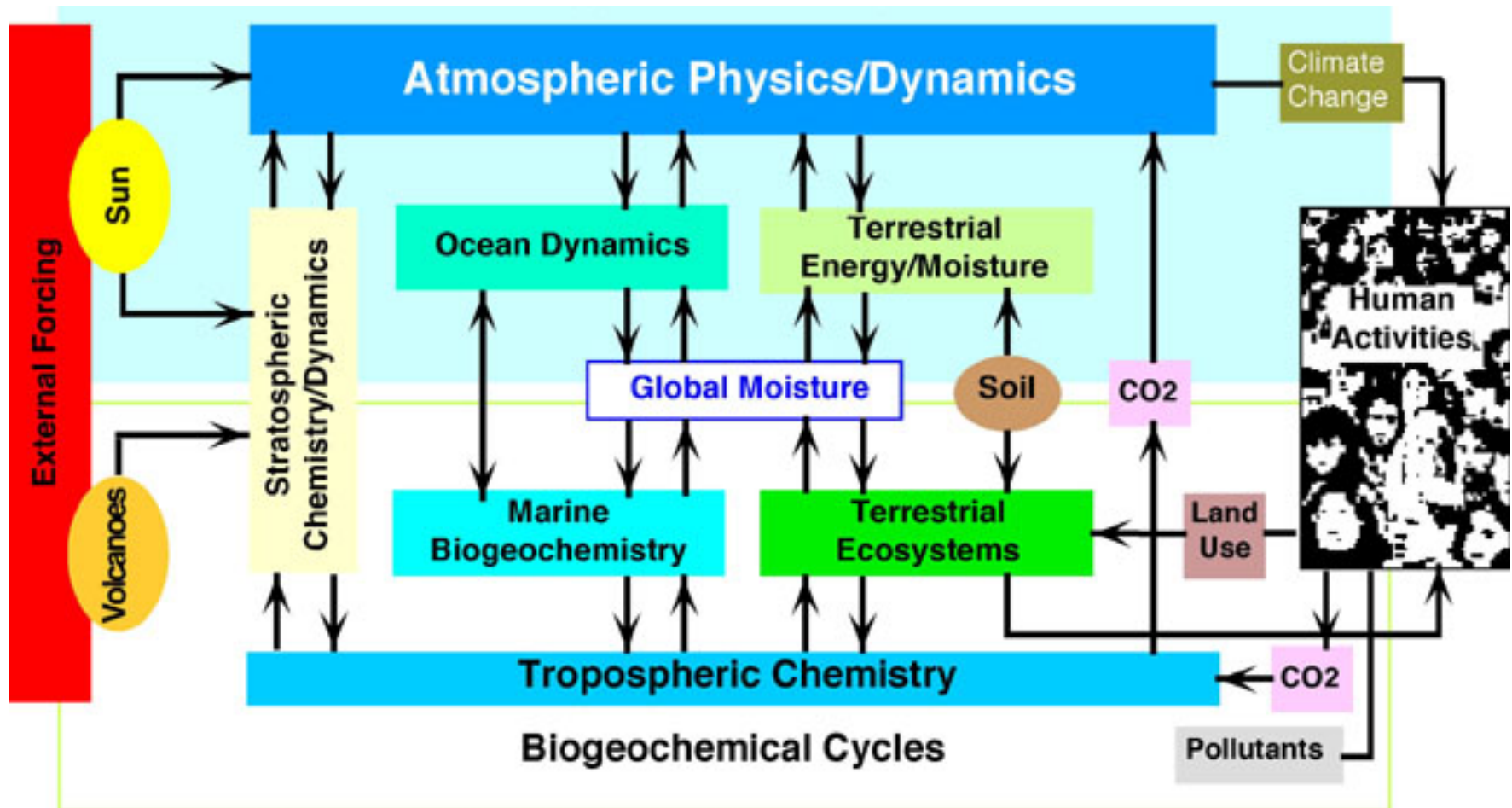




# AIRS (NASA)



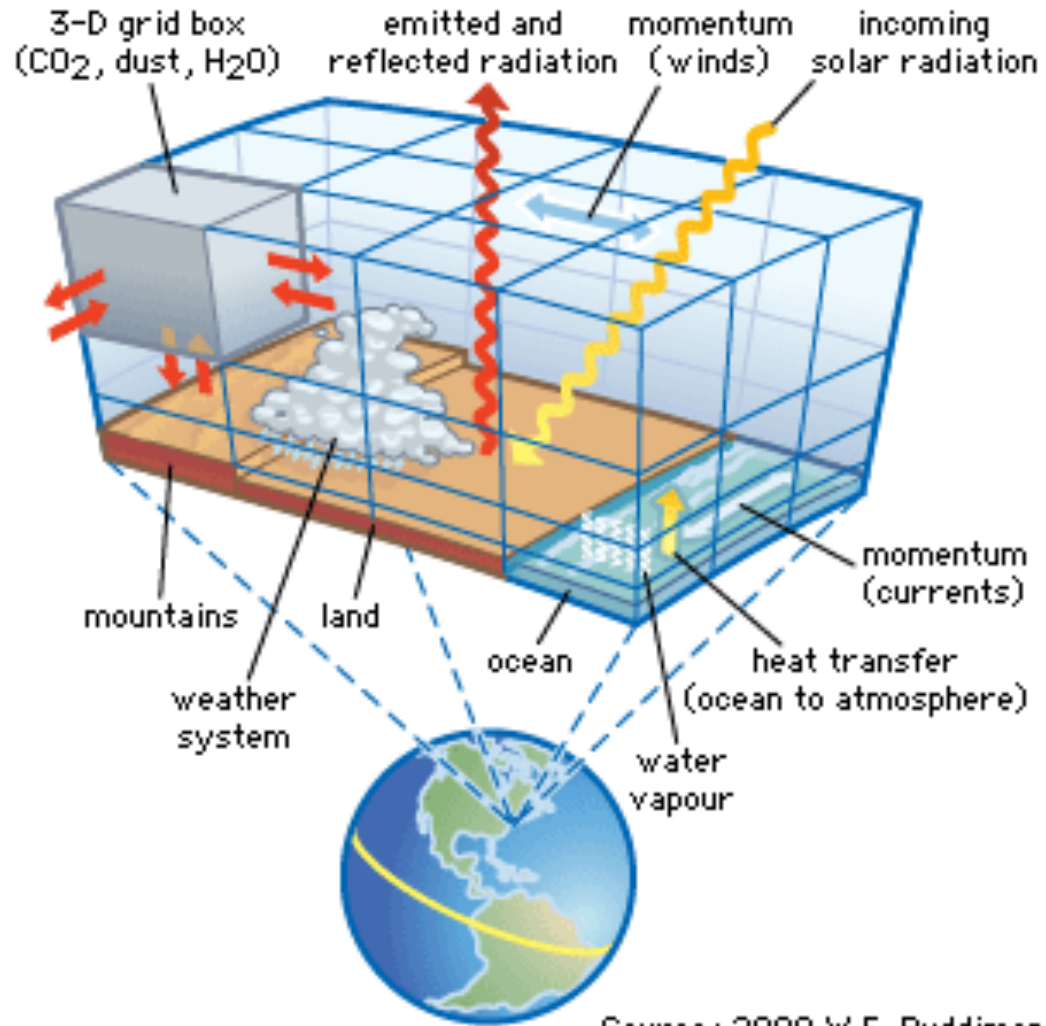
# Système Physique du Climat



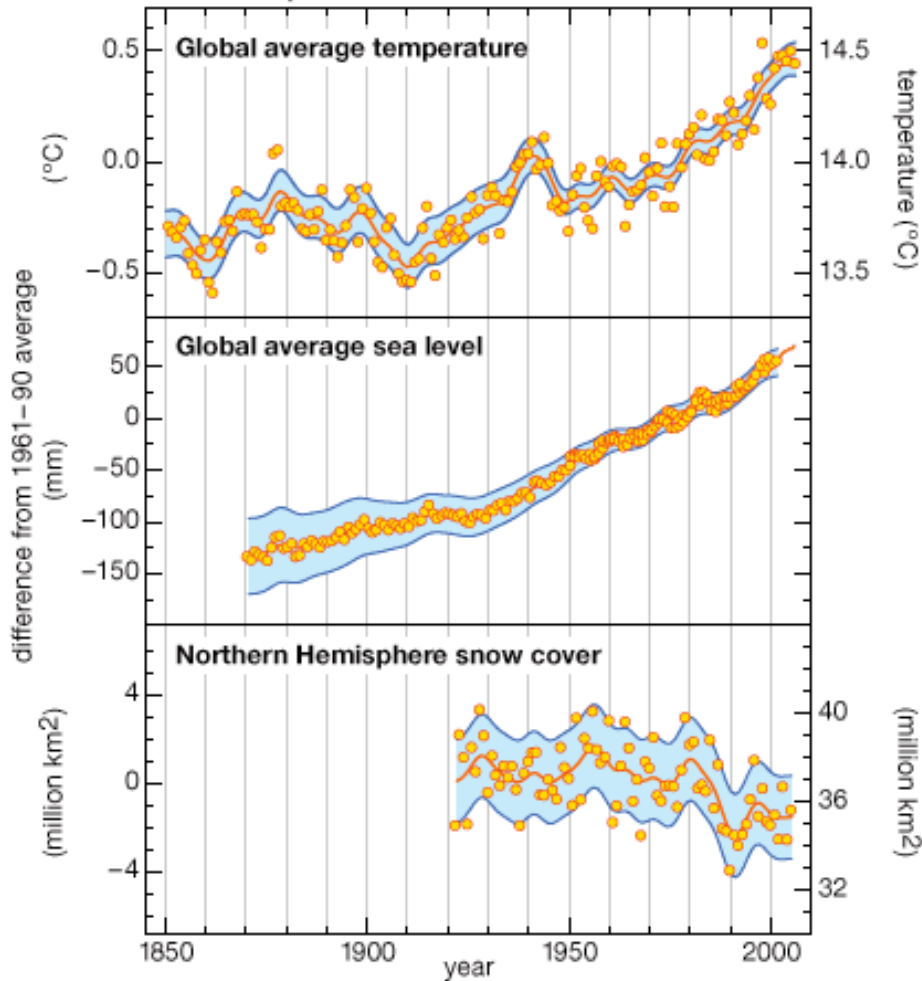
(from Earth System Science: An Overview, NASA, 1988)

# Modélisation du Climat

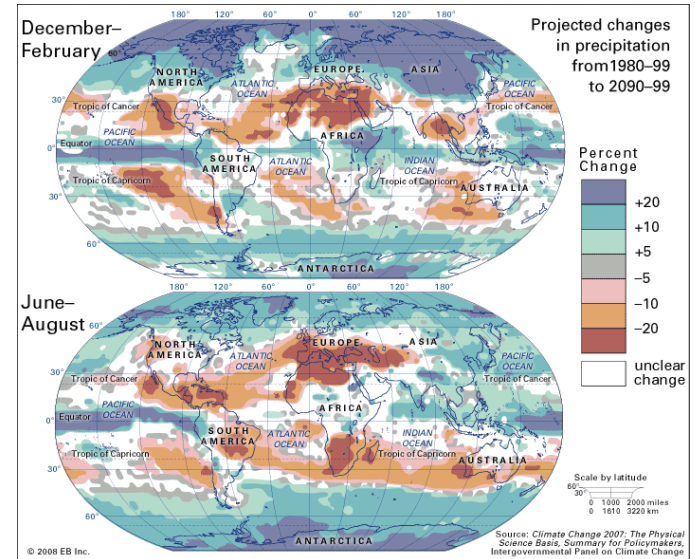
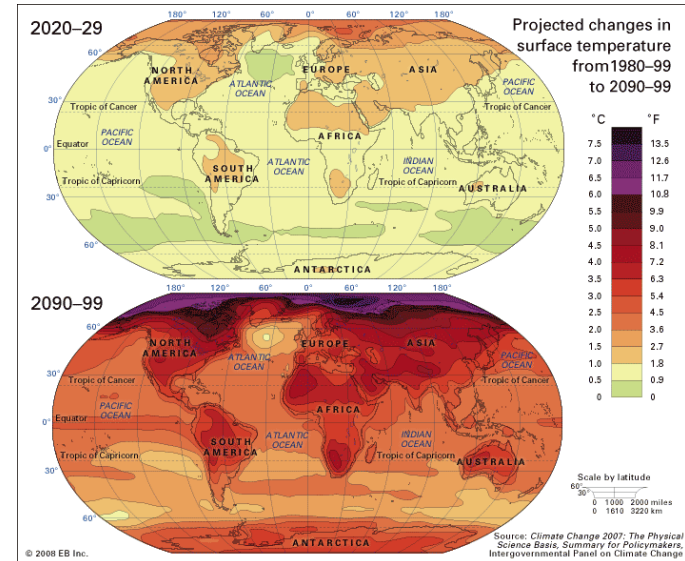
## Concept diagram of climate modeling



Changes in global average temperature, global average sea level, and Northern Hemisphere snow cover



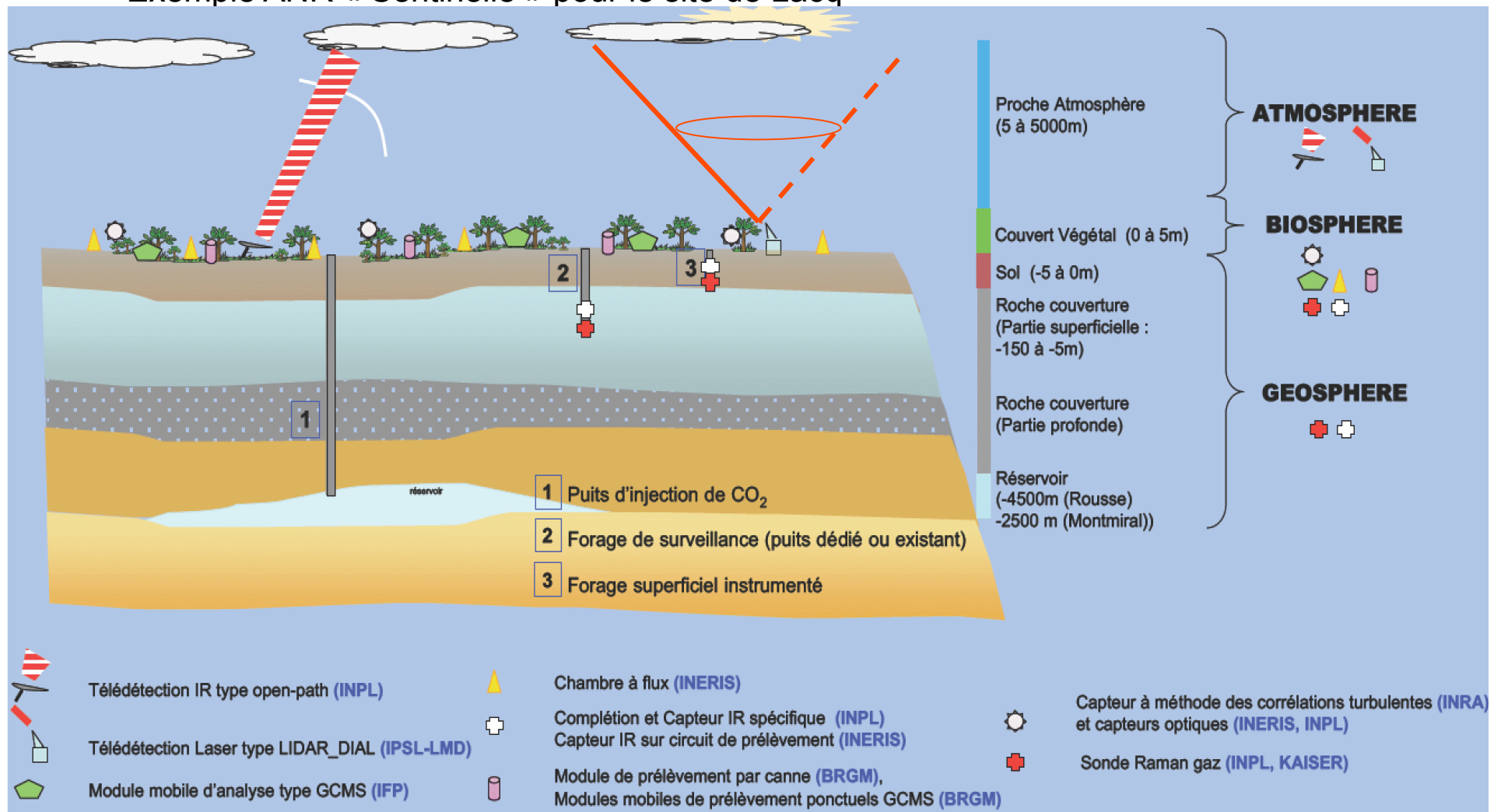
Source: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change





# Séquestration Géologique du CO<sub>2</sub>

- Séquestration des émissions de CO<sub>2</sub> industriels
- Surveillance des sites pendant leur durée d'exploitation et jusqu'à 50 ans après leur fermeture
- Exemple ANR « Sentinelle » pour le site de Lacq



# « Ingénierie » Climatique

**Ingénierie climatique : les projets les plus fous**

**Envoyer des miroirs dans l'espace**  
**Concept :** de grands miroirs ou des milliards de petits disques de céramique sont envoyés en orbite pour bloquer une partie du rayonnement solaire.  
**Inconvénients :** coût astronomique, technologie de lancement encore inexistante, effets sur le climat inconnus.

**Imiter les volcans**  
**Concept :** des avions envoient des particules de soufre à haute altitude pour bloquer une partie du rayonnement solaire.  
**Inconvénients :** effets sur le climat inconnus, risques éventuels pour la couche d'ozone.

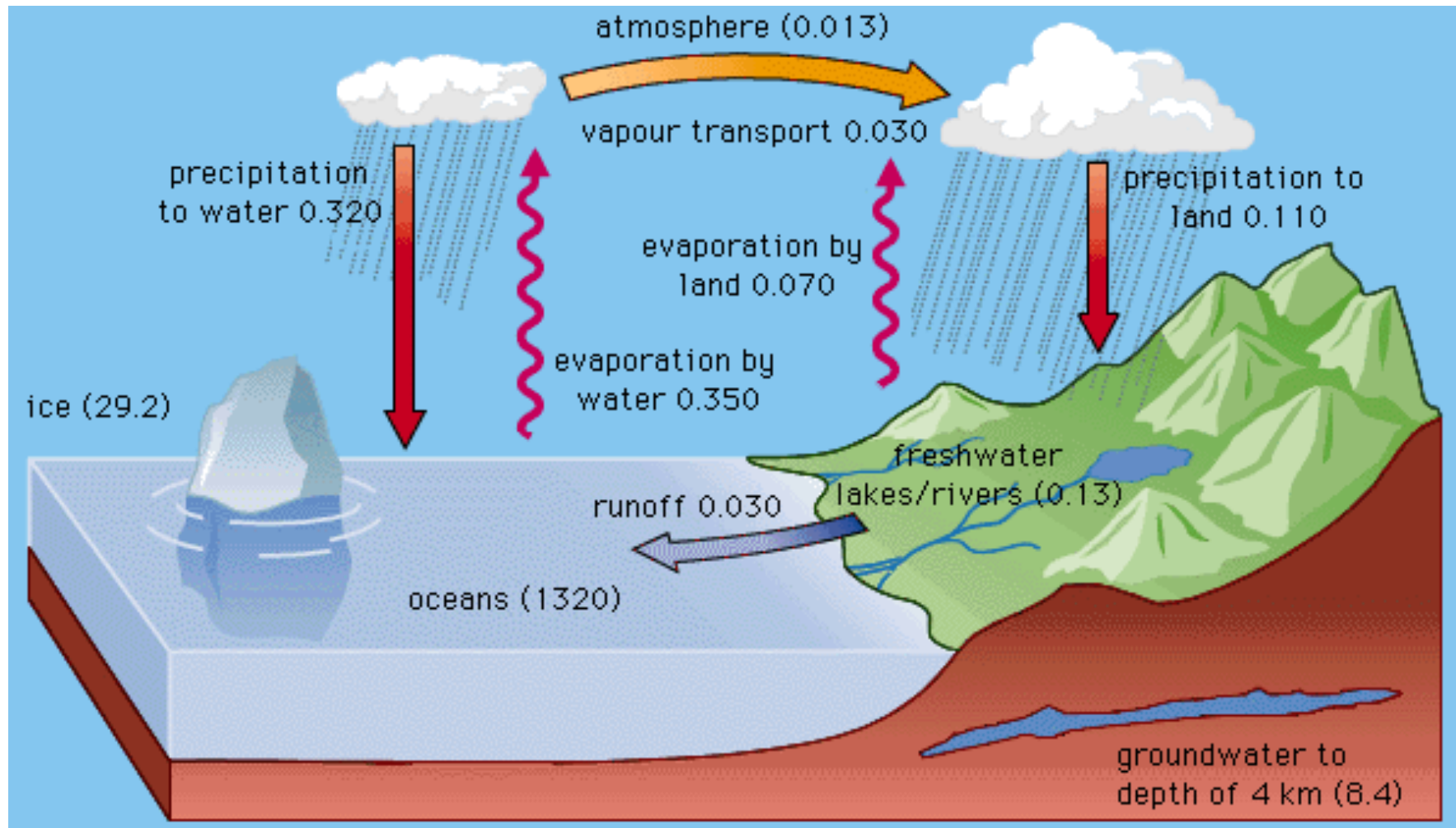
**Créer des arbres synthétiques**  
**Concept :** un bâtiment aspire le CO<sub>2</sub> contenu dans l'air et le comprime pour produire un carburant liquide.  
**Inconvénients :** la technologie de capture et de liquéfaction reste à développer.

**Filtrer le CO<sub>2</sub>**  
**Concept :** des tours ou des bâtiments sont équipés de filtre capturant le CO<sub>2</sub> grâce à une solution chimique.  
**Inconvénients :** la solution chimique reste à développer.

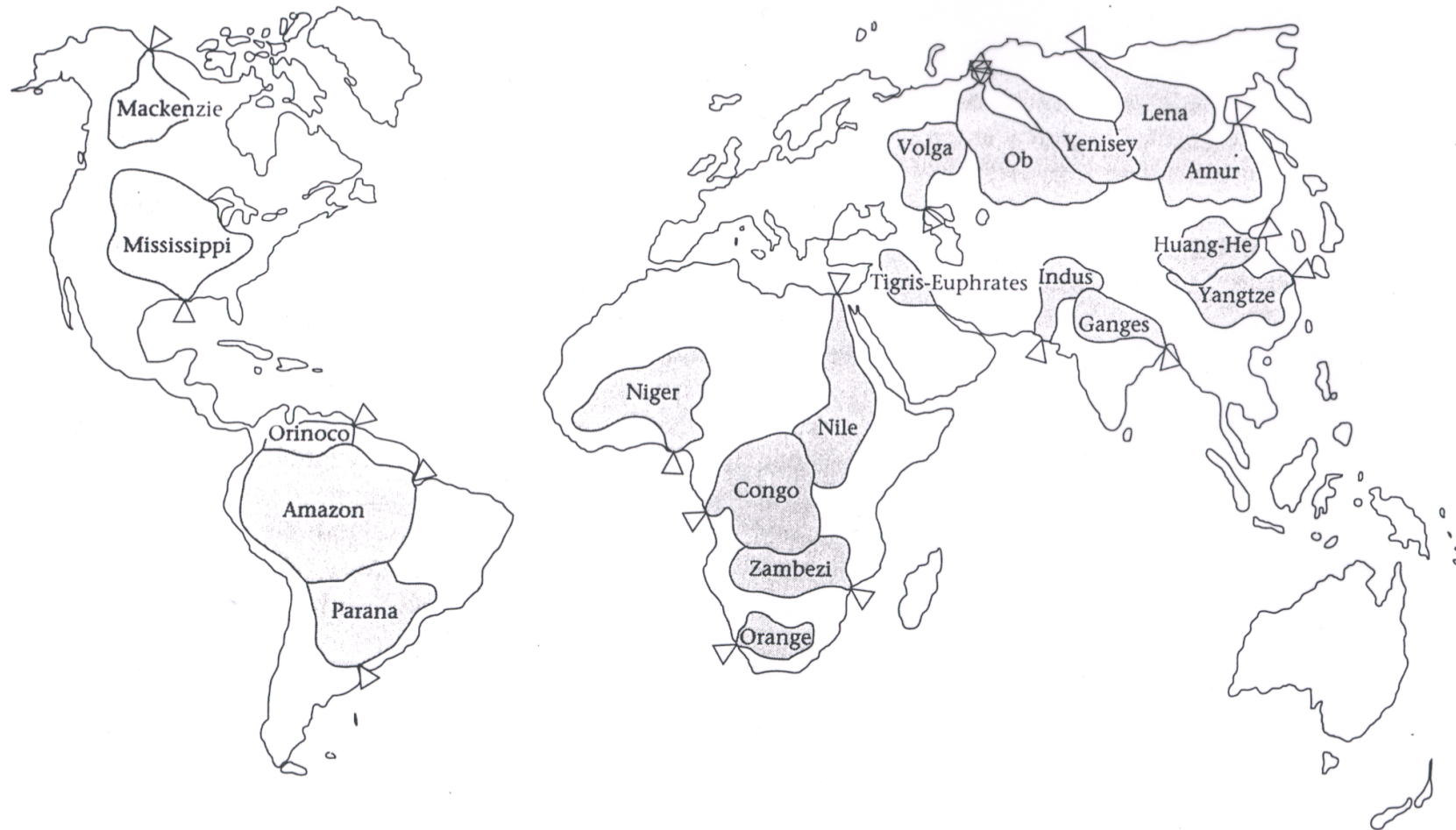
**Fabriquer des nuages**  
**Concept :** des centaines de bateaux envoient de la vapeur d'eau de mer pour créer des nuages artificiels censés renvoyer les rayons du soleil.  
**Inconvénients :** coût élevé, effets sur le climat inconnus.

**Faire croître le plancton**  
**Concept :** des particules de fer sont dispersées en grande quantité à la surface des océans pour stimuler la croissance du phytoplancton, qui absorbe naturellement le CO<sub>2</sub>.  
**Inconvénients :** effets imprévisibles sur la faune marine.

# Cycle Hydrologique



# Grands Bassins Fluviaux



**Figure 9.12.** World's largest drainage, basins, showing the location of deltas at their mouths. (Source: Adapted from B. J. Skinner

and S. C. Porter, *The Dynamic Earth*, John Wiley, 1987, figure 10.22, p. 234.)





Institut  
Pierre  
Simon  
Laplace



UNIVERSITÉ  
LAVAL  
Ajouté au Québec, démonté le monde.



foresterie



géomatique



géographie

Faculté  
de foresterie  
et de géomatique

# Les applications du LIDAR pour la végétation naturelle (arbre) et pour l'agriculture

Dr Alain A. Viau  
Directeur du CRG  
Directeur GAAP



et  
Guido Castellanos  
Dr Valery Gond  
Alain Devost



Atelier REGLIS 2006

# Utilisation du laser imageur 3D terrestre pour mesures en forêt

**R. Fournier, S. Leblanc, F. Langelier, J.-F. Côté**



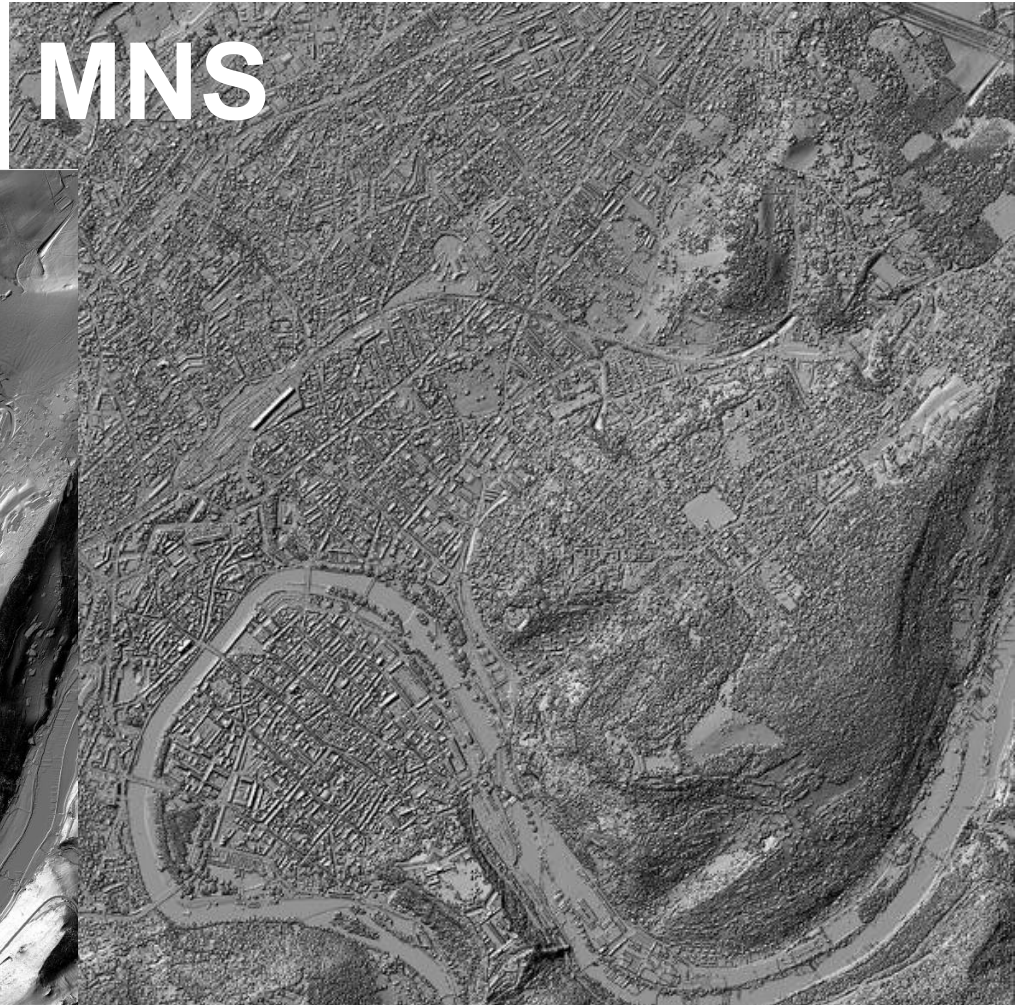
**Atelier REGLIS  
Montpellier – France  
Jeudi 7 décembre 2006**



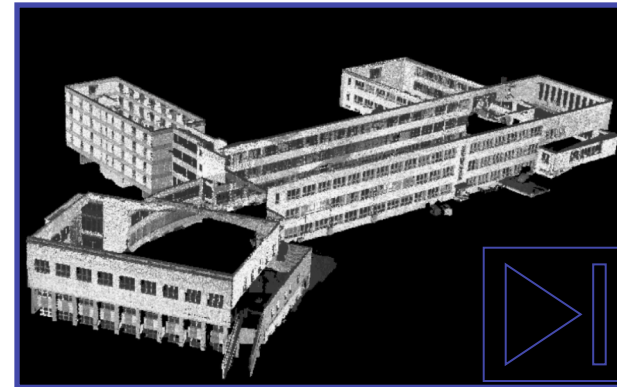
# MNT



# MNS



LIEPPEC © MSHE C.N.  
Ledoux - LEA ModelTER,  
R. Opitz



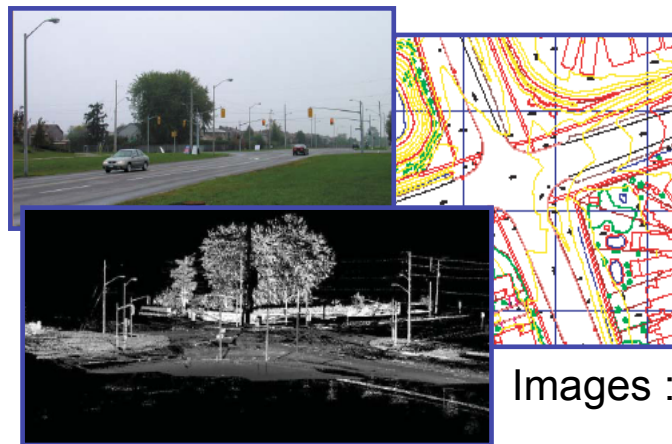
## Génie civil:

- Urbanisme

- Facilite la planification: localisation des services publics, des routes, etc.
- Possibilité de convertir les nuages de points en formats CAD: création de plans tridimensionnels.

- Extraction d'une topographie de haute précision.

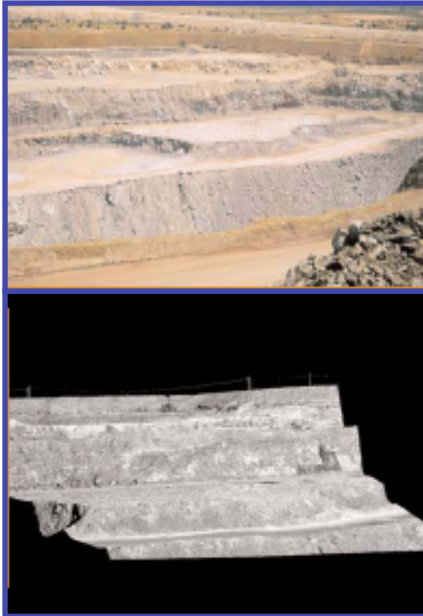
- Possibilité de géoréférencer les nuages de points en utilisant des cibles-GPS.



Images : [www.optech.on.ca](http://www.optech.on.ca)

# Iris-3D Applications

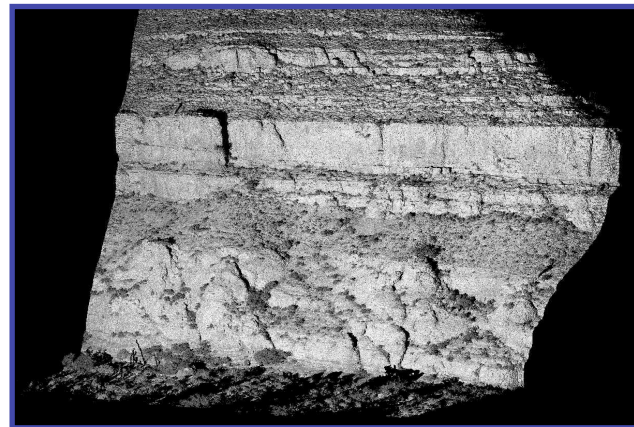
## géologie – industrie minière



### Industrie minière :

Localisation des trous d'explosion des mines à ciel ouvert.

Balayage avant et après l'explosion :  
2 *wireframes models* sont générés à partir des nuages de points → **Calcul du volume**



### Géologie :

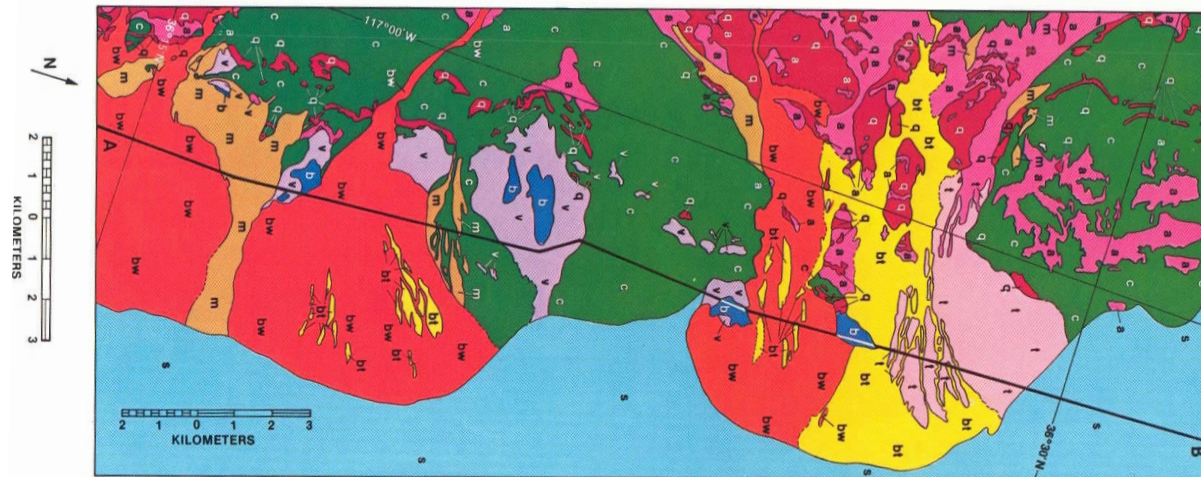
Identification des types de roche

Surface détaillée de la roche

Images [www.optech.on.ca](http://www.optech.on.ca)

## Téledétection aéroportée par lidar et radiométrie IR

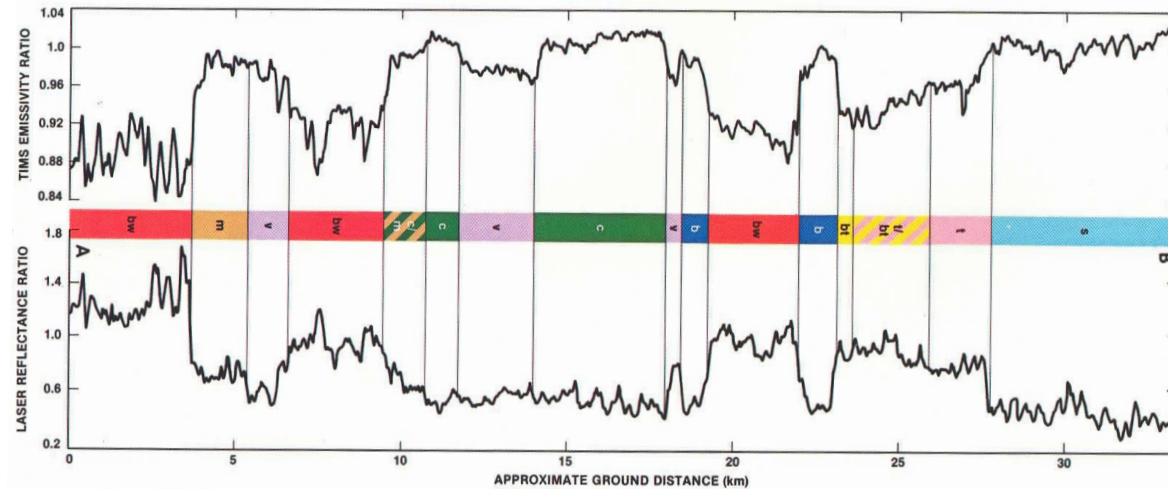
Géologie de la  
 "Vallée de la mort"



**Signature IR  
 thermique des sols**

Émission IR  
 thermique

Réflectance  
 Différentielle  
 laser 10 µm





NINGER / CR CNRS

AVAL / prospecteur

RLIN / Post-doc (IT)

VET / Post-doc (FR)

e FRUCHART / Doct.

KALJ / CR ZRC (SLO)

LAPLAIGE / IR CDD

LEROY / CP DRAC

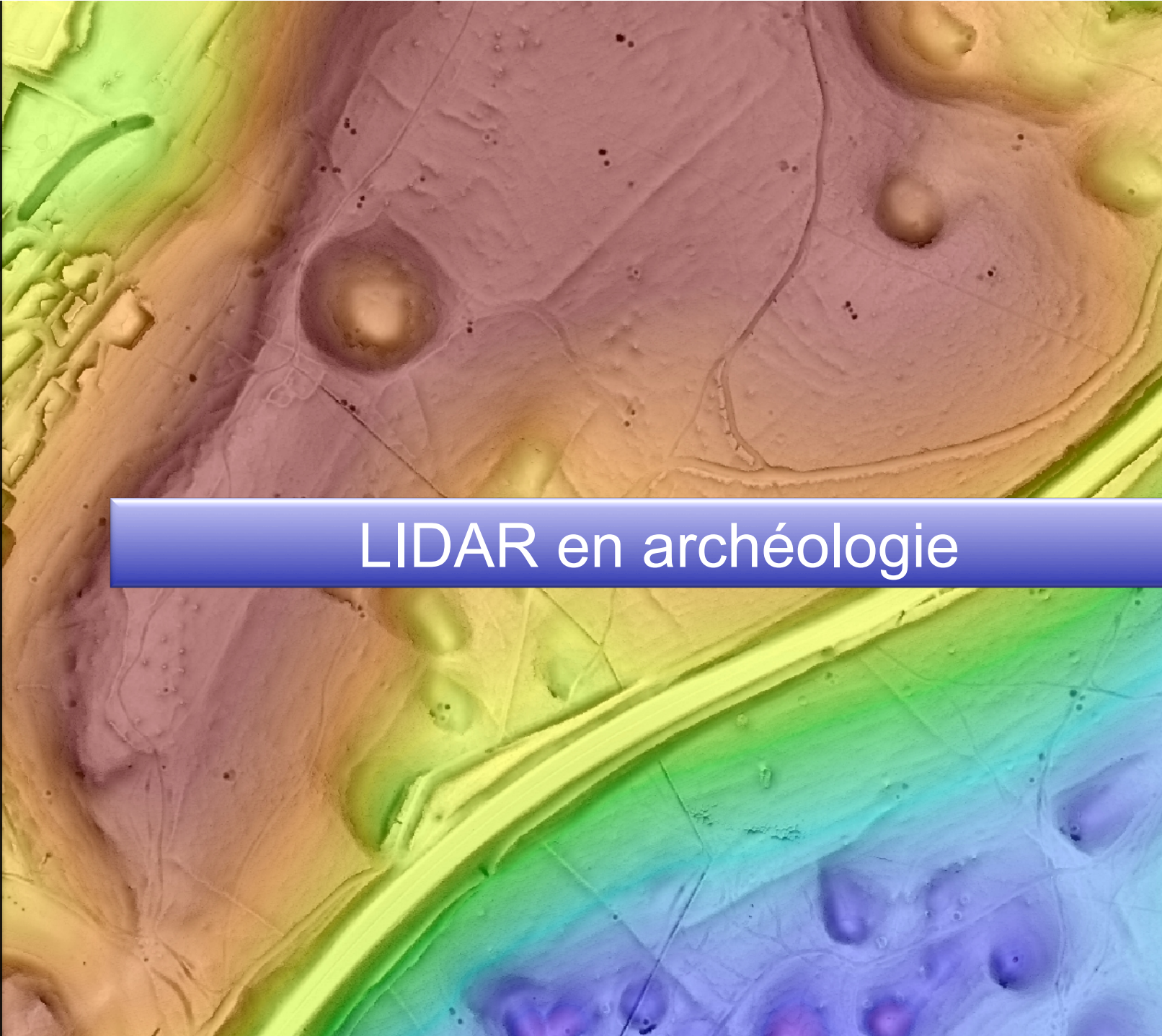
RSETIC / Doct. (SLO)

PITZ / Post-doc (US)

STIR / PR ZRC (SLO)

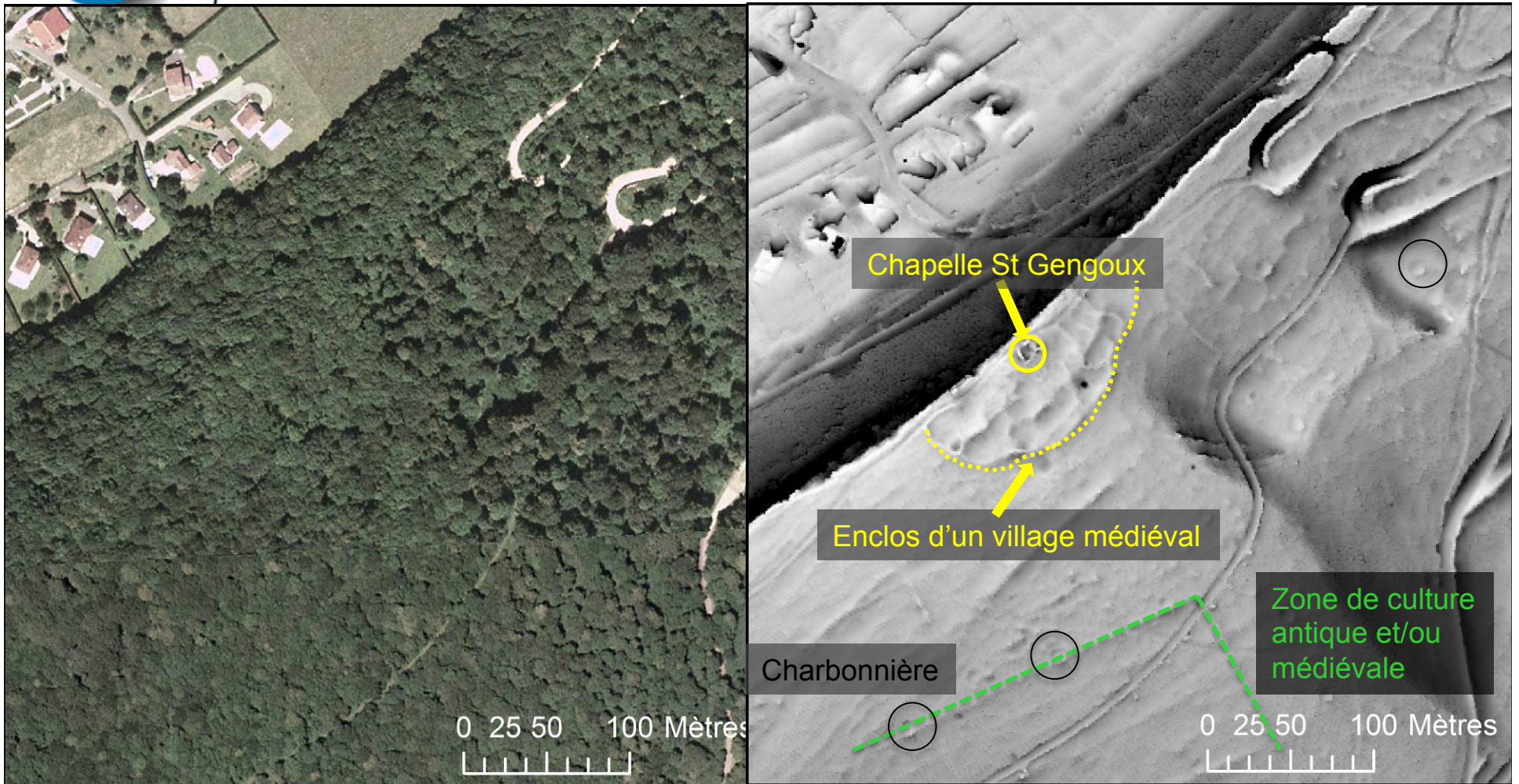
STULAR / ZRC (SLO)

AKSEK / Post-doc (DE)



# LIDAR en archéologie

# Occupation des Sols



BD Ortho © IGN

LIEPPEC-ODIT © MSHE C.N. Ledoux - LEA ModelTER,  
L. Nuninger