

De l'observation Météo à la projection climatique



Carte météo en France

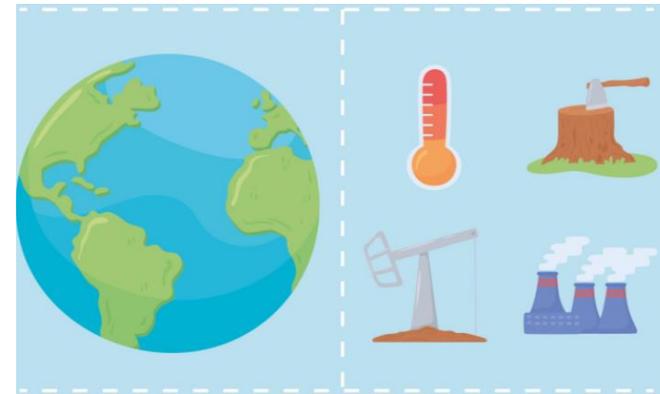


Groupe EDDACLER

Météo et climat : quelles différences ?



VS



Activité

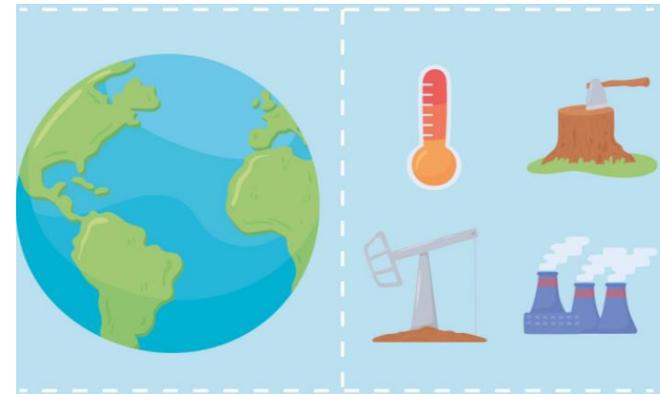
Rendez-vous sur le document Climat ou Météo, et **rayez** dans chaque colonne les éléments ne correspondant pas à l'entête de la colonne.

Autre exemple [d'activité introductive](#) avec des élèves de 5^{ème} pour comprendre la différence entre météo et climat.

Météo et climat : quelles différences ?



VS

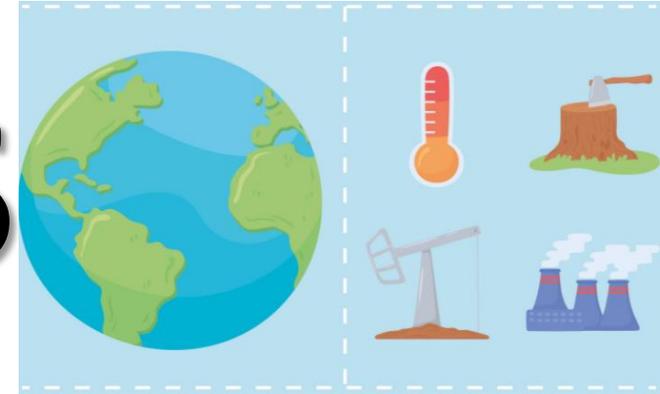


Voici un lien permettant d'accéder à une vidéo définissant la météo et le climat. [La vidéo](#)

Météo et climat : quelles différences ?



VS



La **météorologie** est l'étude et la prévision des phénomènes atmosphériques sur des périodes courtes et pour des espaces géographiques limités. Les informations traitées sont donc ponctuelles.

La **climatologie** étudie les familles de conditions météorologiques susceptibles d'affecter les différentes régions sur des périodes de temps longues. Elle fait appel aux diverses sciences de la nature : géographie, géologie, physique, chimie...

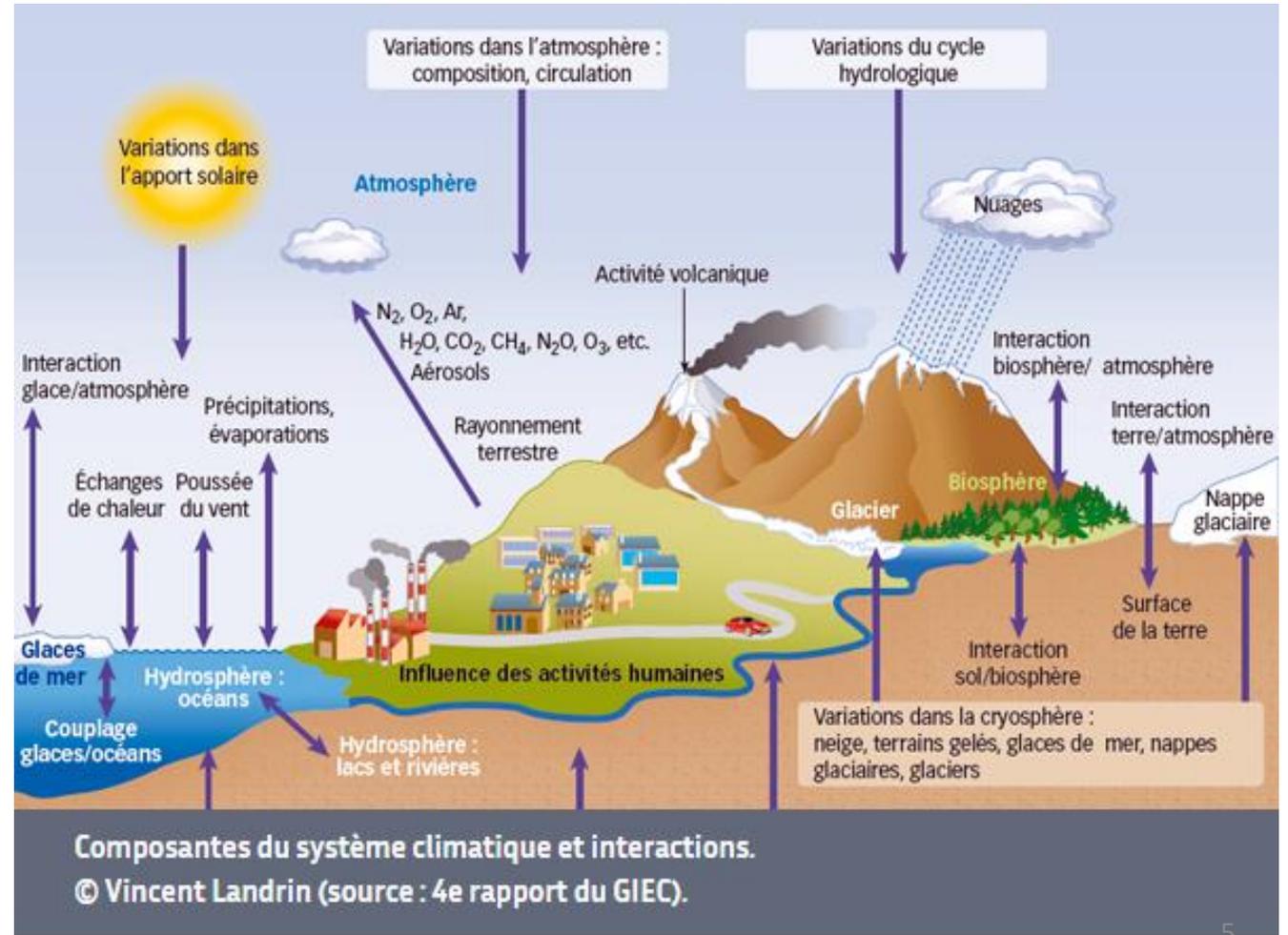
Le système climatique

Le système climatique

Le **système climatique** est l'ensemble Terre-atmosphère. Il évolue au cours du temps sous l'effet de processus internes et de contraintes externes, d'origine naturelle ou humaine.

C'est un ensemble complexe constitué de cinq composantes principales :

- l'atmosphère;
- les surfaces continentales;
- l'hydrosphère (océans, lacs, rivières, nappes d'eau souterraines...);
- la cryosphère (glaces terrestres ou marines, manteau neigeux);
- la biosphère (tous les organismes vivants dans l'air, sur terre et dans les océans);



Le système climatique

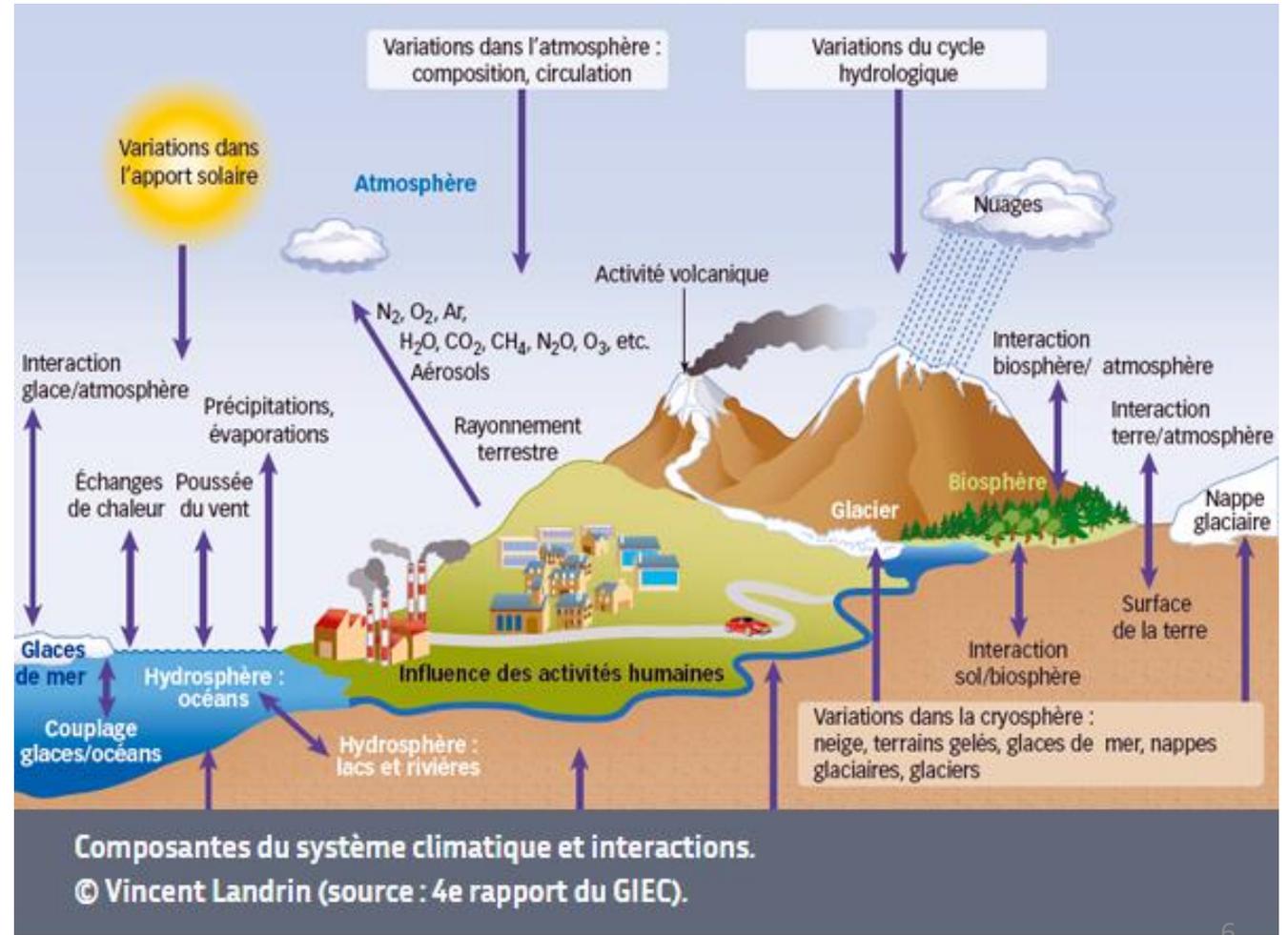
Les échanges au sein du système climatique

La **lumière du soleil** est la **seule source d'énergie** apportée au **système climatique**. Les composantes du système interagissent entre elles en **échangeant eau, chaleur, mouvement et composés chimiques**.

En tout point de la Terre, le **climat est la résultante de ces interactions**.

Même sans changement de l'intensité solaire, du volcanisme, ou de la composition de l'atmosphère, le climat varie d'une année sur l'autre ou suivant des cycles pluriannuels (El Niño dans le Pacifique sud, oscillation Nord-Atlantique...).

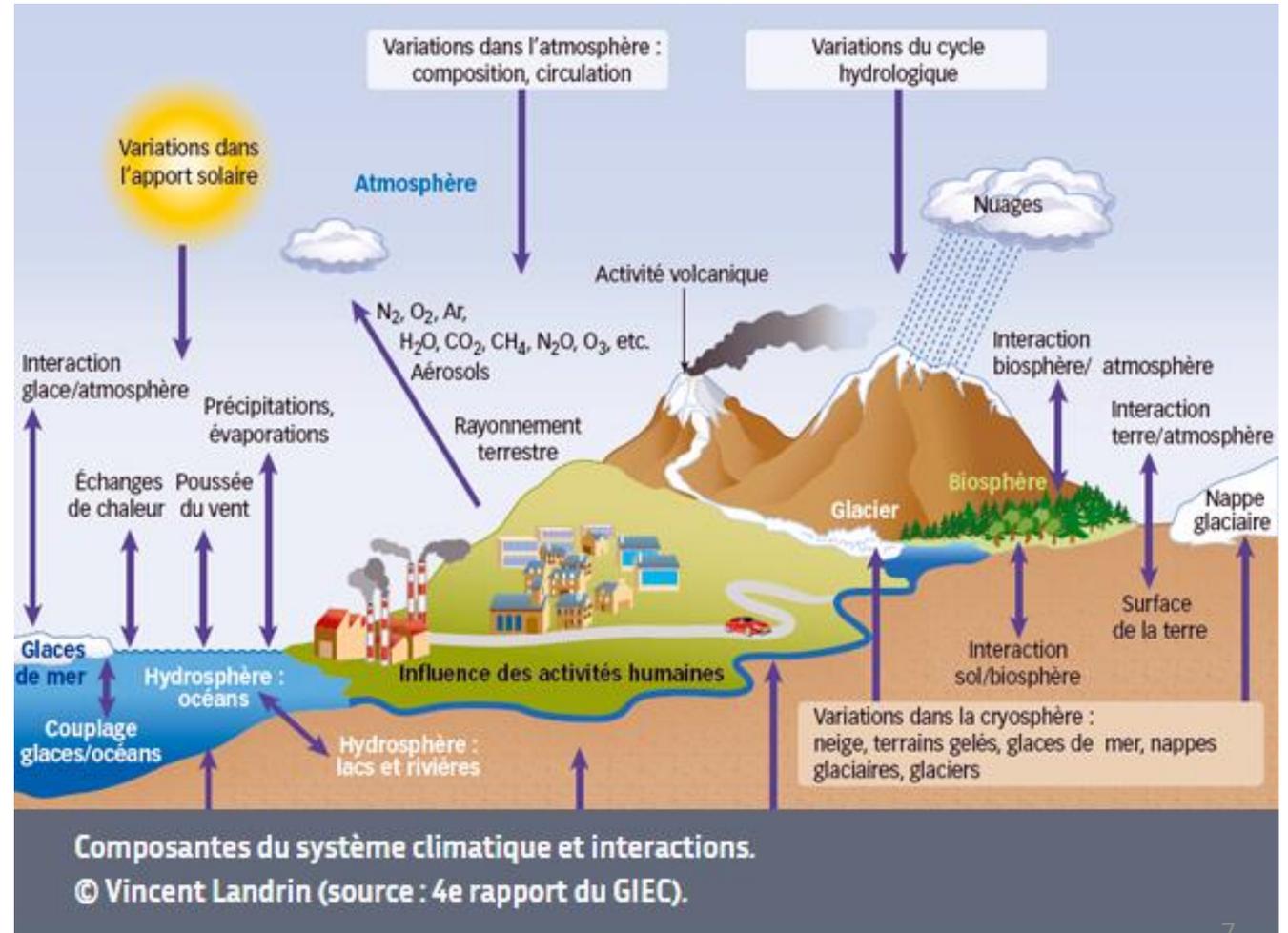
C'est la conséquence de la variabilité interne du système climatique.



Le système climatique

Les forçages externes

Le comportement de l'ensemble du système climatique est influencé ou contraint par l'évolution de certains paramètres extérieurs que l'on appelle **forçages externes**. Parmi ces forçages, on distingue des mécanismes **naturels** et des mécanismes liés aux **activités humaines**.



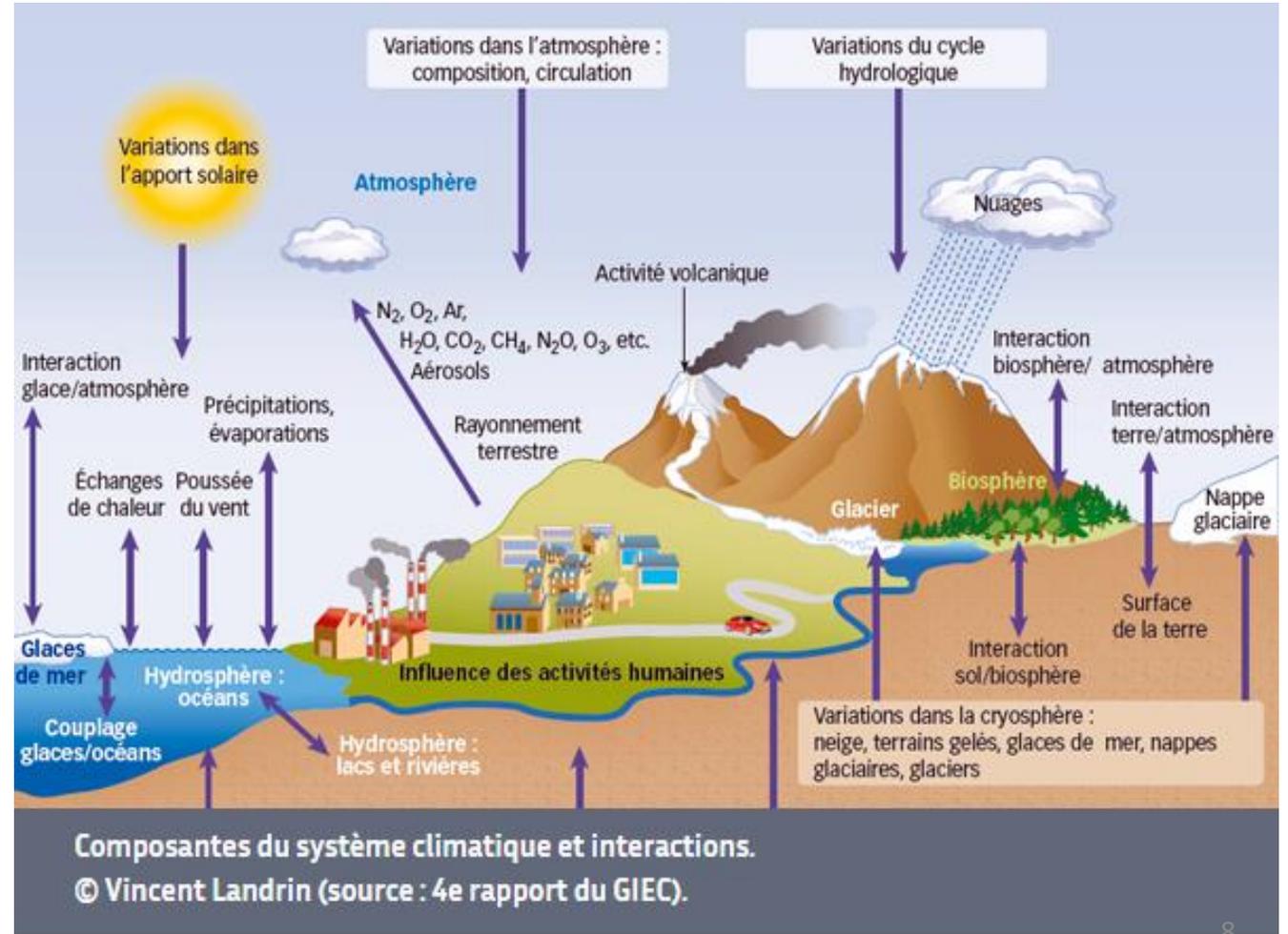
Le système climatique

Les forçages externes

Les mécanismes naturels :

- l'activité volcanique. Les volcans rejettent des composés chimiques qui peuvent refroidir la terre pendant quelques années dans le cas des éruptions les plus violentes.

- les variations de l'énergie solaire reçue par la Terre. Elles peuvent être dues au Soleil lui-même ou aux variations de l'orbite terrestre (variations à très long terme, de l'ordre de la dizaine de milliers d'années).

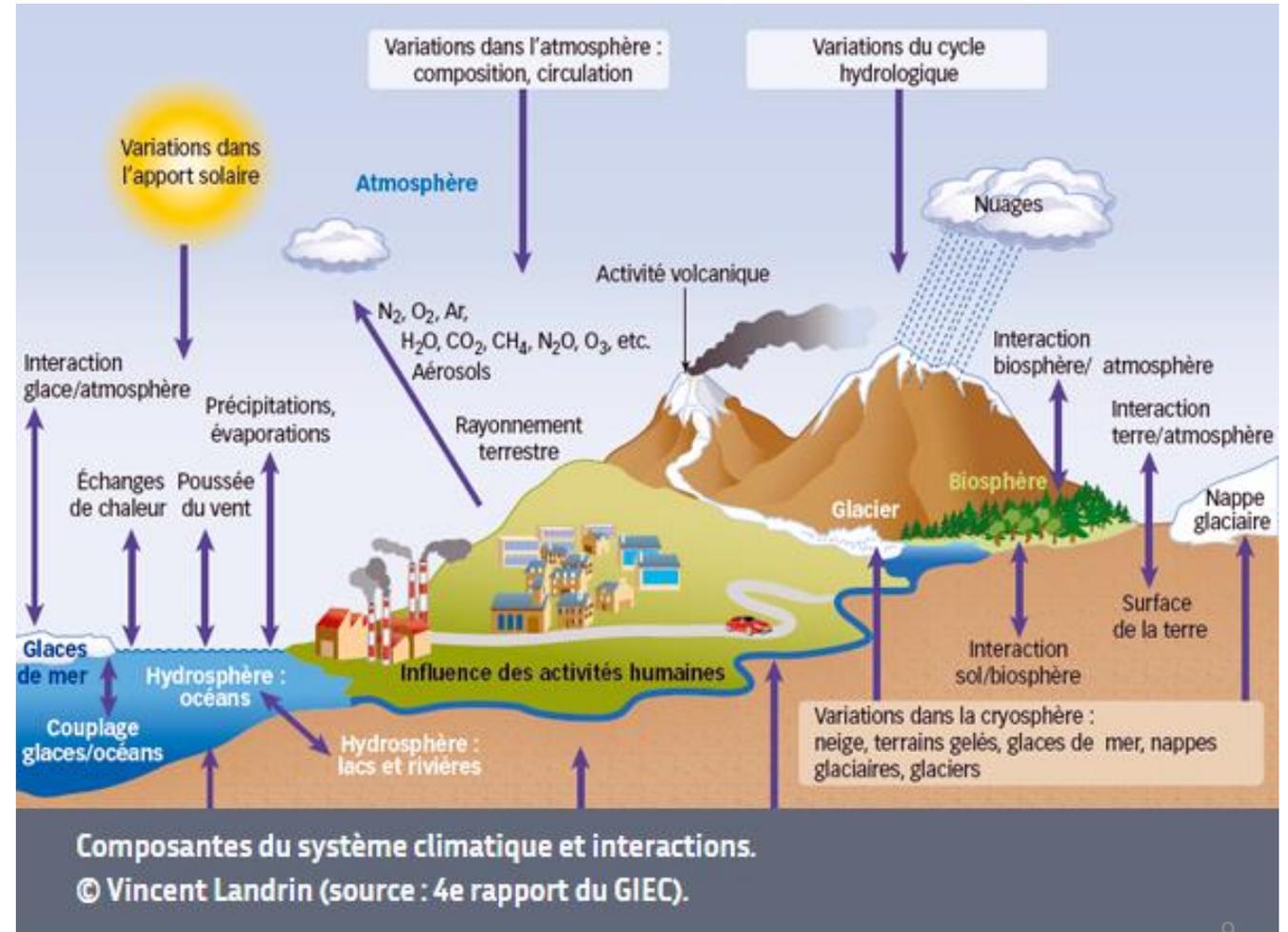


Le système climatique

Les forçages externes

Les mécanismes dus à l'activité humaine :

- les **concentrations en CO₂ et aérosols d'origine anthropique** sont relativement bien connues sur le dernier siècle, leur effet en terme radiatif n'est pas encore parfaitement déterminé. Notamment, les aérosols influencent la formation des nuages qui ont un effet radiatif important. Cette influence est mal connue et n'est pas prise en compte dans ce modèle.



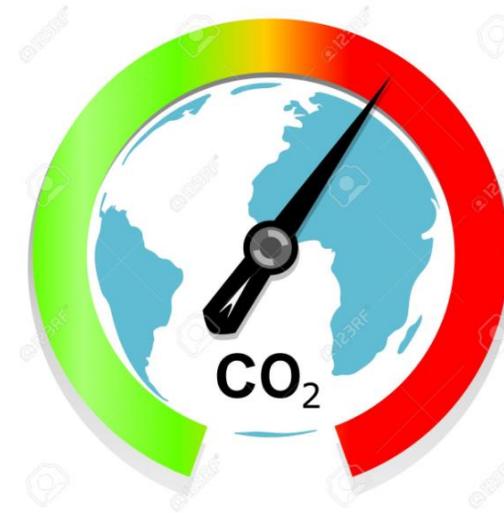
Le changement climatique ... s'emballe !

Les Gaz à effet de serre

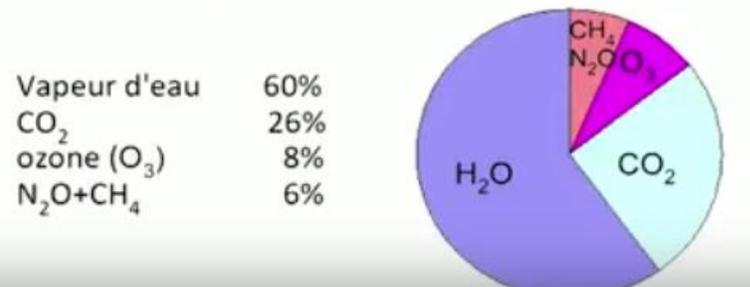
Depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, le climat change ... trop vite ! A cause d'un excès de CO₂ rejeté dans l'atmosphère...

Ceci amplifie un **phénomène naturel**, appelé **effet de serre**, qui modifie le bilan radiatif de la Terre et permet d'obtenir à la surface de celle-ci une température moyenne de 15 °C, alors que sans lui la température serait de -18 °C.

Le CO₂ ayant un pouvoir d'effet de serre important.



Contribution des différents gaz à l'effet de serre, pour un ciel sans nuage



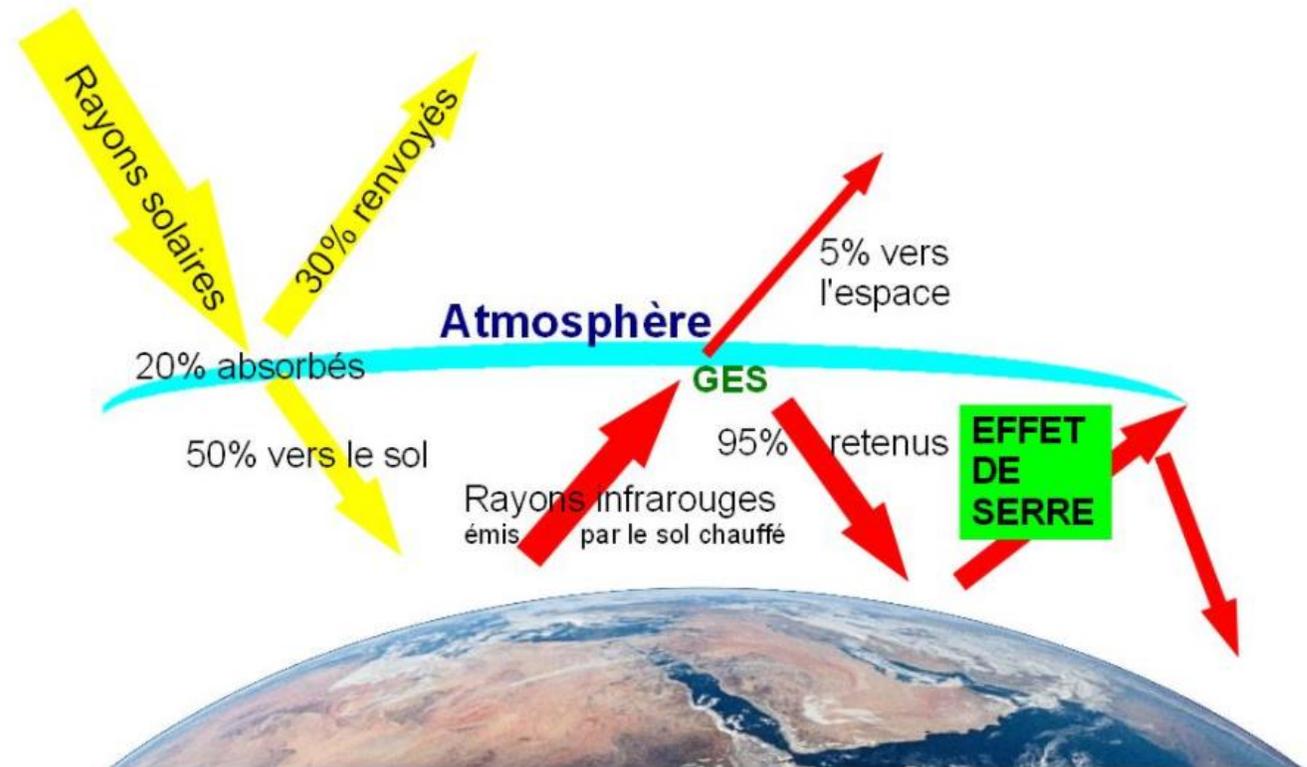
Le changement climatique ... s'emballe !

Rappels sur l'effet de serre

La Terre reçoit son énergie du soleil :

- ❶ Une partie du rayonnement solaire est absorbé par la Terre.
- ❷ La Terre libère l'énergie ainsi reçue sous forme de rayonnement infrarouge réémis vers l'espace.
- ❸ Les gaz à effet de serre (GES), présents dans l'atmosphère, ont la propriété d'intercepter une partie de ce rayonnement infrarouge et de le réémettre, notamment en direction de la Terre.

Ce **phénomène naturel**, appelé **effet de serre**, modifie le bilan radiatif de la Terre et permet d'obtenir à la surface de celle-ci une température moyenne de 15 °C, alors que sans lui la température serait de -18 °C.



Le changement climatique ... s'emballe !

La réponse au changement climatique

Il est donc urgent de construire un outil permettant de prévoir le climat futur afin que nos sociétés puissent s'**adapter** et agir afin de **permettre une atténuation** de ce dérèglement climatique !

ATTENUATION

ADAPTATION

Modélisation
du climat



Les modèles de climats

Comment concevoir un modèle climatique ?

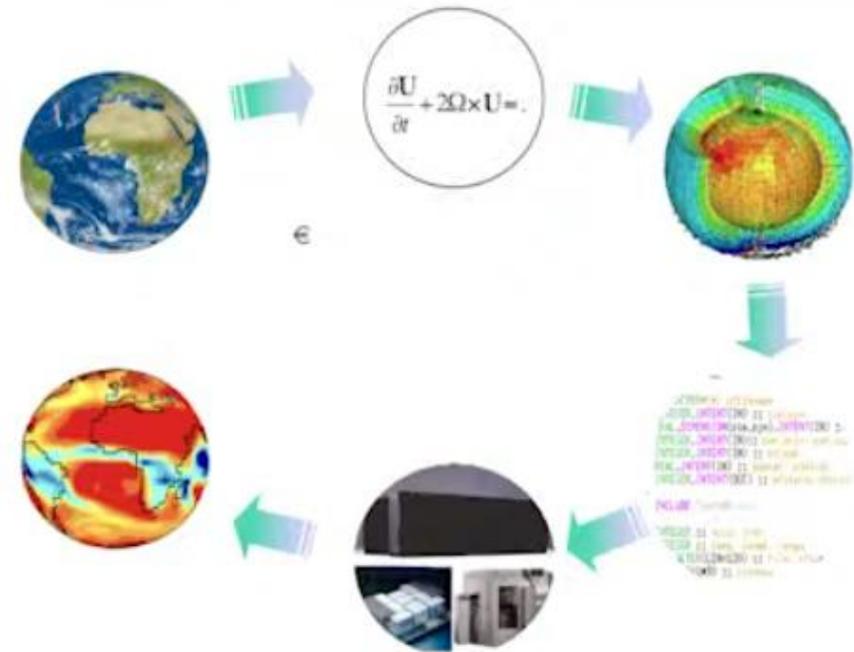
Pour concevoir un modèle numérique, il faut:

- ❶ partir des observations et de la réalité.
- ❷ Puis formaliser le problème physique sous forme d'équations mathématiques.
- ❸ Puis, on fait intervenir une discrétisation,
- ❹ Puis le modèle numérique, qui devra respecter des lois de conservation de l'énergie ou de la masse dans le système.
- ❺ Ensuite le code = ensemble des programmes numériques.

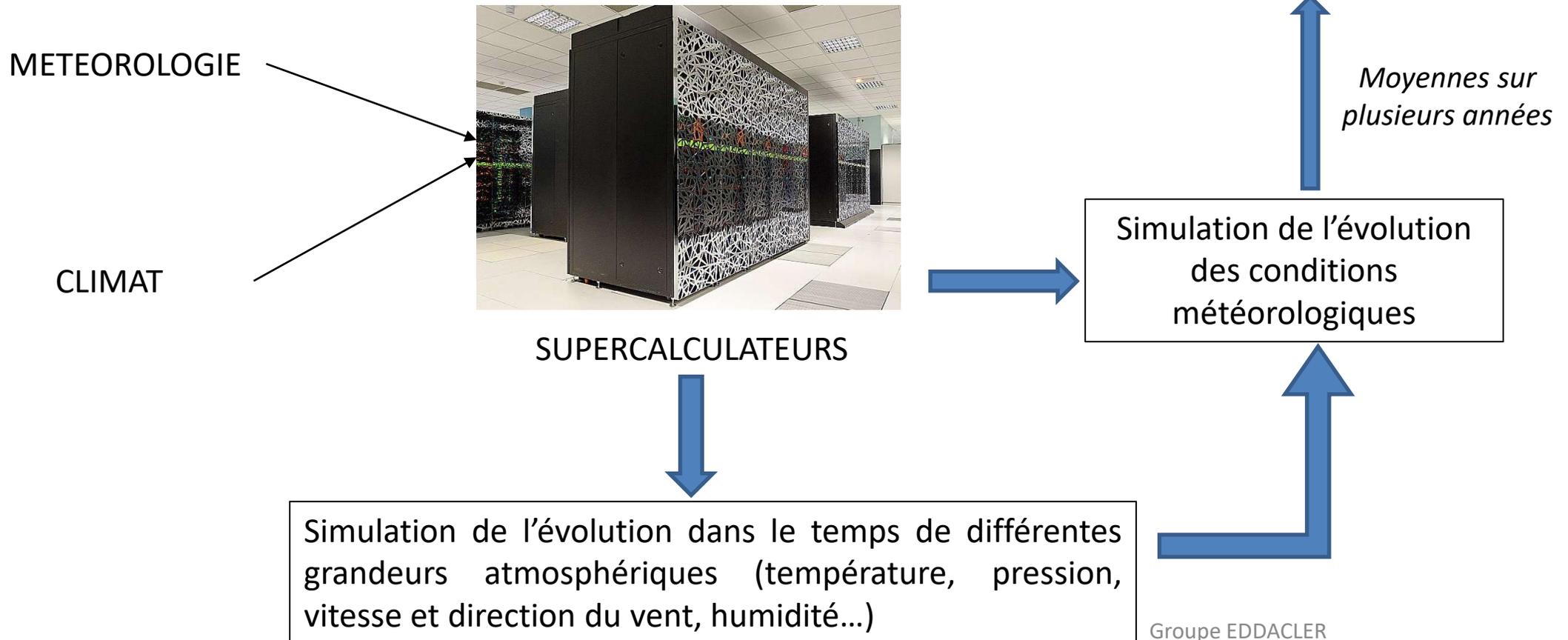
Et aussi prévoir l'environnement de travail au niveau de l'ordinateur pour suivre les simulations et les exploiter.

- ❻ Tester le modèle en le confrontant aux données réelles.

Un modèle numérique du climat c'est...



L'élaboration et le fonctionnement des modèles

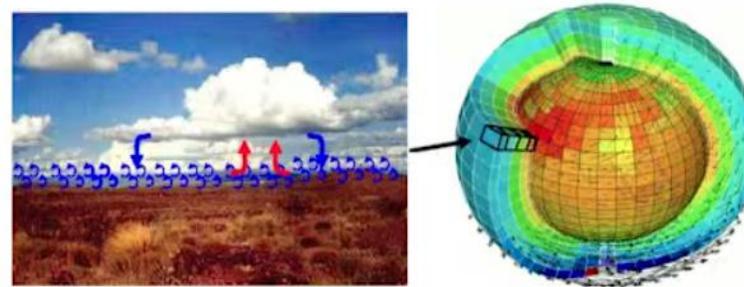


Les modèles de climats

Comment concevoir un modèle climatique ?

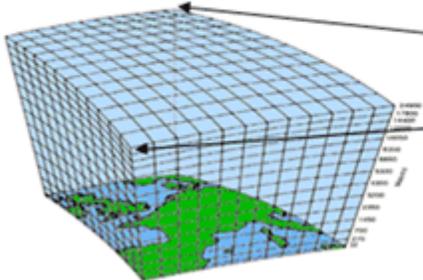
Le modèle s'applique sur un **maillage tridimensionnel** sur lequel on va résoudre les équations issus de la mécanique des fluides en milieu tournant (équations de Navier-Stokes) : on découpe la terre en sorte de petits cubes.

Maillage et paramétrisation sous-maille



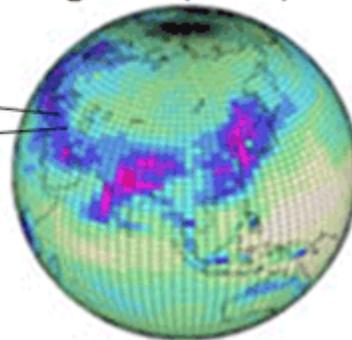
Niveau de complexité variable d'un modèle à l'autre

Modèle de climat
régional (MCR)



Guidage

Modèle de climat
global (MCG)



Les équations de base : ex atmosphère

Equations de GCM atmosphérique (extraits)

Equations dynamiques en coordonnées pression

$$\begin{cases} \partial_t \vec{V} = \underbrace{-(\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V}}_{\text{transport}} - \omega \partial_p \vec{V} - \underbrace{\nabla \Phi}_{\text{gravité}} - \underbrace{f \vec{k} \times \vec{V}}_{\text{Coriolis}} + \underbrace{S_v}_{\text{Sources}} \\ \nabla \cdot \vec{V} + \partial_p \omega = 0 \\ \partial_t q = -\vec{V} \cdot \nabla q - \omega \partial_p q + S_q \end{cases} \quad \begin{cases} \Phi = gz & \text{geopotentiel} \\ \omega = \partial_t p & \text{vitesse vert.} \\ q = \text{humidité spécifique} \end{cases} \quad (1)$$

S_v et S_q : termes source déterminés par les **paramétrisations physiques**

Mécanique des fluides en milieu tournant (Navier-Stokes)

Hypothèses : terre ronde, épaisseur atmosphère petite / rayon, équilibre hydrostatique, gaz parfait

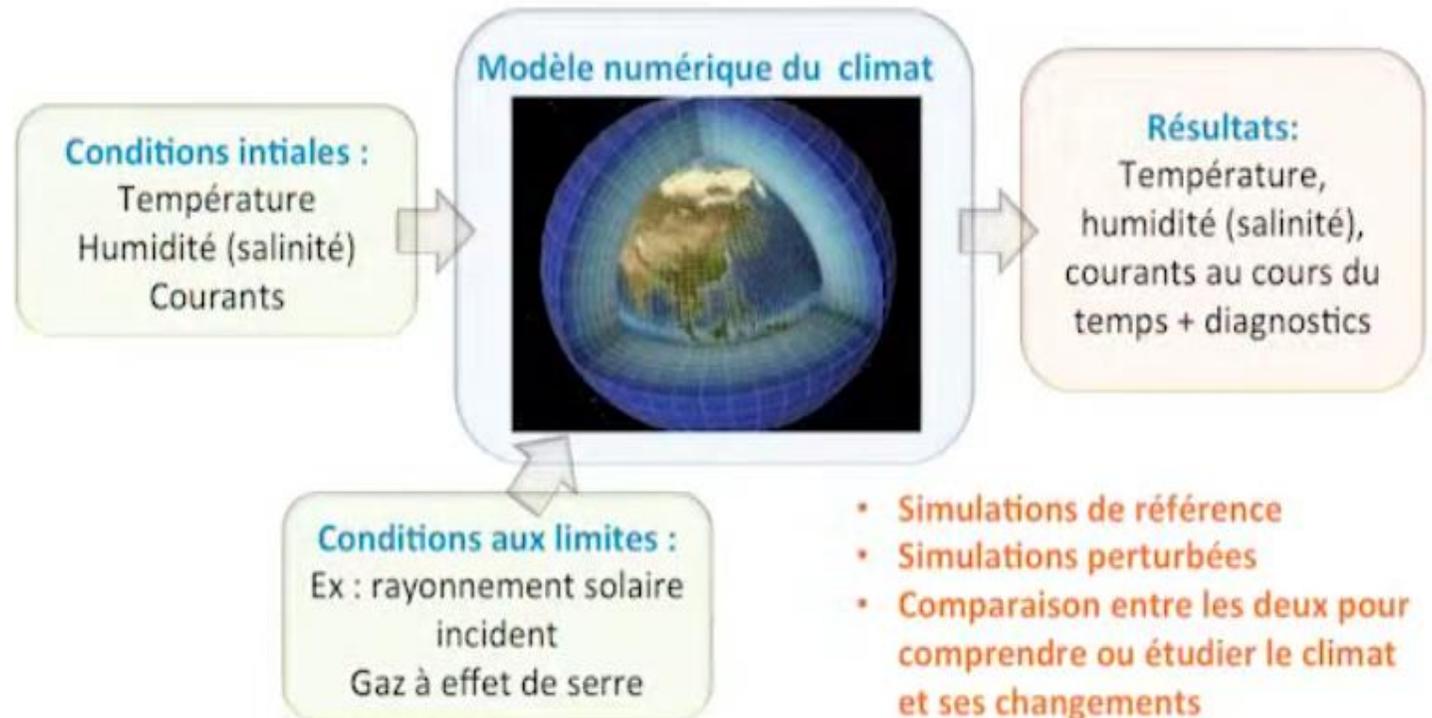
Les modèles de climats

Comment concevoir un modèle climatique ?

Expériences numériques = somme des simulations faites pour répondre à une question que l'on se pose sur le climat. Pour cela il faut poser des conditions initiales en tous les points de la grille (température, humidité, courants, vents, etc.).

Une petite synthèse en [vidéo](#)

Expériences numériques: les simulations

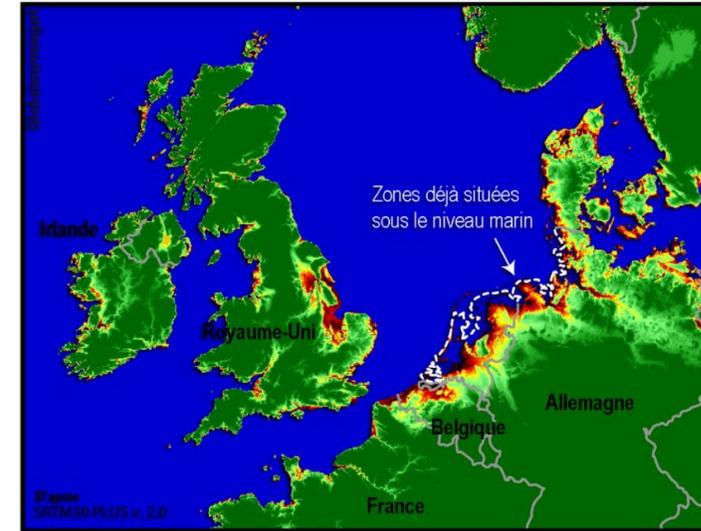


Les modèles de climats

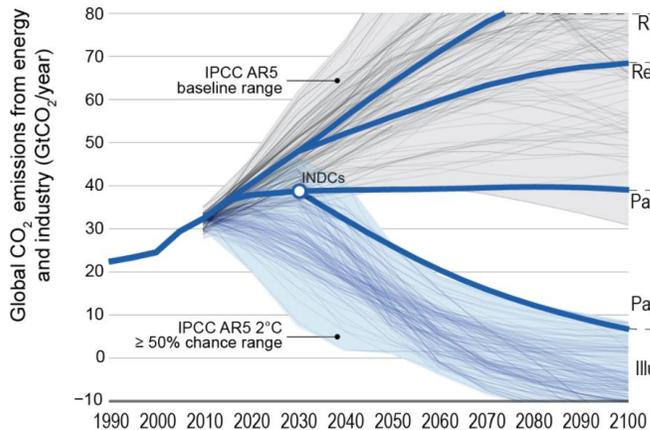
Les scénarios climatiques

Pour réaliser des **projections climatiques**, il faut émettre des hypothèses sur **l'évolution de la démographie mondiale** et des **modes de vie à travers la planète**.

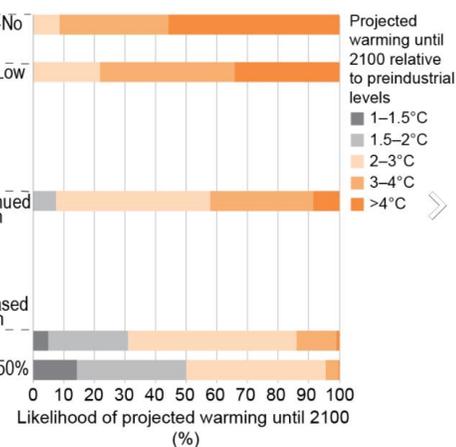
Risque de submersion marine, Manche / Mer du Nord



(a) Emissions pathways



(b) Temperature probabilities



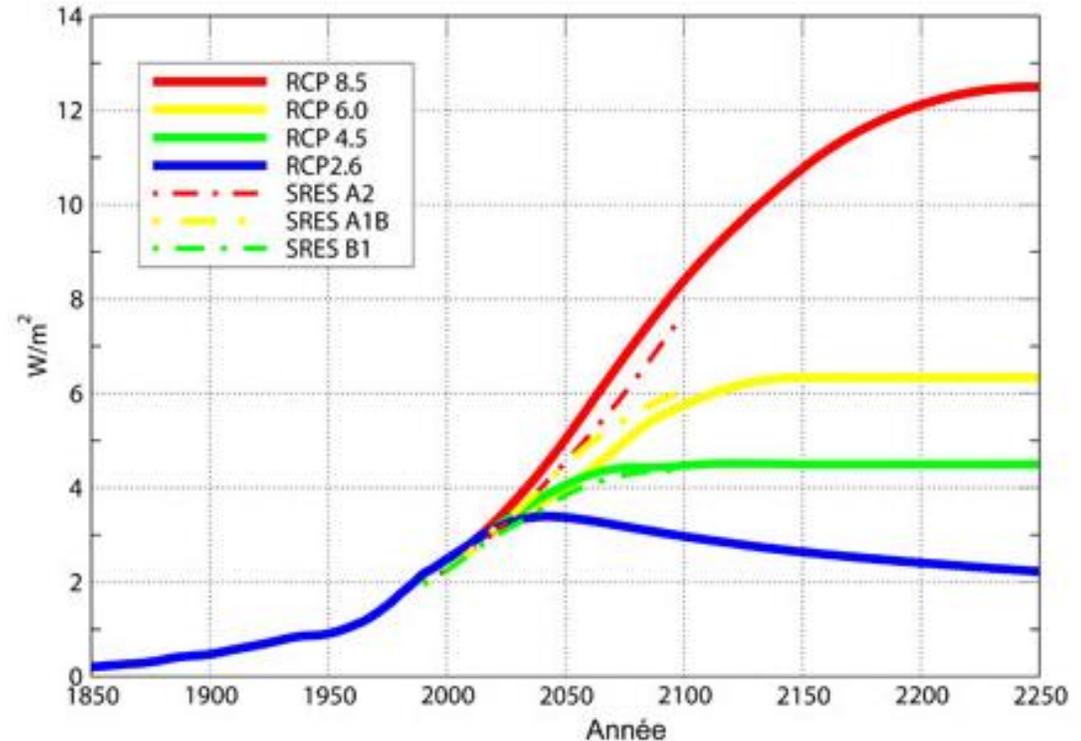
Scénario = Représentation d'un futur possible que l'on établit dans un **but prospectif** (= cette histoire du futur est exploratoire, plausible et ne doit pas contrevenir aux lois de la physique, ne doit pas s'écarter de trop de la théorie économique)

Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Les 4 scénarios RCP : les quatre profils d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre (RCP) retenus par les experts du GIEC pour le 5ème Rapport ont été traduits en termes de forçage radiatif, c'est-à-dire de modification du bilan radiatif de la planète.

Évolution du bilan radiatif de la terre ou « forçage radiatif » en W/m^2 sur la période 1850-2250 selon les différents scénarios



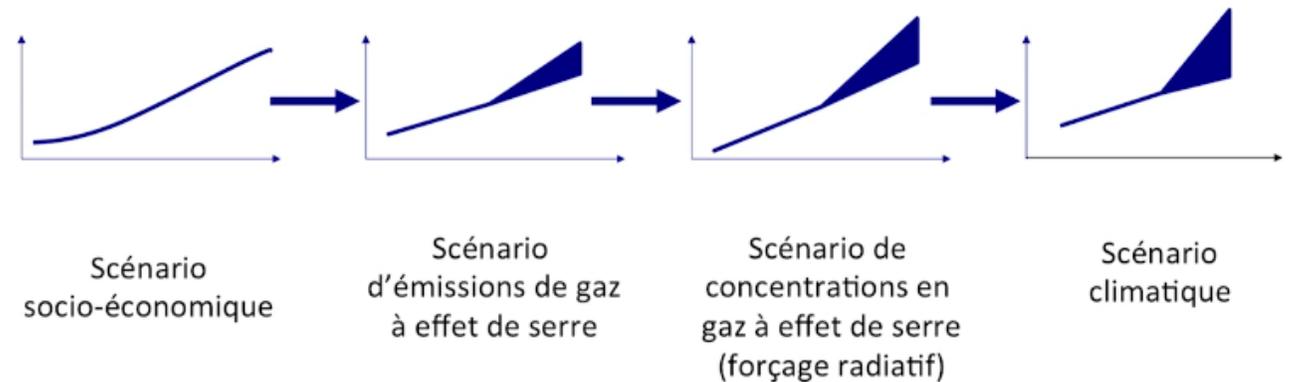
Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Approche séquentielle : on part d'un scénario socio-économique, qu'on peut traduire sous forme de scénario d'émission de GES.

Deux approches distinctes

Approche séquentielle

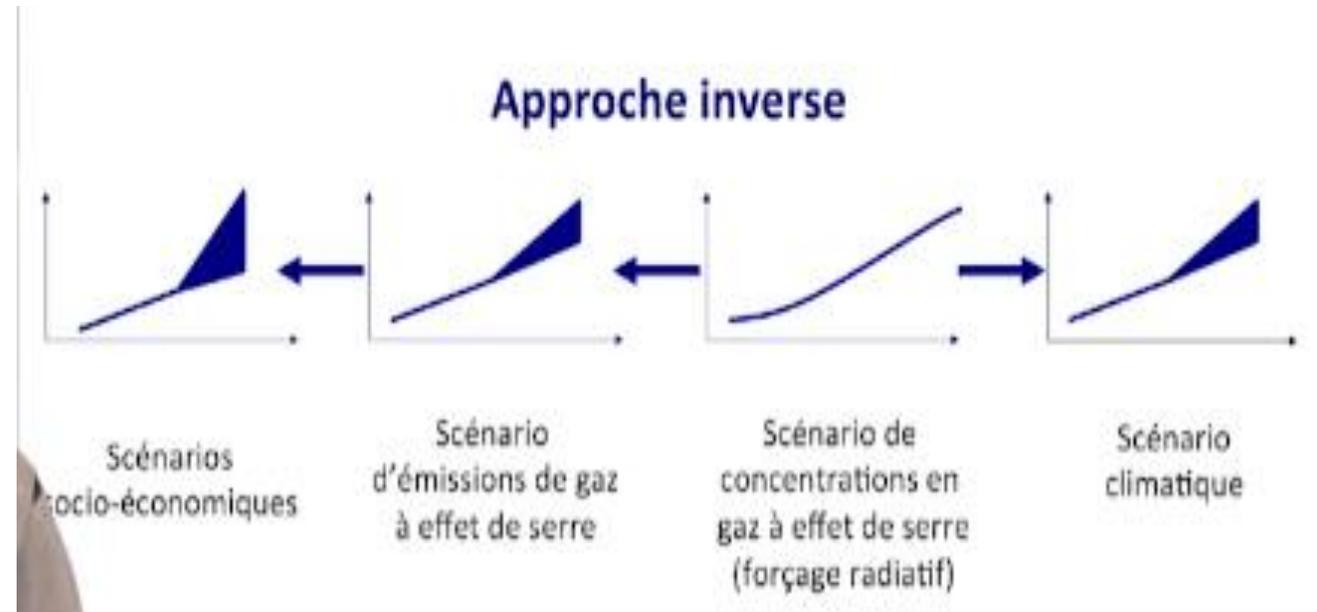


Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Approche inverse : par d'un Scénario de concentrations de GES ou de forçage radiatif, à partir duquel on peut estimer un Scénario climatique, mais à partir duquel on peut aussi construire à postériori plusieurs Scénario socio-économiques compatibles avec le scénario de GES.

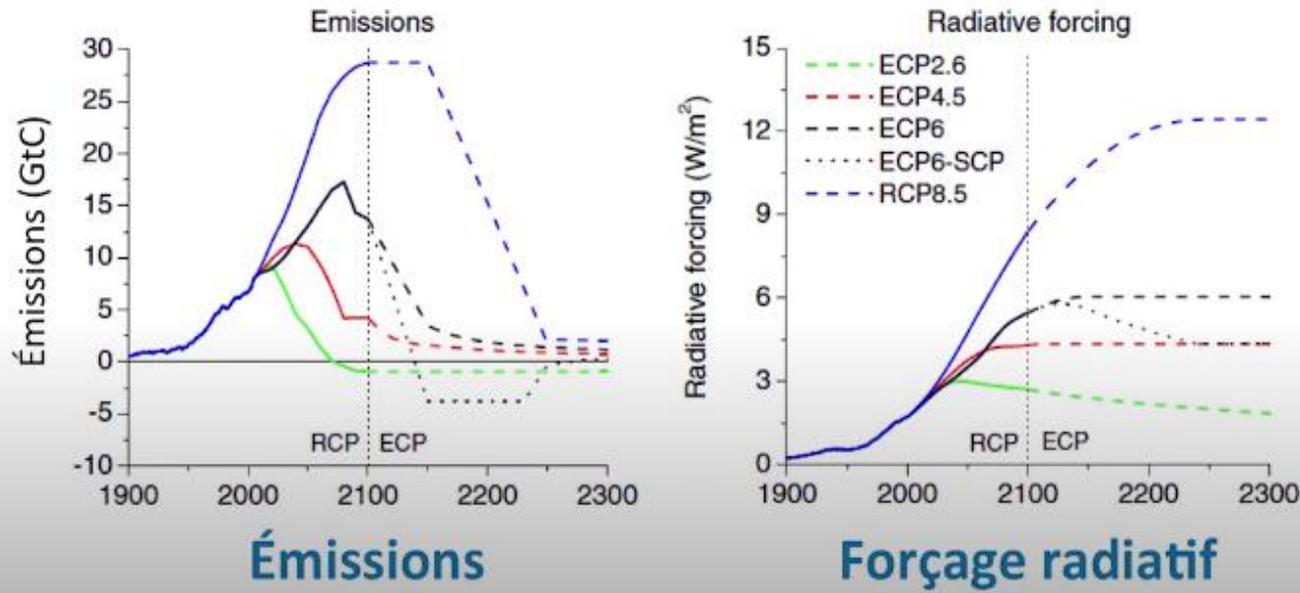
Deux approches distinctes



Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Un exemple : les émissions de CO₂ dans les quatre scénarios RCP



Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Rappel : les scénarios utilisés pour les rapports 2001 et 2007

Famille A1

Elle postule une croissance économique très rapide et répartie de façon homogène sur la planète. La population mondiale atteint un maximum de 9 milliards d'individus au milieu du siècle pour décliner ensuite. De nouvelles technologies énergétiquement efficaces sont introduites rapidement. Les variantes viennent de l'utilisation plus ou moins intense des combustibles fossiles. Par exemple, la variante A1B suppose une utilisation des différentes sources énergétiques sans en privilégier une en particulier (scénario médian). À l'inverse, le scénario A1FI est le plus pessimiste, puisqu'il suppose que ce sont surtout des sources d'énergie fossile qui sont utilisées.

Famille A2

Elle prévoit un monde beaucoup plus hétérogène : la croissance économique et le développement des technologies énergétiquement efficaces sont très variables selon les régions et la population atteint 15 milliards d'habitants à la fin du siècle sans cesser de croître.

Famille B1

Elle décrit la même hypothèse démographique que la famille A1 mais avec une économie rapidement dominée par les services, les « techniques de l'information et de la communication » et dotée de technologies énergétiquement efficaces. Mais sans initiatives supplémentaires par rapport à aujourd'hui pour gérer le climat. Ce scénario est le plus optimiste.

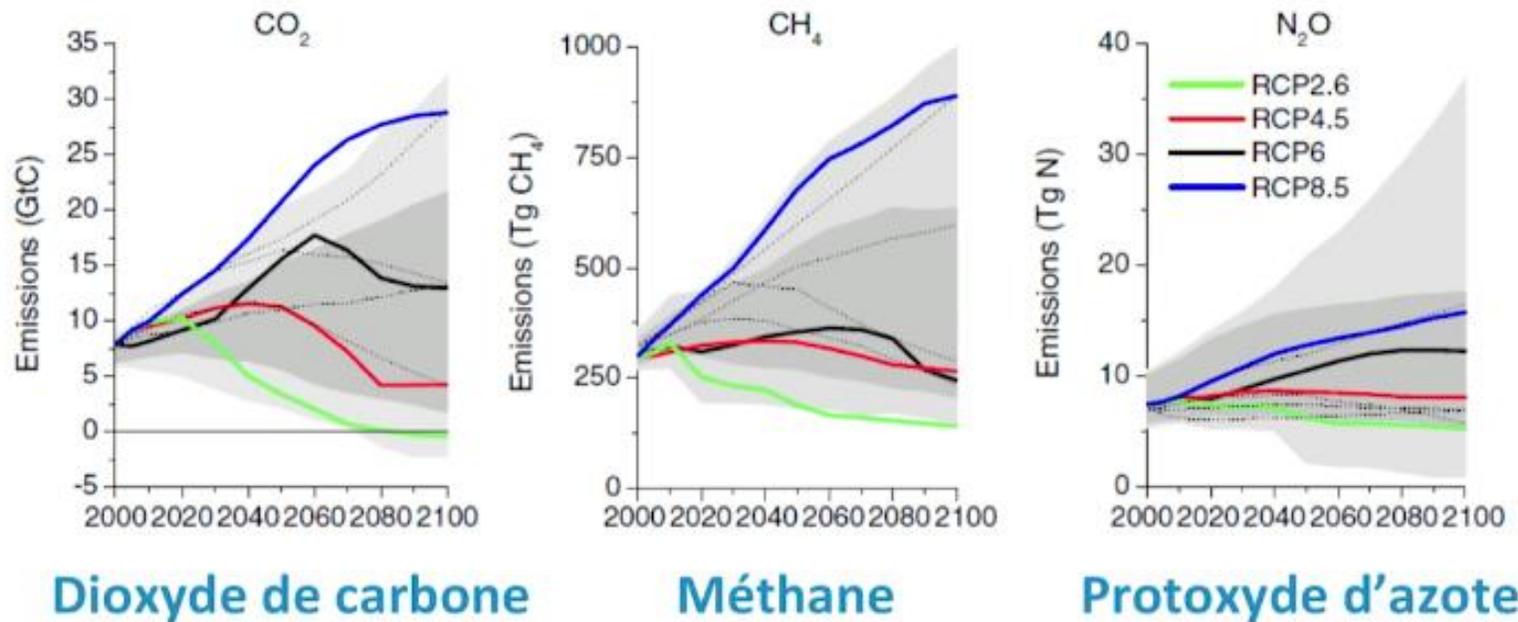
Famille B2

Elle décrit un monde à mi-chemin des scénarios A1 et A2 sur les plans économiques et technologiques, qui voit sa population atteindre à 10 milliards d'habitants en 2100, sans cesser de croître.

Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Le CO₂ n'est pas le seul gaz à effet de serre

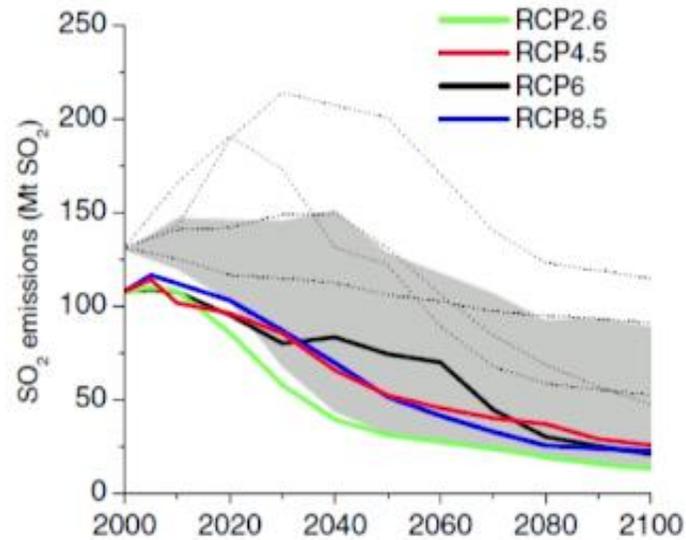


Selon van Vuuren et al., *Climatic Change*, 2011

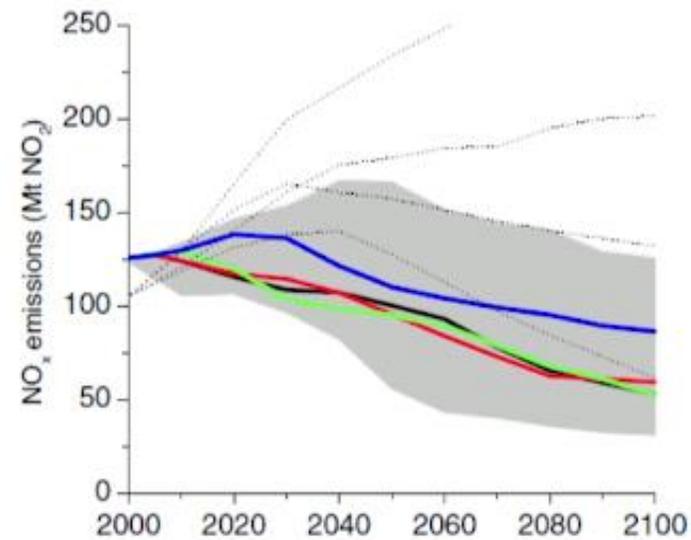
Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Il faut aussi prédire les émissions de polluants à courte durée de vie



Le dioxyde de soufre



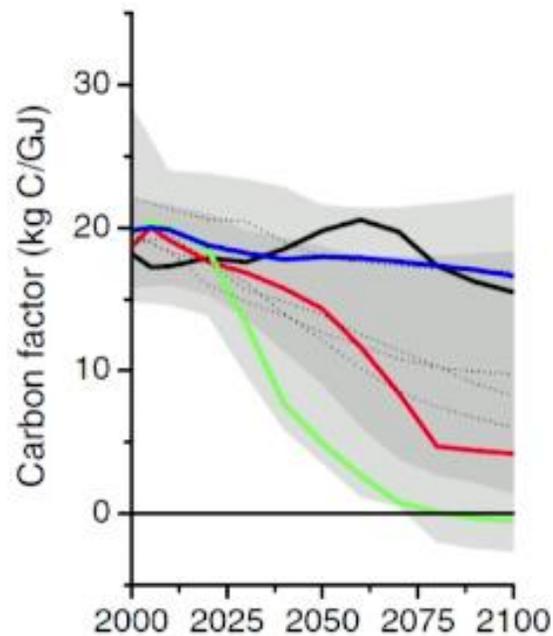
Les oxydes d'azote

Selon van Vuuren et al., *Climatic Change*, 2011

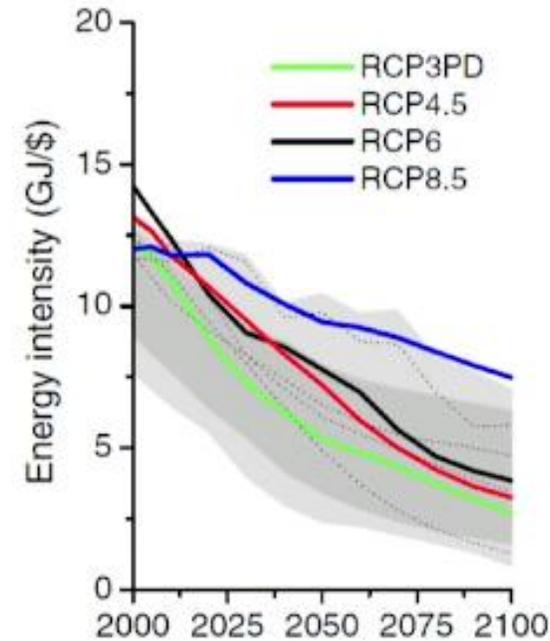
Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Scénarios socio-économiques



Facteur d'émissions



Intensité énergétique

Selon van Vuuren et al., *Climatic Change*, 2011

Les modèles de climats

Les scénarios climatiques

Concrètement un scénario, c'est

- Des émissions ou des concentrations de GES
- Des émissions ou des concentrations de polluants
- Des inventaires d'utilisation des sols
- Des données socio-économiques nécessaires au calcul des impacts du changement climatique (population, urbanisation, structure des sociétés, agriculture, ...)

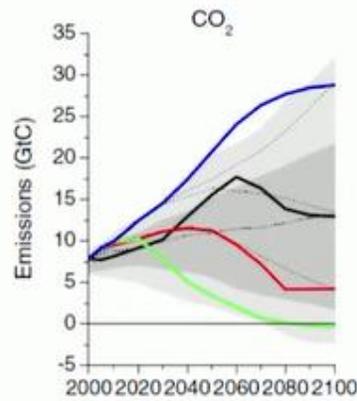
Les modèles de climats

Les projections climatiques

Une projection climatique

C'est la **réponse du système climatique** à un **scénario** d'évolution des gaz à effet serre, des aérosols, du forçage radiatif, calculée grâce à un **modèle climatique**.

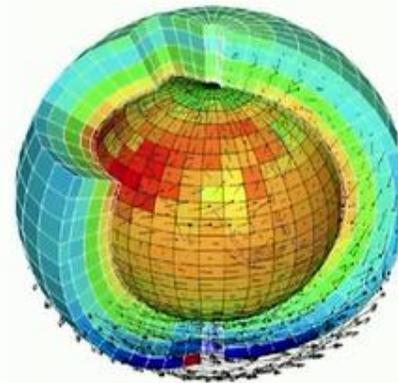
Elle nécessite 2 ingrédients indispensables



← Un scénario

+

Un modèle
climatique →

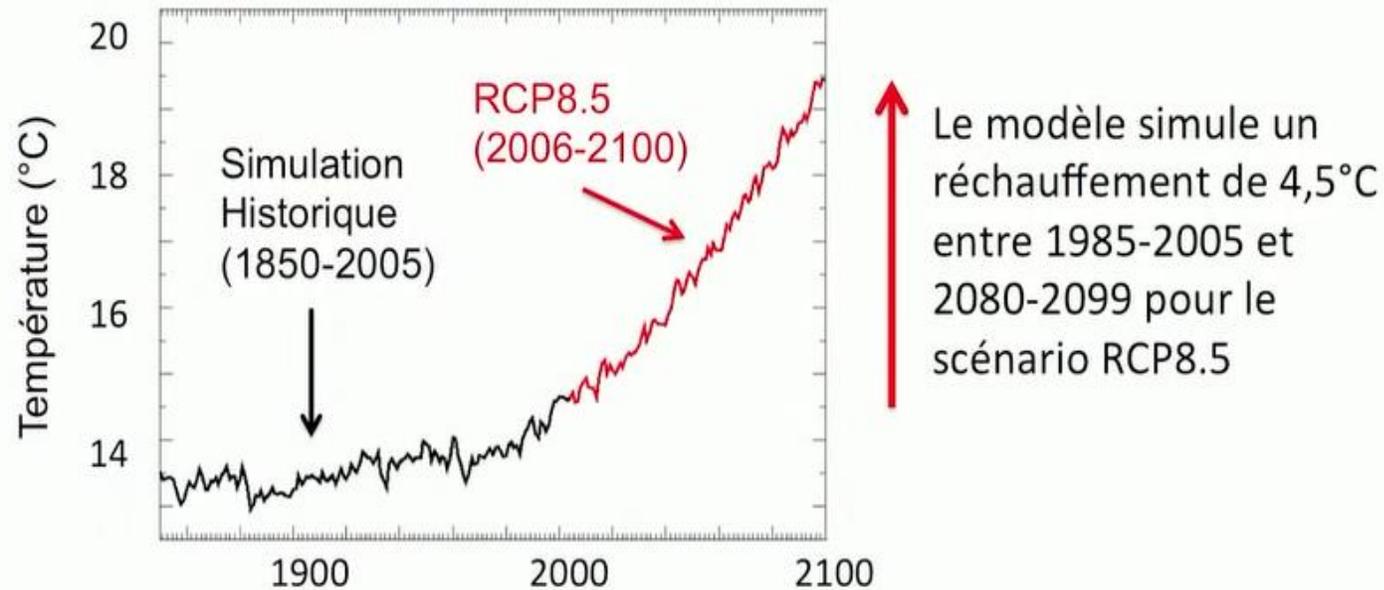


Les modèles de climats

Les projections climatiques

Un exemple avec le modèle de l'IPSL

Évolution de la température de surface (moyenne globale)

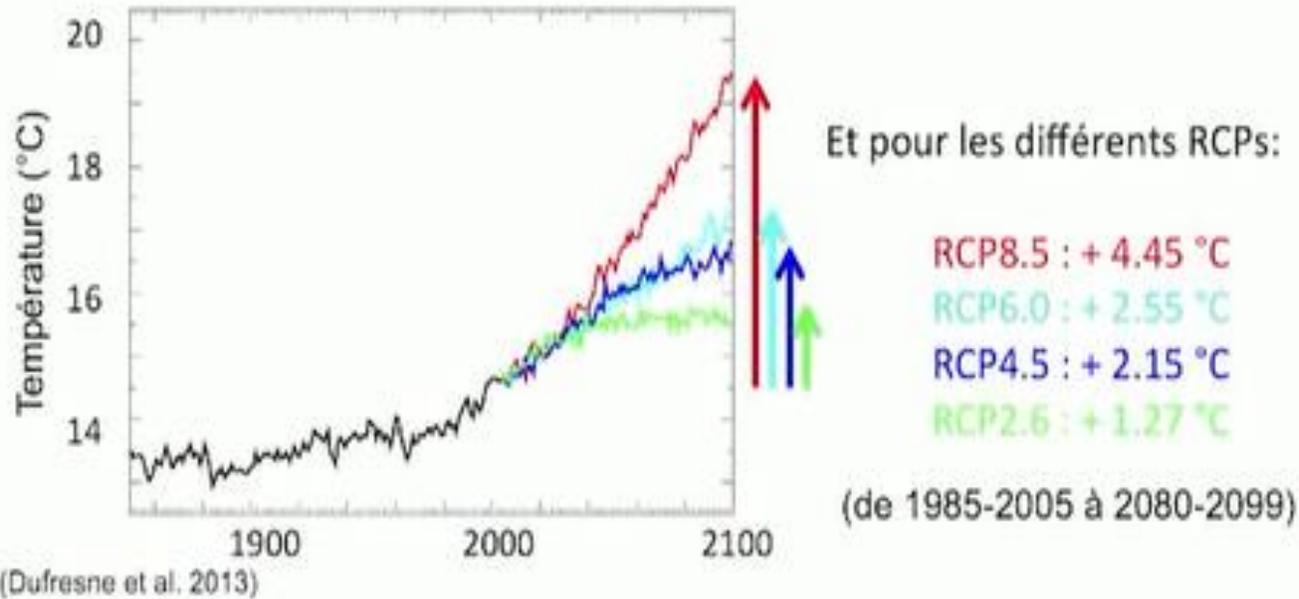


Les modèles de climats

Les projections climatiques

Un exemple avec le modèle de l'IPSL

Évolution de la température de surface (moyenne globale)

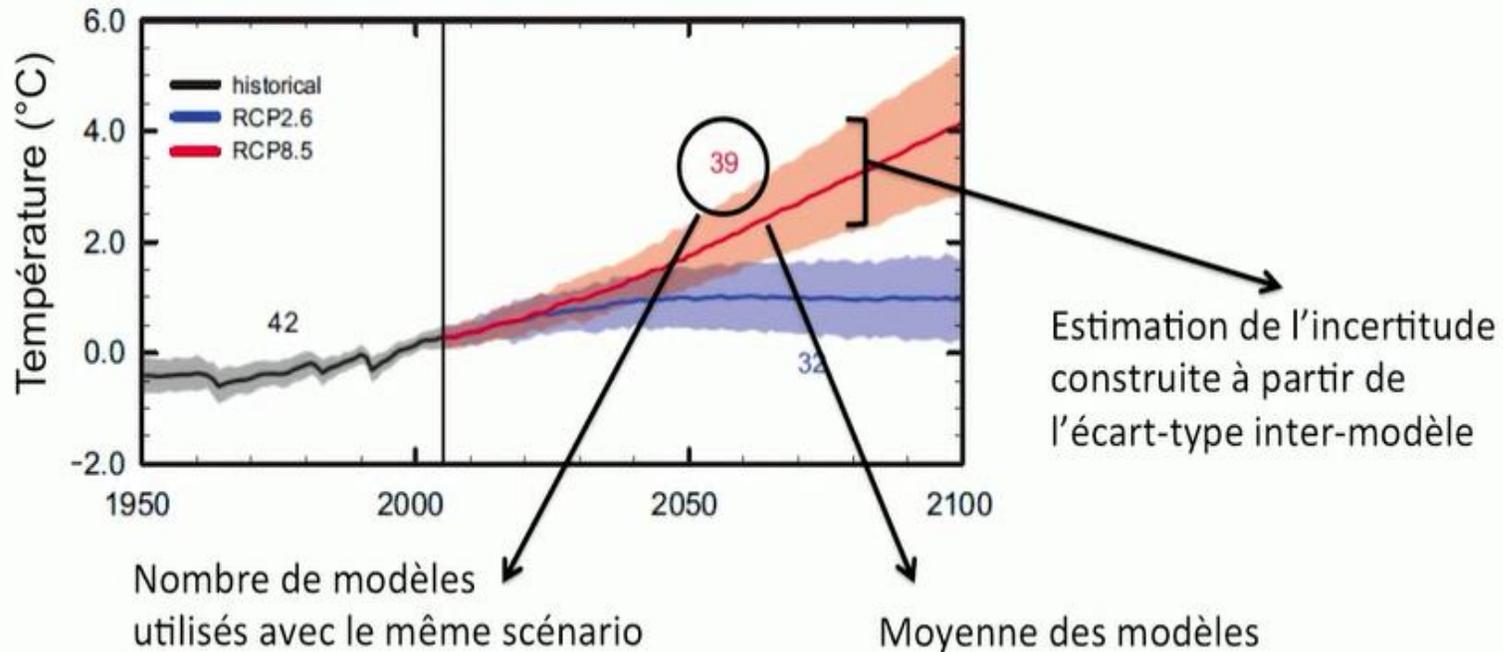


Les modèles de climats

Les projections climatiques

Et en combinant plusieurs modèles

Anomalies de la température de surface (moyenne globale)

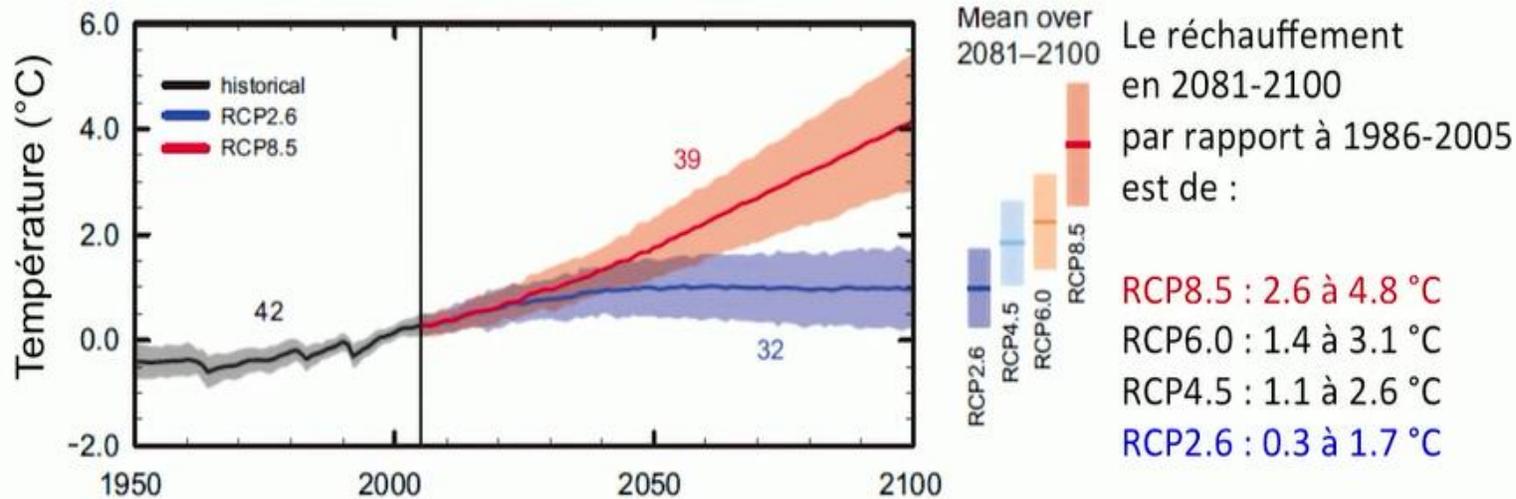


Les modèles de climats

Les projections climatiques

Et en combinant plusieurs modèles

Anomalies de la température de surface (moyenne globale)



(IPCC, 2013)

Les modèles de climats

Les projections climatiques

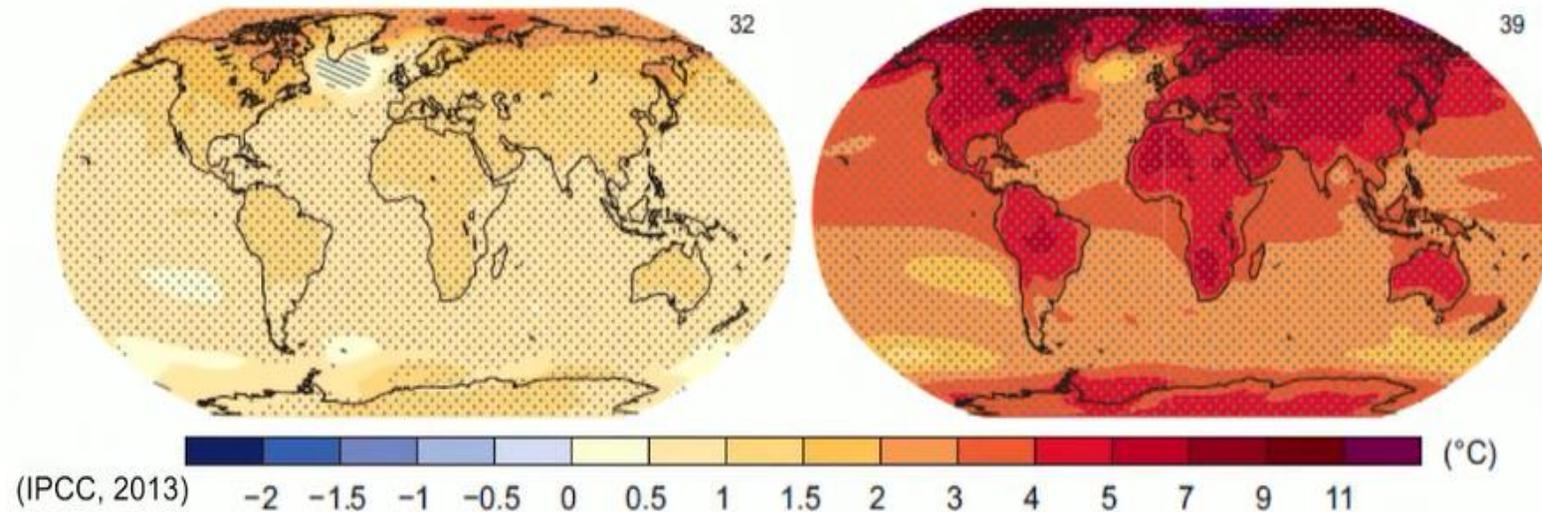
Aspects spatiaux du réchauffement

Anomalies de la température de surface (moyenne annuelle)

RCP 2.6

RCP 8.5

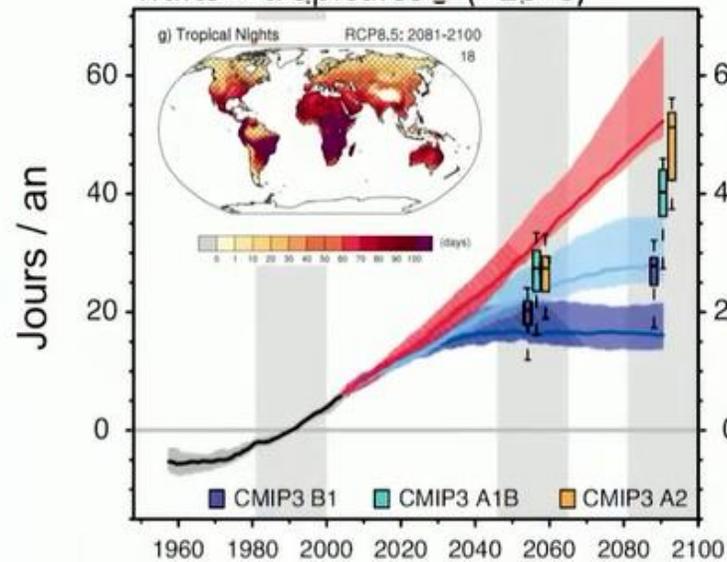
Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)



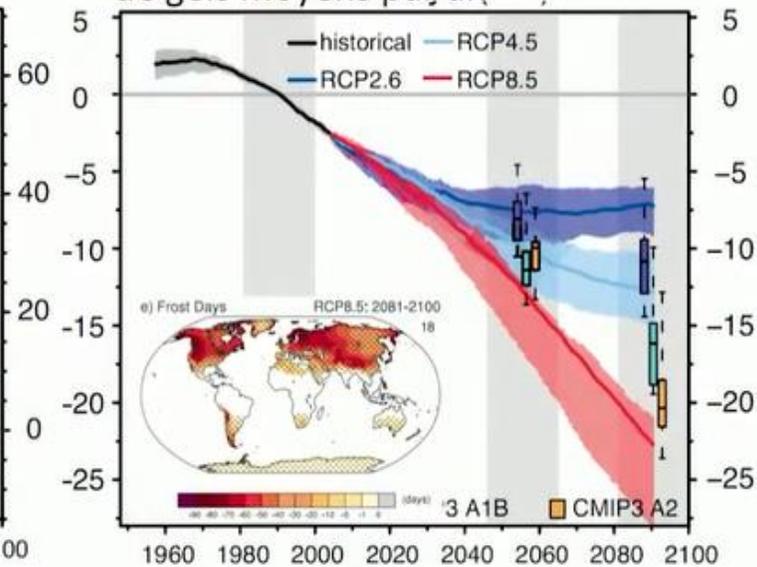
Aspects temporels du réchauffement

Évènements extrêmes

Changement du nombre de nuits « tropicales » (>20°C)



Changements du nombre de jours de gels moyens par an



(IPCC, 2013)

Les modèles de climats

Les projections climatiques

En conclusion :

- Pour un même scénario, les modèles projettent des changements de températures différents. (Donne accès à une estimation de l'incertitude autour des projections). Cela montre que les modèles sont construits de façon un peu différente, font des hypothèses un peu différentes, chacun des modèles a une sensibilité climatique à une même augmentation de GES différente.
- La plus grande « incertitude » n'est pas climatique, mais reste liée au choix du scénario choisi (courbes bleues et rouges).
- On a des informations spatiales : le changement de température à l'échelle régionale n'est pas uniforme (+ fort sur les continents, et + fort dans l'hémisphère nord que l'hémisphère sud).
- On a aussi des informations temporelles sur des événement extrêmes : les événements de température « chauds » / « froids » vont respectivement augmenter/diminuer.