



ACADÉMIE
DE LYON

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Terminale – Enseignement scientifique

Le climat : Observer, modéliser et simuler



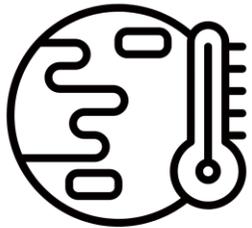
ACADÉMIE
DE LYON

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

- Exploitation pédagogique des données spatiales
- Du satellite à l'information
- L'observation des symptômes du réchauffement climatique



Partie 2 : Modéliser et simuler le climat

- Les scénarios du GIEC
- *Focus : la construction des connaissances scientifiques*
- Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat



ACADÉMIE
DE LYON

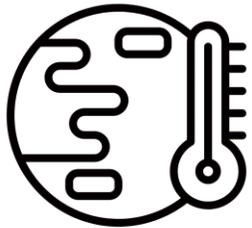
Liberté
Égalité
Fraternité



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

- **Exploitation pédagogique des données spatiales**
- Du satellite à l'information
- L'observation des symptômes du réchauffement climatique

Partie 2 : Modéliser et simuler le climat



- Les scénarios du GIEC
- *Focus : la construction des connaissances scientifiques*
- Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat

Exploitation pédagogique des données spatiales

	Cycle 4	2 ^{nde}	1 ^{ère} générale	T ^{ale} générale
SVT	<p>La Terre dans le système solaire</p> <p>Expliquer quelques phénomènes météorologiques et climatiques.</p> <p>Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels</p> <p>Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain.</p>	<p>Agrosystèmes et développement durable</p> <p>Microorganismes et santé</p> <p>Géosciences et dynamique des paysages</p>	<p>La dynamique interne de la Terre</p> <p>Écosystèmes et services environnementaux</p>	<p>Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions</p>
PC	<p>Constitution des états de la matière</p> <p>Identifier les différentes formes d'énergie</p> <p>Signal et information</p> <p>Composition de l'air</p>	<p>Mouvements et interactions</p> <p>Vision et image</p> <p>Signaux et capteurs</p>	<p>Structure des entités organiques (IR)</p> <p>Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique (combustion et enjeux de société)</p> <p>Mouvement d'un système</p>	<p>Mouvements dans un champ de gravitation</p> <p>Ondes et signaux</p>
Ens. scientifique			<p>Le bilan radiatif terrestre</p> <p>La photosynthèse</p> <p>Projet expérimental et numérique</p>	<p>La complexité du système climatique</p> <p>Le climat du futur</p> <p>Energie, choix de développement et futur climatique</p>

Exploitation pédagogique des données spatiales

	Cycle 4	2 ^{nde}	1 ^{ère} générale	T ^{ale} générale
SVT	<p>La Terre dans le système solaire</p> <p>Expliquer quelques phénomènes météorologiques et climatiques.</p> <p>Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels</p> <p>Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain.</p>	<p>Agrosystèmes et développement durable</p> <p>Microorganismes et santé</p> <p>Géosciences et dynamique des paysages</p>	<p>La dynamique interne de la Terre</p> <p>Écosystèmes et services environnementaux</p>	<p>Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions</p>
PC	<p>Constitution des états de la matière</p> <p>Identifier les différentes formes d'énergie</p> <p>Signal et information</p> <p>Composition de l'air</p>	<p>Mouvements et interactions</p> <p>Vision et image</p> <p>Signaux et capteurs</p>	<p>Structure des entités organiques (IR)</p> <p>Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique (combustion et enjeux de société)</p> <p>Mouvement d'un système</p>	<p>Mouvements dans un champ de gravitation</p> <p>Ondes et signaux</p>
Ens. scientifique			<p>Le bilan radiatif terrestre</p> <p>La photosynthèse</p> <p>Projet expérimental et numérique</p>	<p>La complexité du système climatique</p> <p>Le climat du futur</p> <p>Energie, choix de développement et futur climatique</p>

Exploitation pédagogique des données spatiales

	Cycle 4	2 ^{nde}	1 ^{ère} générale	T ^{ale} générale
SVT	<p>La Terre dans le système solaire</p> <p>Expliquer quelques phénomènes météorologiques et climatiques.</p> <p>Relier les connaissances scientifiques sur les risques naturels</p> <p>Caractériser quelques-uns des principaux enjeux de l'exploitation d'une ressource naturelle par l'être humain.</p>	<p>Agrosystèmes et développement durable</p> <p>Microorganismes et santé</p> <p>Géosciences et dynamique des paysages</p>	<p>La dynamique interne de la Terre</p> <p>Écosystèmes et services environnementaux</p>	<p>Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions</p>
PC	<p>Constitution des états de la matière</p> <p>Identifier les différentes formes d'énergie</p> <p>Signal et information</p> <p>Composition de l'air</p>	<p>Mouvements et interactions</p> <p>Vision et image</p> <p>Signaux et capteurs</p>	<p>Structure des entités organiques (IR)</p> <p>Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique (combustion et enjeux de société)</p> <p>Mouvement d'un système</p>	<p>Mouvements dans un champ de gravitation</p> <p>Ondes et signaux</p>
Ens. scientifique			<p>Le bilan radiatif terrestre</p> <p>La photosynthèse</p> <p>Projet expérimental et numérique</p>	<p>La complexité du système climatique</p> <p>Le climat du futur</p> <p>Energie, choix de développement et futur climatique</p>

Socle commun :

- La formation de la personne et du citoyen
- Les systèmes naturels et les systèmes techniques
- Les représentations du monde et l'activité humaine

Le spatial, à la croisée des disciplines

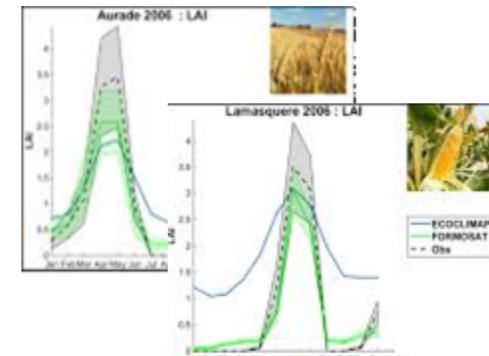
Les technologies spatiales constituent un medium privilégié pour aborder la question du changement climatique.



Les phénomènes climatiques nécessitent l'intégration d'échelles spatio-temporelles très diversifiées.

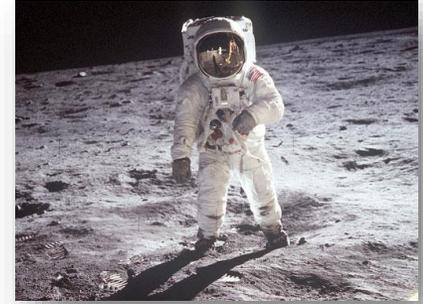


Relais privilégié du scientifique de terrain



Des leviers en classe

- Stimulation de l'intérêt des élèves
- Mise en œuvre de concepts scientifiques complexes
- Pluridisciplinarité
- Données authentiques



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



Exploitation pédagogique des données spatiales

Données spatiales

```
graph TD; A[Données spatiales] --> B[Comprendre]; A --> C[Obtenir]; A --> D[Traiter]; A --> E[Interpréter];
```

Comprendre

- Choix du capteur
- Fonctionnement du capteur
- Mesures (modèles)

Obtenir

- Recherche documentaire
- Interroger une base de données

Traiter

- Logiciel de traitement d'images
- Intégration dans un SIG
- Approches quantitatives

Interpréter

- Comparer
- Corréler
- Prévoir



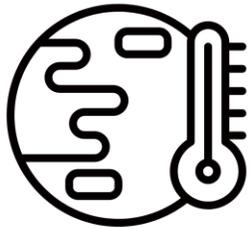
ACADÉMIE
DE LYON

Liberté
Égalité
Fraternité



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

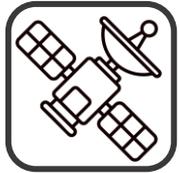
- Exploitation pédagogique des données spatiales
- **Du satellite à l'information**
- L'observation des symptômes du réchauffement climatique



Partie 2 : Modéliser et simuler le climat

- Les scénarios du GIEC
- *Focus : la construction des connaissances scientifiques*
- Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat

Du satellite à l'information



Obtenir des données

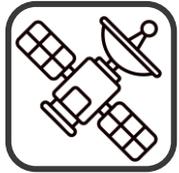


Transmettre les données



Analyser les données

Du satellite à l'information



Obtenir des données

PC



Transmettre les données

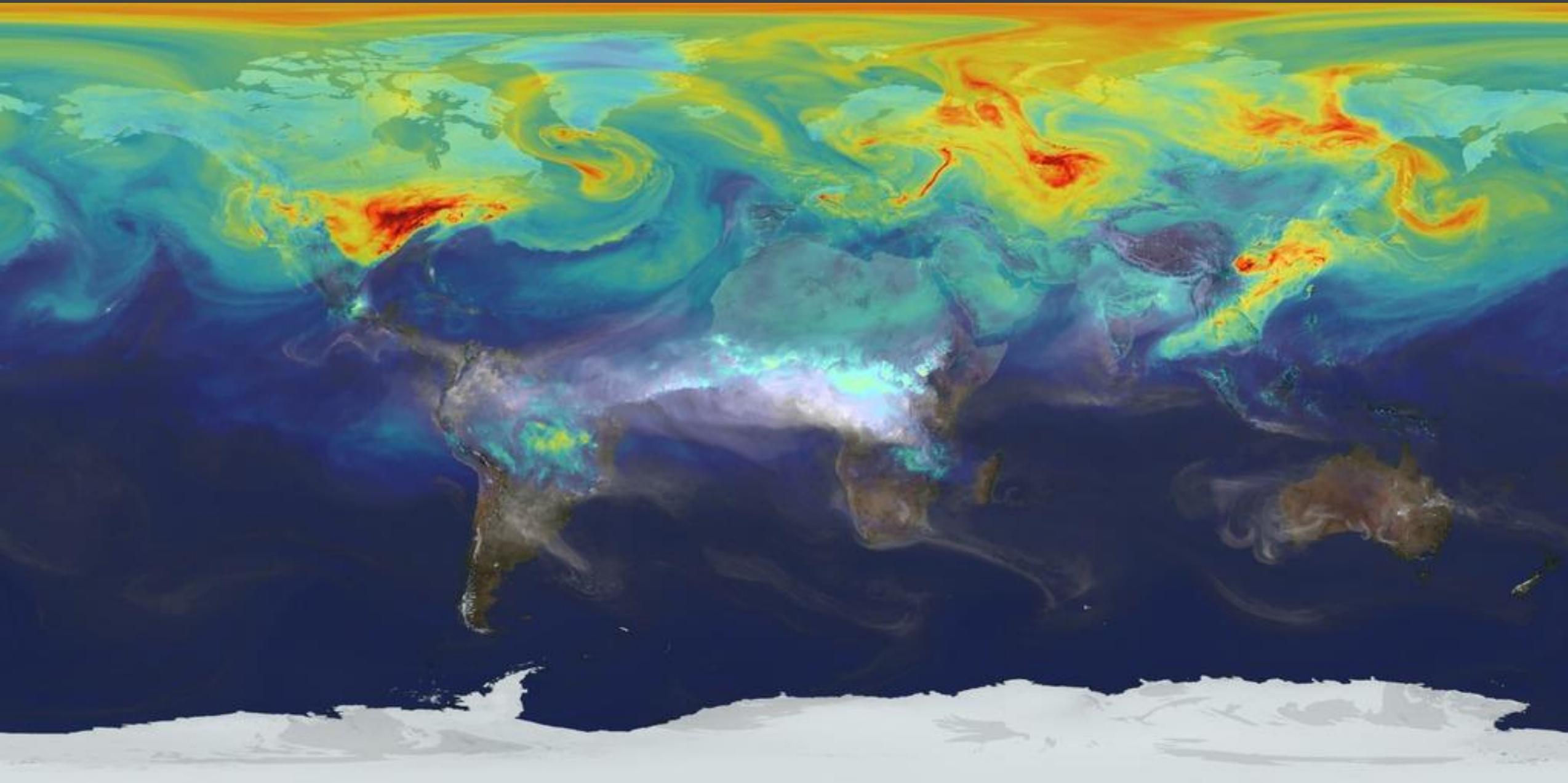
Maths/info



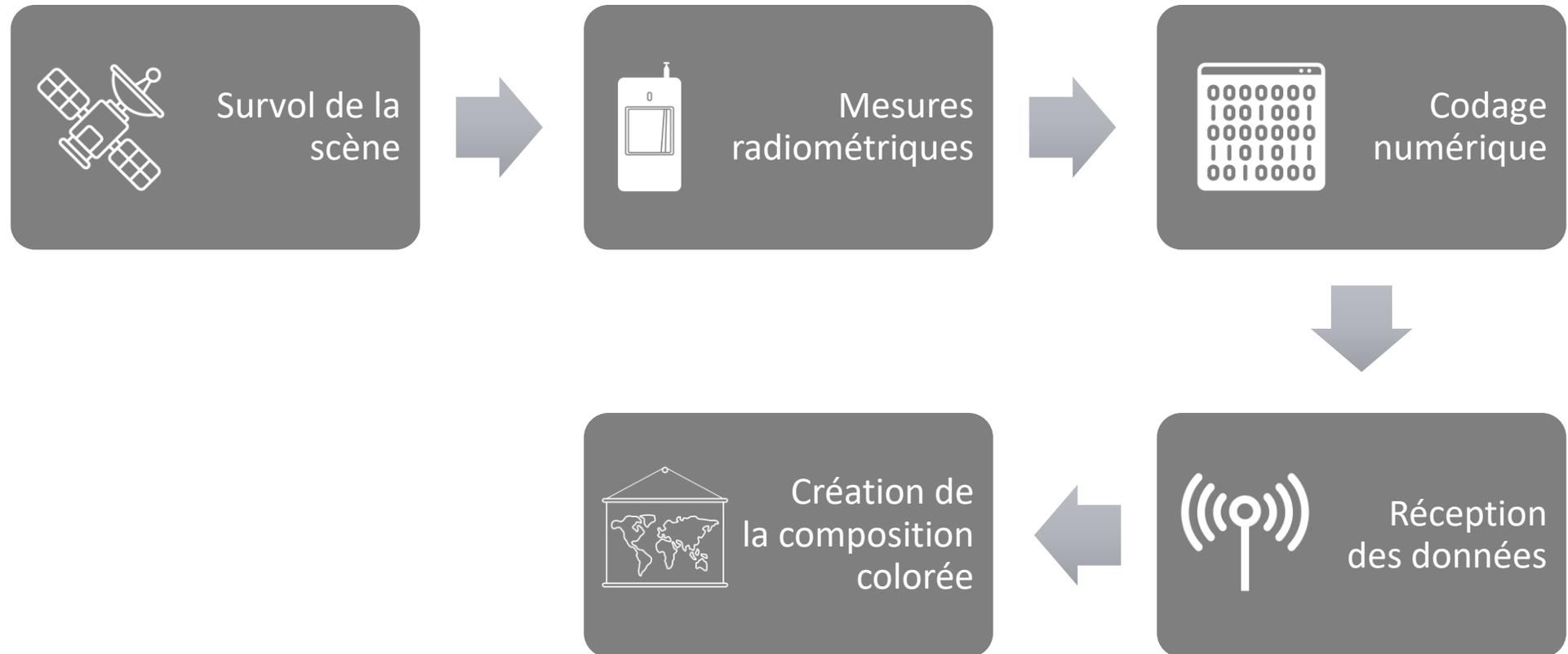
Analyser les données

SVT

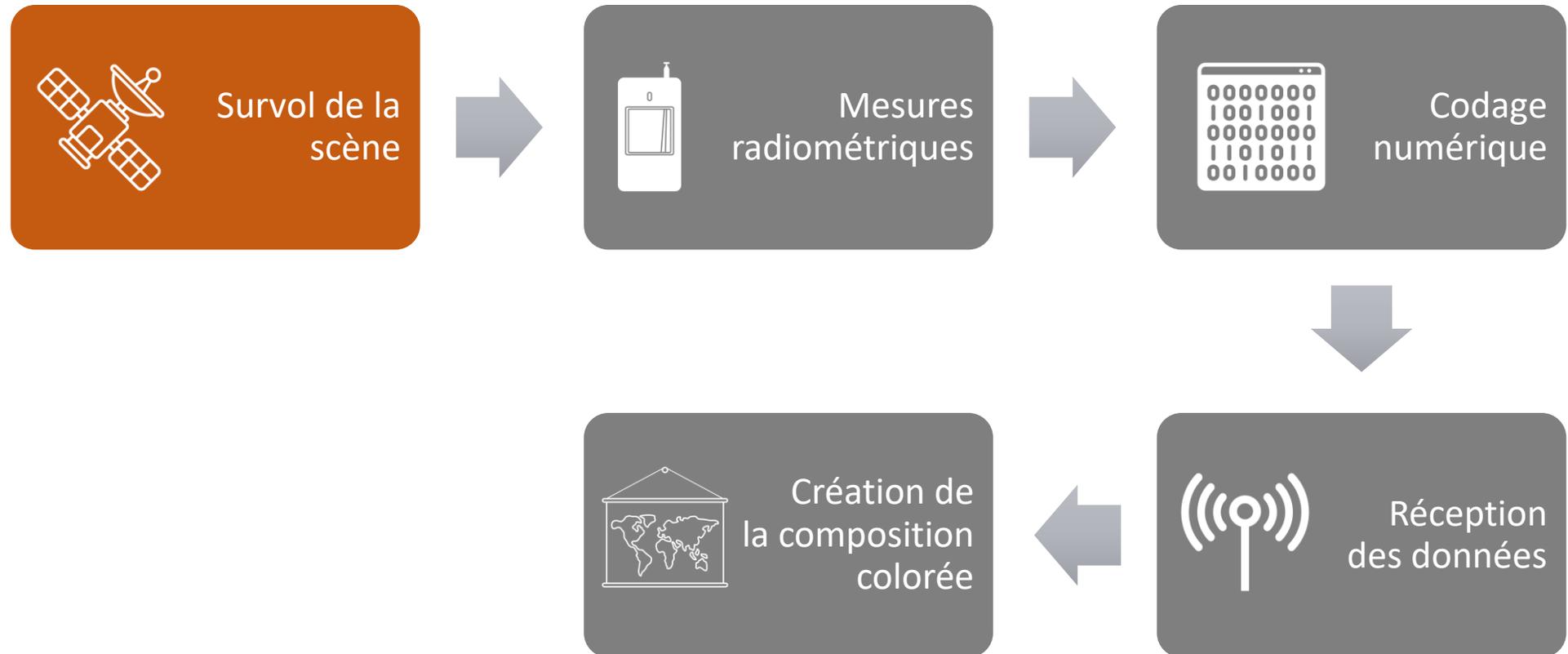
Du satellite à l'information



Du satellite à l'information



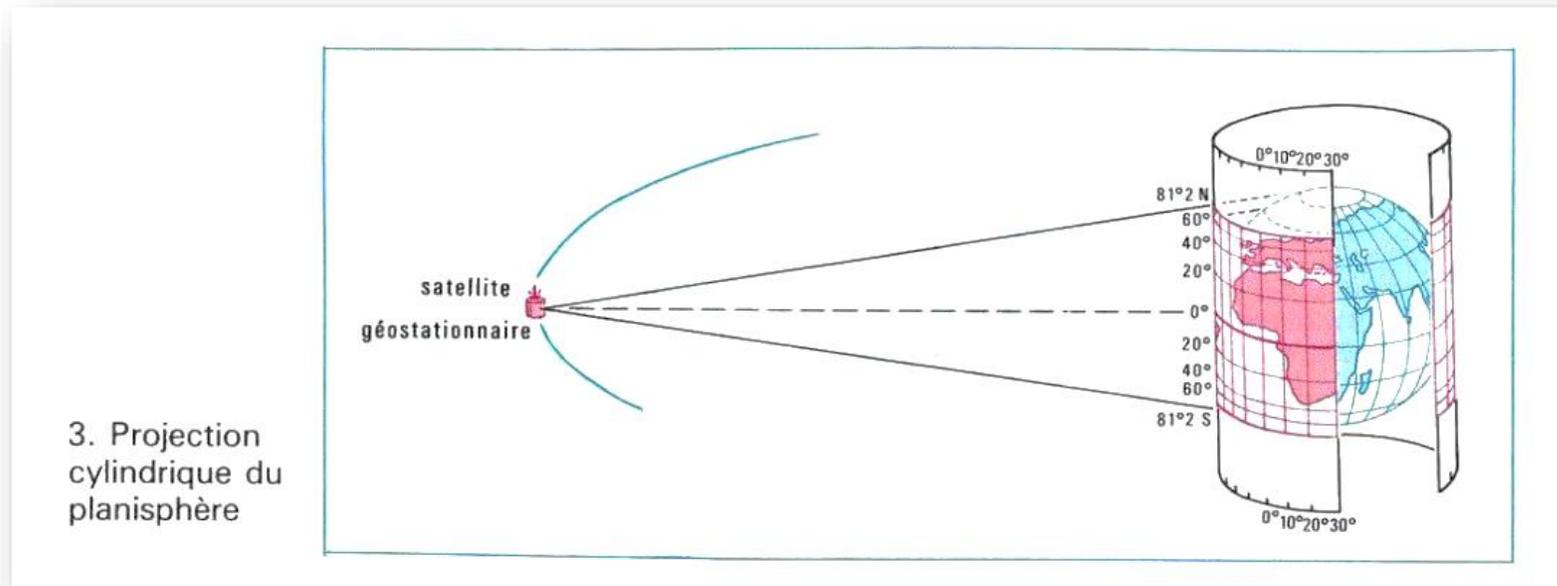
Du satellite à l'information



Obtenir les données : Différentes orbites

Une orbite géostationnaire (GEO=géosynchrone) : le satellite est toujours dans la même position par rapport à la Terre en rotation.

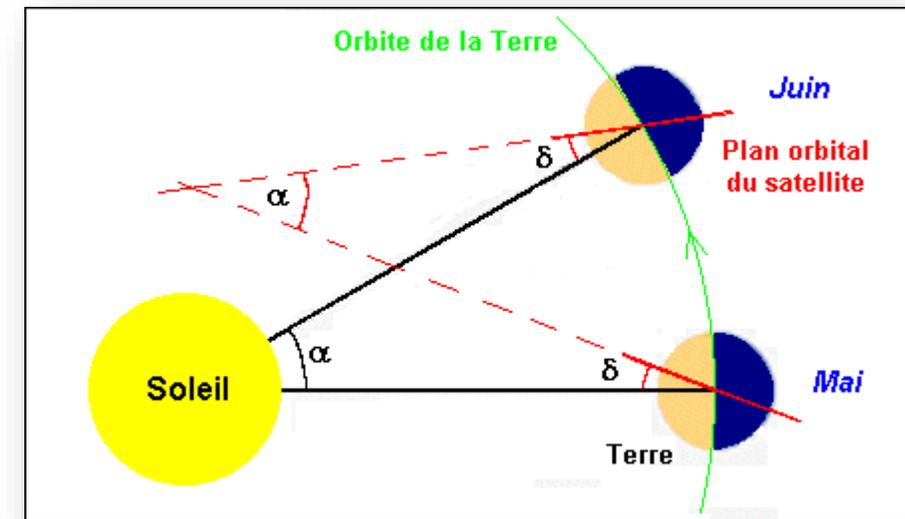
- Le satellite est positionné à une altitude de 35 786 km dans le plan de l'équateur terrestre
- Il tourne donc à la même vitesse et dans la même direction que la Terre.
- Il apparaît ainsi stationnaire au dessus d'un point du globe placé sur l'équateur (il est synchrone par rapport à la rotation de la Terre).



Obtenir les données : Différentes orbites

Les satellites à orbites basses tournent autour de la Terre à une altitude beaucoup plus basse (entre 600 et 1000 km);

- Une orbite particulière est l'orbite quasi polaire avec une inclinaison proche des pôles (angle entre le plan équatorial et le plan de l'orbite du satellite).
- Les satellites placés sur cette orbite ont une héliosynchrones (SSO : *Sun Synchronous Orbit*) : ils passent à une latitude donnée toujours à la même heure solaire.



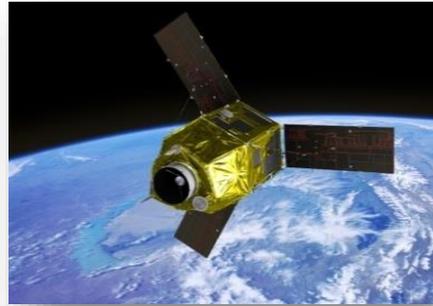
Ci-dessus : la Terre décrit une orbite quasi-circulaire autour du Soleil. En un mois, l'angle α vaut environ 30° (le douzième de 365°).

Si le plan orbital tourne d'un même angle α pendant cette durée, l'angle δ entre le plan orbital et la direction Soleil-Terre demeure constant ; il y a **héliosynchronisme**.

Obtenir les données : Différentes orbites



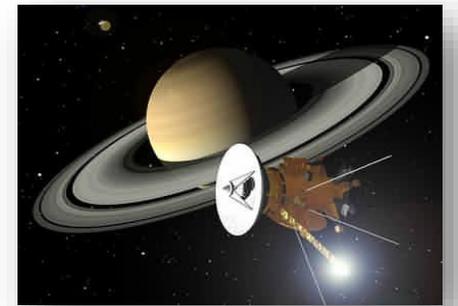
Satellite météo à 36000 km



Satellite imageur : Pléiades 1A et B à 694 km



Satellite Galileo: à 20000 km

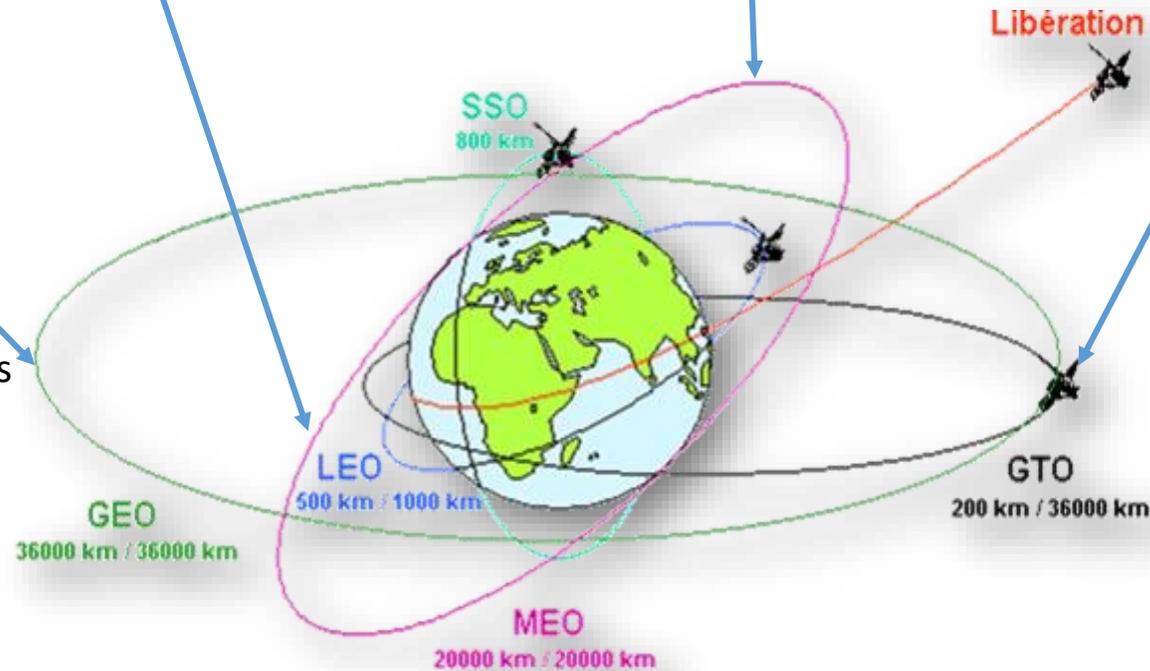


Sonde interplanétaire Cassini

SSO : Orbite héliosynchrone
Sun Synchronous Orbit

GEO : Orbite géostationnaire Geosynchronous Earth Orbit

GTO : Orbite de transfert géostationnaire Geosynchronous Transfert Orbit



LEO: Orbite basse
Low Earth Orbit

MEO : Orbite moyenne
Medium Earth Orbit

Obtenir les données : Des mesures spécifiques

LES SATELLITES

Liste Filtres ↻

- Jason 1
- Envisat
- Spot 5
- Parasol
- Calipso
- MetOp-A
- SMOS
- Jason 2
- Cryosat
- Megha-Tropiques
- Pléiades
- Meris-R

- REJOUER L'INTRO
- VOIR LE DICO
- LÉGENDE



The diagram shows a central Earth globe with a grid of latitude and longitude lines. Surrounding the globe are several satellite orbits, represented by dashed lines. Various satellite icons in different colors (blue, yellow, orange, red, purple) are positioned along these orbits, indicating their specific measurement paths and coverage areas. The background is a dark blue space filled with small white stars.

cnes
CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES

Obtenir les données : De plus en plus de mesures

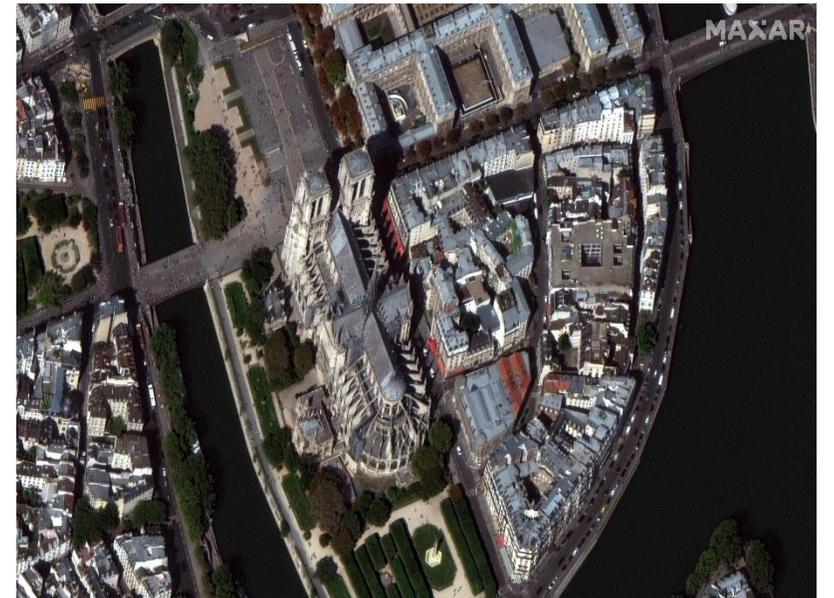


Obtenir les données : Les satellites d'observation

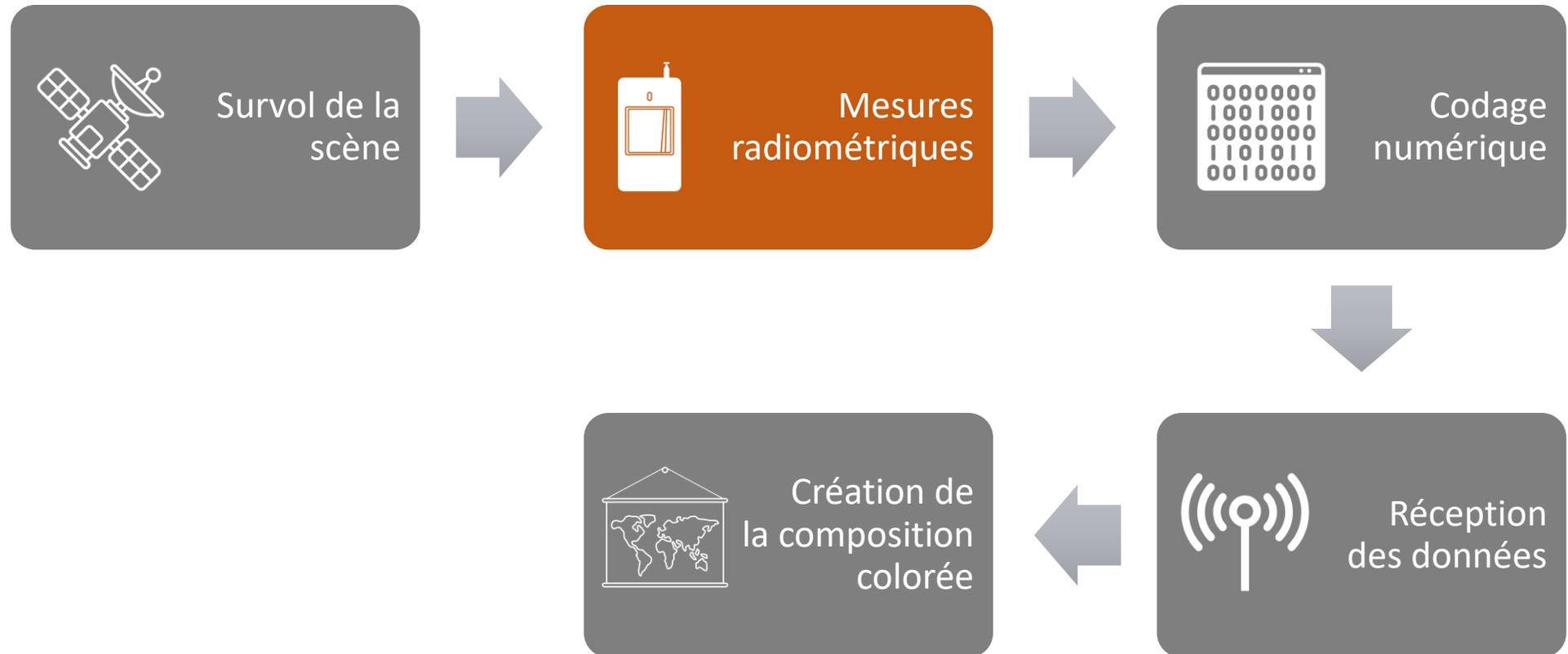
Pléiades :

2 satellites lancés en 2011

Objectif : Observer et cartographier la surface de la Terre avec une résolution de 70 cm



Du satellite à l'information



Obtenir les données : Que mesurent les capteurs des satellites ?

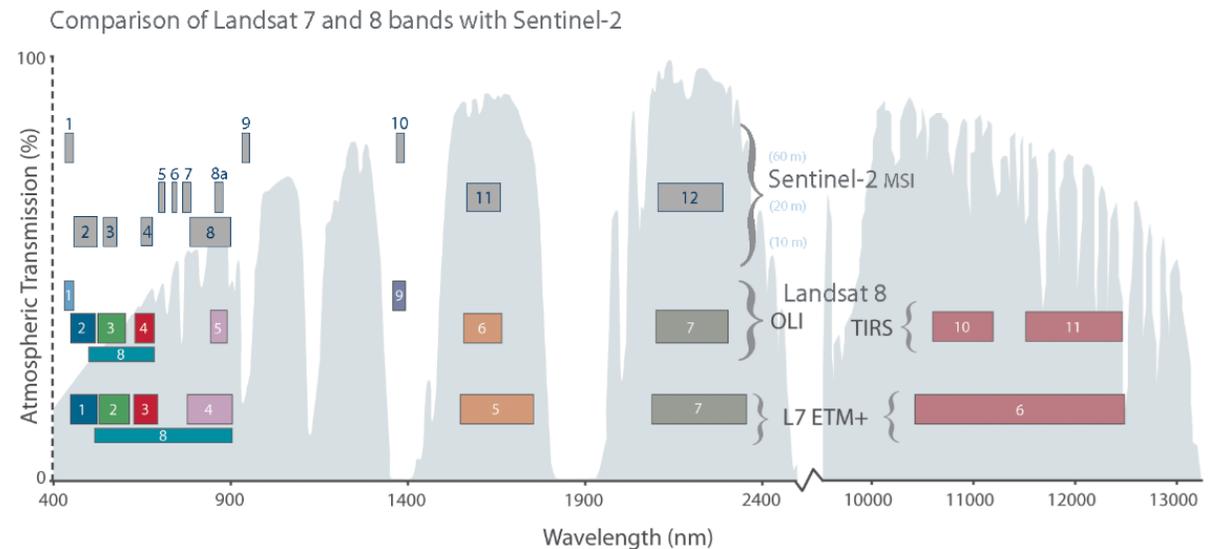
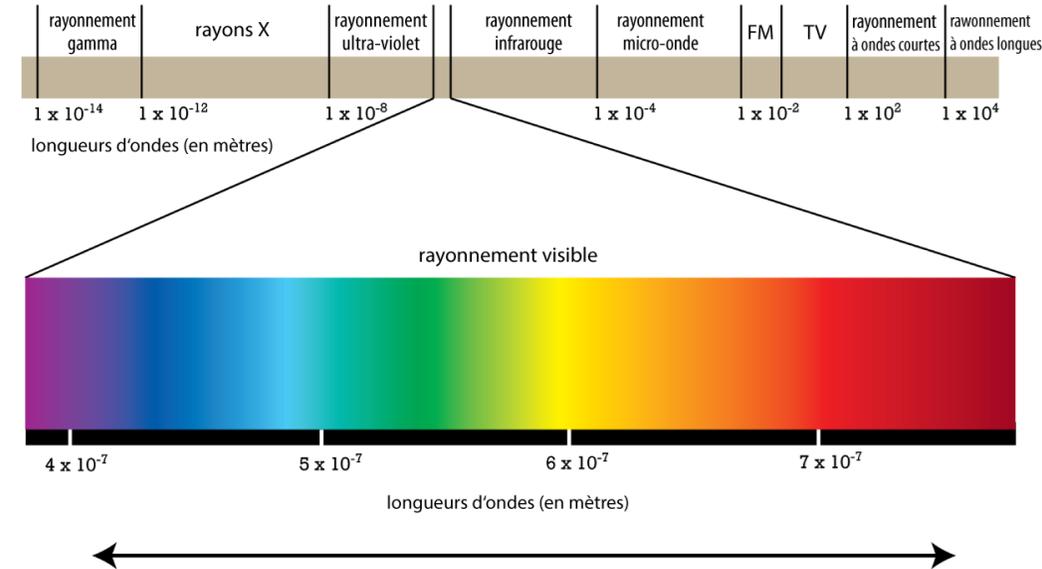
Le spectre électromagnétique

Capteurs => Extension du domaine d'exploration dans les infrarouges et les ondes radar

La notion de canaux

Les **radiomètres** embarqués sur les satellites d'observation de la Terre ont des « canaux » de mesure bien calibrés :

- 0,4 à 0,8 μm pour les canaux dans le visible
- 5,5 à 7,1 μm pour l'infrarouge vapeur d'eau
- 10,5 à 12,5 μm pour l'infrarouge thermique.



Obtenir les données : Que mesurent les capteurs des satellites ?

La grandeur mesurée par le radiomètre (luminance ou réflectance) est ensuite codée en 256 valeurs radiométriques (0 à 255).

Energie

Un détecteur photosensible est sensible à une énergie E (J) reçue sur un temps t . Cette énergie est apportée par des photons de différentes longueurs d'onde. Selon la scène observée, $E(\lambda)$ varie.

Energie spectrale $J(/\mu m)$

Énergie reçue sur un intervalle de longueur d'onde donné

On s'affranchit de la sensibilité spectrale du capteur

Flux spectral $W(/\mu m)$

Energie spectrale reçue par unité de temps

Eclairement W/m^2

Flux spectral reçu par unité de surface

Luminance (ou radiance) $W/m^2/sr$

Eclairement par unité d'angle solide

On s'affranchit de l'orientation du capteur

Réflectance %

Rapport entre luminance et éclairement solaire

Caractérise uniquement la surface

Source et compléments : <http://www.cesbio.ups-tlse.fr/multitemp/?p=6628>

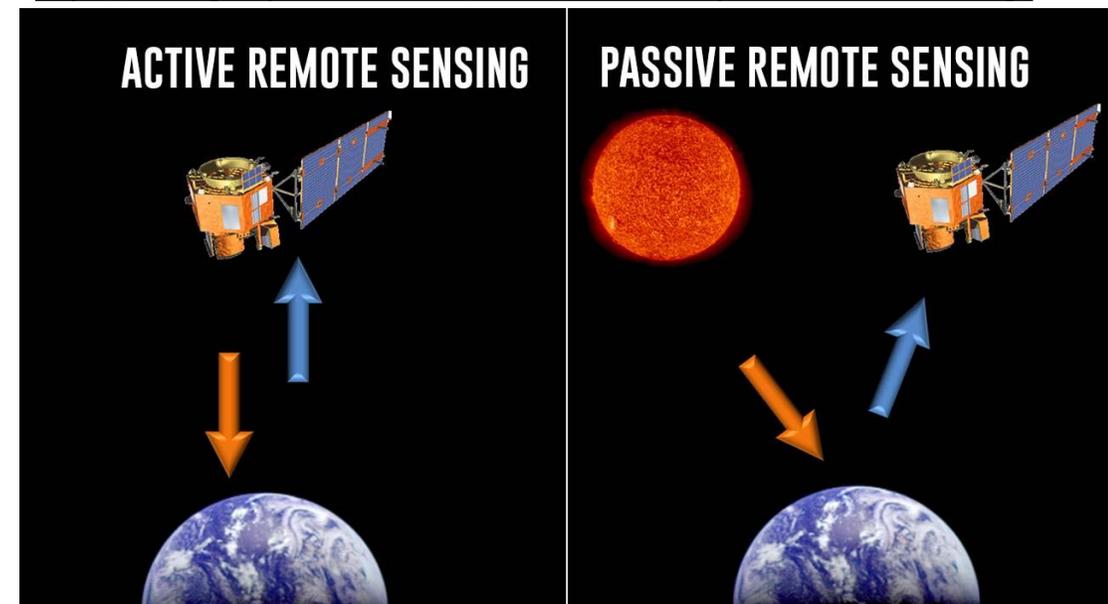
Obtenir les données : Télédétection passive et télédétection active

Les capteurs passifs

Utilisent les propriétés de réflexion du rayonnement solaire et de l'émission dans l'infrarouge thermique et dans le domaine des micro-ondes



<https://www.geospatialworld.net/videos/active-and-passive-remote-sensing/>



Obtenir les données : Télédétection passive et télédétection active

Les capteurs passifs

Utilisent les propriétés de réflexion du rayonnement solaire et de l'émission dans l'infrarouge thermique et dans le domaine des micro-ondes

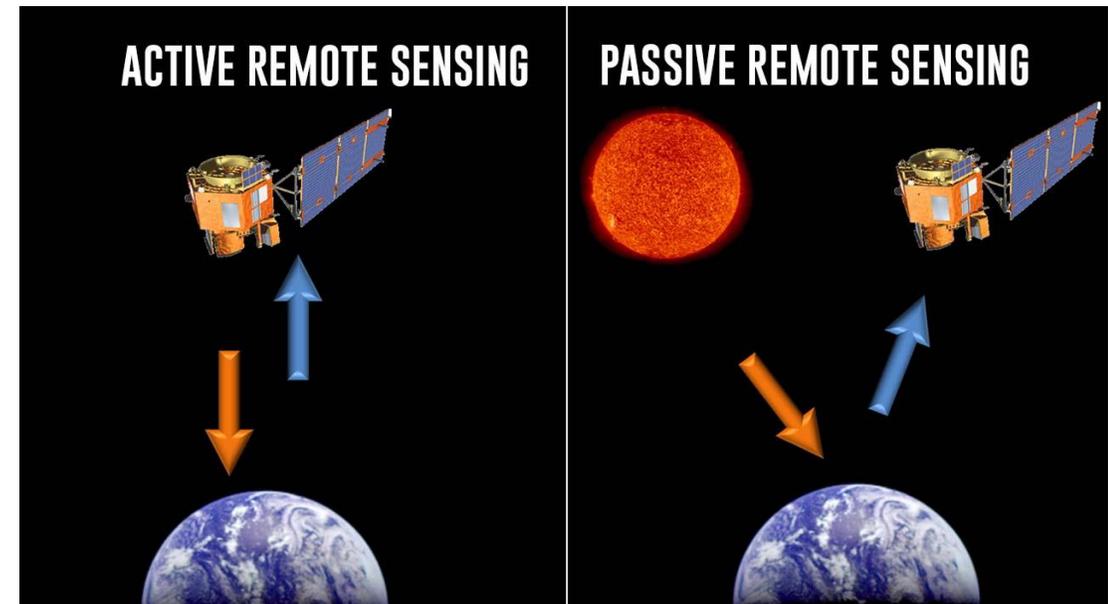
Les capteurs actifs

Rayonnement émis par le capteur lui-même et rétrodiffusé par la surface terrestre) => capteurs radars.

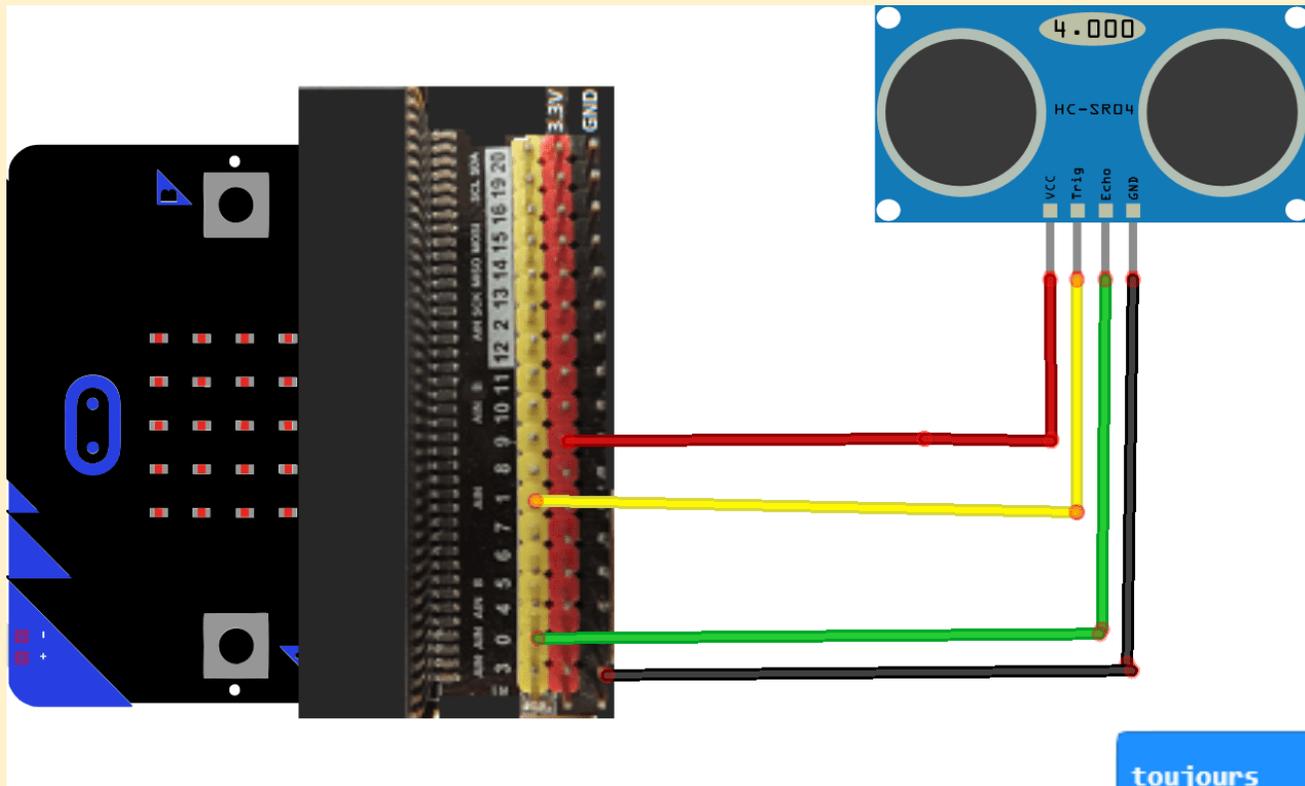
- **Points forts :**
 - Prise de mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison ;
 - Observation dans des domaines de fréquences peu accessibles dans le spectre solaire
 - Contrôle de la façon dont une zone est illuminée.
- **Point faible :** nécessite une grande quantité d'énergie pour illuminer une cible



<https://www.geospatialworld.net/videos/active-and-passive-remote-sensing/>



Obtenir les données : Modélisation de la télédétection active en classe



toujours

ping trig P1 ▼

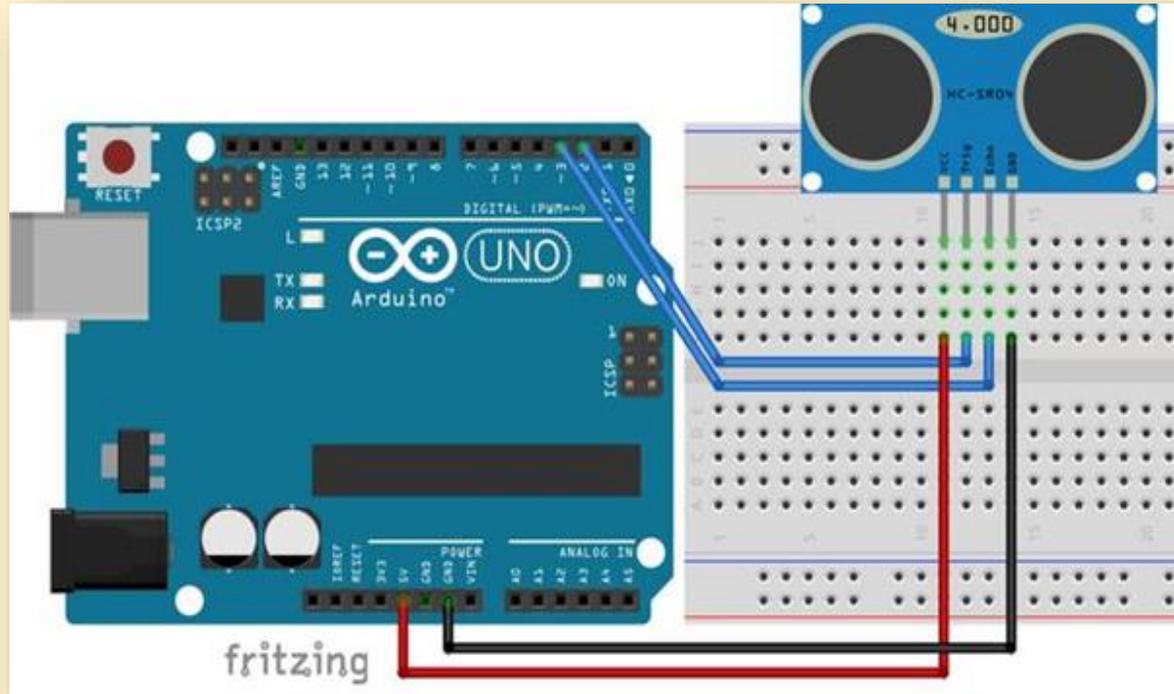
echo P0 ▼

unit cm ▼

afficher texte

Cette instruction mesure la distance en cm entre le capteur et l'obstacle détecté

Obtenir les données : Modélisation de la télédétection active en classe



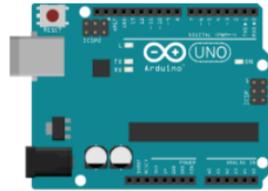
```
2  const int trig = 2;
4
6  const int echo = 3;
8  const unsigned long timeout = 25000UL;
10 const float sound_speed = 0.340;
12
14 long mesure = 0 ;
16 float distance = 0 ;
18
20
22 void setup() {
24   Serial.begin(9600);
26   pinMode(trig, OUTPUT);
28   digitalWrite(trig, LOW);
30   pinMode(echo, INPUT);
32 }
34
36 void loop() {
38   digitalWrite(trig, HIGH);
40   delayMicroseconds(10);
42   digitalWrite(trig, LOW);
44   mesure = pulseIn(echo, HIGH, timeout);
46   distance = mesure / 2 * sound_speed;
48   Serial.print("L'obstacle se trouve à ");
50   Serial.print(distance);
52   Serial.println(" mm");
54   delay(300);
56 }
58
60
62
64
66
68
70
```



Obtenir les données : Modélisation de la télédétection active en classe

Programmer

Retrouvez l'interface de programmation que vous souhaitez en cliquant sur les vignettes.

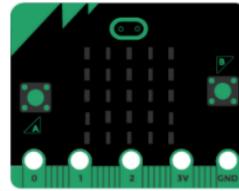


Arduino

Interface de programmation pour la carte Arduino

Dotée d'un simulateur et compatible avec de nombreux modules.

[En savoir plus](#)



Micro:bit

Interface de programmation pour la carte Micro:bit

Dotée d'un simulateur et compatible avec de nombreux modules.

[En savoir plus](#)



Python

Interface de programmation pour Python 3

Dotée de correction automatique et pensée pour l'éducation.

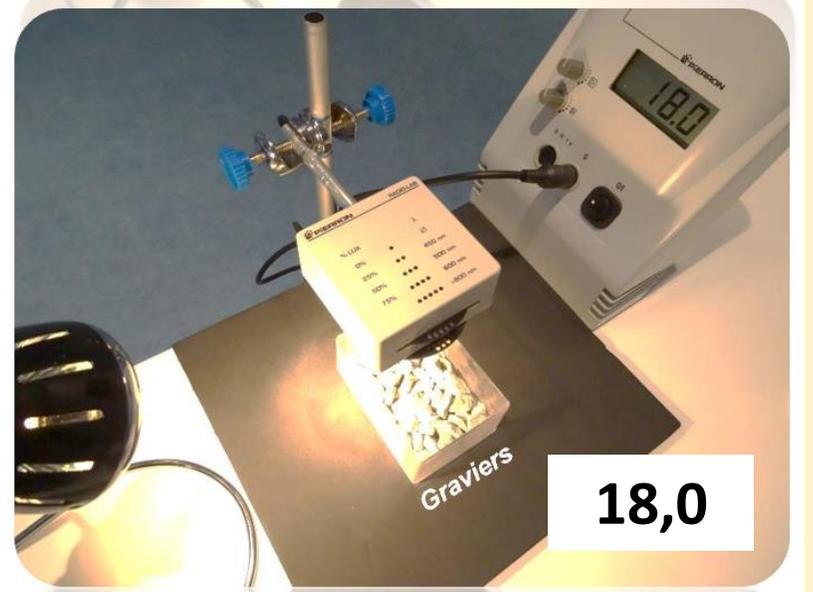
[En savoir plus](#)

<https://fr.vittascience.com/learn/tutorial.php?id=178/10.-Mesurer-une-distance>

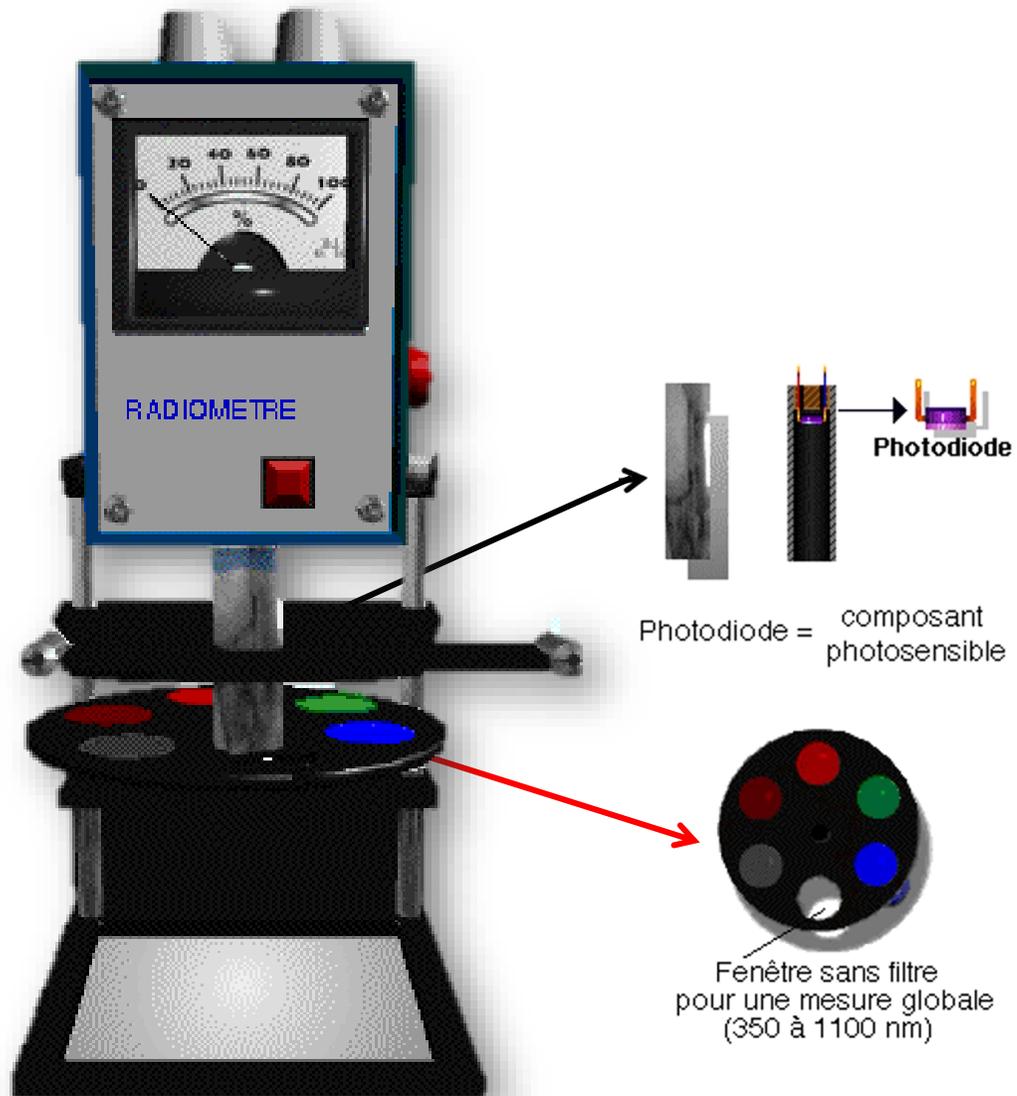
Obtenir les données : Réflectance et signature spectrale

Objets différents

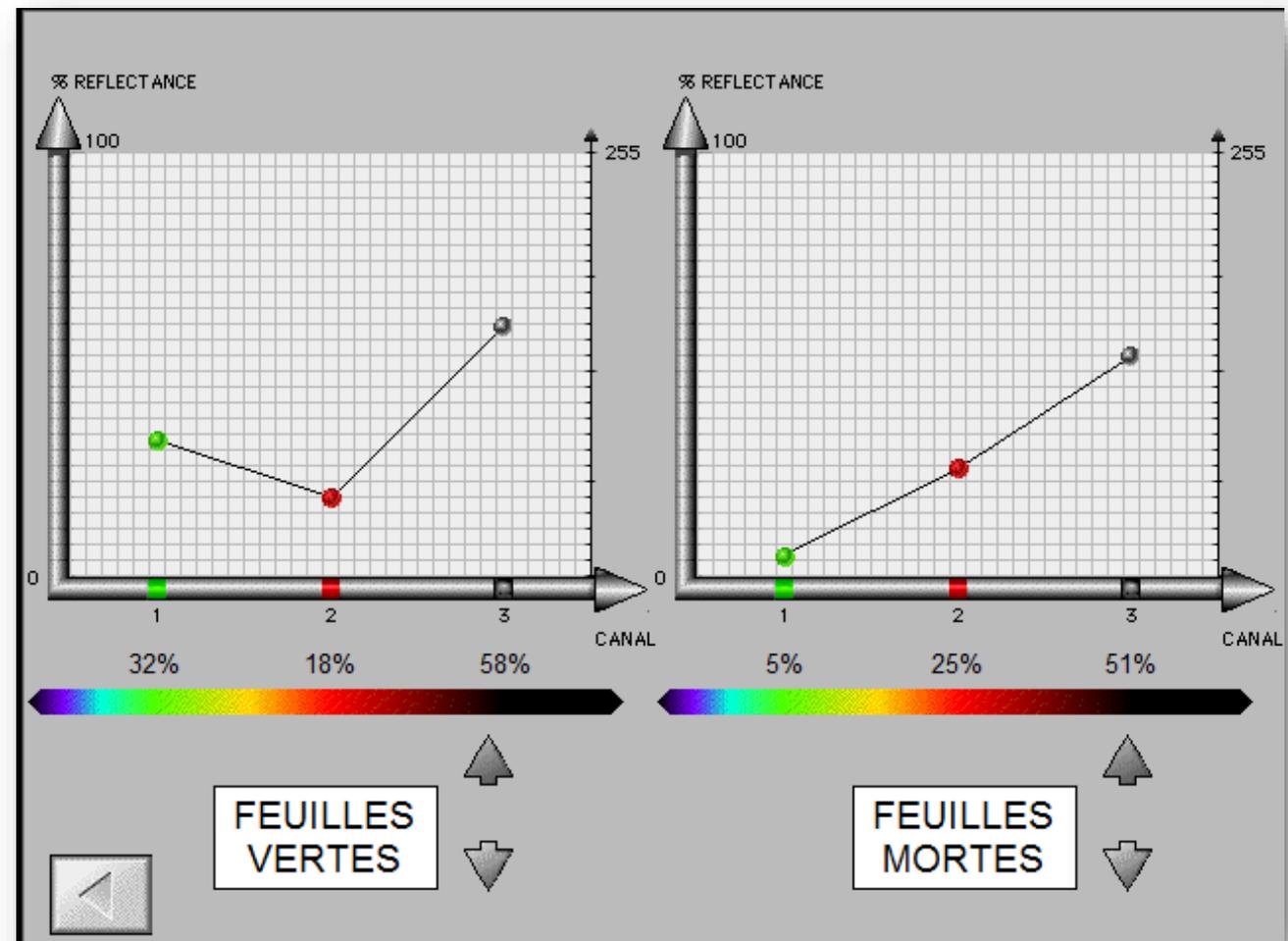
Même canal (= même filtre)



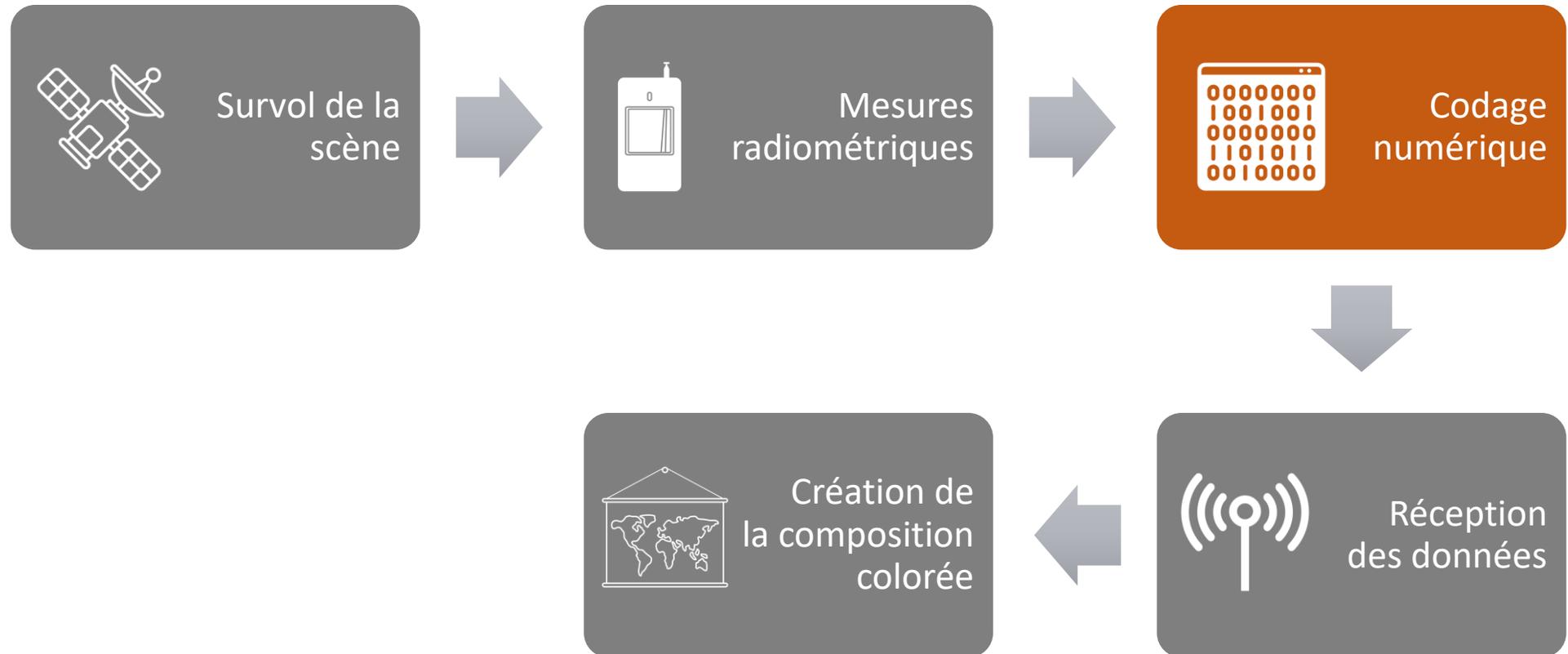
Obtenir les données : Réflectance et signature spectrale



Signatures spectrales



Du satellite à l'information



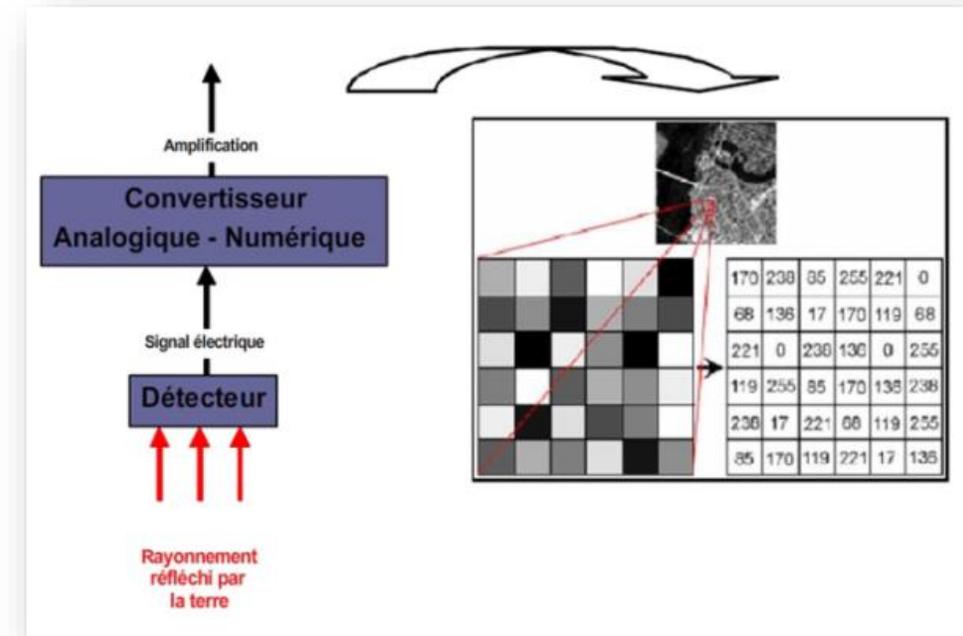
Transmettre les données : De la mesure aux nombres

- **Mesures converties en bits (CAN)**

Par exemple :

*Satellite Pléiades utilise 12 bits pour coder une mesure physique
(4096 mesures radiométriques possibles pour un pixel)*

- **Poids (en octets) très élevé des images**



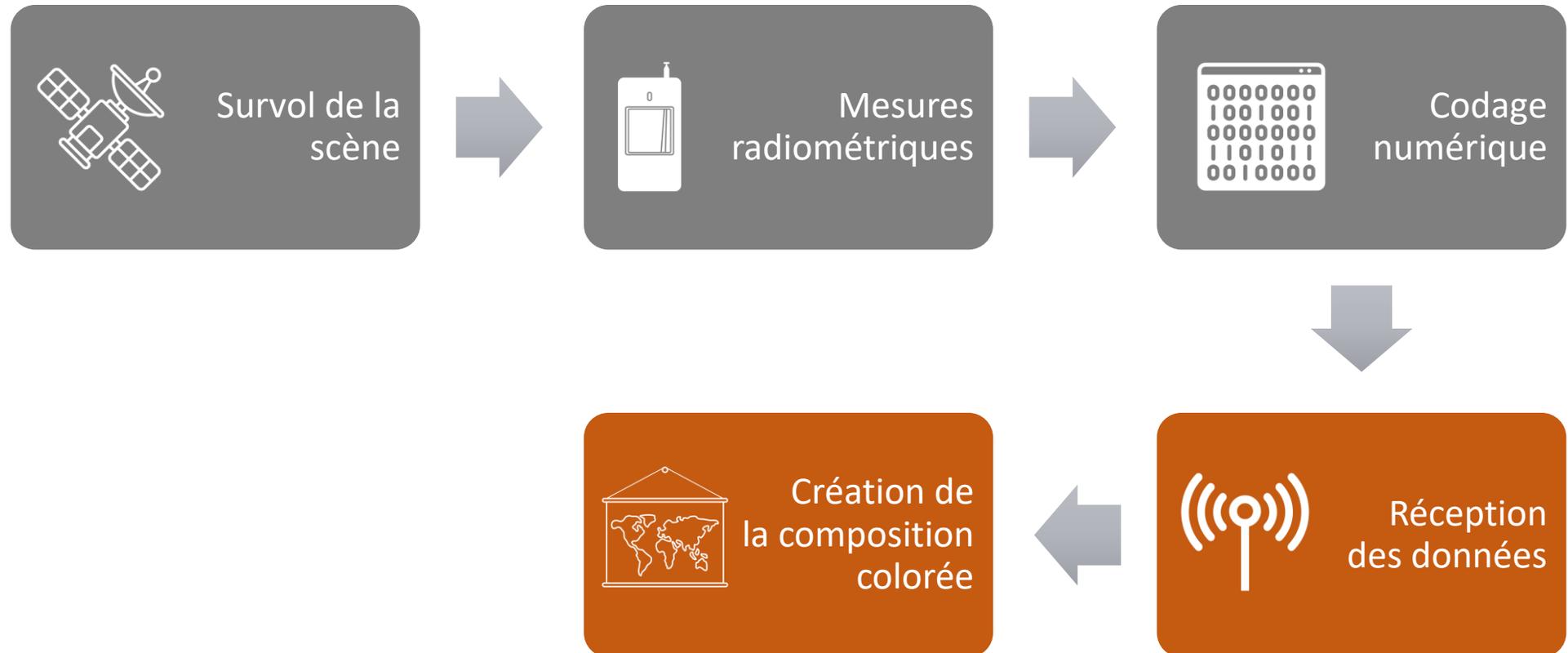
Transmettre les données : Des nombres à l'image

lat/lon	-179.9	-179.6	-179.4	-179.1	-178.9	-178.6	-178.4	-178.1	-177.9	-177.6	-177.4	-177.1	-176.9	-176.6	-176.4	-176.1	-175.9	-175.6	-175.4	-175.1	-174.9
89.88	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445
89.63	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445
89.38	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447
89.13	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447	447
88.88	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445
88.63	445	445	445	445	445	445	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443
88.38	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445	445
88.13	447	447	447	447	447	447	447	447	445	445	445	445	445	445	445	443	443	443	443	445	445
87.88	448	445	445	448	448	447	447	447	447	447	447	447	447	447	445	445	445	445	447	447	445

Le pixel est localisé par ces coordonnées géographiques, ici une valeur est attribuée

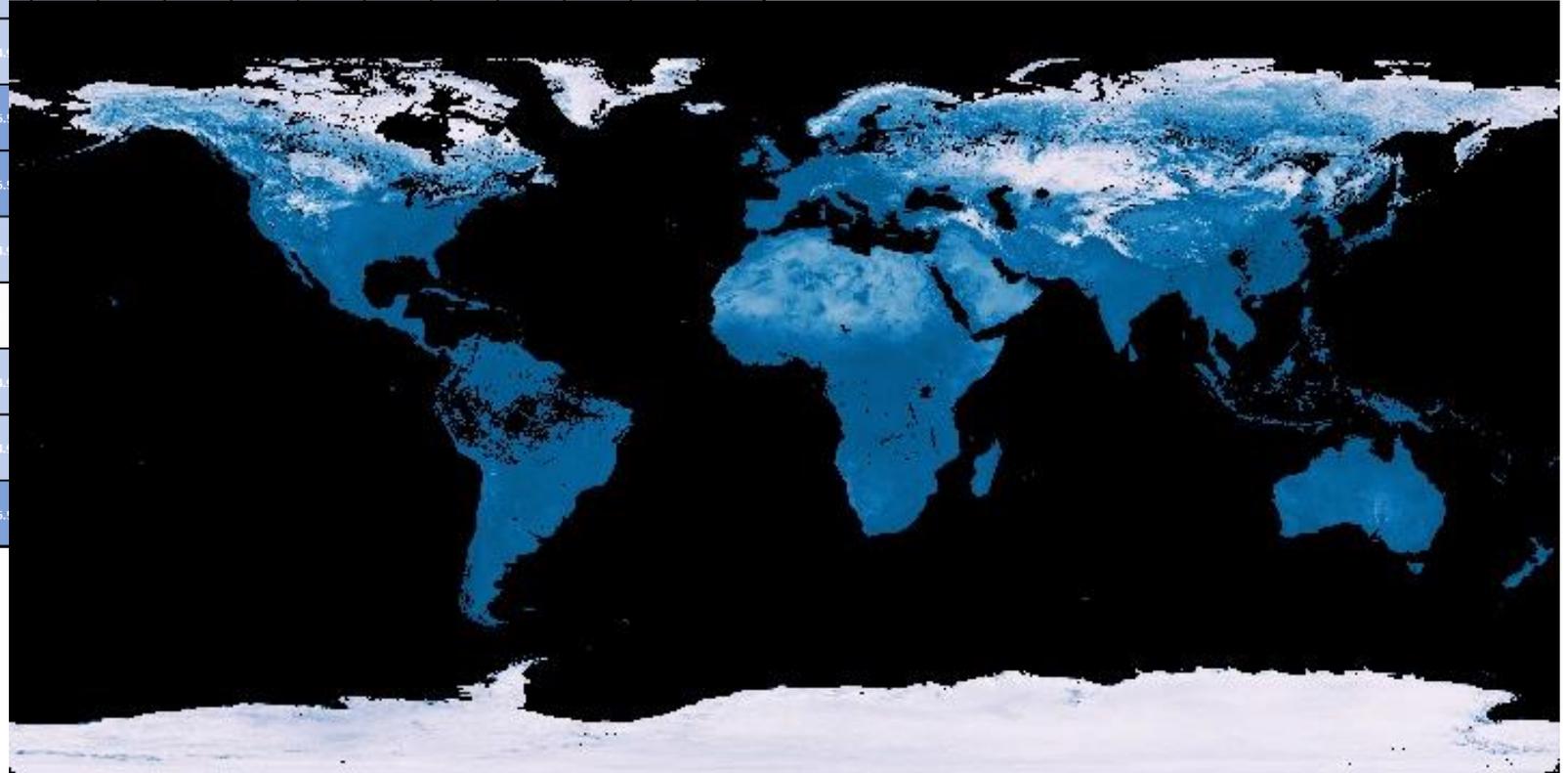
Il s'agit ici de la mesure d'un polluant : l'ozone troposphérique (en unité Dobson)

Du satellite à l'information



Transformer les données : Des nombres à l'image

lat/lon	-179.9	-179.6	-179.4	-179.1	-178.9	-178.6	-178.4	-178.1	-177.9	-177.6	-177.4	-177.1	-176.9	-176.6	-176.4	-176.1	-175.9	-175.6	-175.4	-175.1	-174.9
89.88	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9
89.63	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9
89.38	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5
89.13	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5
88.88	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9
88.63	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9															
88.38	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9	444.9
88.13	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5
87.88	448	444.9	444.9	448	448	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5	446.5



Chaque pixel est coloré d'une intensité de bleu proportionnel à la valeur physique. L'image est reconstituée

Transformer les données : Des nombres à l'image

Composition colorée :

Combinaison des mesures spectrales obtenues dans le rouge, le vert et le bleu pour chaque pixel



A gauche : Une image en nuance de gris de la réflectance dans le Vert

Au milieu : Composition colorée multispectrale RVB pour la même scène

A droite : Fusion de composition colorée multispectrale RVB et des données panchromatiques

Transformer les données : Des nombres à l'image

Python : calculs automatisés sur les images (détermination du poids ou résolution).

Tableurs graphieurs : transformation d'une image numérique en une composition colorée

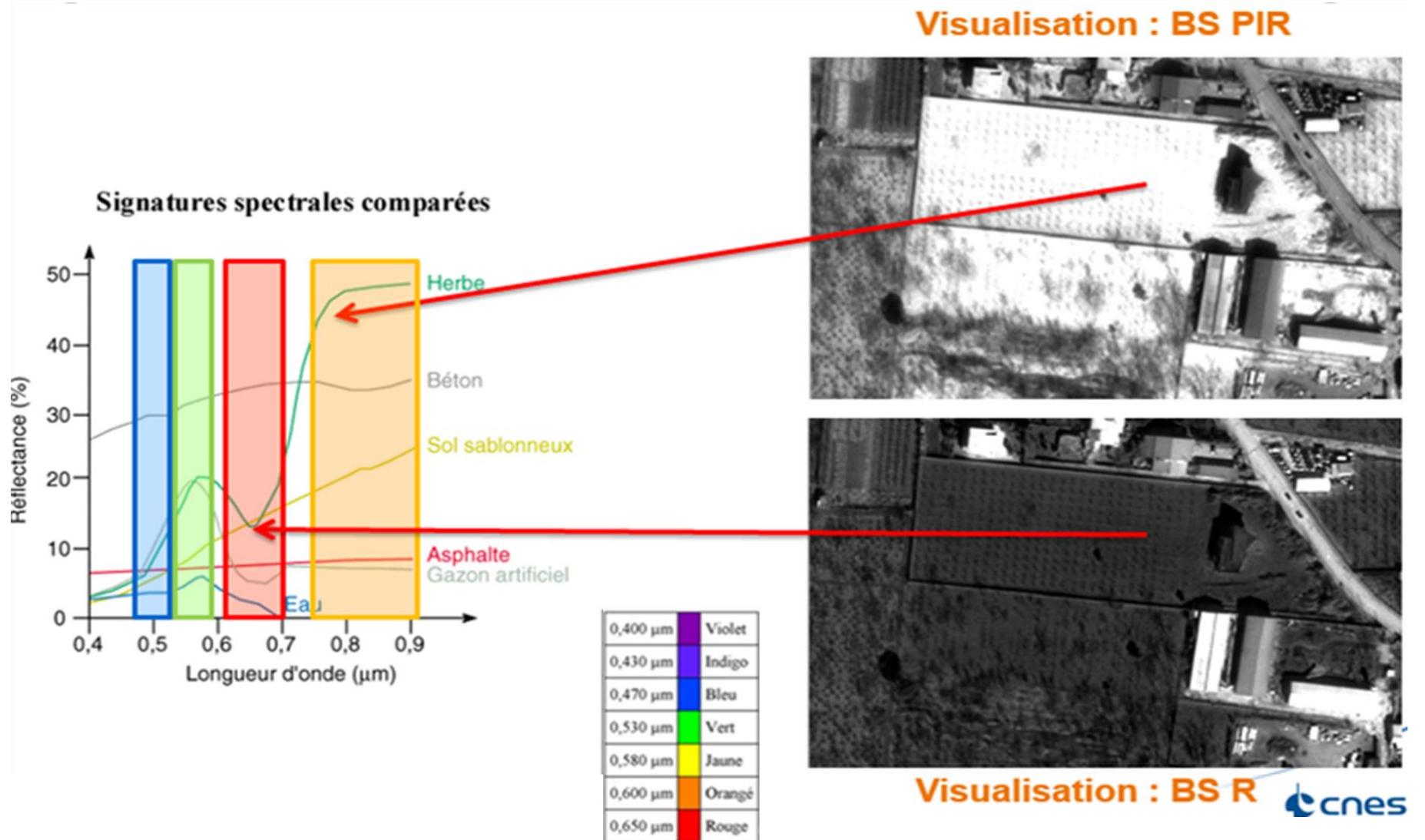
0	00000	8	01000	16	10000	24	11000
1	00001	9	01001	17	10001	25	11001
2	00010	10	01010	18	10010	26	11010
3	00011	11	01011				
4	00100	12	01100				
5	00101	13	01101				
6	00110	14	01110				
7	00111	15	01111				

The collage consists of several overlapping windows and images:

- Spreadsheet:** A window showing a grid of binary data (0s and 1s) in a table format.
- Formatage conditionnel:** A dialog box titled "Formatage conditionnel pour A1:CV100" with a "Condition" dropdown set to "Toutes les cellules" and a color selection set to "Noir".
- Satellite Image:** A grayscale satellite image of a city, possibly Paris, with a circular graphic overlay.
- NASA NEO Website:** A screenshot of the NASA Earth Observations (NEO) website, featuring a navigation menu (ATMOSPHERE, ENERGY, LAND, LIFE, OCEAN, NEWS, ABOUT) and a "WELCOME TO NEO!" section with a "Our Mission" link.

Transformer les données : Signatures spectrales et indices radiométriques

Signature spectrale

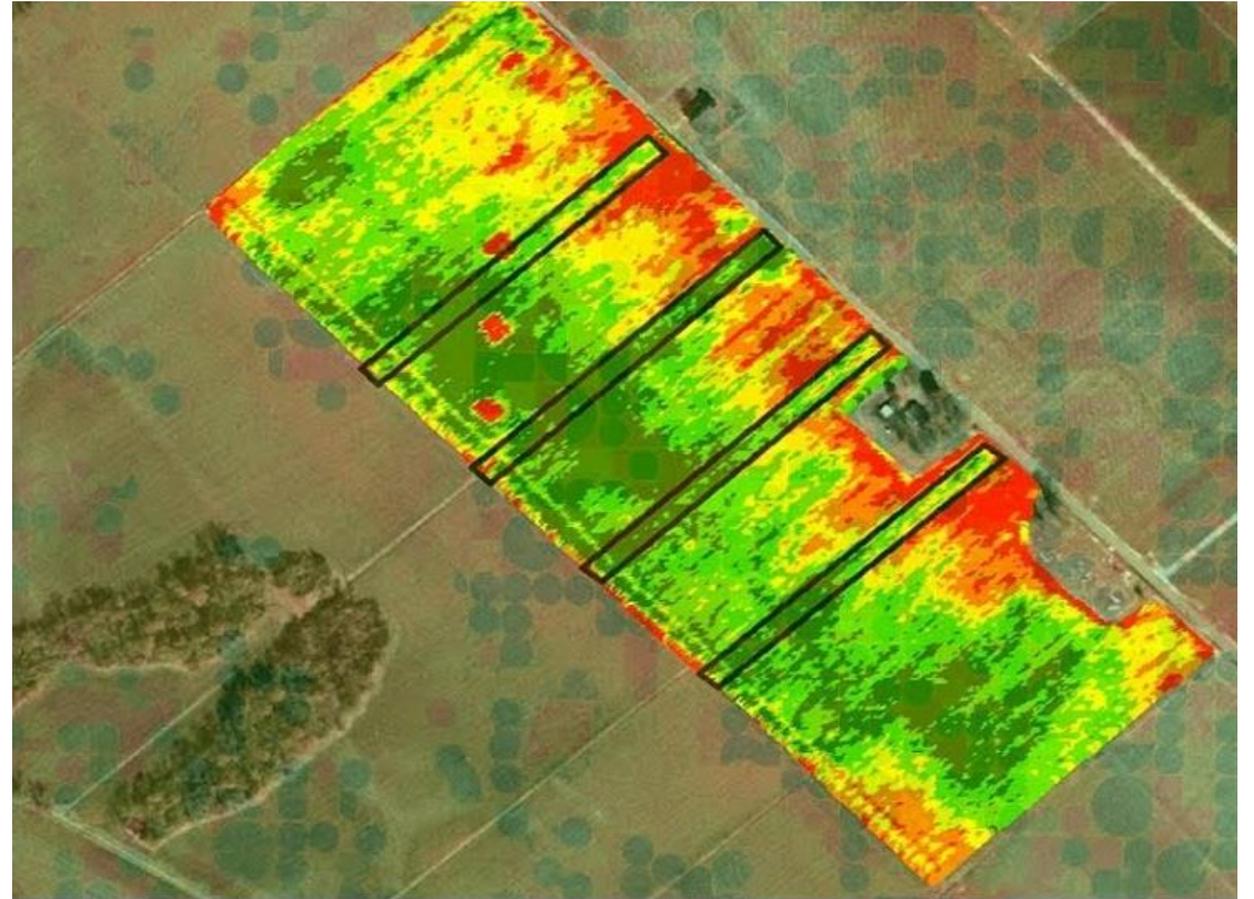


Transformer les données : Signatures spectrales et indices radiométriques

Indices radiométriques

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Vegetation Reflectance



Hétérogénéité d'une parcelle agricole observée par l'utilisation de l'indice NDVI



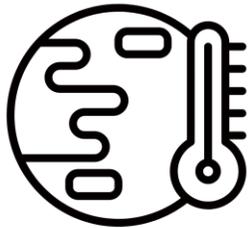
ACADÉMIE
DE LYON

Liberté
Égalité
Fraternité



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

- Exploitation pédagogique des données spatiales
- Du satellite à l'information
- **L'observation des symptômes du réchauffement climatique**

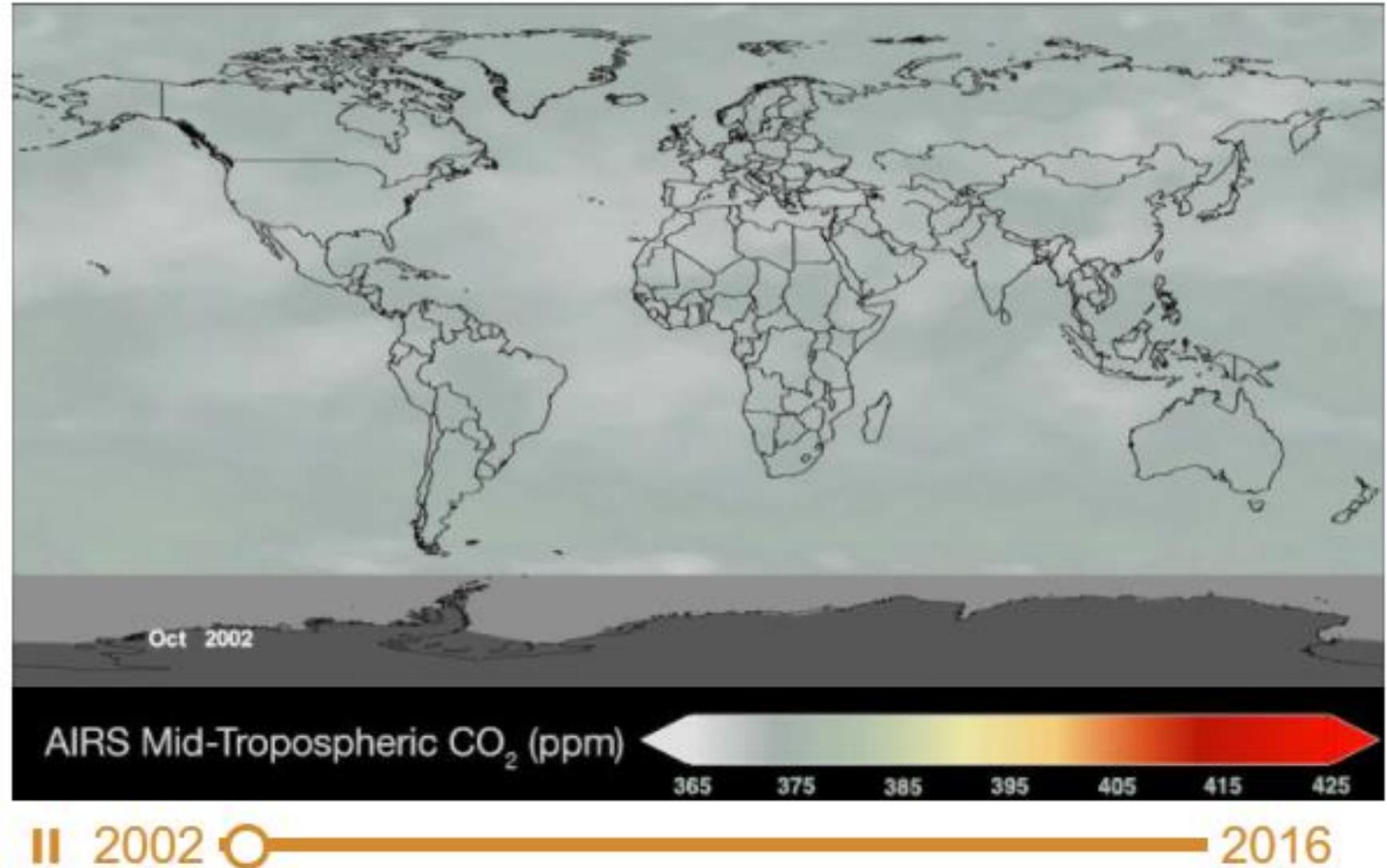


Partie 2 : Modéliser et simuler le climat

- Les scénarios du GIEC
- *Focus : la construction des connaissances scientifiques*
- Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat

Etudier la composition de l'atmosphère – La concentration en dioxyde de carbone

Il est possible de mesurer désormais depuis l'Espace la concentration de certains gaz à effet de serre comme le CO₂



Etudier la composition de l'atmosphère – La concentration en dioxyde de carbone

OCO 2 (2014) et **OCO 3** (mai 2019) :

Spectromètres embarqués qui mesurent la luminance pour certains canaux IR caractéristiques de l'absorption du CO₂



Microcarb (2021) :

Objectif :

Suivi et caractérisation des flux de CO₂ dans l'atmosphère

Système de mesure :

Spectromètre à réseau IR passif , grande précision (1 ppm) et sur un pixel de base rectangulaire de 4,5 km par 9 km.

Orbite circulaire héliosynchrone (650 km)



Etudier la composition de l'atmosphère – La concentration en méthane

Merlin (2021) (Methane Remote Sensing Lidar Mission) :

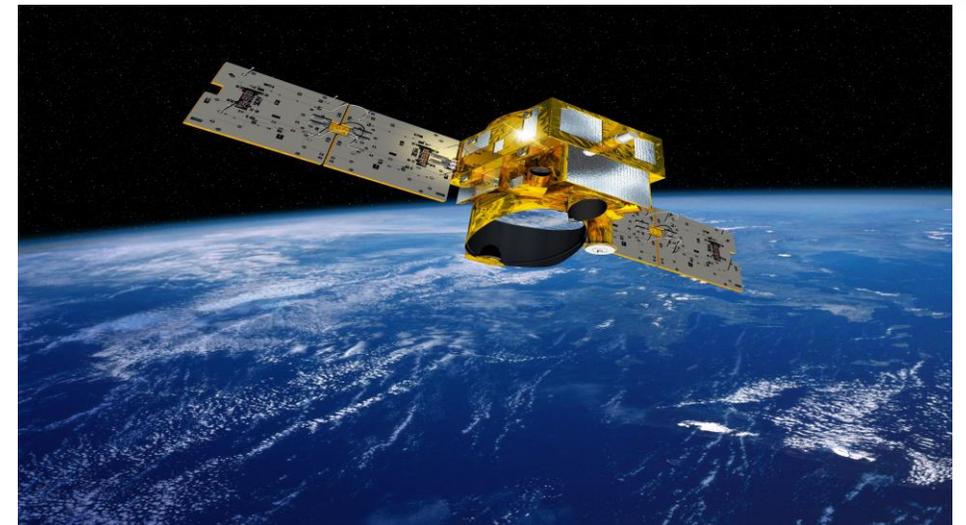
Objectifs :

- Mesurer la concentration en méthane atmosphérique
- Caractériser les différentes sources d'émission de méthane, qu'elles soient d'origines naturelle ou anthropique.

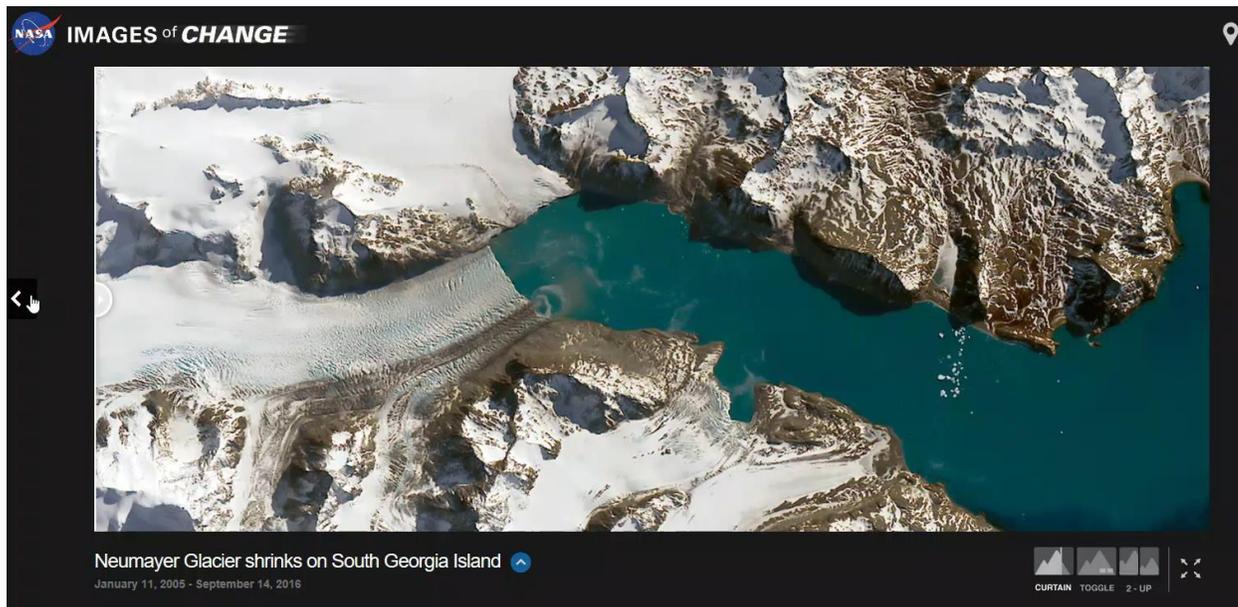
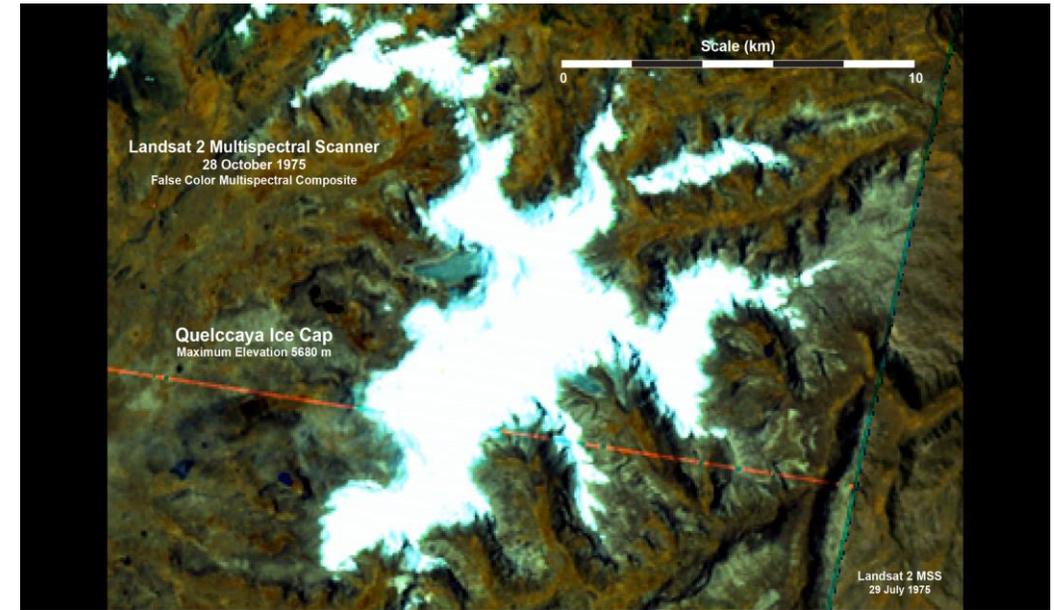
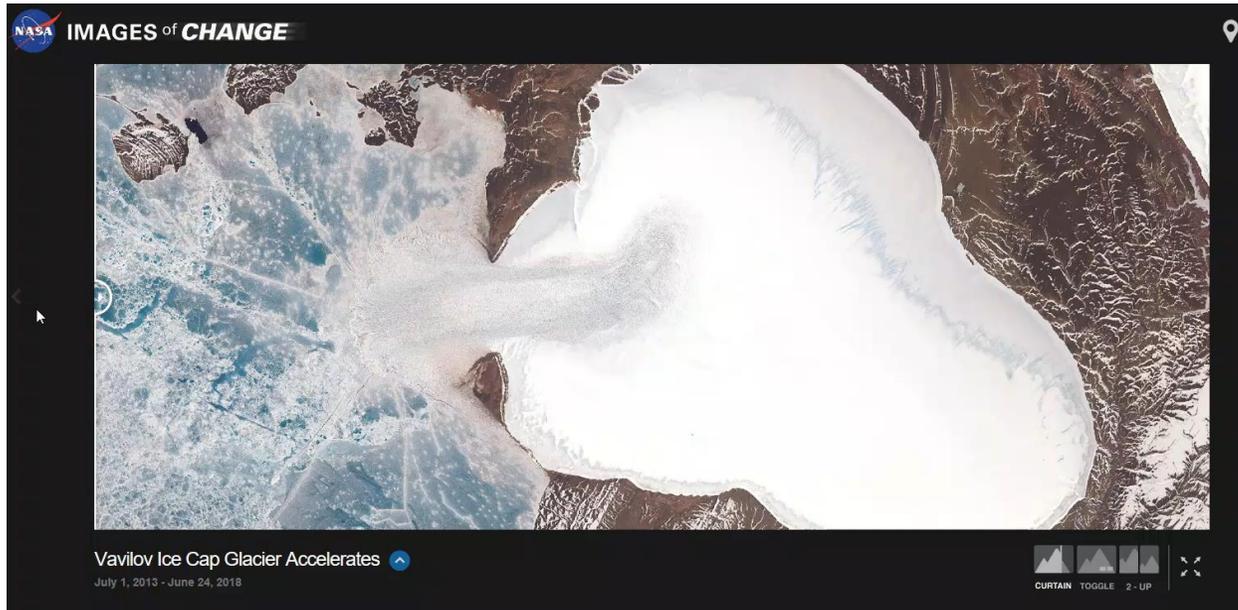
Système de mesure :

Tirs laser ($1,64 - 1,67 \mu m$) vers la surface terrestre, puis analyse du signal réfléchi afin de déduire la quantité de méthane présente dans la colonne d'atmosphère sondée par le laser.

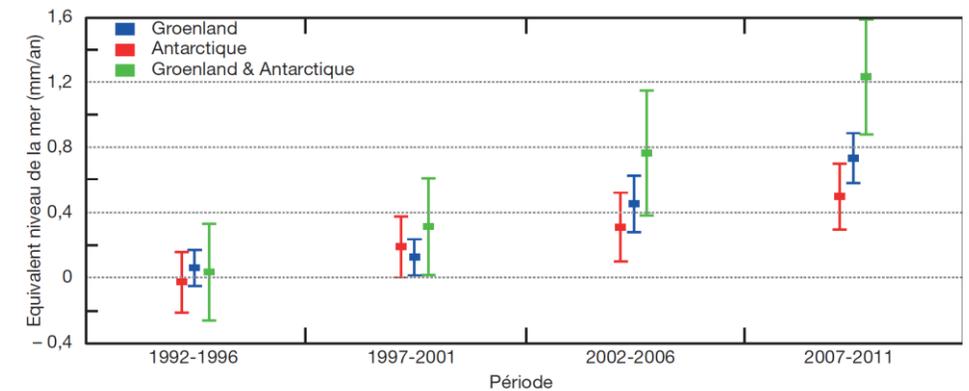
Orbite polaire héliosynchrone – Altitude 500 km



Réchauffement climatique et fonte des glaces



FONTE DES CALOTTES GLACIAIRES



Source : Giec, 1^{er} groupe de travail, 2013

La perte totale des glaces polaires continentales sur la période de 20 ans de 1992 à 2011 correspond à une montée du niveau des mers de 11,7 mm environ (8,4 à 15,1 mm). Les pertes les plus importantes ont été observées sur la dernière décennie (2002-2012).

Réchauffement climatique et fonte des glaces

ICESat-2 : Satellite de la NASA mis en orbite en septembre 2018

A son bord : un altimètre spatial de type lidar ATLAS (*Geoscience Advanced Topographic Laser Altimeter System*)

ATLAS est capable de détecter un changement annuel d'épaisseur de la banquise de 0,4 cm.



[Comparaison](#) des données de IceSat et IceSat2



Réchauffement climatique et montée des eaux

Jason 3 (2016) Mission de topographie des eaux de surface et des océans

Objectifs :

- Étudier les phénomènes de circulation océanique
- Déterminer de manière à la fois très fine et très précise le niveau des océans.

Système de mesure :

- Radars altimétriques et interférométrique
- Radiomètres micro-ondes
- GPS

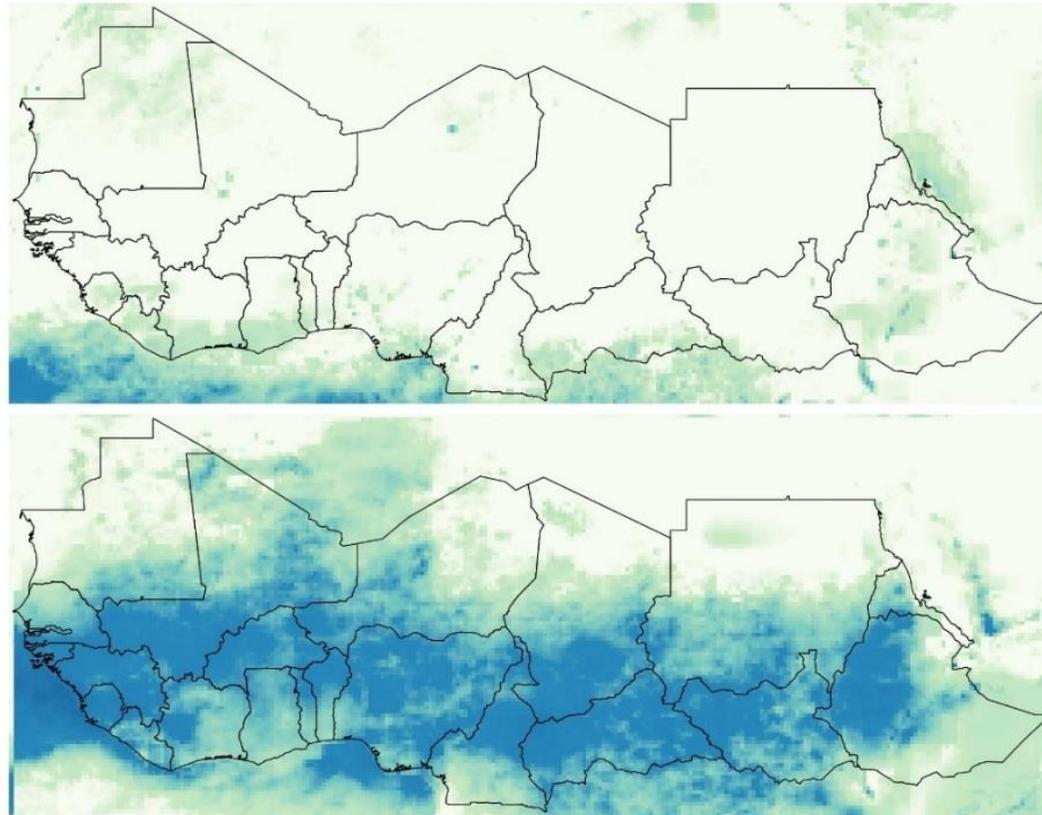
Orbite circulaire inclinée à 1300 km d'altitude



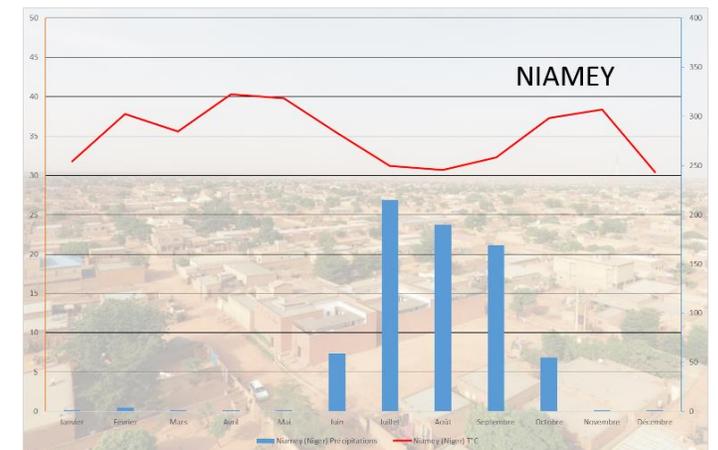
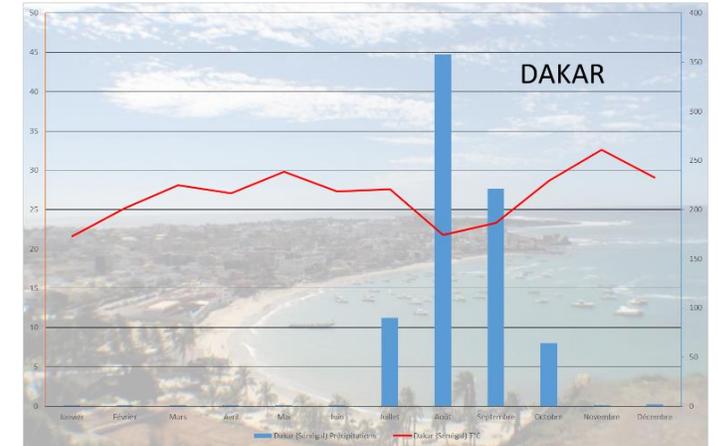
Evolution des précipitations

La température n'est pas le seul paramètre climatique affecté par le réchauffement climatique. Le régime des pluies pourrait subir de profondes modifications dans certaines régions du globe

Le Sahel est caractérisé par une saison des pluies réduites. L'observation de la carte des précipitations pour les mois de janvier et de juillet, confirme cette oscillation forte de la pluviométrie

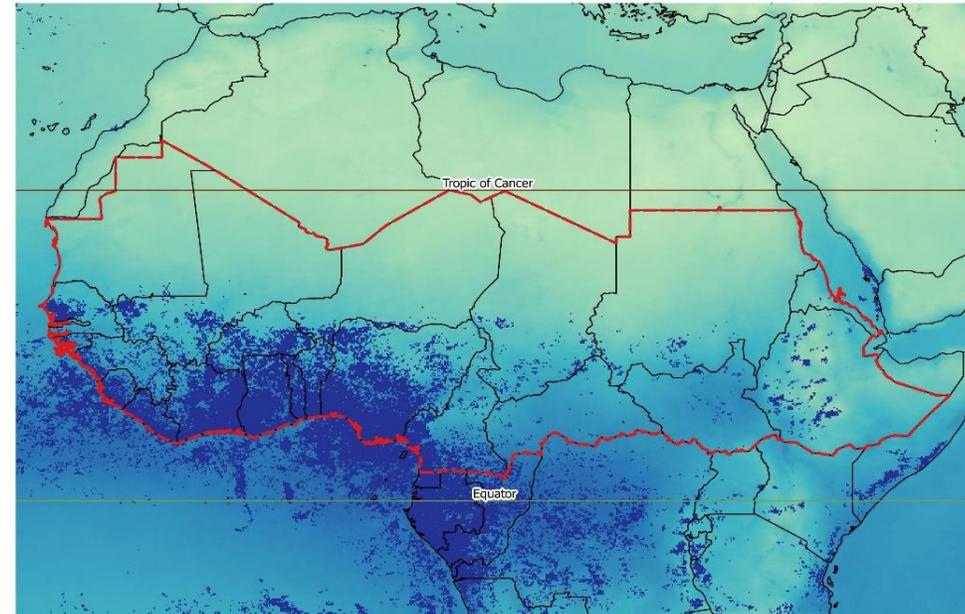
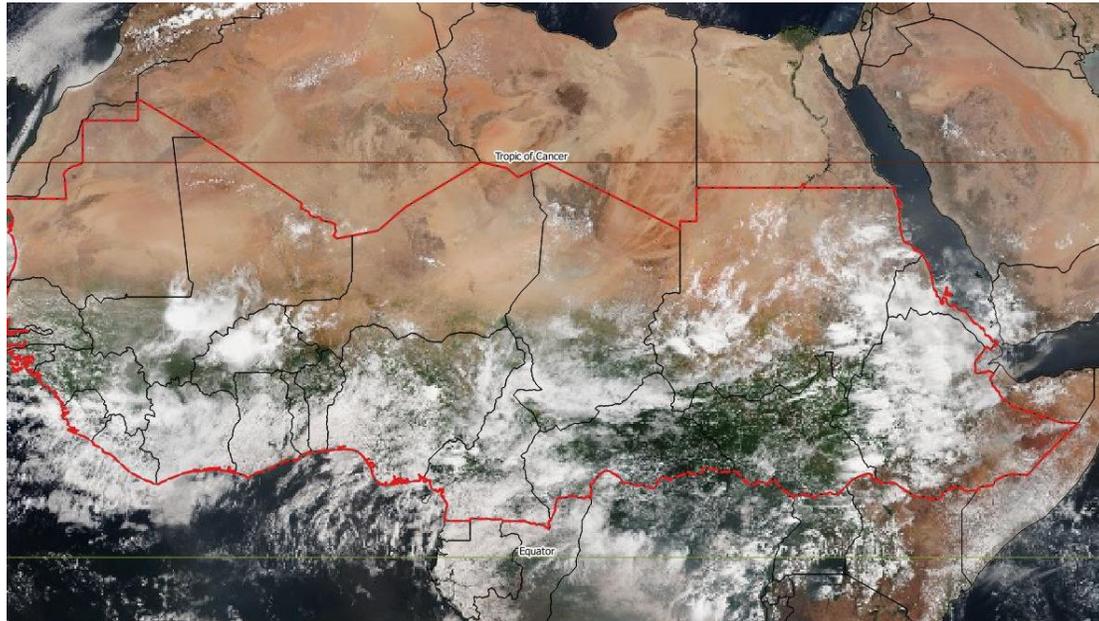


Légende
Precipitation
1
10
100
200
2000



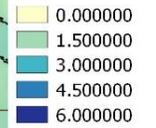
Diagrammes ombrothermiques au Sahel

Evolution des précipitations

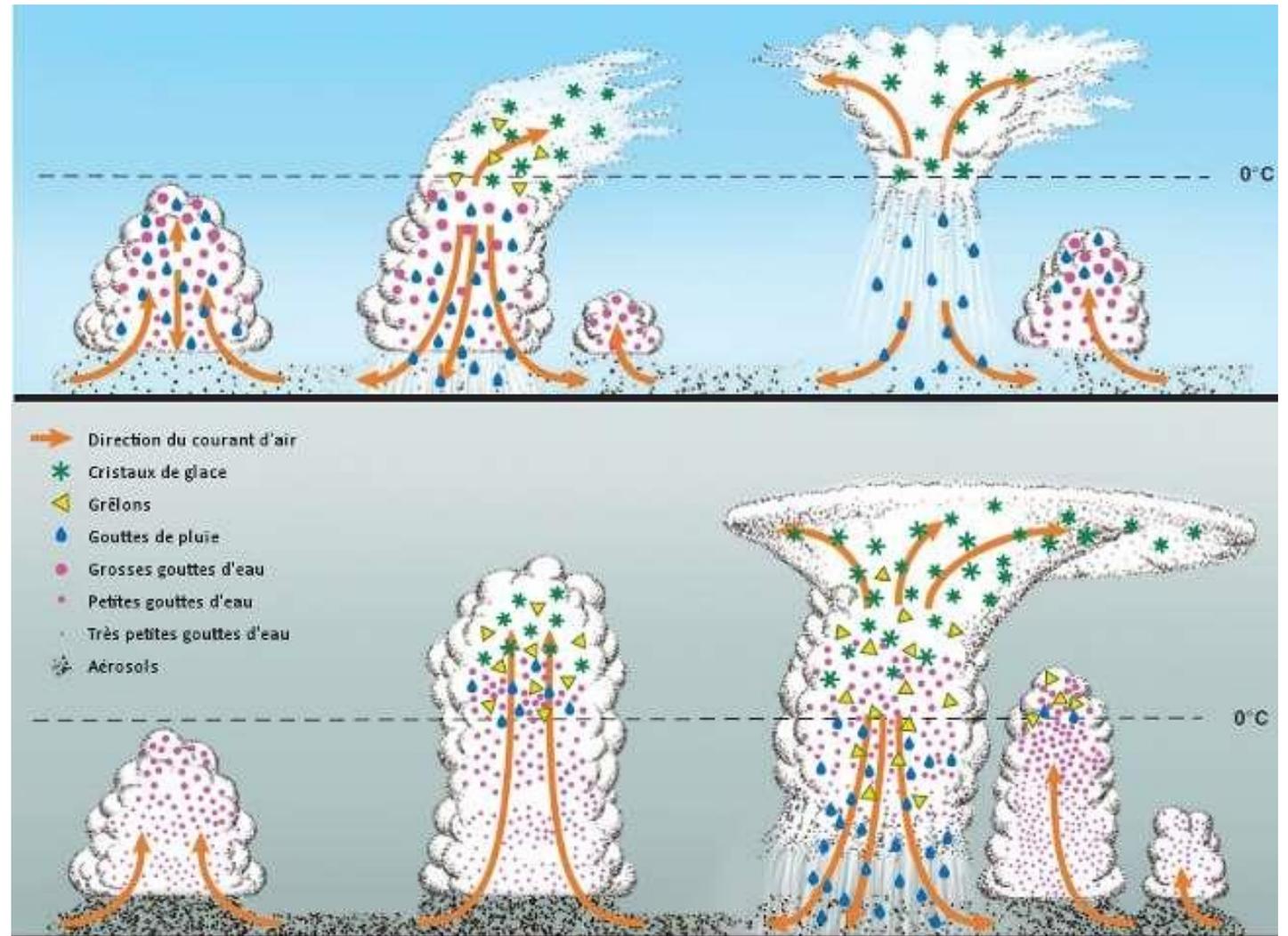


Légende

Vapeur d'eau précipitable année 2016

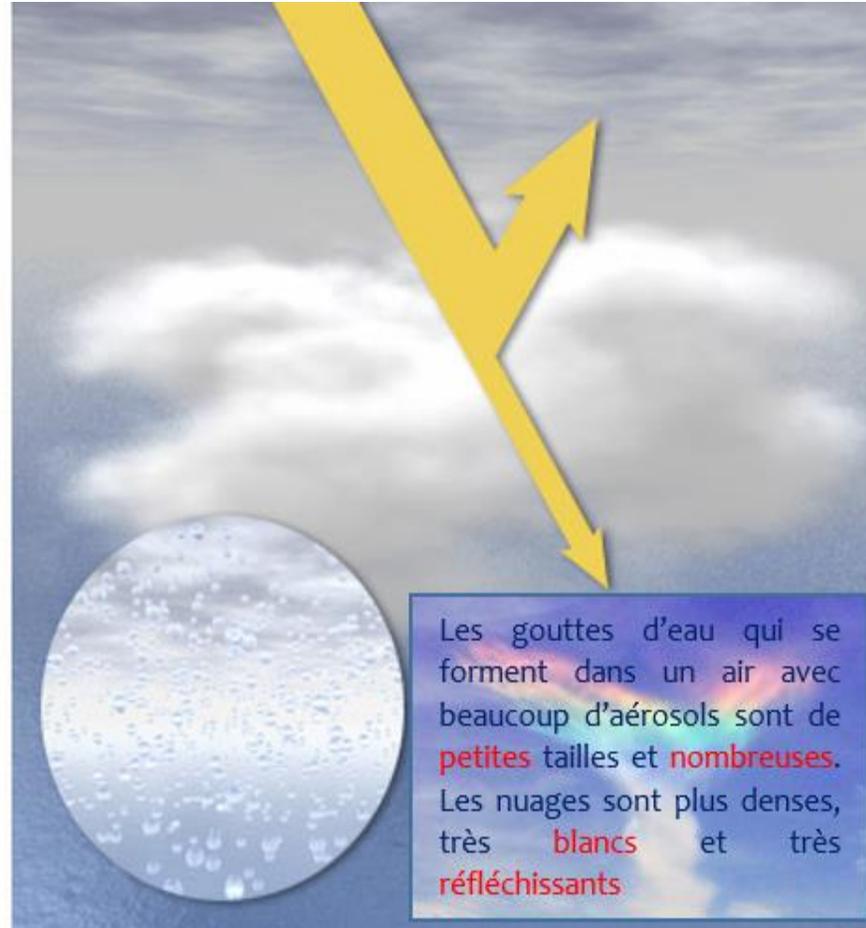
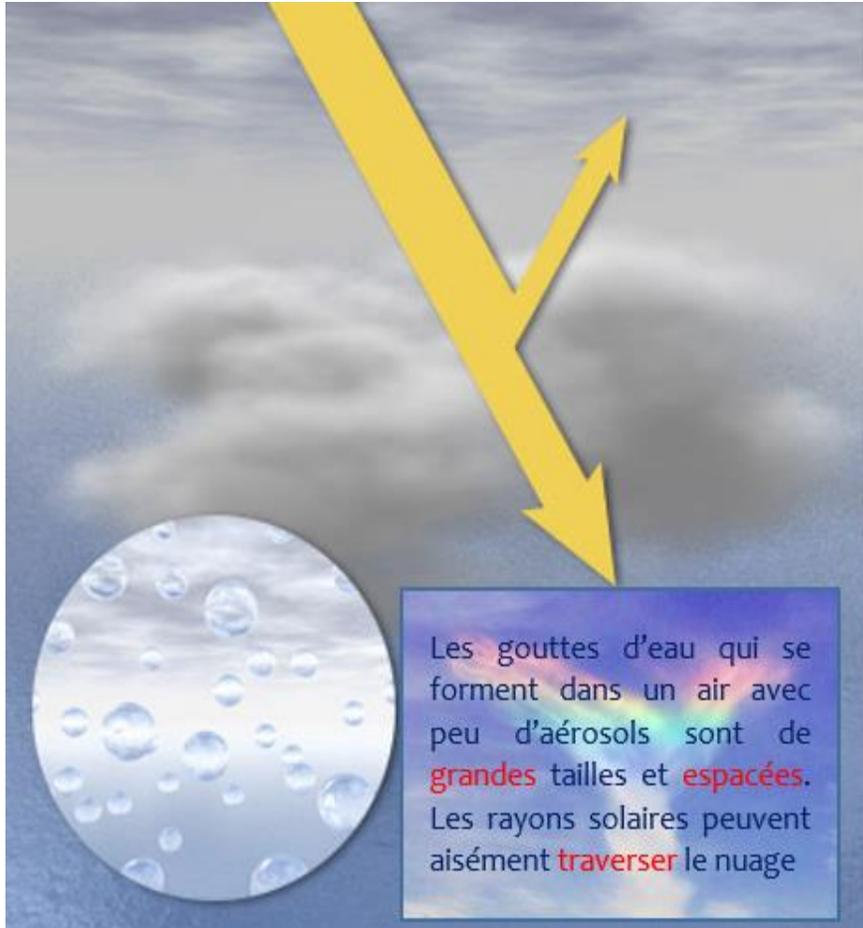


Evolution des précipitations



Formation de nuages précipitants dans un environnement peu pollué (en haut) et dans un environnement pollué et riche en aérosols (en bas). Dans ce dernier cas, la hauteur du nuage est plus importante et les précipitations plus intenses. © Rosenfeld *et al.* 2008 - *Science*

Evolution des précipitations





ACADÉMIE
DE LYON

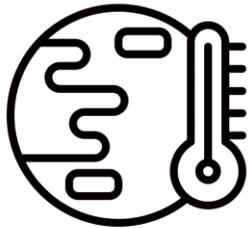
*Liberté
Égalité
Fraternité*



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

- Exploitation pédagogique des données spatiales
- Du satellite à l'information
- L'observation des symptômes du réchauffement climatique

Partie 2 : Modéliser et simuler le climat



- Les scénarios du GIEC
- *Focus : la construction des connaissances scientifiques*
- Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat



ACADÉMIE
DE LYON

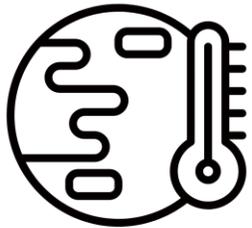
*Liberté
Égalité
Fraternité*



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

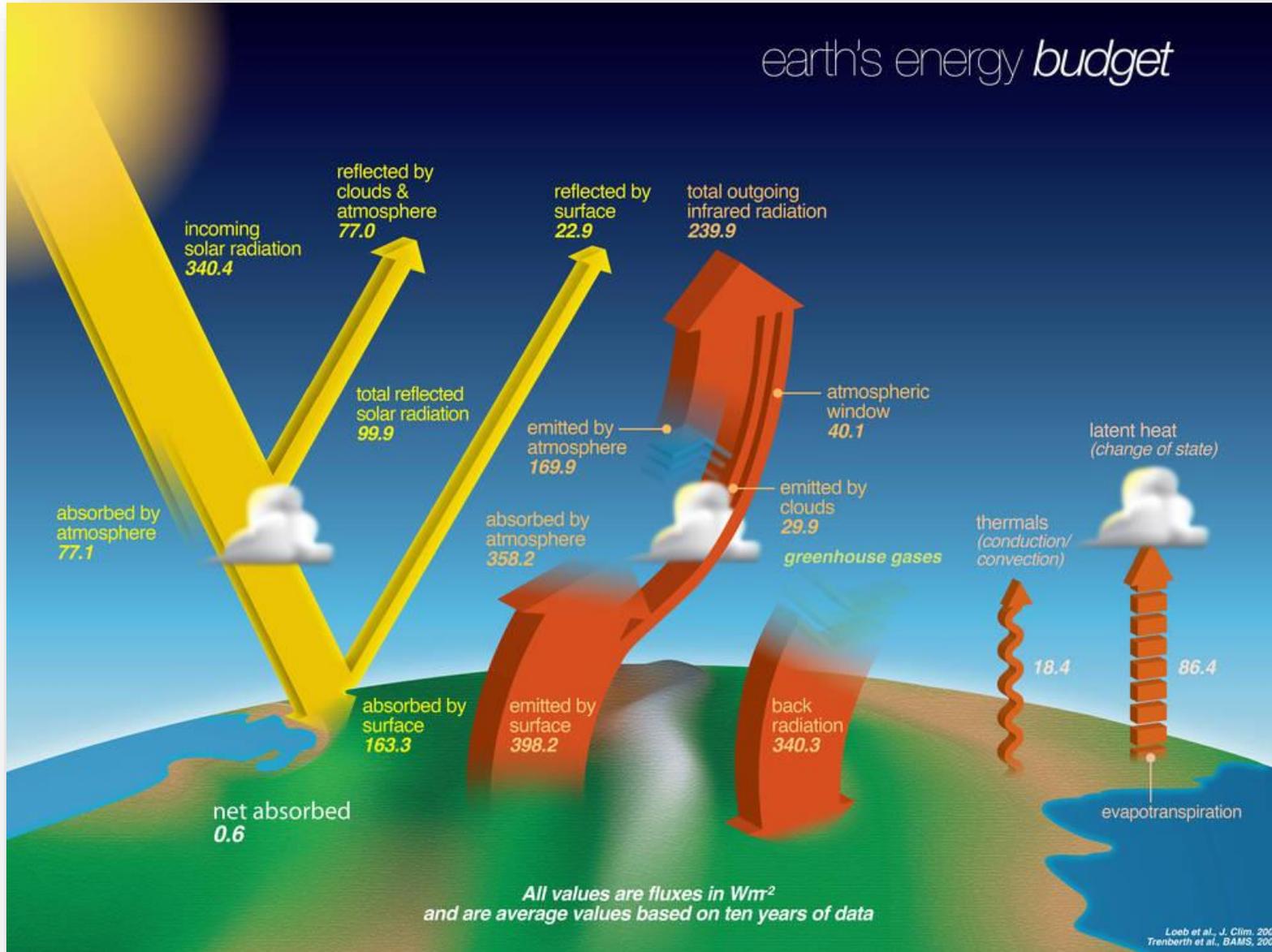
- Exploitation pédagogique des données spatiales
- Du satellite à l'information
- L'observation des symptômes du réchauffement climatique

Partie 2 : Modéliser et simuler le climat



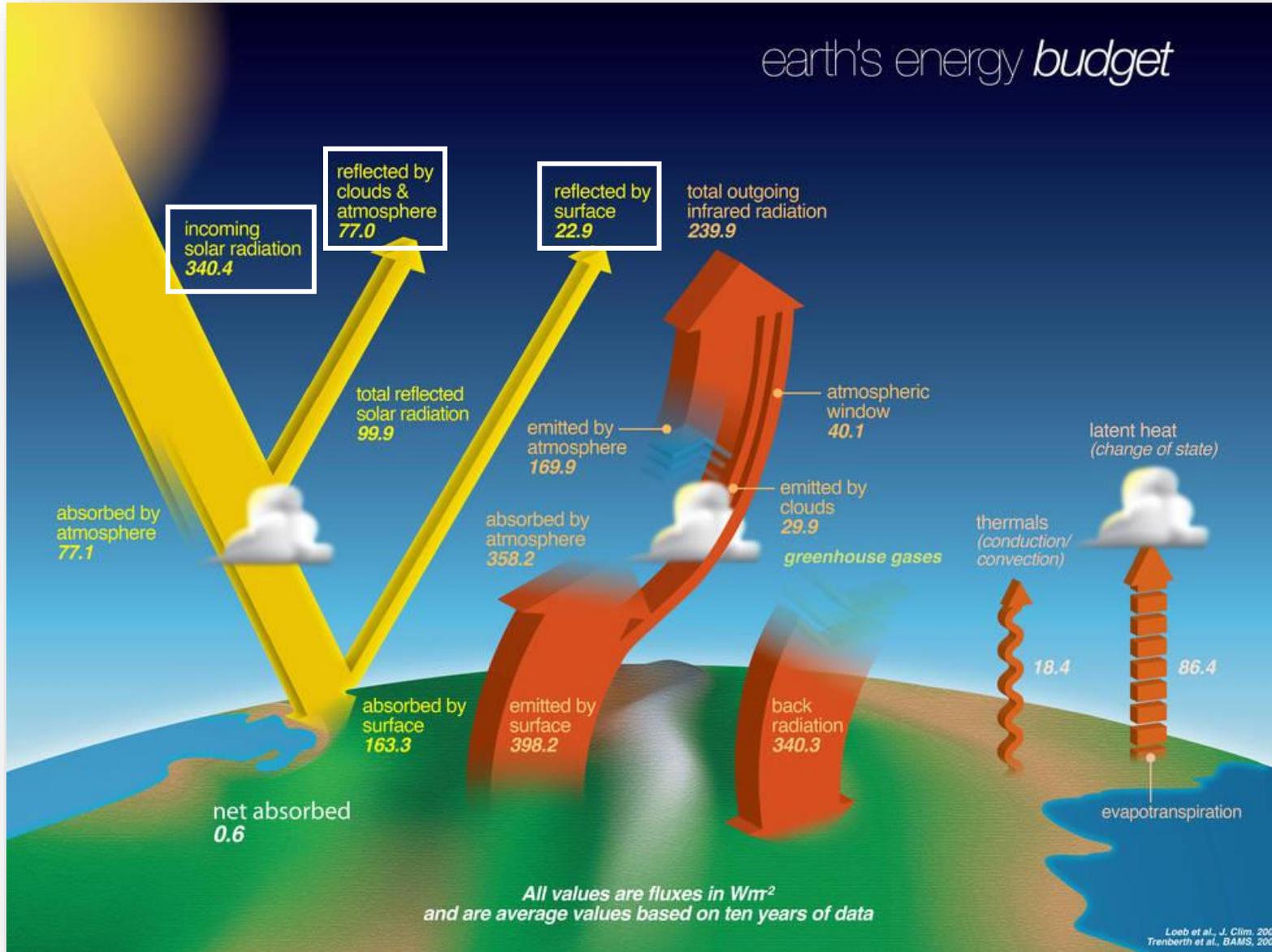
- **Les scénarios du GIEC**
- Focus : la construction des connaissances scientifiques
- Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat

Explorer le bilan radiatif avec les données spatiales



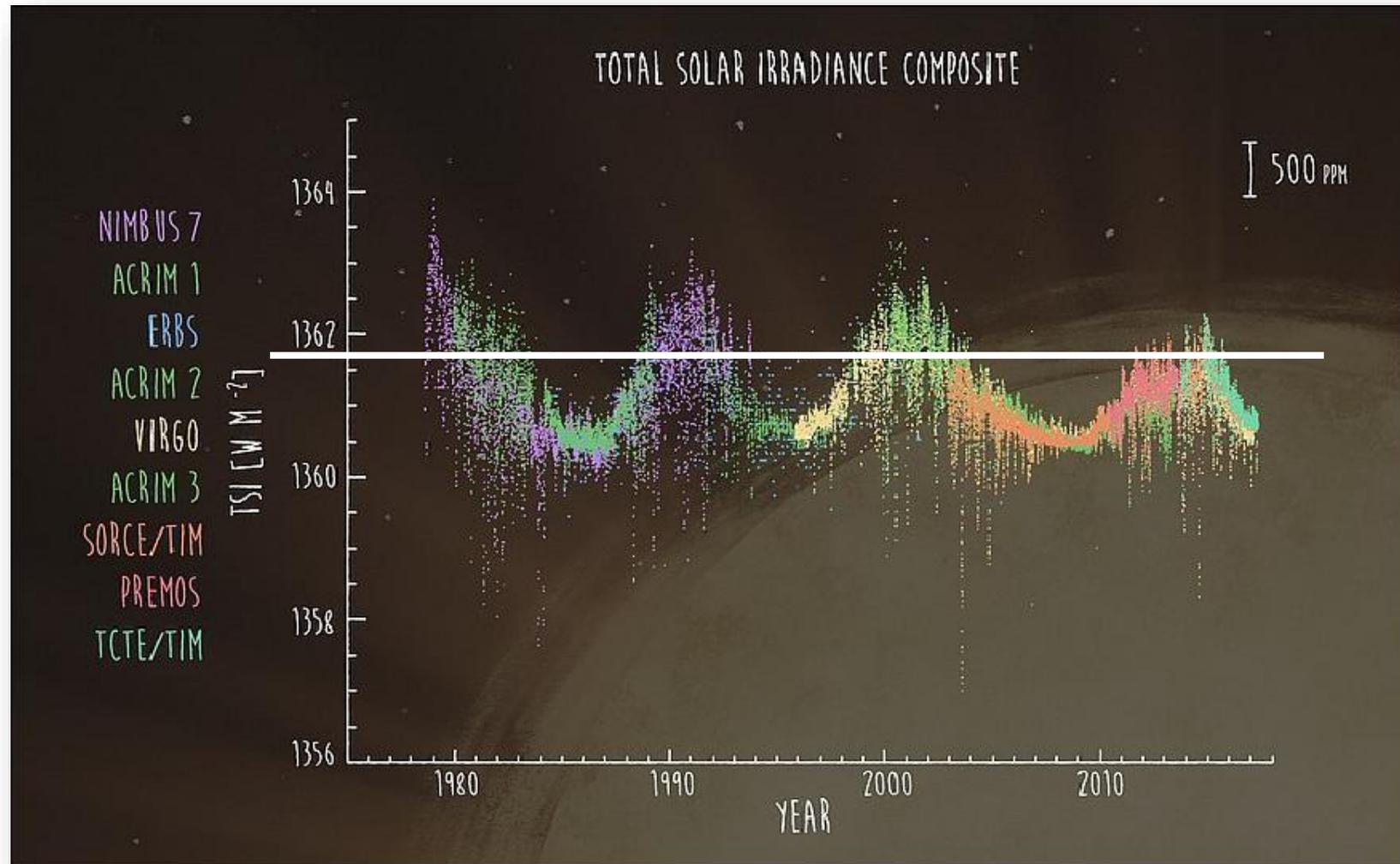
http://science-edu.larc.nasa.gov/energy_budget/

Explorer le bilan radiatif avec les données spatiales

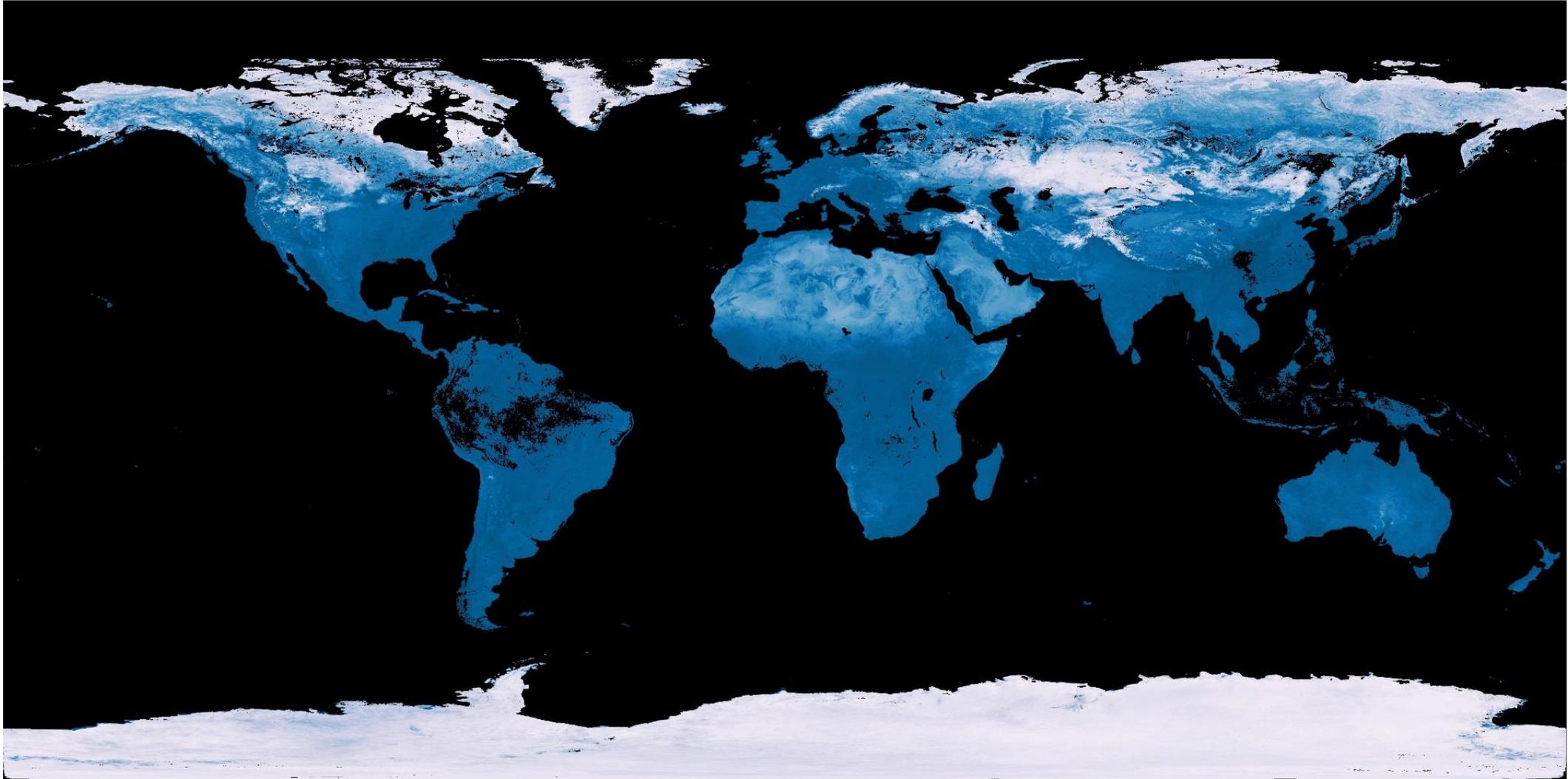


http://science-edu.larc.nasa.gov/energy_budget/

Explorer le bilan radiatif avec les données spatiales



Explorer le bilan radiatif avec les données spatiales



Mesure de l'albédo continental pour le mois de mai 2019.
Les valeurs très élevées correspondent aux surfaces englacées.

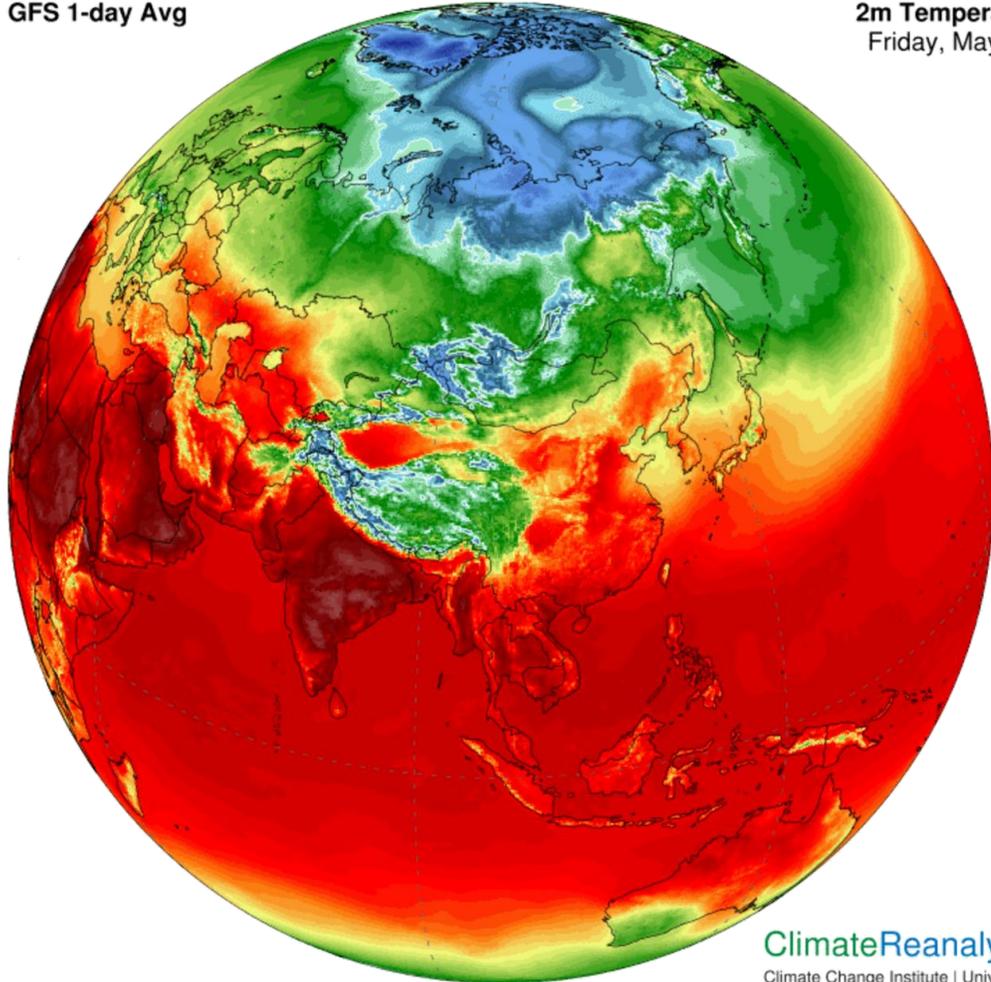


Source : NOAA

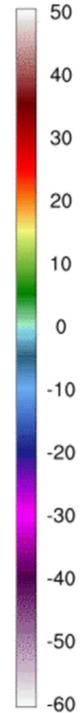
Produire des cartes de températures

Construction de cartes à partir de modèles issus des données spatiales et des mesures des stations terrestres

GFS 1-day Avg

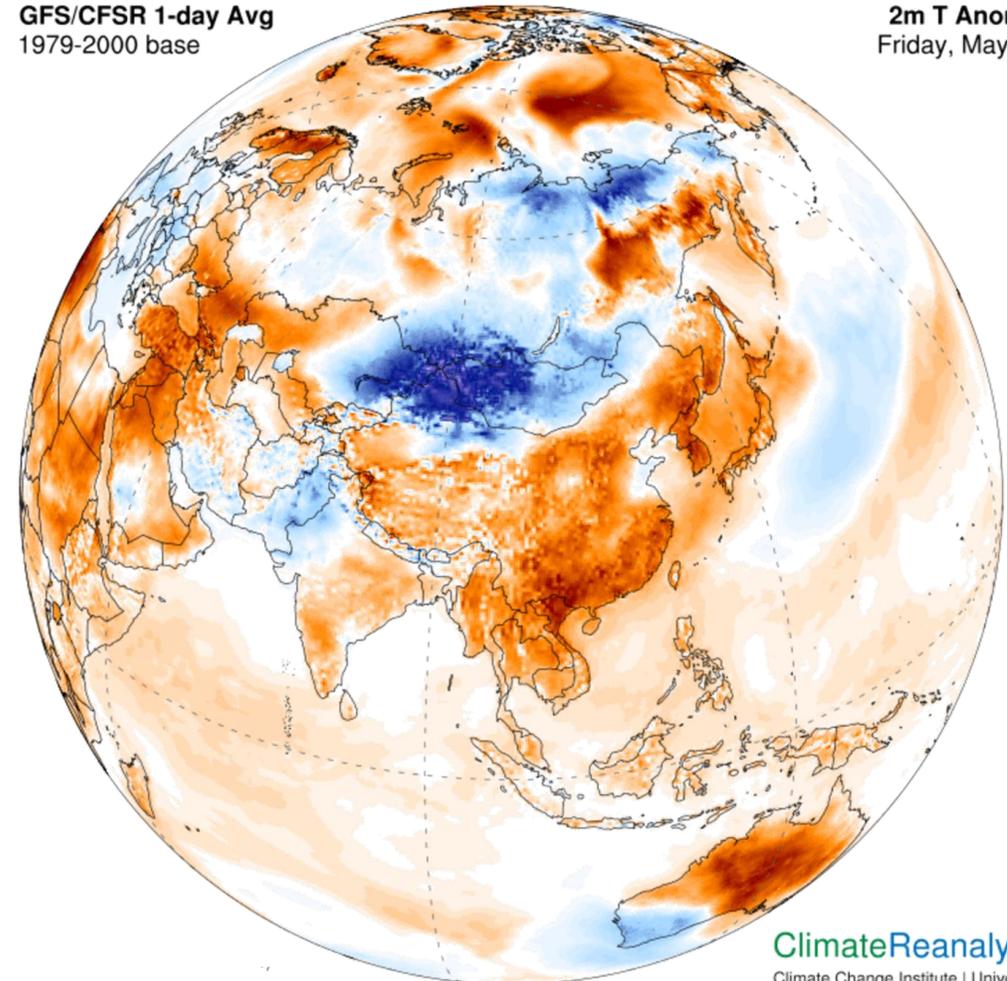


2m Temperature (°C)
Friday, May 17, 2019

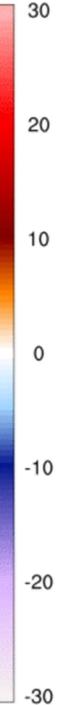


ClimateReanalyzer.org
Climate Change Institute | University of Maine

GFS/CFSR 1-day Avg
1979-2000 base



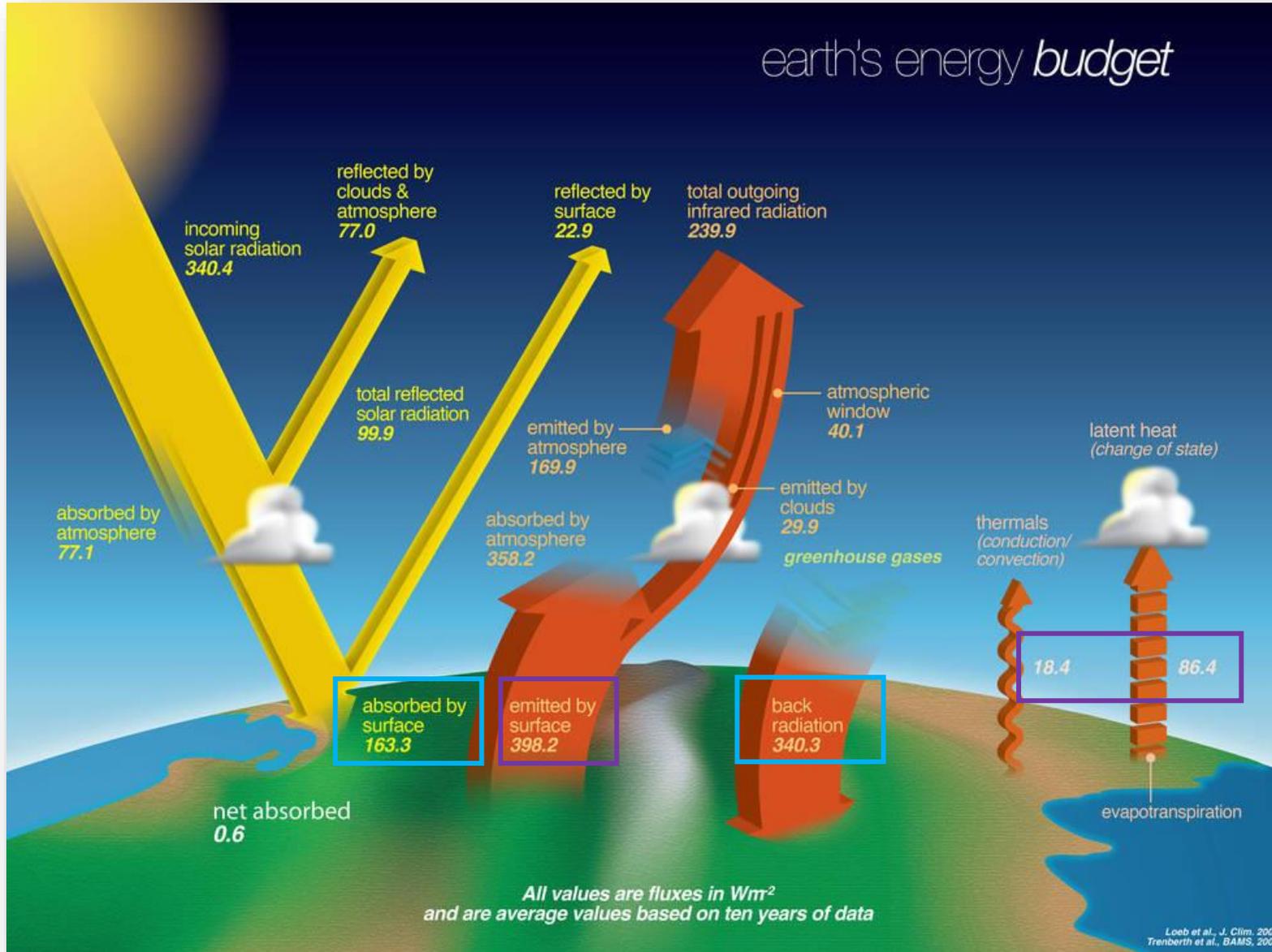
2m T Anomaly (°C)
Friday, May 17, 2019



ClimateReanalyzer.org
Climate Change Institute | University of Maine

<https://climatoreanalyzer.org/wx/DailySummary/#t2>

Forçage radiatif



Bilan radiatif pour la surface terrestre :

Puissance surfacique absorbée :
 $163,3 + 340,3 = 503,6 \text{ W.m}^{-2}$

Puissance surfacique émise :
 $398,2 + 18,4 + 86,4 = 503 \text{ W.m}^{-2}$

⇒ Écart de $0,6 \text{ W.m}^{-2}$: c'est le **forçage radiatif**
⇒ **Le système n'est pas à l'équilibre**

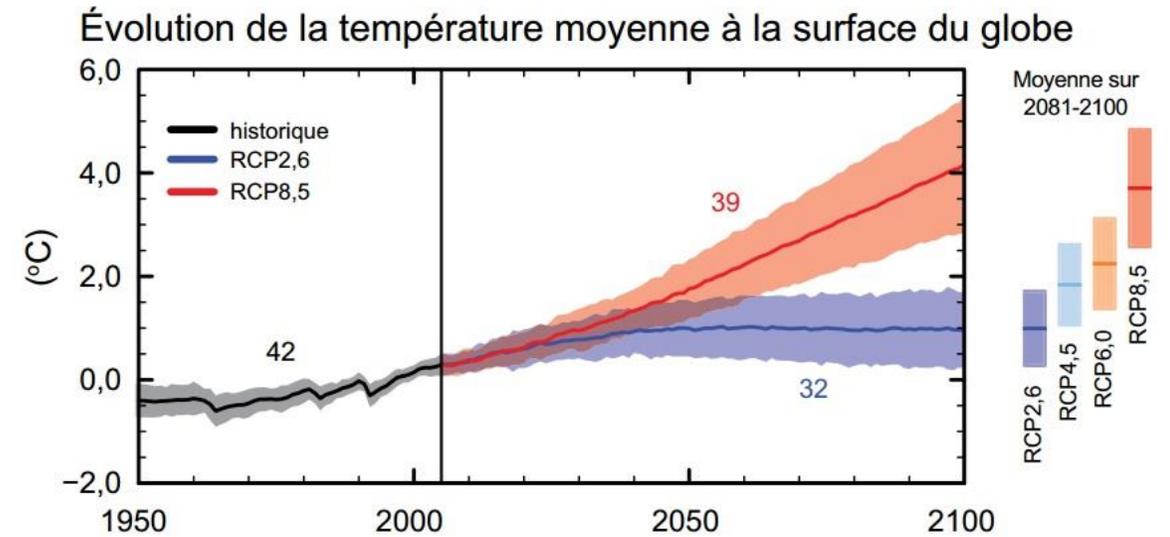
http://science-edu.larc.nasa.gov/energy_budget/

Forçage radiatif et scénarios RCP

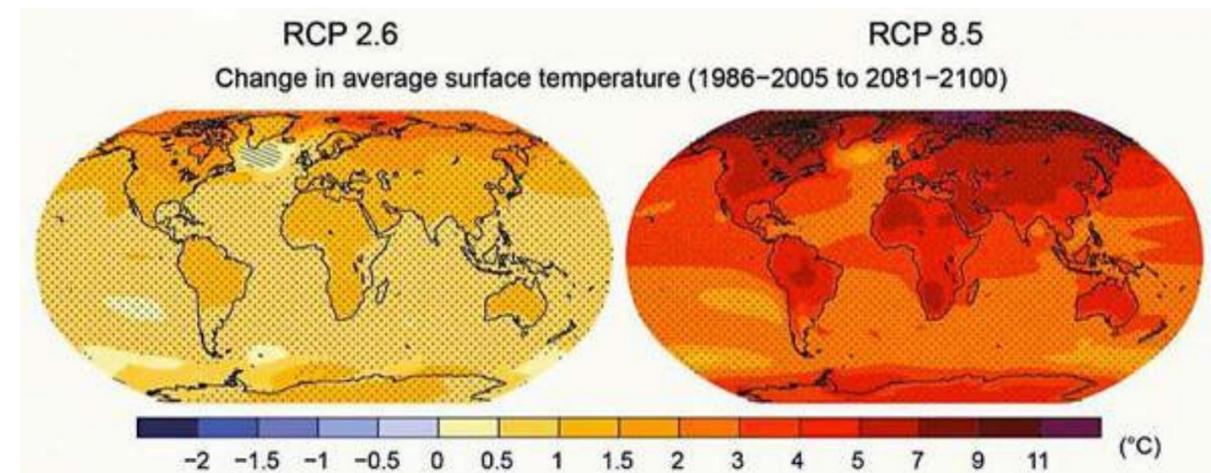
Scénarios RCP (pour *Representative Concentration Pathway*) établis par le GIEC = 4 scénarios de trajectoire du forçage radiatif jusqu'à l'horizon 2100

Les quatre scénarios sont nommés d'après la gamme de forçage radiatif ainsi obtenue pour l'année 2100 :

- RCP2.6 => forçage de +2,6 W/m²
- RCP4.5 => forçage de + 4,5 W/m²
- RCP6 => forçage de +6 W/m²
- RCP8.5 => forçage de + 8,5 W/m²



<http://aces.ens-lyon.fr/aces/logiciels/e-librairie/les-climats-du-futur>



Source : site de Météo France



ACADÉMIE
DE LYON

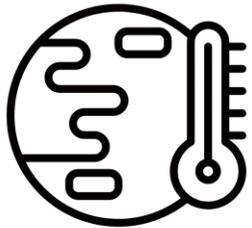
*Liberté
Égalité
Fraternité*



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

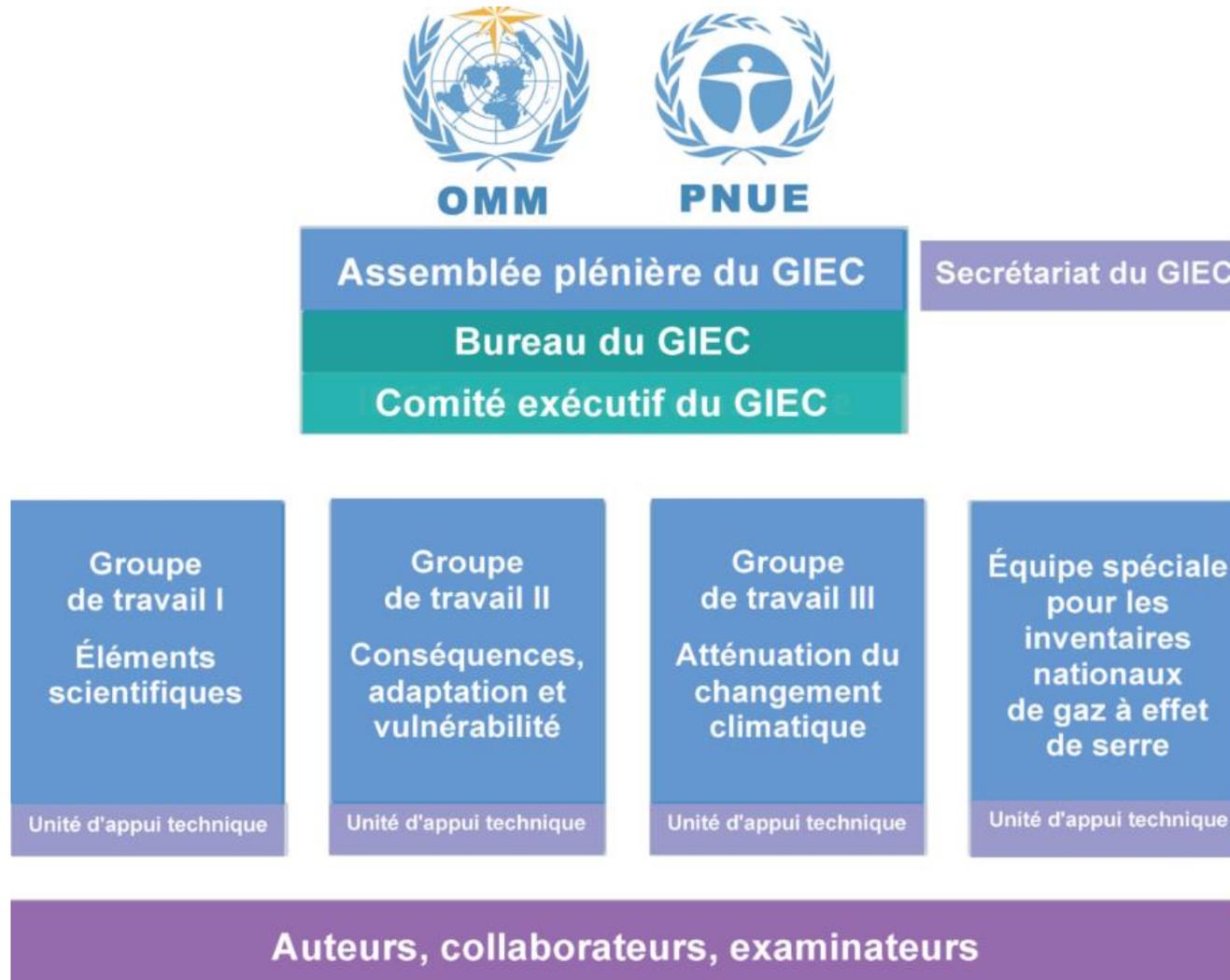
- Exploitation pédagogique des données spatiales
- Du satellite à l'information
- L'observation des symptômes du réchauffement climatique

Partie 2 : Modéliser et simuler le climat



- Les scénarios du GIEC
- **Focus : la construction des connaissances scientifiques**
- Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat

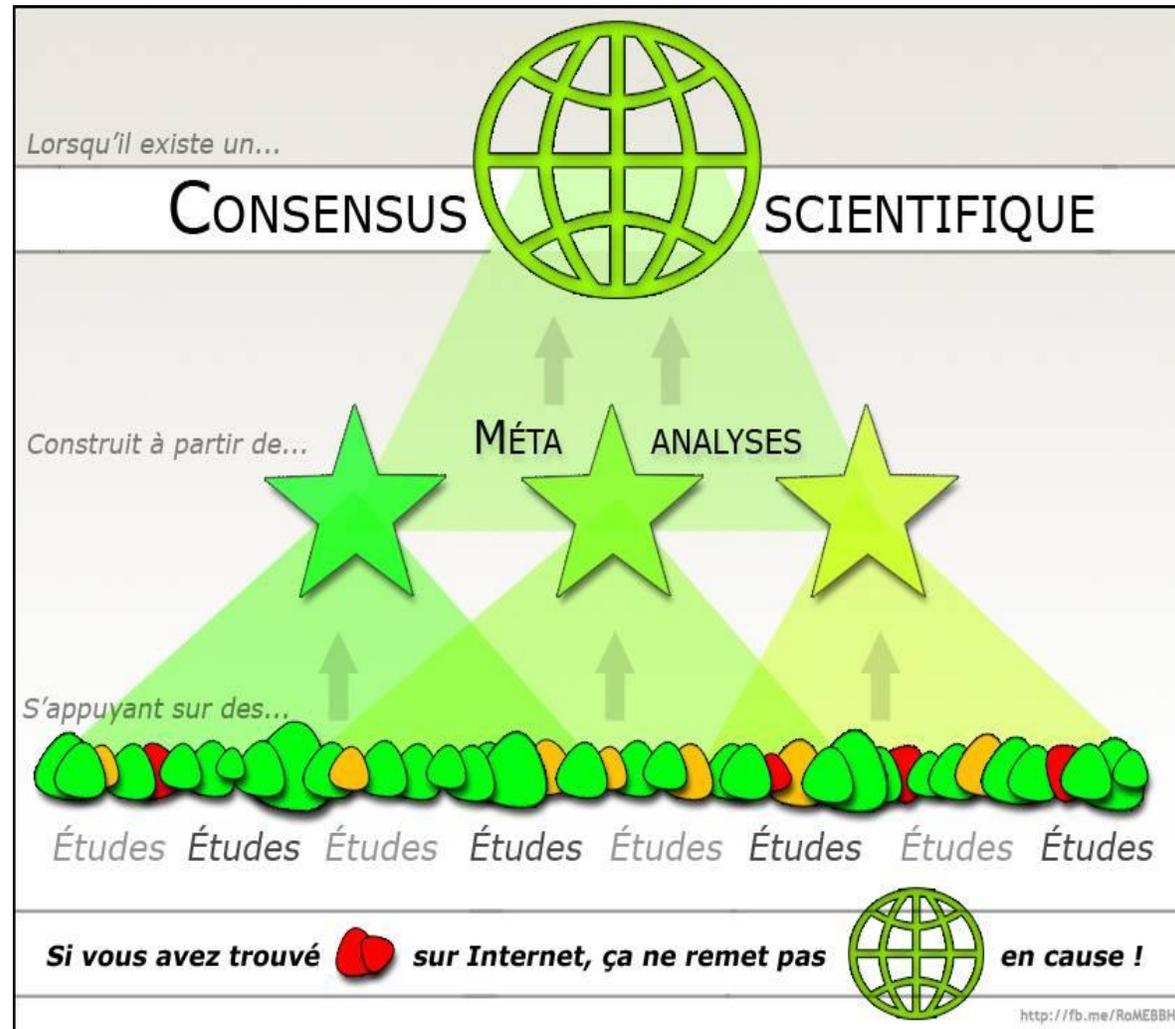
Explicitier la démarche scientifique : les travaux du GIEC



Le GIEC est un **organe scientifique**.

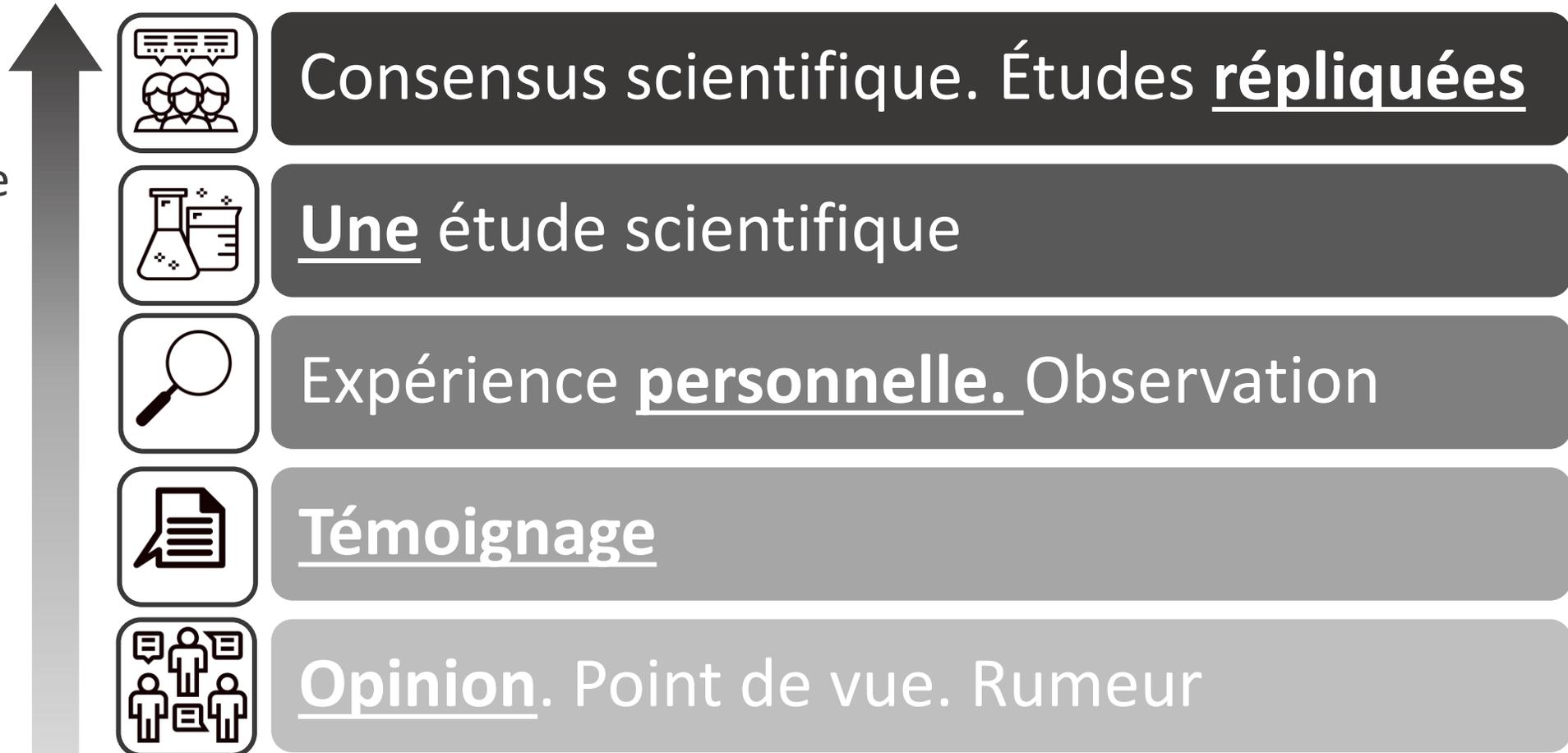
Il n'est pas chargé de conduire des travaux de recherche, ni de suivre l'évolution des données ou paramètres climatologiques.

Explicitier la démarche scientifique : les travaux du GIEC



Explicitier la démarche scientifique : les travaux du GIEC

Niveau
de preuve



Explicitement la démarche scientifique

Exemple d'activité à adapter en classe (source : LAMAP)

- 17 cartes (grand format / petit format)

INTRODUCTION DU RAPPORT DU GIEC

Construction d'un rapport et notion d'incertitude

Source : GIEC, 2013: Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques.

Dans cette contribution au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (RES), le Groupe de travail I (GTI) examine de nouveaux éléments concernant le changement climatique sur la base de nombreuses analyses scientifiques indépendantes d'observations du système climatique, d'archives paléoclimatiques, d'études théoriques des processus climatiques et de simulations à l'aide de modèles climatiques. Il s'appuie sur sa contribution à la dernière évaluation du GIEC (AR4) et sur les nouveaux résultats de recherche obtenus depuis.

Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes (SREX) représente un socle d'informations importantes pour la prise de décision. Le degré de certitude associé aux principaux résultats de rédaction, des connaissances scientifiques sous-jacentes (faible à très élevée) et, lorsque c'est possible, quantifié (probable). La confiance dans la validité d'un résultat correspondants (données, compréhension d'un modèle). Les estimations probabilistes de mesures quantiles d'observations ou de résultats de modèles, ou les formulations sous forme d'énoncés des faits, sans référence à la probabilité de leur réalisation, ne peuvent être obtenus sans précision concernant la

Les termes suivants sont utilisés pour caractériser l'incertitude :

- Très certain
- Probable
- Probable
- À peu près aussi probable qu'improbable
- Improbable
- Très improbable
- Exceptionnellement improbable

VAGUE DE FROID

Un froid extrême étonnant en période de réchauffement

Source : Twitter



Donald J. Trump @realDonaldTrump

In the East, it could be the COLDEST New Year's Eve on record. Perhaps we could use a little bit of that good old Global Warming that our Country, but not other countries, was going to pay TRILLIONS OF DOLLARS to protect against. Bundle up!

02 01 - 29 déc. 2017

203 k 197 k personnes parlent à ce sujet

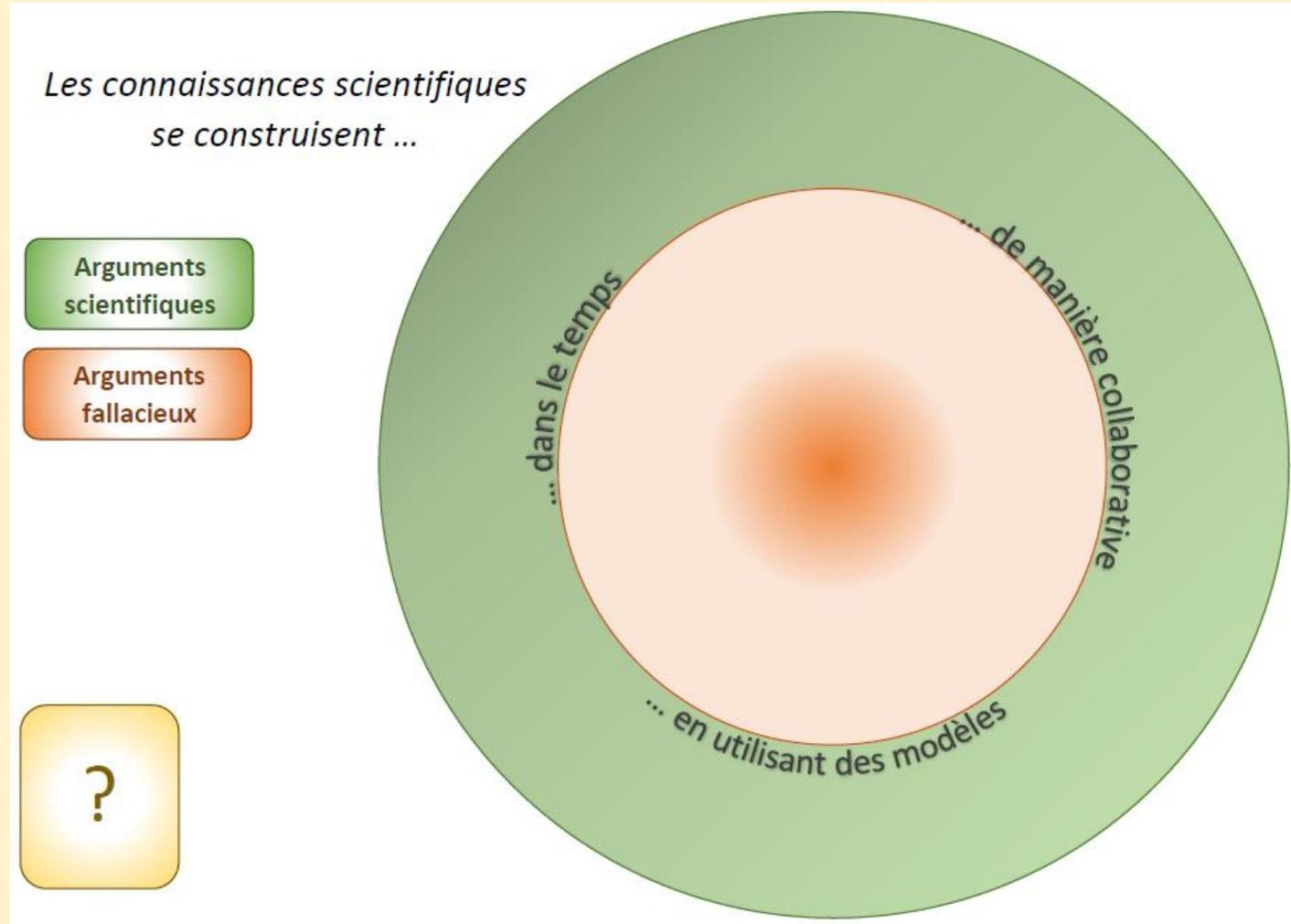
« Dans l'est du pays ça pourrait être le nouvel an LE PLUS FROID jamais enregistré. Peut-être qu'on pourrait utiliser un peu de ce bon vieux réchauffement climatique face auquel notre pays seul, allait payer des MILLIERS DE MILLIARDS DE DOLLARS pour s'en protéger ! Couvrez-vous ! »



Expliciter la démarche scientifique

Exemples de mise en oeuvre :

Avec un plateau de jeu



Lien avec l'échelle des niveaux de preuve





ACADÉMIE
DE LYON

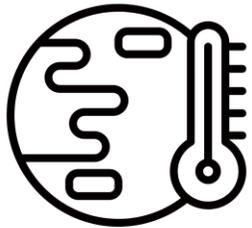
*Liberté
Égalité
Fraternité*



Partie 1 : Mesurer des indicateurs climatiques grâce aux satellites

- Exploitation pédagogique des données spatiales
- Du satellite à l'information
- L'observation des symptômes du réchauffement climatique

Partie 2 : Modéliser et simuler le climat



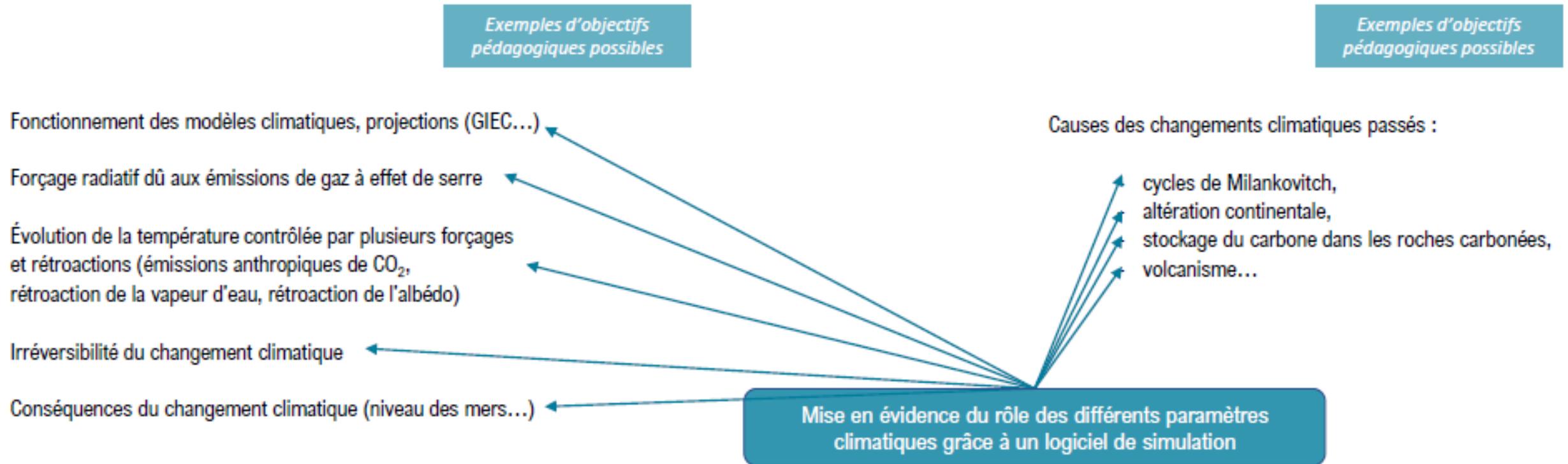
- Les scénarios du GIEC
- Focus : la construction des connaissances scientifiques
- **Un exemple d'outil de simulation : le logiciel Simclimat**

Utilisation et exploitation des modèles climatiques



Source : PNF – Rendez-vous des sciences (2019)

Utilisation et exploitation des modèles climatiques

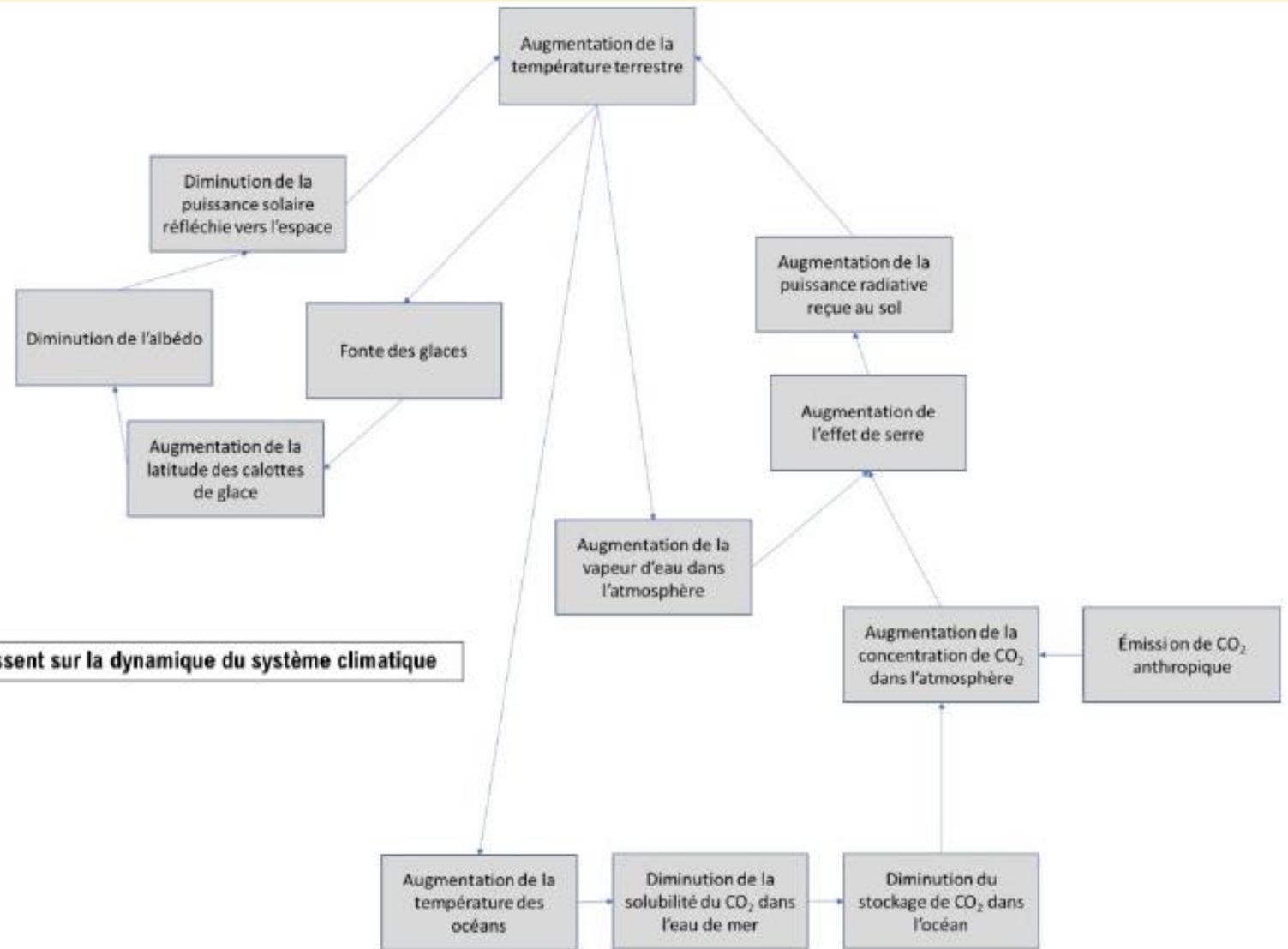


Utilisation et exploitation des modèles climatiques

Phase 1 : groupes d'experts	
Équipe « expert 1 »	Émissions anthropiques de CO ₂ et albédo
Équipe « expert 2 »	Rétroaction de l'albédo et température de surface
Équipe « expert 3 »	Rétroaction de l'océan et température de surface
Équipe « expert 4 »	Rétroaction de la vapeur d'eau et température de surface
Phase 2 : groupes d'apprentissage	
Équipes de 4 personnes, chacune issue d'un groupe d'expert différent.	Réalisation d'un schéma fonctionnel (ou carte mentale) synthétisant toutes les informations obtenues sur le système climatique.

Utilisation et exploitation des modèles climatiques

Exemple de production





ACADÉMIE
DE LYON

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Merci de votre attention !

<https://digipad.app/p/17575/2b0148835f83b>

