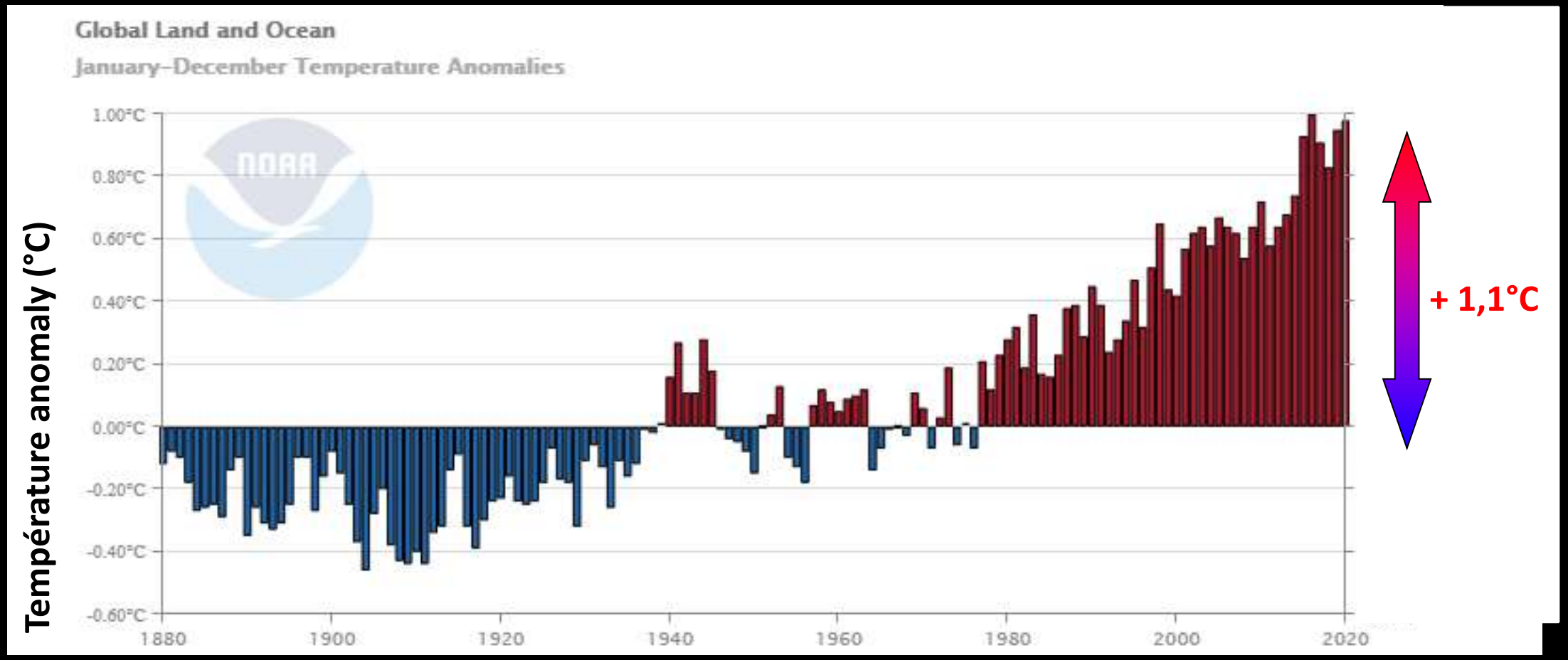
Comprendre l'effet de serre et le cycle du carbone, un préalable indispensable pour comprendre ce qui nous arrive et va nous arriver.

Les Lundis de la Chapelle aux Saints.
Pierre Thomas, Vayrac, 16 août 2021

tsonfils.blog/2019/09/06/la-terre-en-feu/

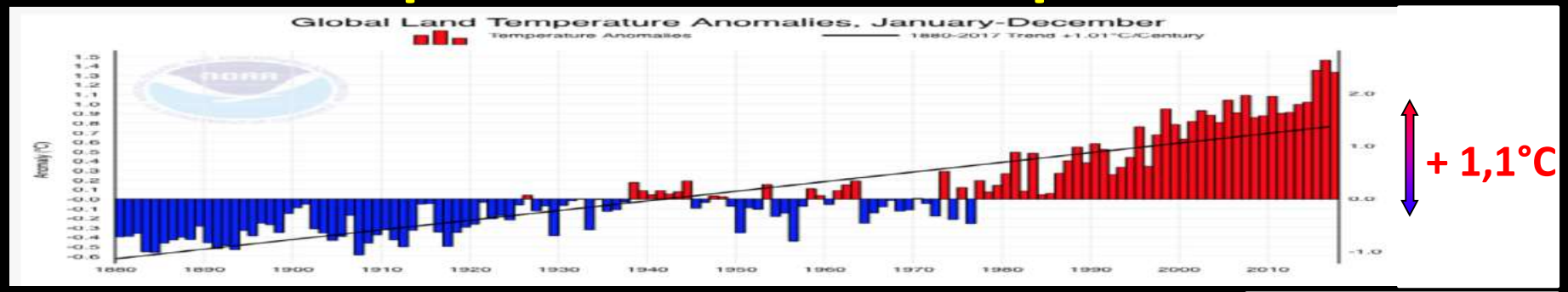
Les variations climatiques « en chiffres ».
C'est « abstrait », mais ça fait peur !

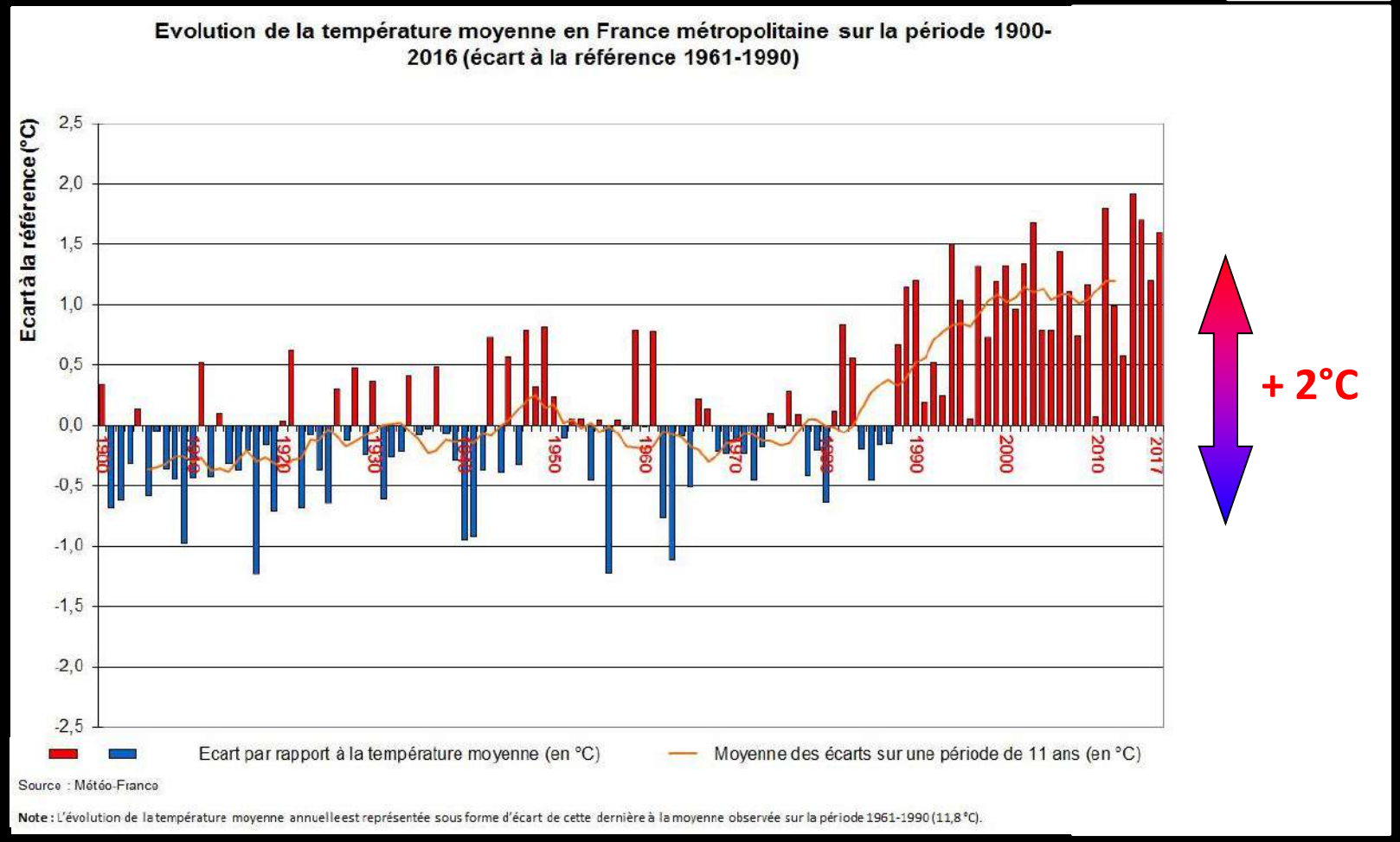


https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013

Variation de la température moyenne mondiale. On peut bien le faire qu'à partir de 1860 /1880. Avant, la couverture de stations météo sur toute la Terre était très insuffisante .

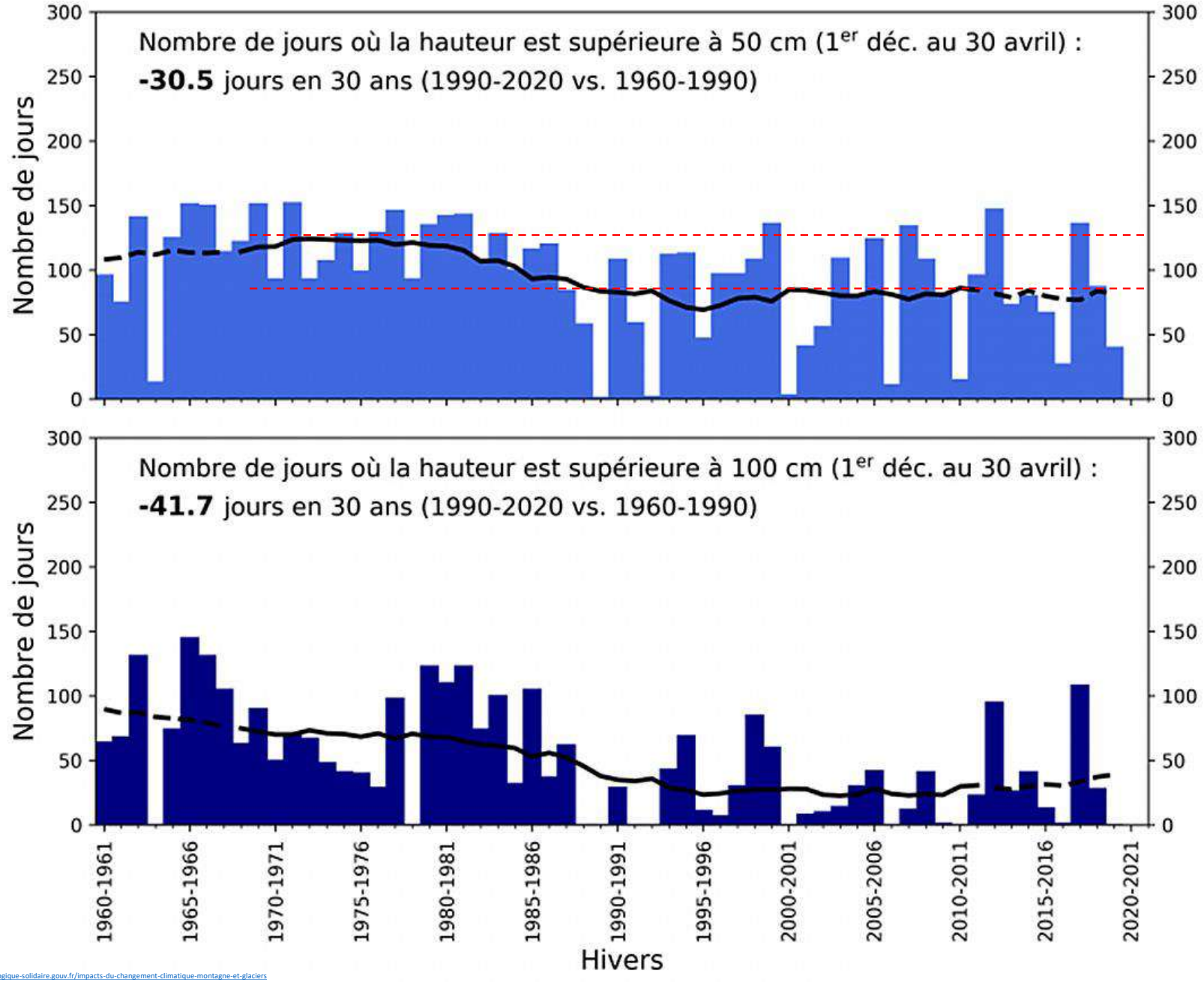
Et pour la France métropolitaine ?





http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/indicateurs/e13.html

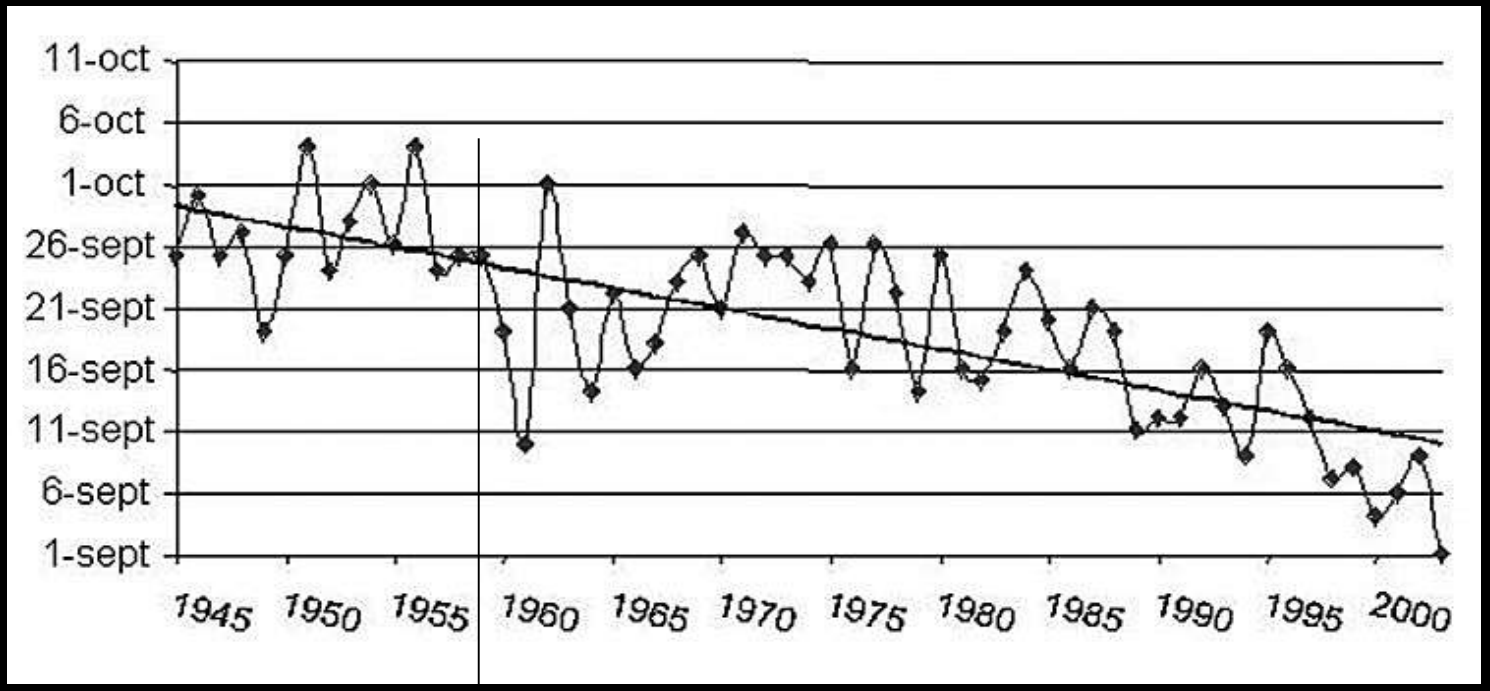
En France, c'est deux fois plus. En fait, le réchauffement est de plus en plus important quand on se rapproche du pôle. Les ours blancs souffriront plus que les hippopotames.



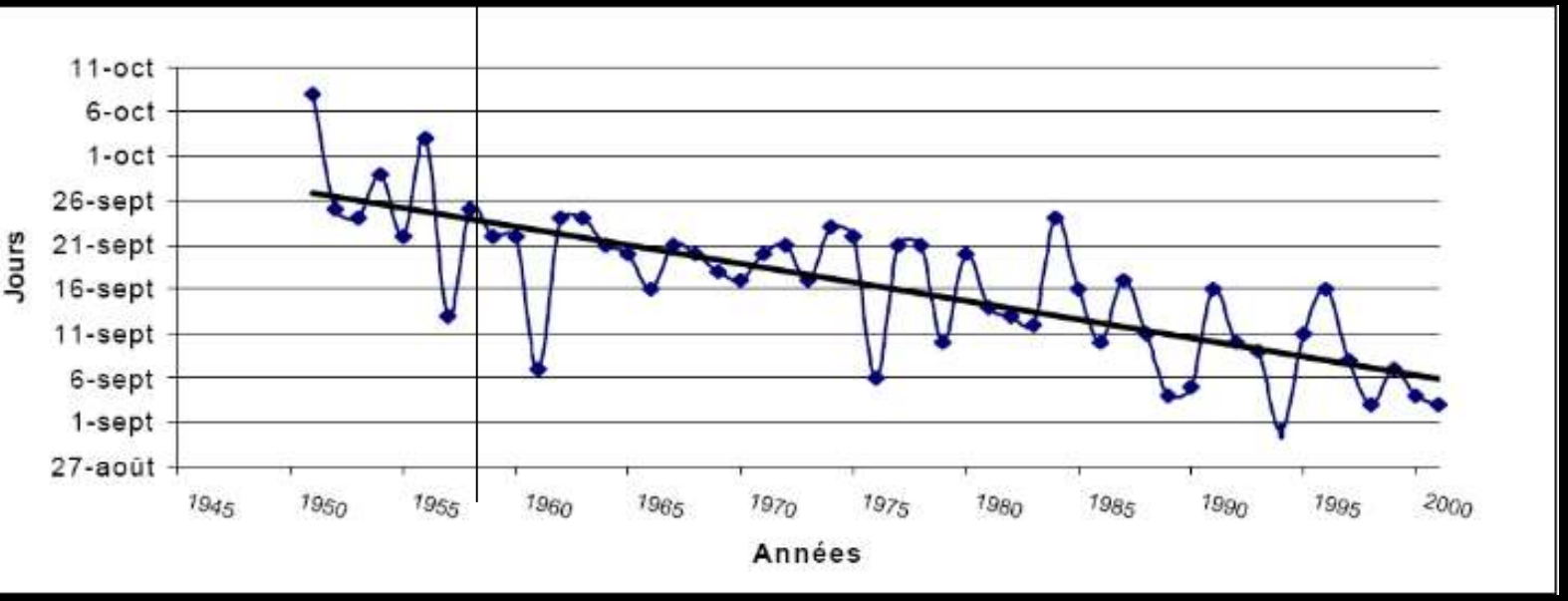
https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-montagne-et-glaciers

Ca se voit dans la vie de tous les jours, avec du concret, même en dehors des évènements exceptionnels.

Par exemple à la station de ski du Col de Porte (Chartreuse), il y a un mois d'ouverture de la station en moins entre 1960 et 2020.



Date du début des vendanges à Chateauneuf du Pape

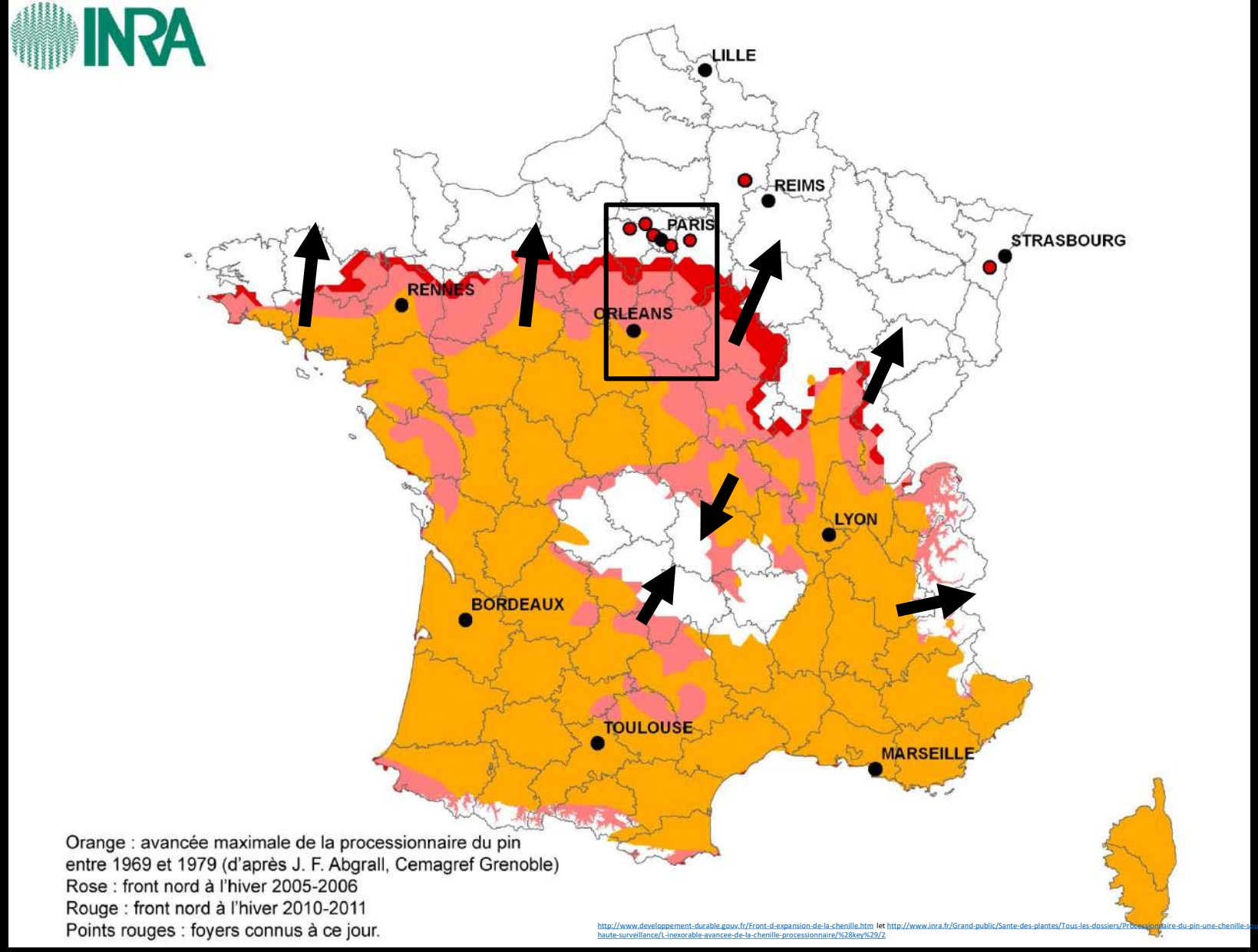


Date du début des vendanges dans la région de Tavel

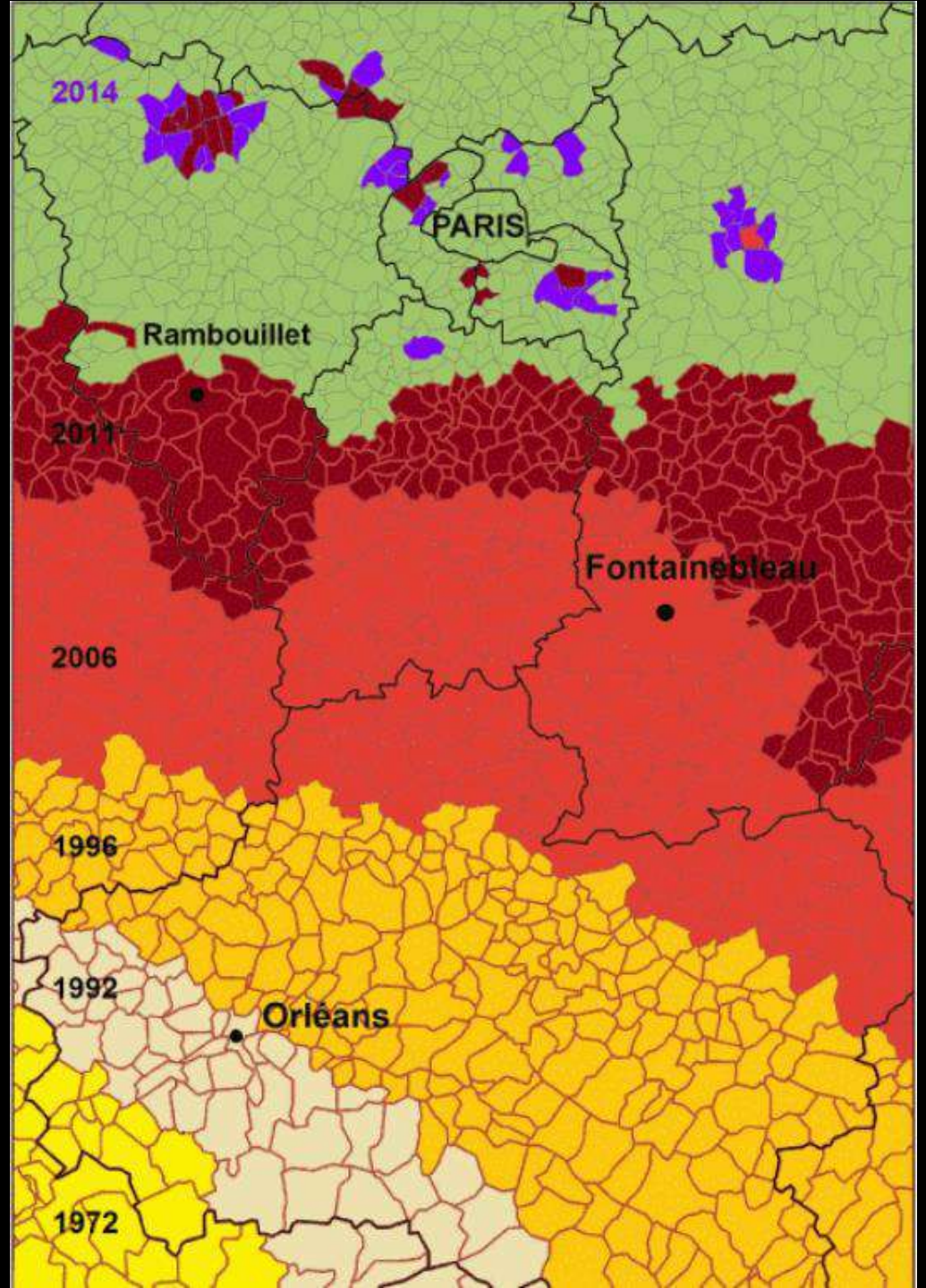
Ca se voit avec la dates des récoltes et des vendanges.

Ca se voit parce que des espèces du sud migrent vers le nord ou en altitude.

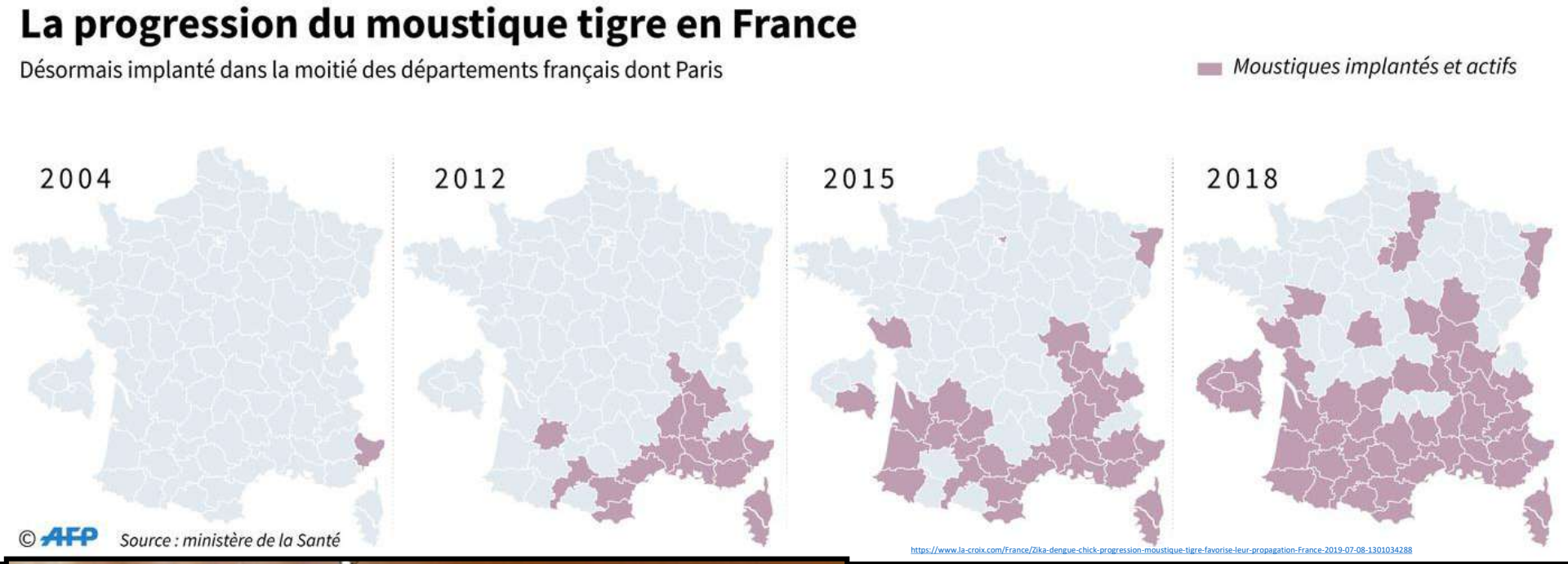
Les chenilles processionnaires



Cartes de cette migration vers le nord et vers les montagnes. Paris est atteint en 2015 !



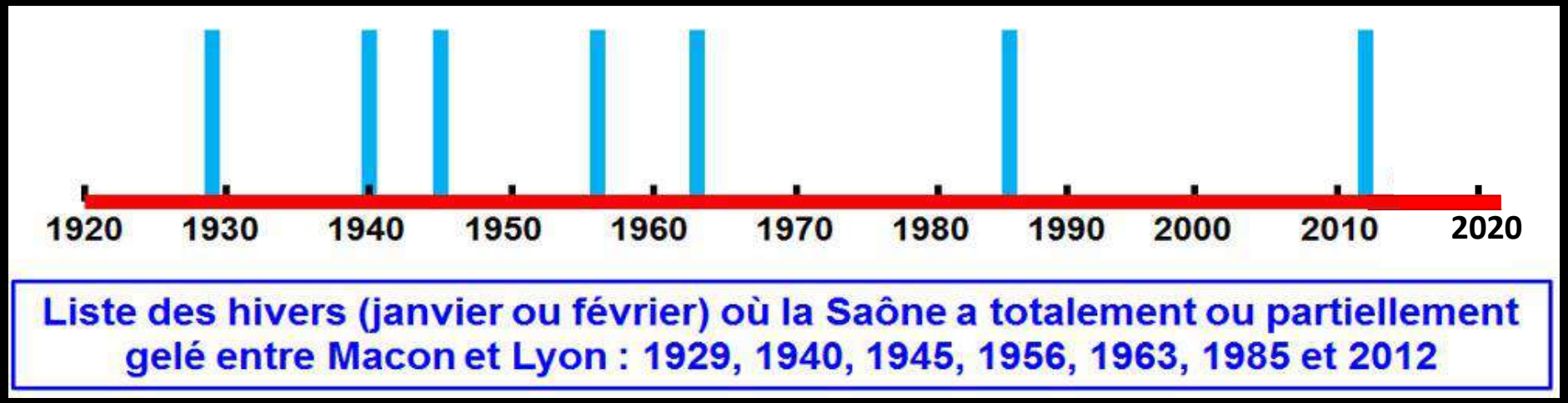
Pour parodier Serge Regiani : « Les chenilles sont entrées dans Paris ».

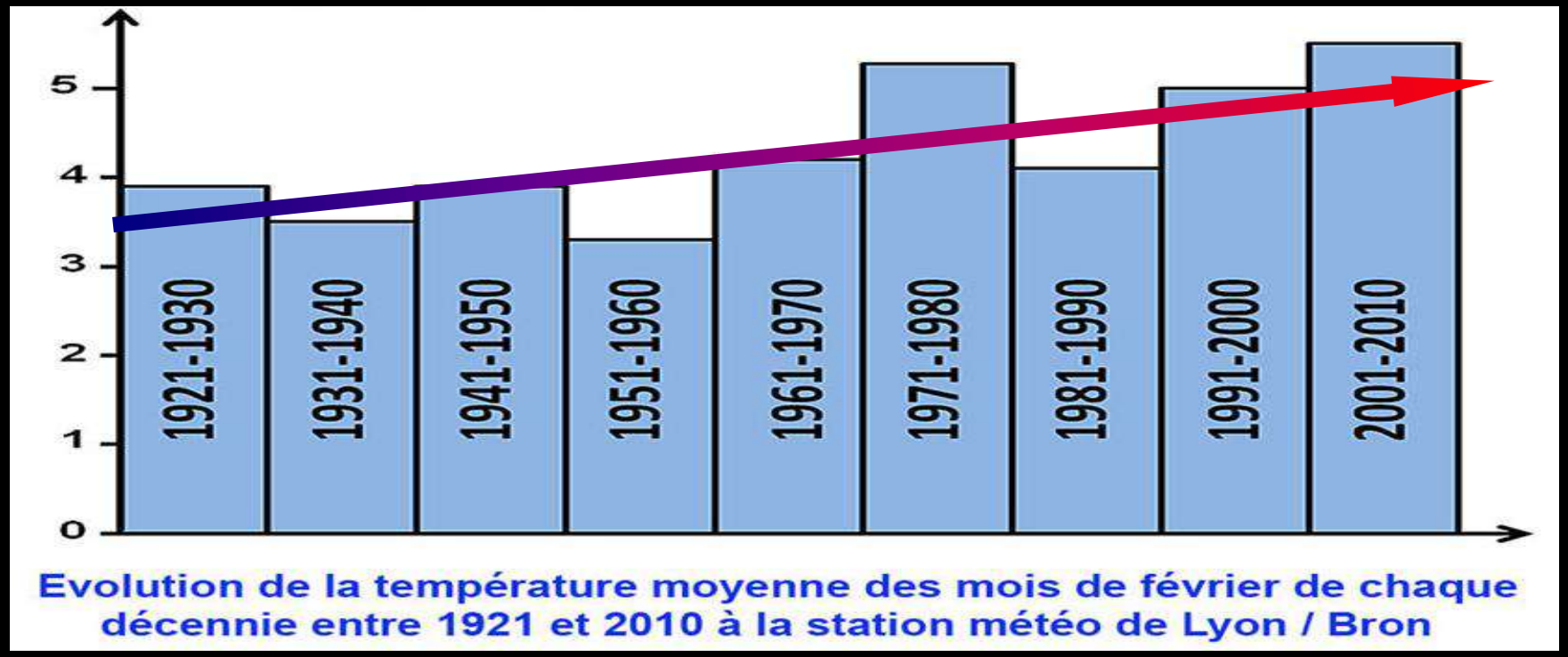


Le moustique tigre (Aedes albopictus) n’est pas gênant en lui-même, mais peut transmettre le zika, la dengue, le chikungunya …

Ça se voit avec la modification de la fréquence des épisodes exceptionnels.

Par exemple les épisodes de grand froid ! Voici la Saône à Lyon, le 13 février 2012.





La moyenne de février augmente ; les épisodes de grands froids avec gel de la Saône se raréfient.

MENU

BFM TV.

VIDÉOS POLITIQUE PRÉSIDENTIELLE POLICE-JUSTICE INTERNATIONAL SOCIÉTÉ ÉCONOMIE TECH AUTO

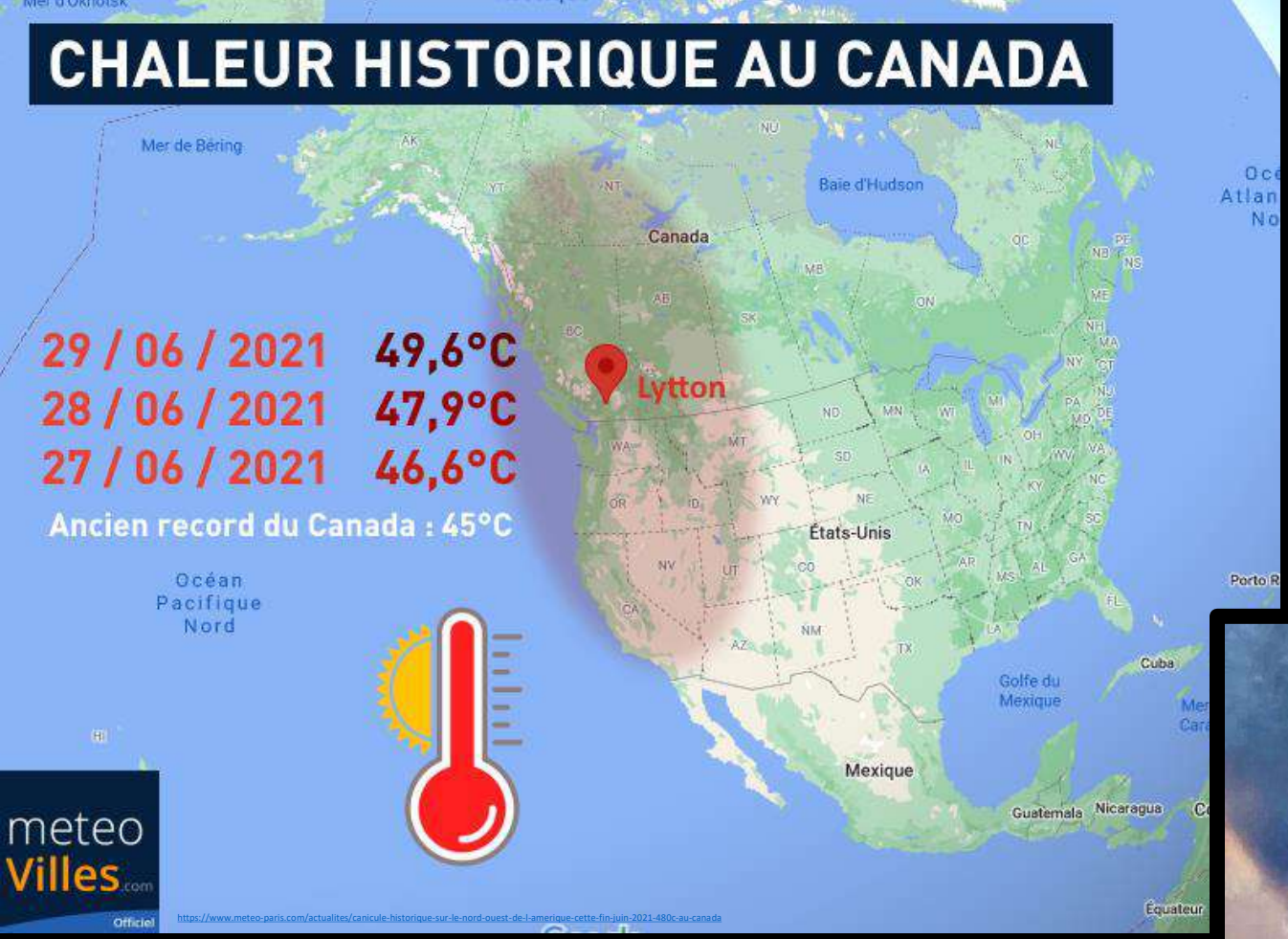
ALERTE INFO ▪ Liban : les explosions à Beyrouth de mardi dernier ont fait 6 000 blessés selon un nouveau bilan.

15 départements placés en vigilance rouge canicule, dont l'Île-de-France et les Hauts-de-France

https://www.bfmtv.com/meteo/canicule/15-departements-places-en-vigilance-rouge-canicule-dont-l-ile-de-france-et-les-hauts-de-france_VN-202008080080.html

Si la fréquence des grands froids diminue, le nombre, la durée et l'intensité des canicules augmentent …

49,6°C au Canada fin juin 2021 !

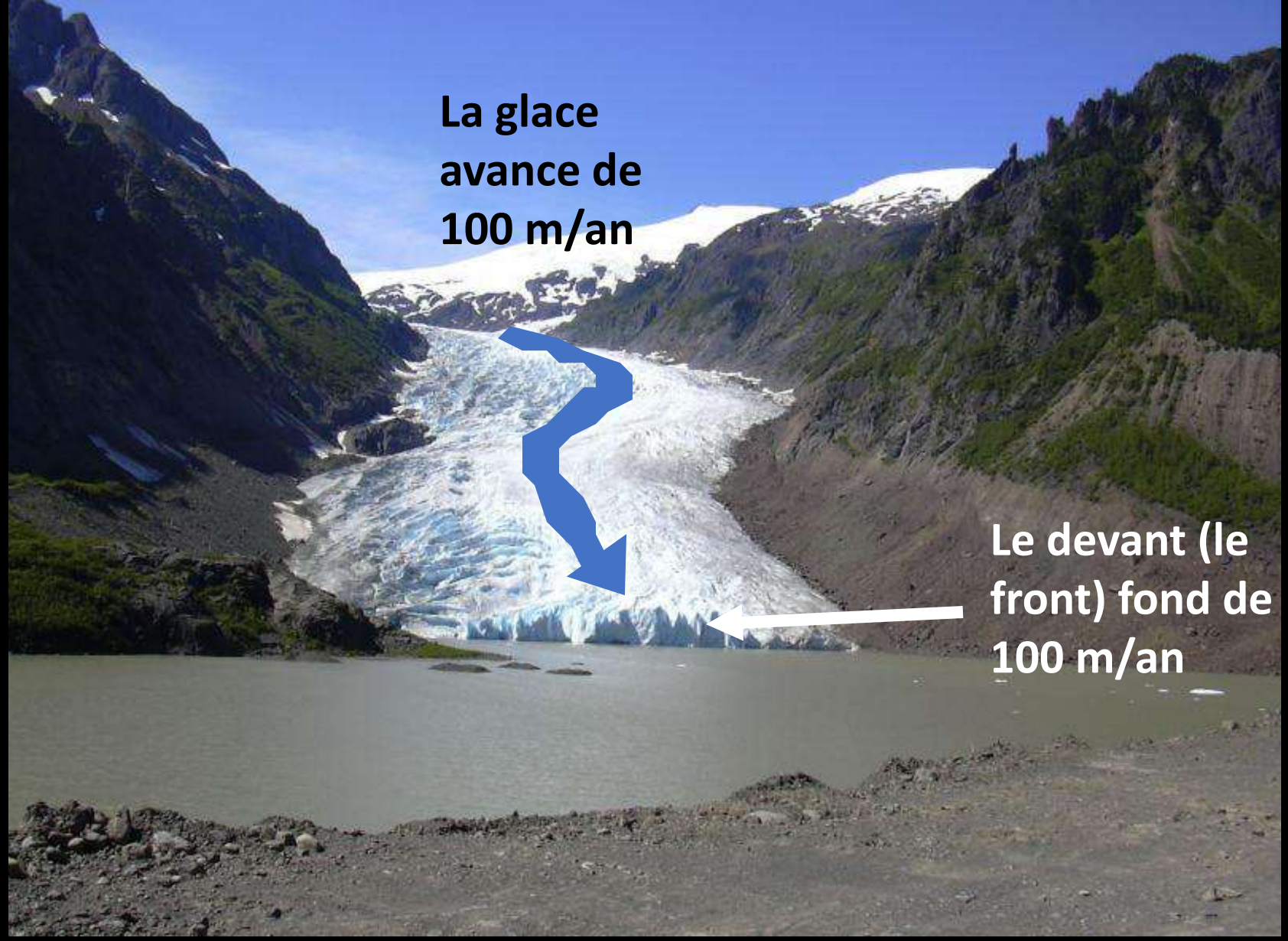


https://www.ouest-france.fr/photo-dans-l-inondation-en-allemagne-les-photos-effrantes-de-la-catastrophe-16-07-2021-LOJ23PZ4P5AN7PZ3ZZ7ZZ7ZZ7Q.html

https://www.francetvinfo.fr/monde/europe/allemagne/en-images-les-violentes-inondations-en-allemagne-belgique-et-pays-bas-laissent-derriere-elles-des-scenes-de-desolation_4705923.html

… les crues exceptionnelles deviennent plus fréquentes, comme celles de mi-juillet 2021 en Allemagne, et ainsi de suite …

https://actu.fr/monde/inondations-en-allemagne-au-moins-60-morts-des-centaines-de-personnes-toujours-disparues_43487374.html

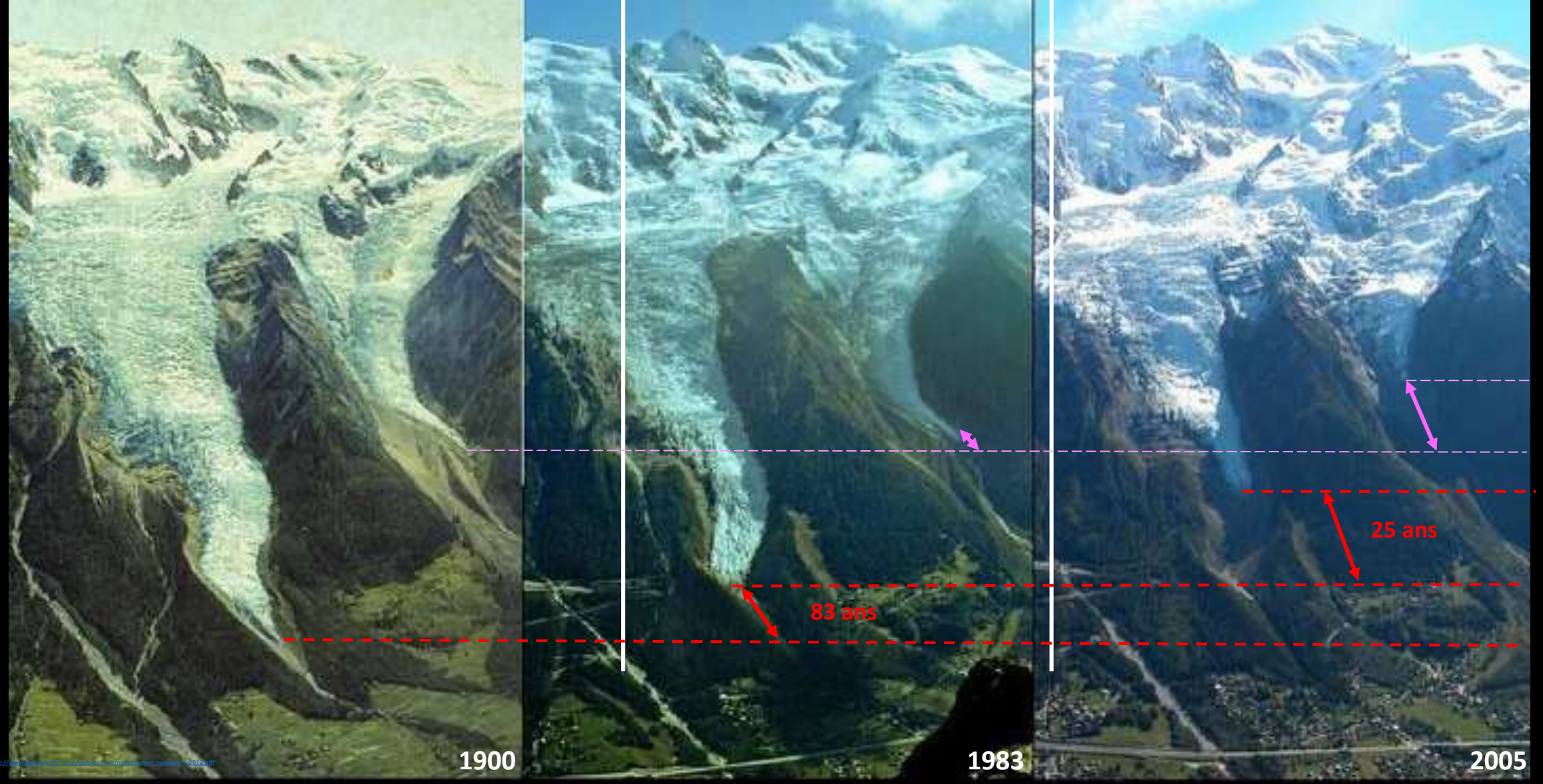


Ca se voit aussi dans le récent recul des glaciers alpins, qui lissent naturellement les irrégularités annuelles, « mieux » que les courbes.

La glace d’un glacier, ça « coule » comme de l’eau. Mais comme c’est solide, ça coule très lentement. Une rivière, ça coule de … 5 à 10 km/h. Un glacier, ça « coule » de 1 à 2 cm/h. Mais si on prend une à deux images par jour pendant 4 mois et qu’on passe ça en accéléré …

https://www.youtube.com/watch?v=1ai9Q27J2vc

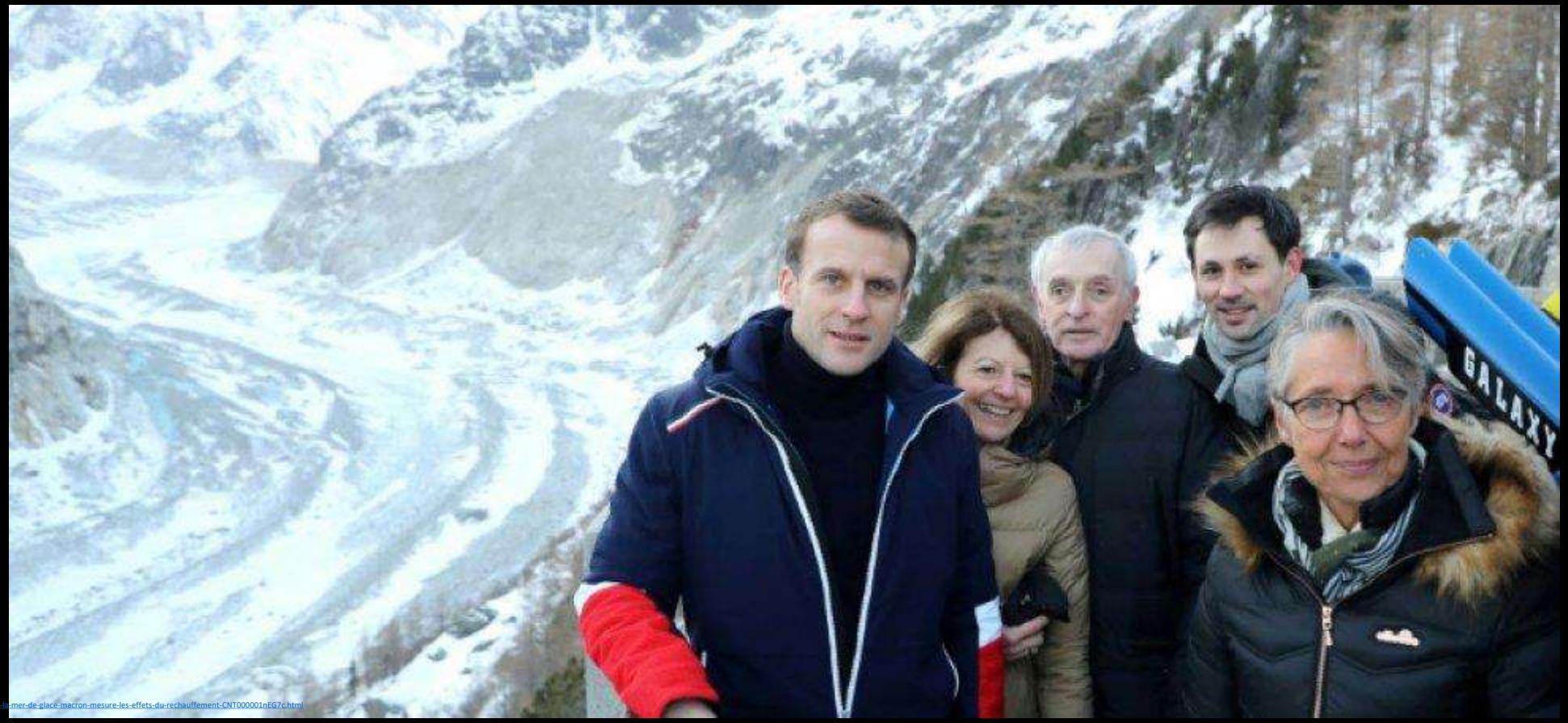
Un glacier, comment ça marche ? Si la fonte du front compense la descente de la glace, le glacier est stable. Sinon, le front du glacier avance ou recule



Plus près de chez nous, voici un siècle (105 ans) de recul des glaciers des Bossons et du Taconnaz (à Chamonix). On voit l'accélération !

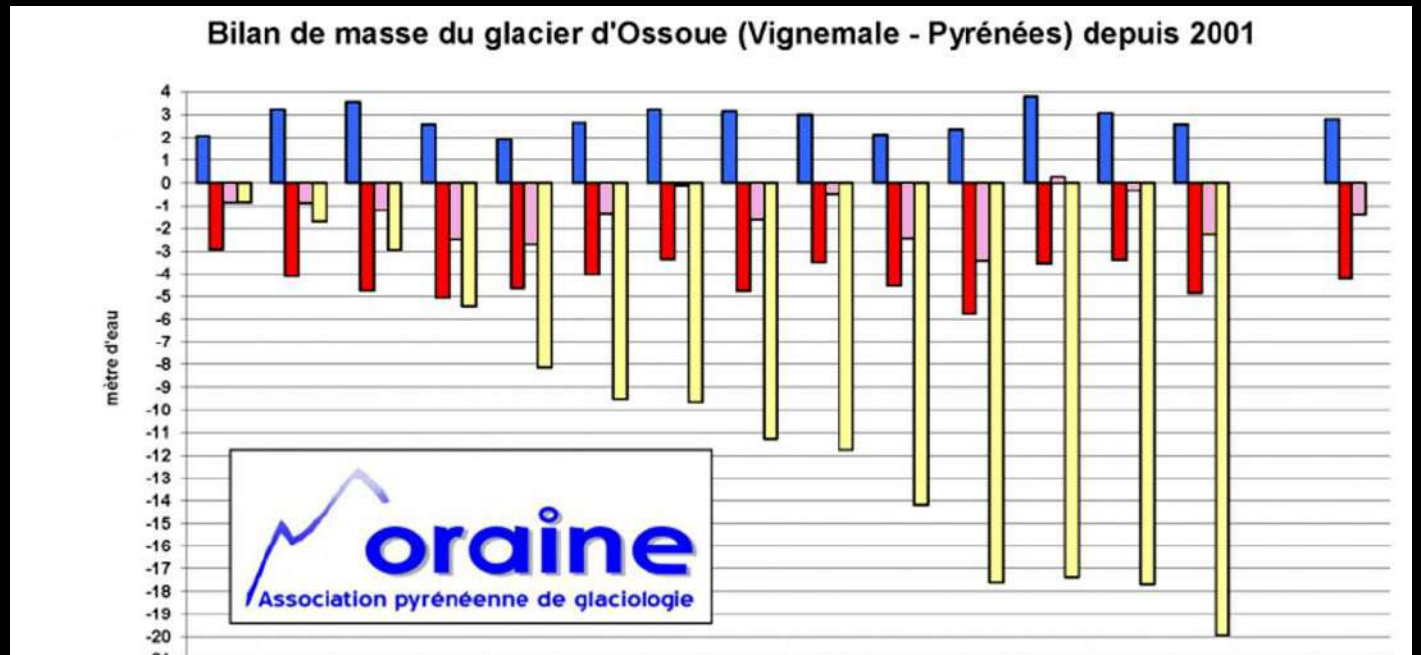
https://www.lesoir.be/256391/article/2019-10-25/1919-2019-impact-du-rechauffement-climatique-sur-des-glaciers-du-mont-blanc-vu

C’est pareil pour la Mer de Glace.



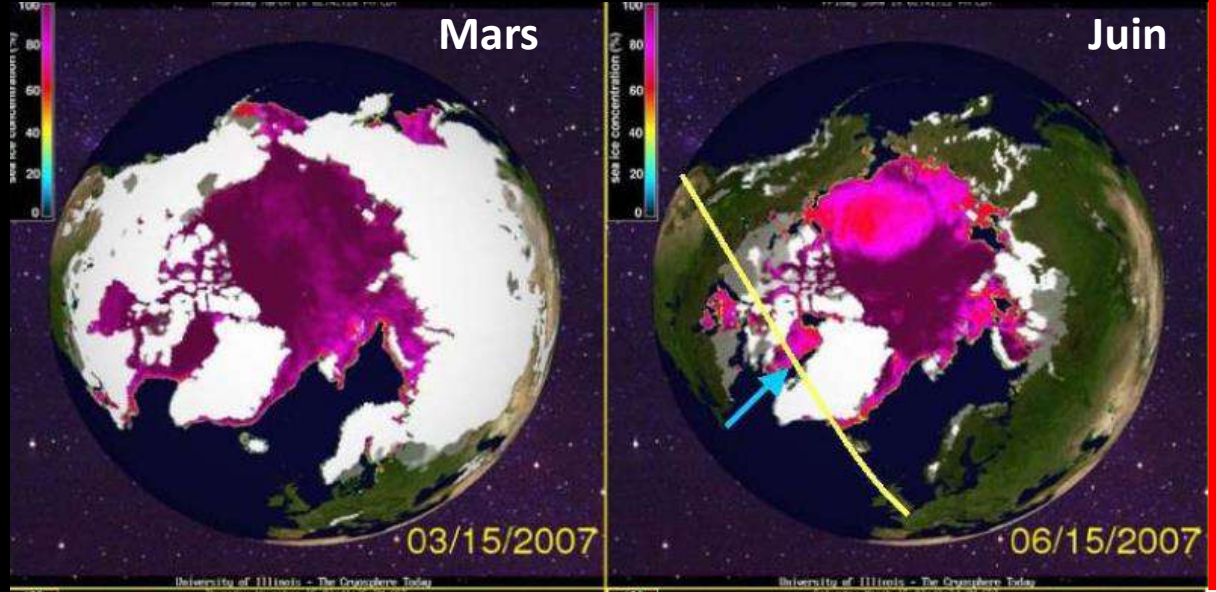
https://actu.orange.fr/france/sur-la-mer-de-glace-macron-mesure-les-effets-du-rechauffement-CNT000001nEG7c.html

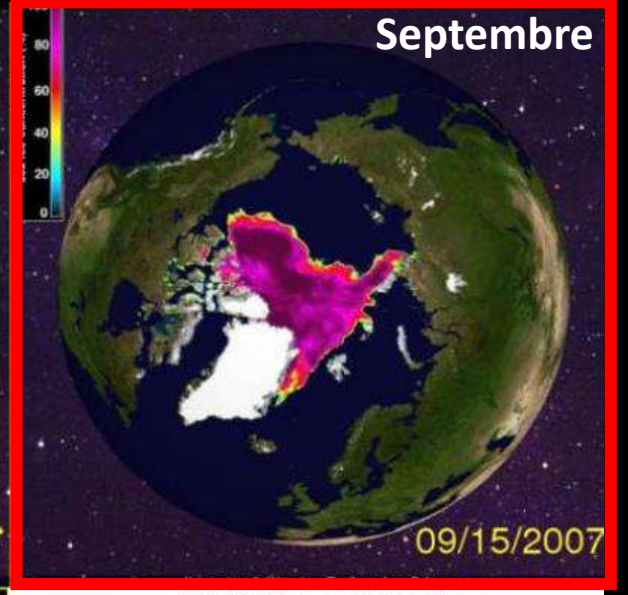
Macron lui-même est venu « constater les dégâts » le 12 février 2020. Dommage qu'il ne soit pas venu accompagné de Donald Trump ou Jair Bolsonaro !

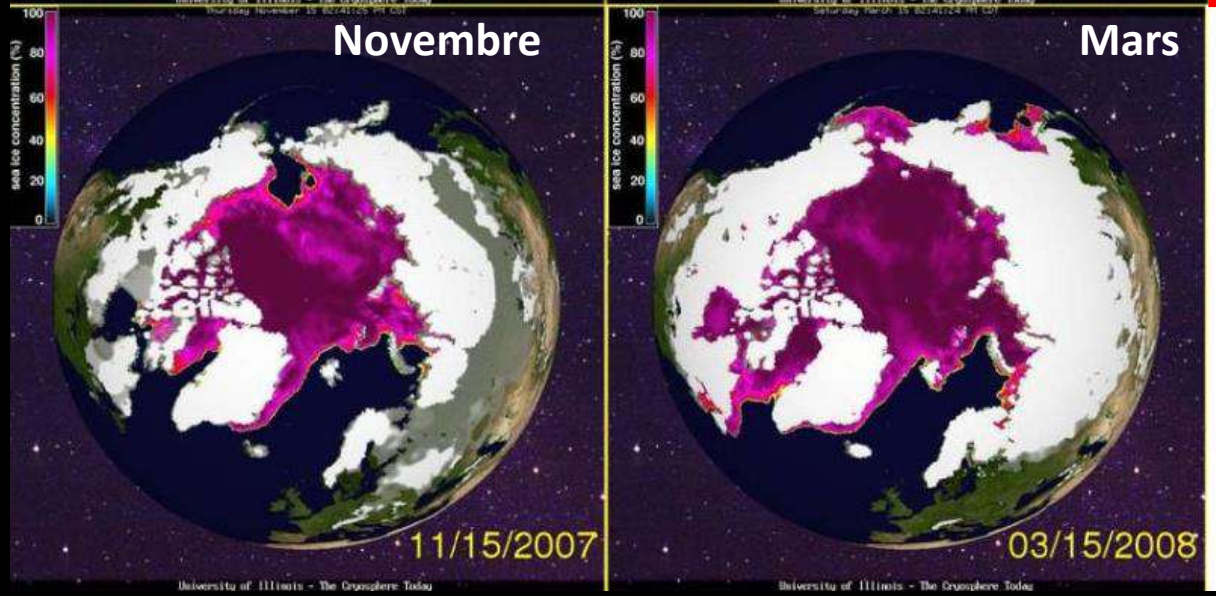


	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15		Moy.
Accumulation	2,08	3,23	3,55	2,58	1,95	2,66	3,23	3,15	3,01	2,12	2,36	3,79	3,08	2,59		2,81
Ablation	-2,93	-4,11	-4,77	-5,07	-4,66	-4,04	-3,35	-4,78	-3,49	-4,56	-5,77	-3,55	-3,39	-4,87		-4,24
Bilan	-0,85	-0,88	-1,22	-2,49	-2,71	-1,38	-0,12	-1,63	-0,48	-2,44	-3,41	0,24	-0,31	-2,28		-1,43
Bilan cumulé	-0,85	-1,73	-2,95	-5,44	-8,15	-9,53	-9,65	-11,28	-11,76	-14,20	-17,61	-17,37	-17,68	-19,96		

Certains glaciers sont bien suivis depuis quelques décennies !





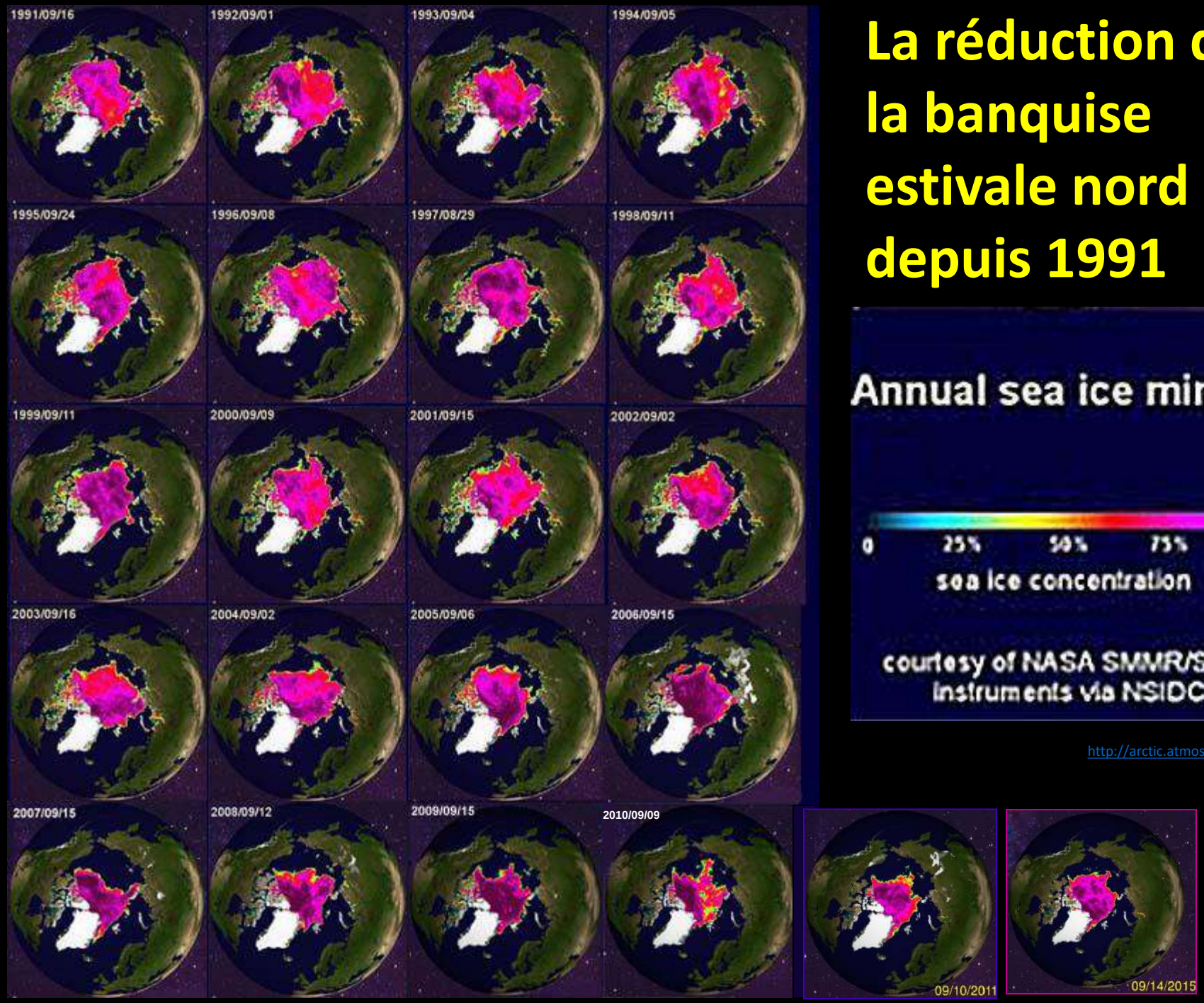


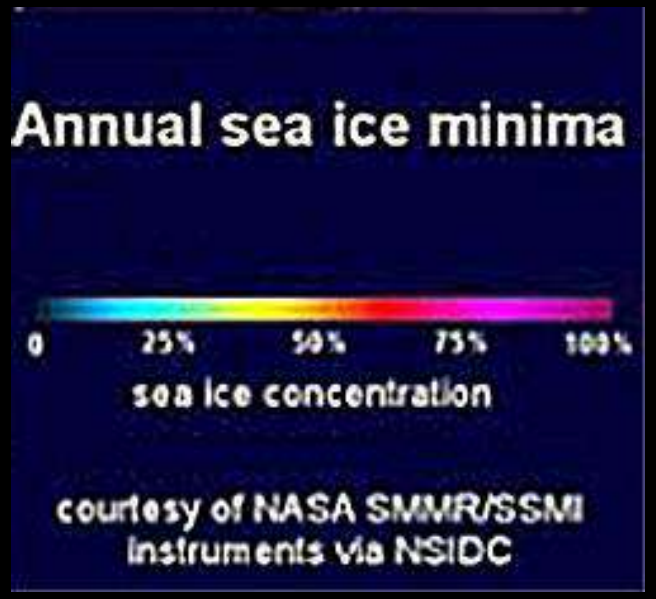
Variations annuelles de la surface de la banquise nord de mars 2007 à mars 2008.

Images :
University of Illinois
- The Cryosphere Today

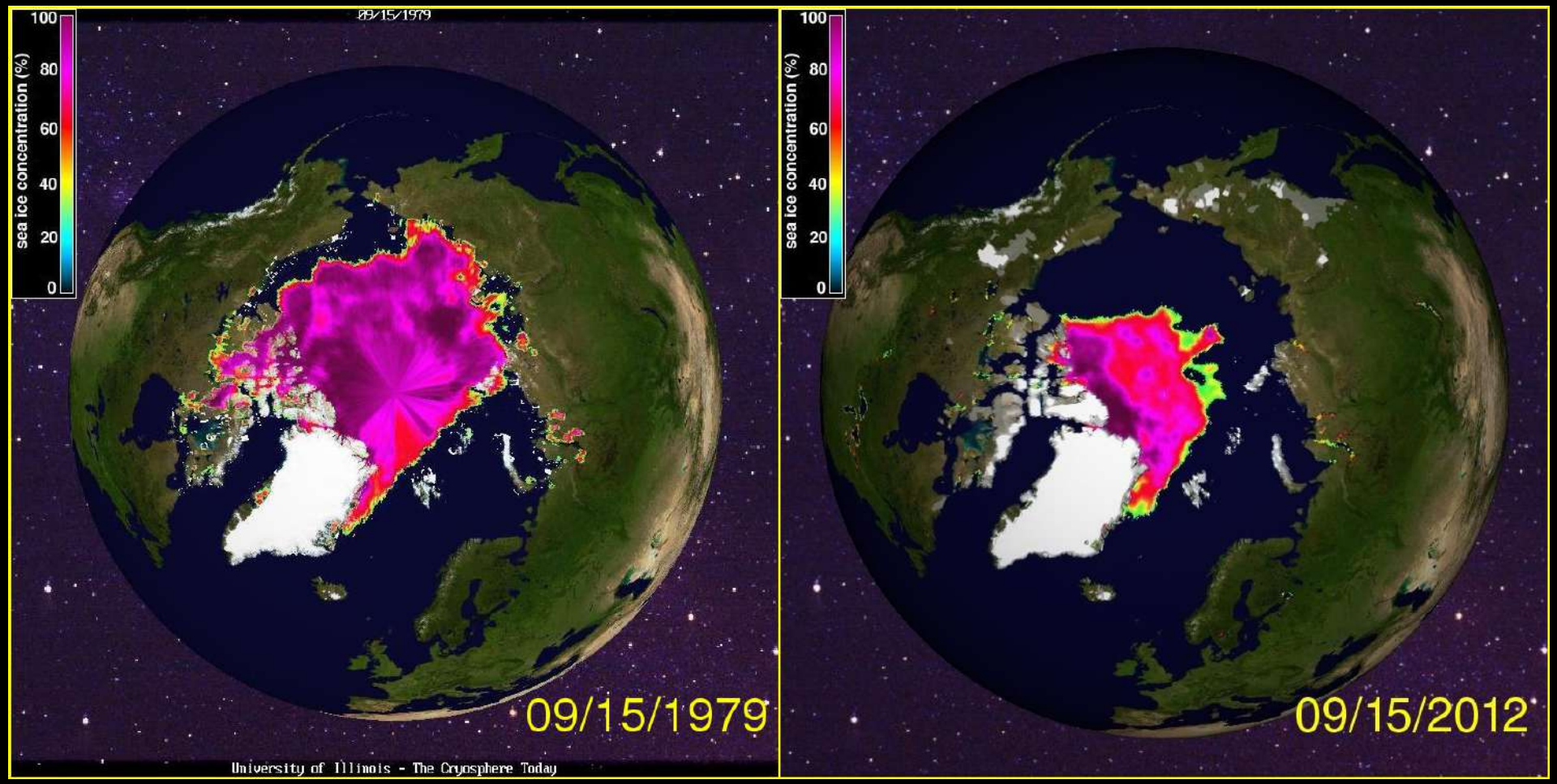
Ca se voit aussi avec la banquise. C'est la taille de la banquise estivale qu'on va voir évoluer d'années en années dans la diapo suivante :

La réduction de la banquise estivale nord depuis 1991

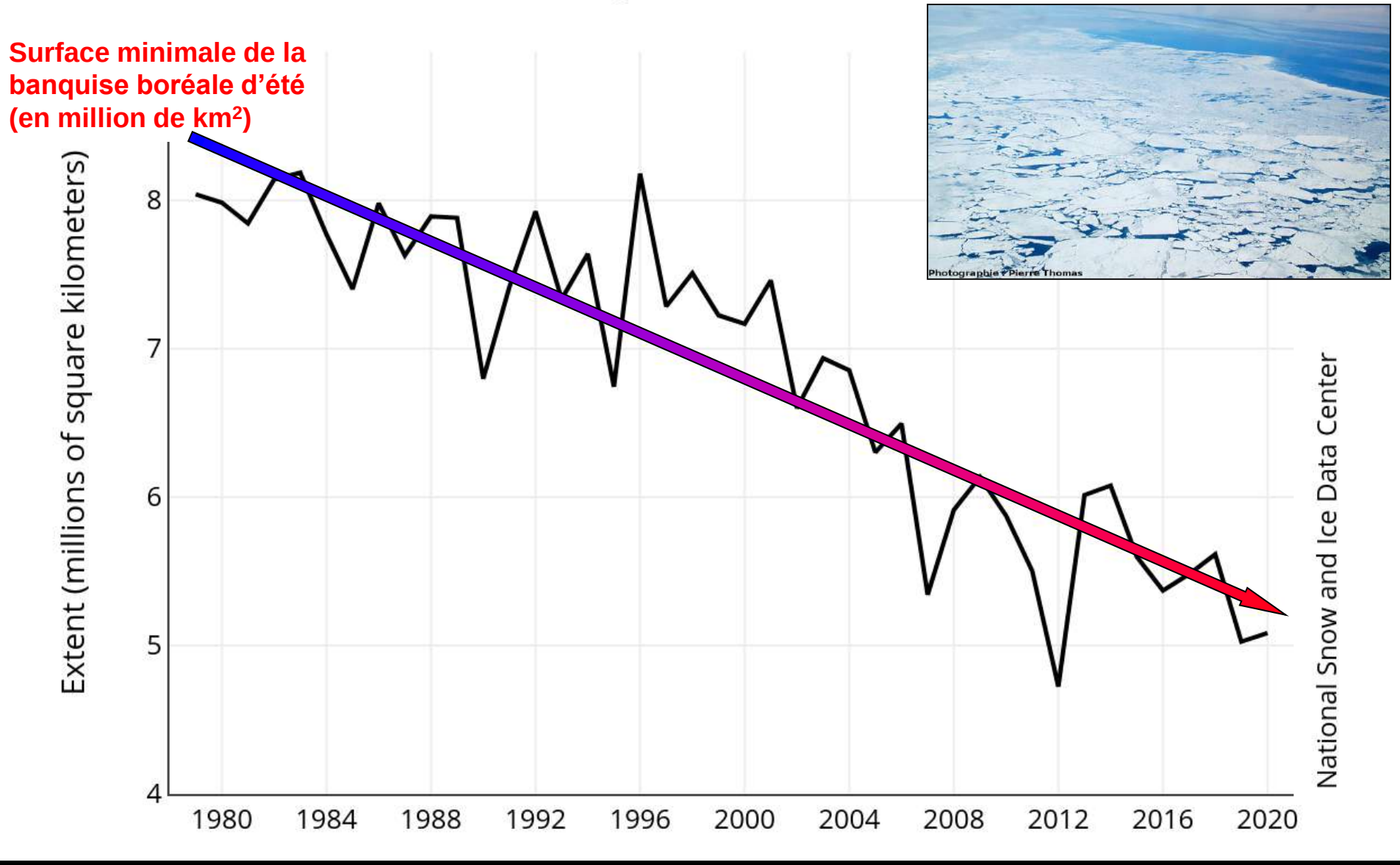




http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere /

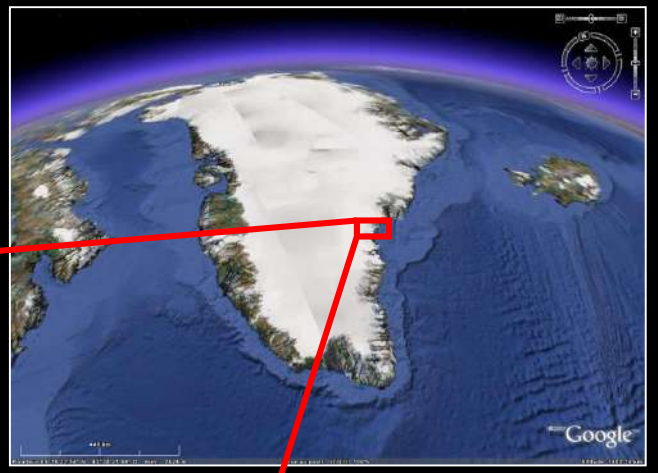


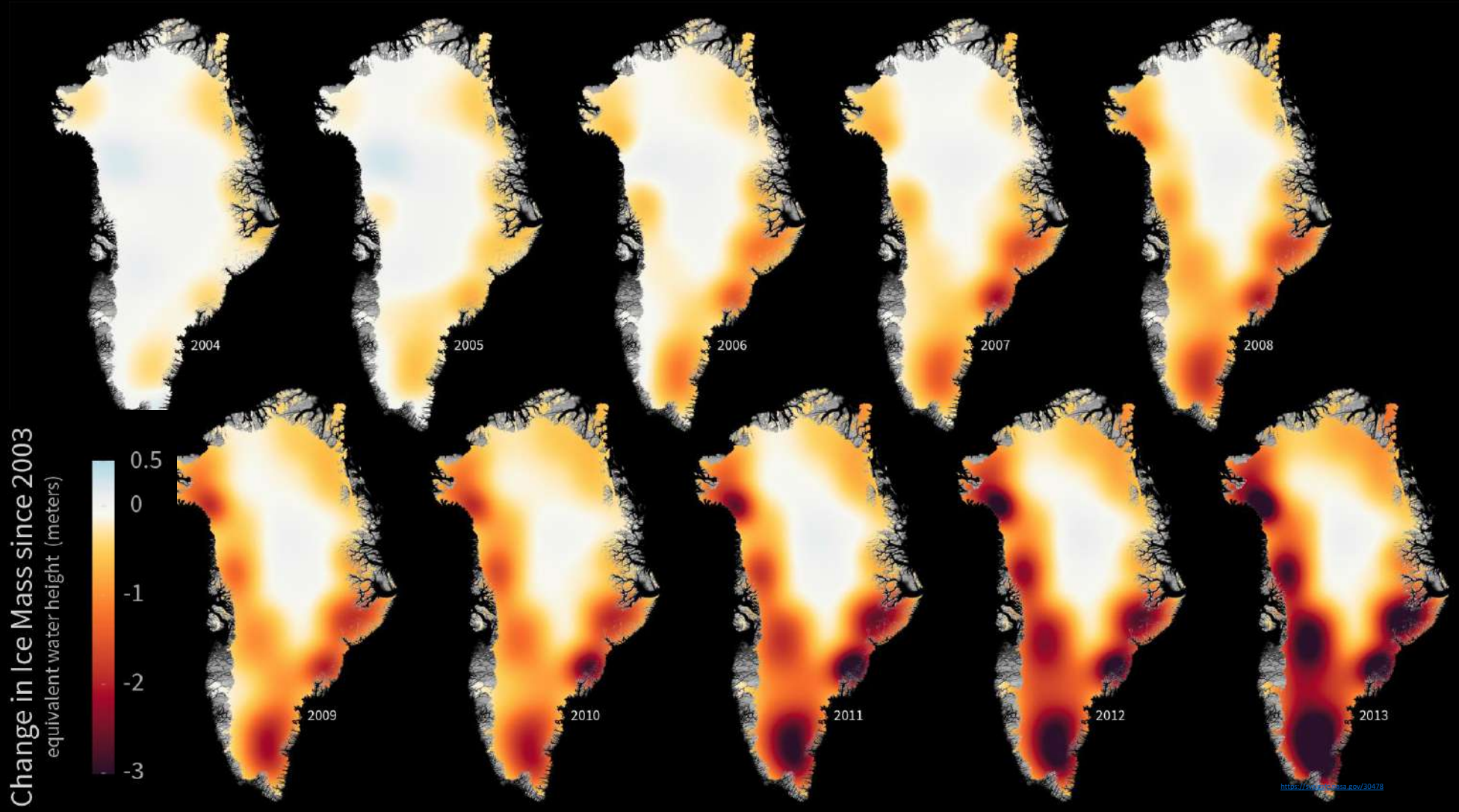
De septembre 1979 (début des données)
à septembre 2012.



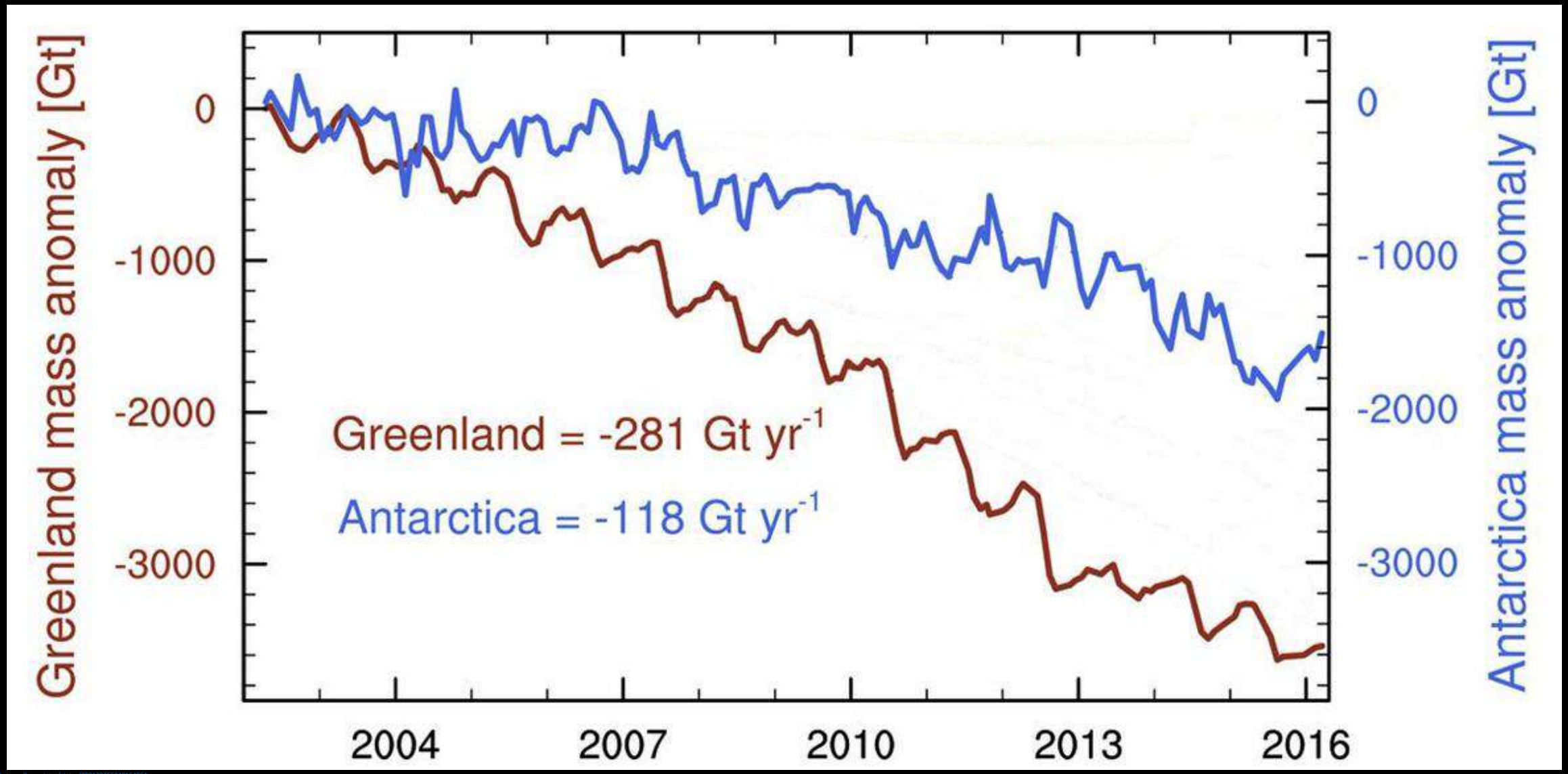
Ca se voit aussi dans la diminution de surface de la banquise boréale d'été. La tendance globale (flèche bleu et rouge) montre une diminution moyenne de 3.300.000 km² (6 fois la surface de la France) en 38 ans.

Cela se voit aussi les calottes glaciaires continentales (groenlandaise et antarctique).



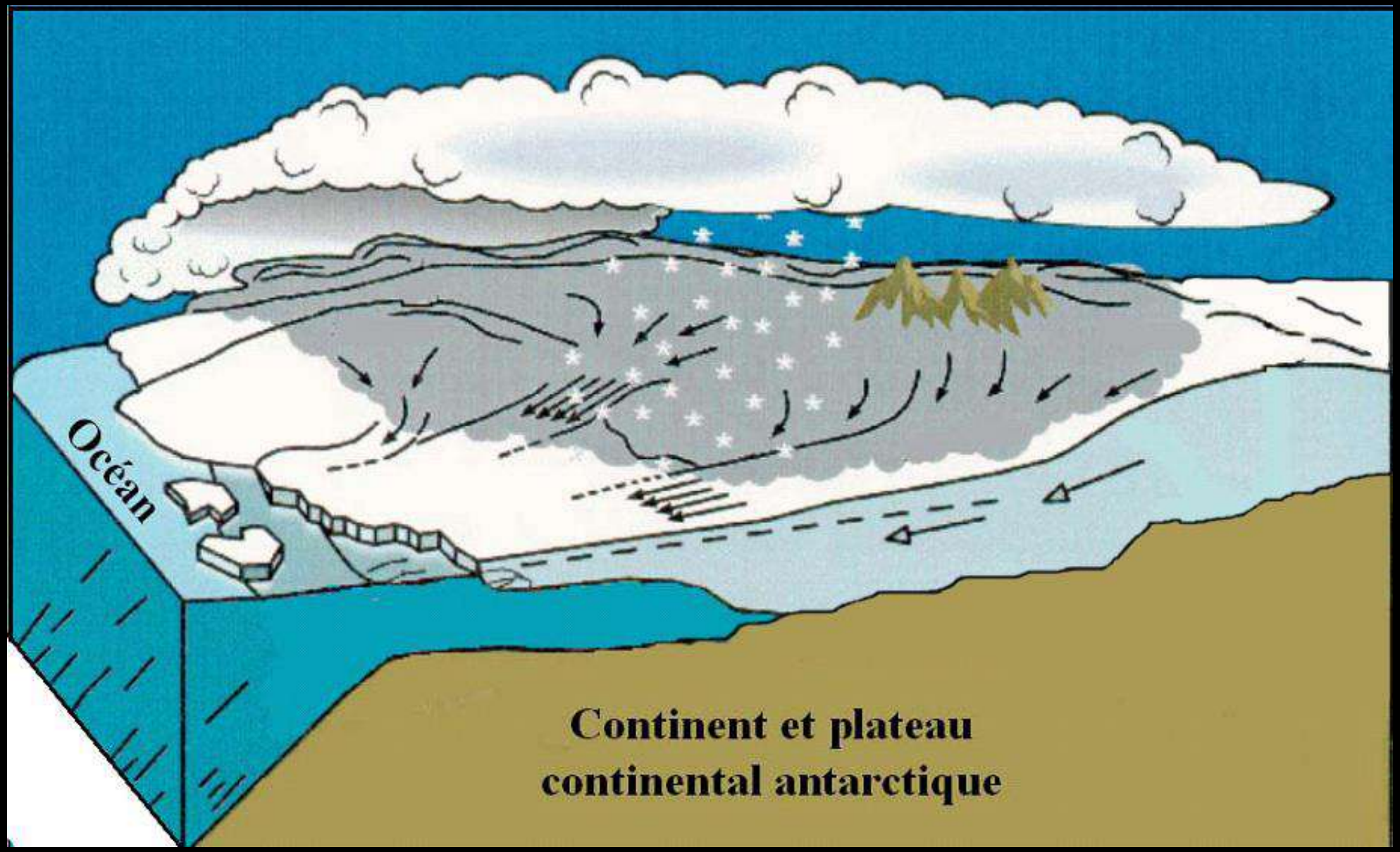


Avec les satellites, on peut mesurer les variations de masse « sous lui », et les convertir en hauteur de glace en plus ou moins (en moins en l'occurrence).

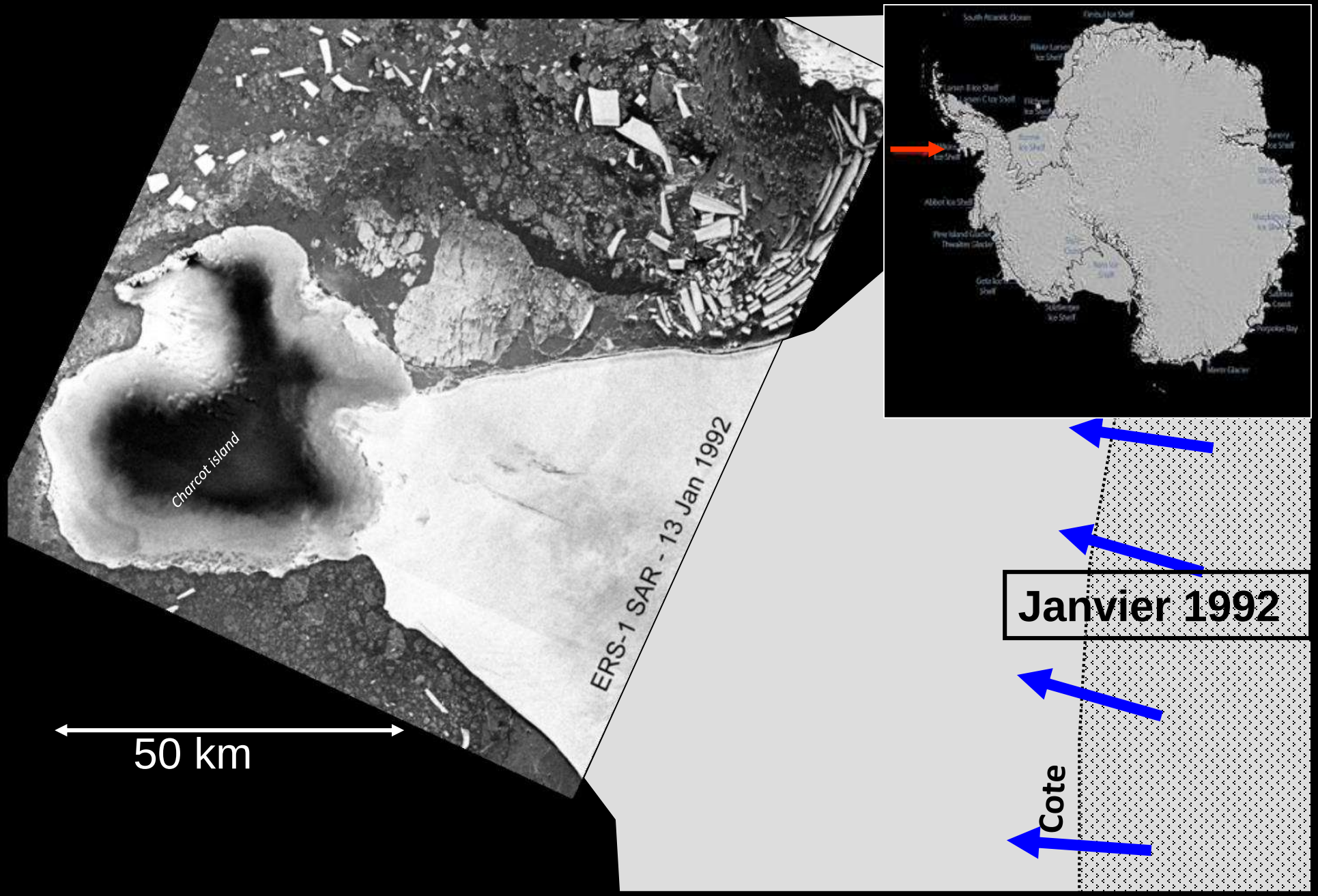


https://twitter.com/lenaertsjan/status/798128755248164864

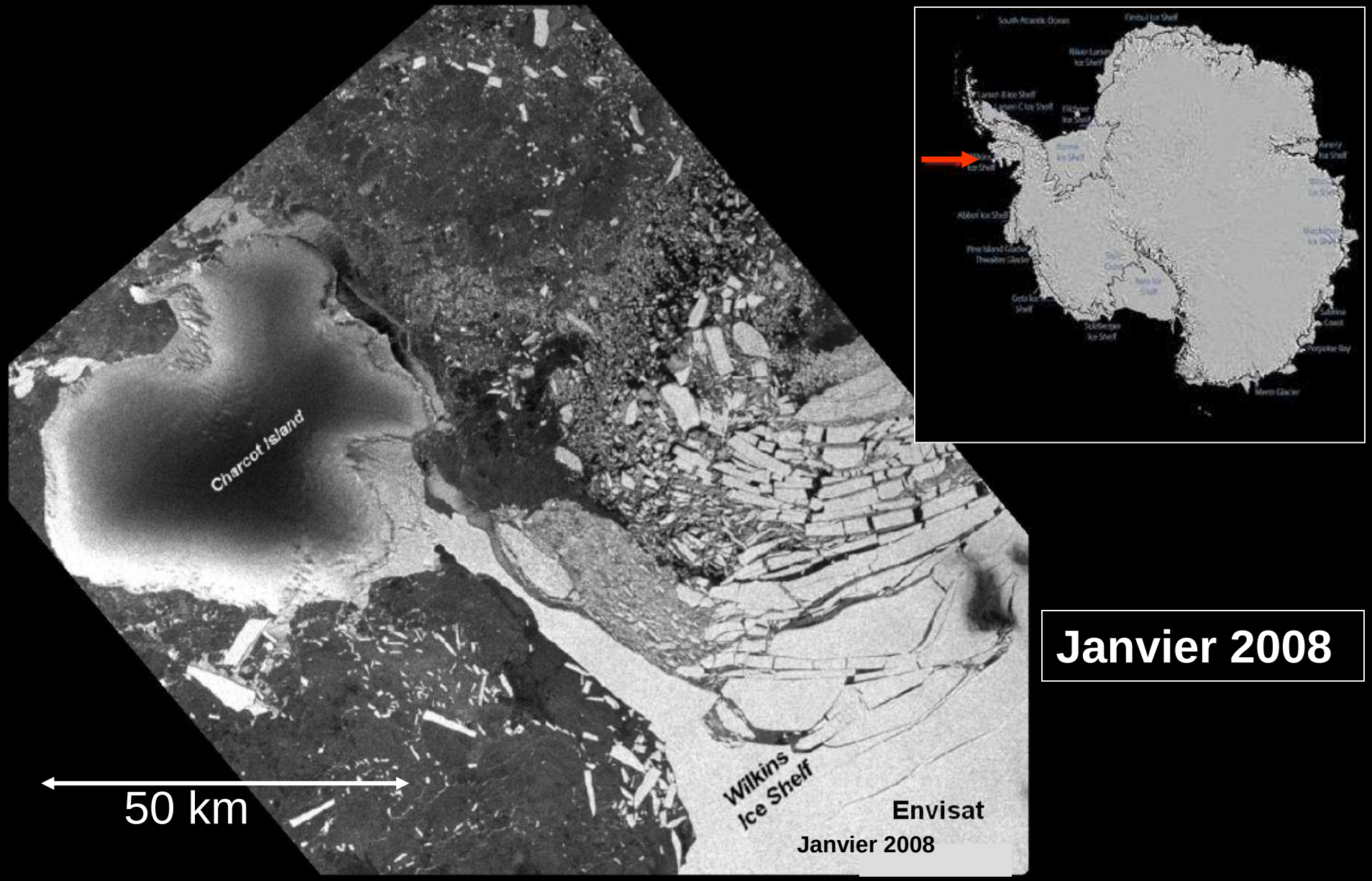
Pour l'instant, le Groenland perd 2,4 fois plus de glace que l'Antarctique.



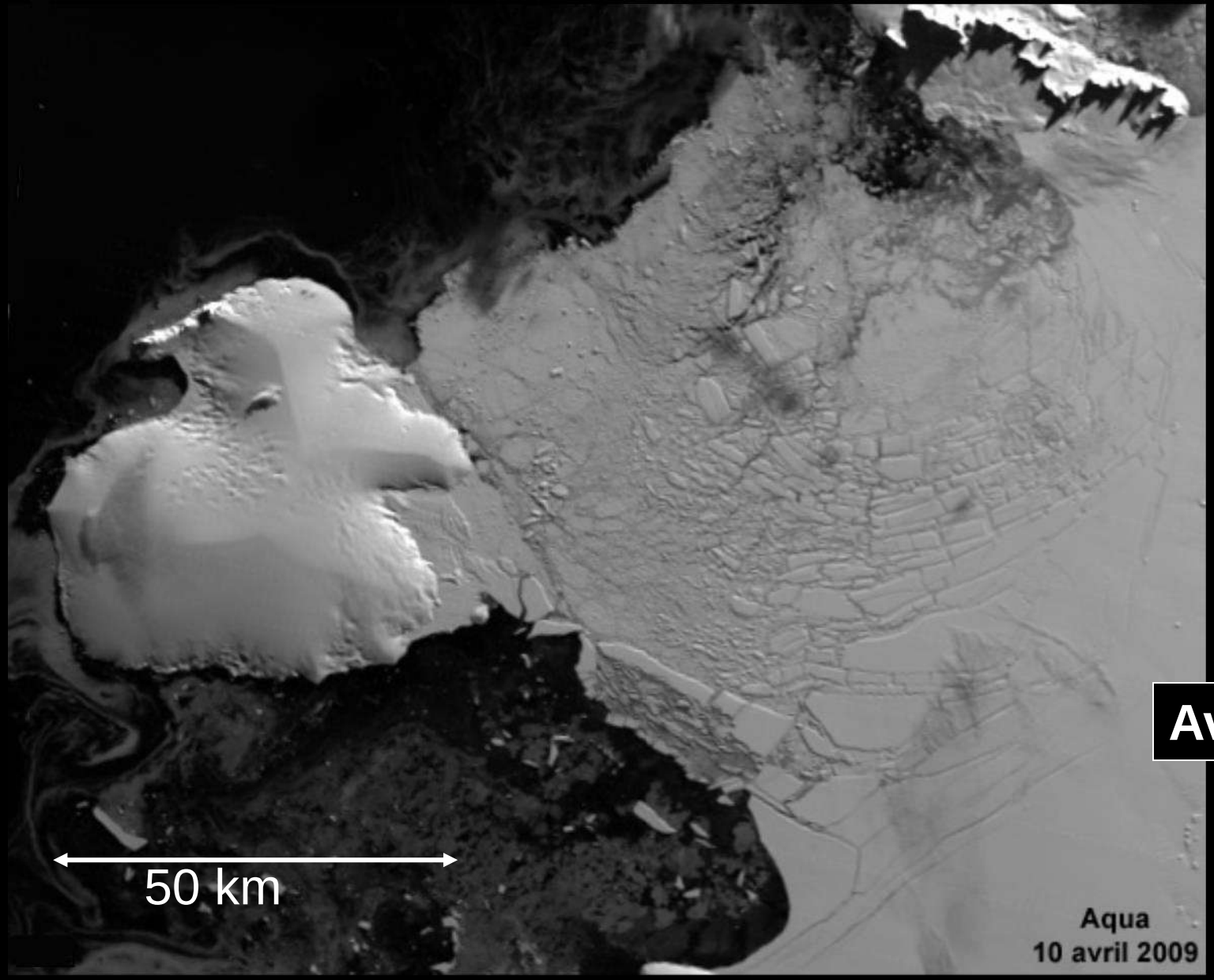
Parfois, un glacier continental « déborde » sur la mer, et forme une plate-forme de glace (ice shelf).

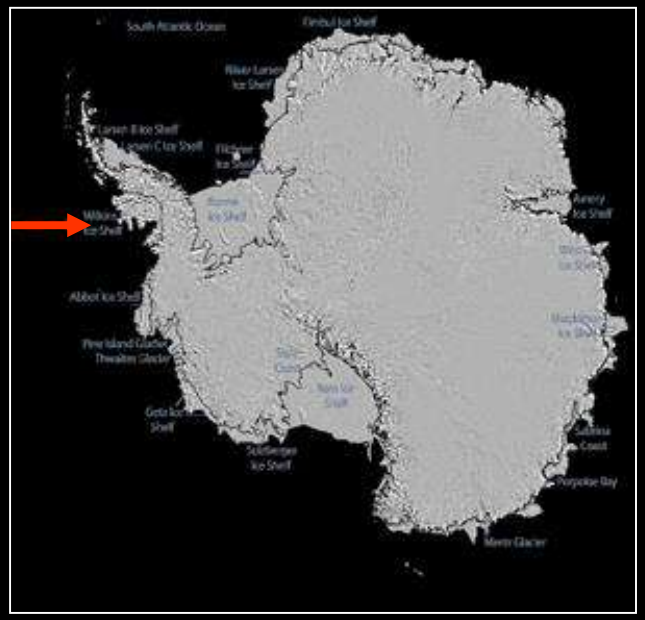


Voici 17 ans d'histoire de la plate-forme Wilkins.



En 16 ans, le fragment de plateforme reliant le continent à l'île Charcot a presque disparu.

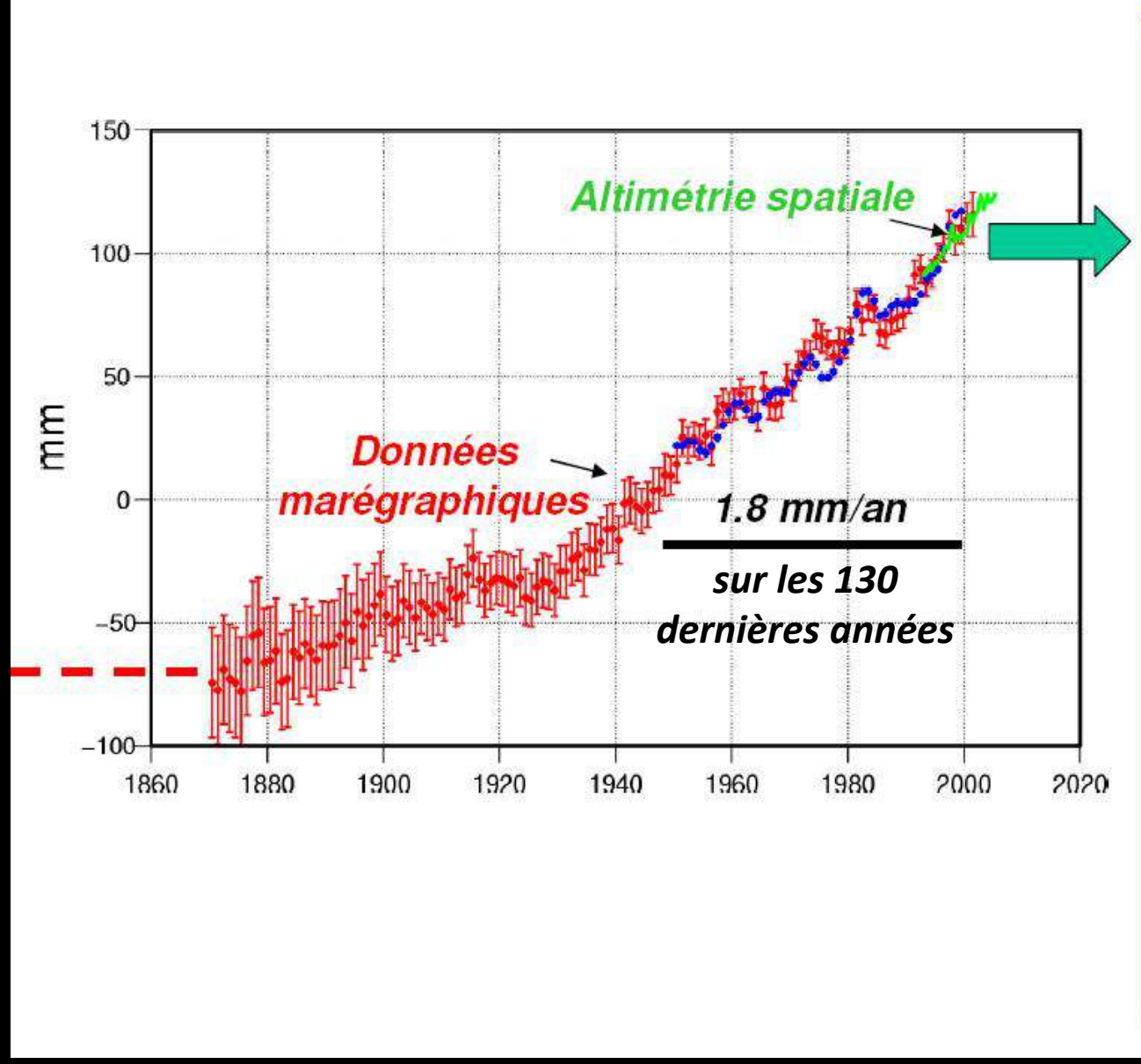


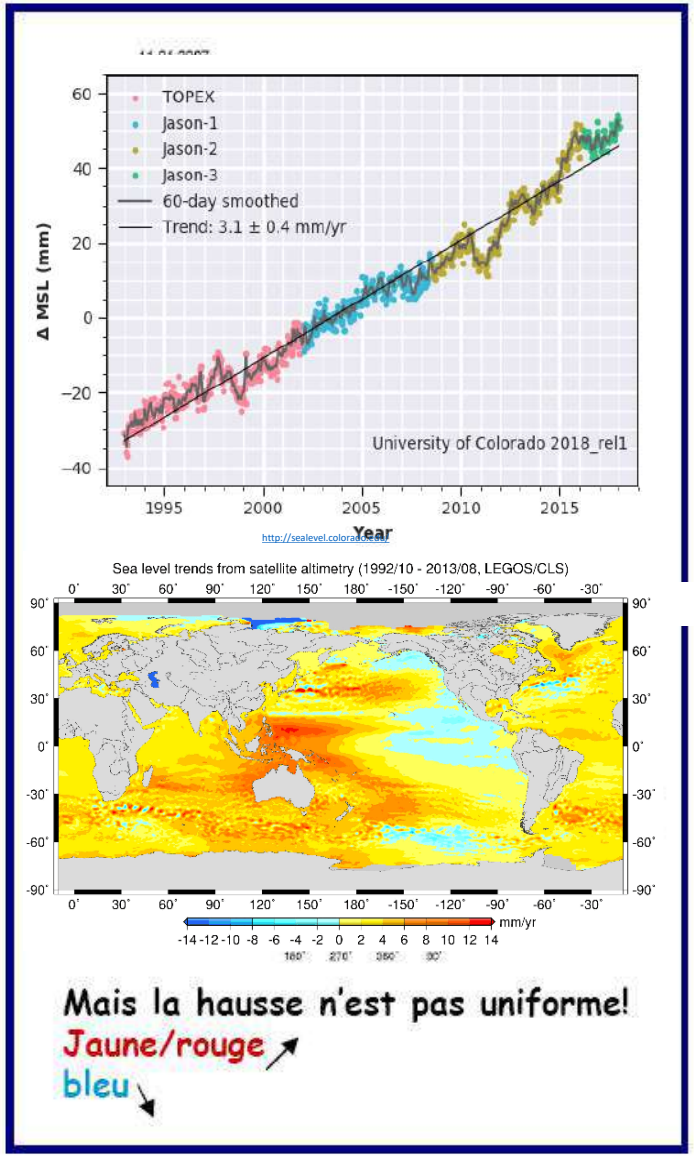


Avril 2009

En avril 2009, 17 ans après la 1ere photo, la plateforme ne rejoint plus l'île Charcot.

Autre donnée : la dilatation thermique des mers. L’eau de mer, comme tous les liquides, se dilate quand sa température augmente. Elle se dilate de 0,026% quand sa température augmente de 1°C. Ce n’est pas beaucoup. Mais si les +1° d’augmentation depuis 1 siècle s’appliquent sur 1 km d’épaisseur, cela fait une augmentation théorique du niveau de la mer de 20 cm. Et il faut rajouter l’eau venant de la fonte des glaciers.





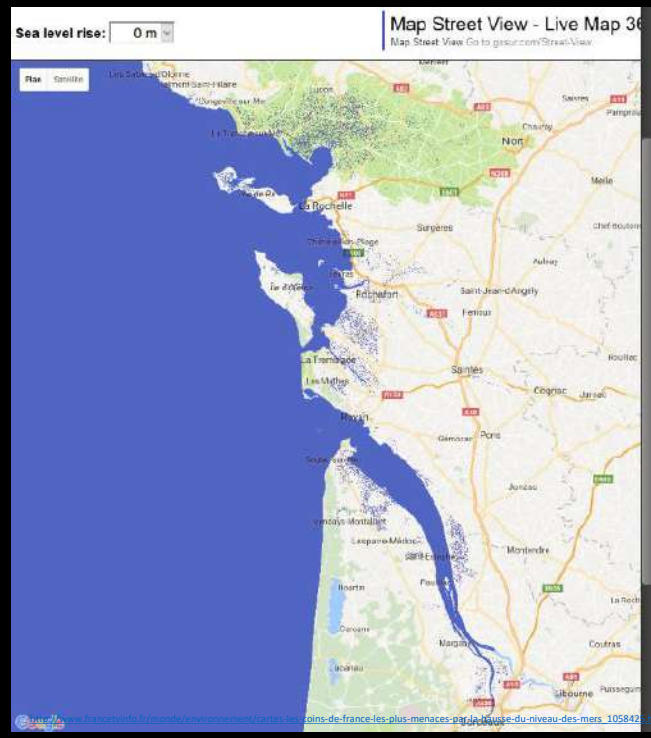
3,1 mm/an sur les 20 dernières années

http://sealevel.colorado.edu

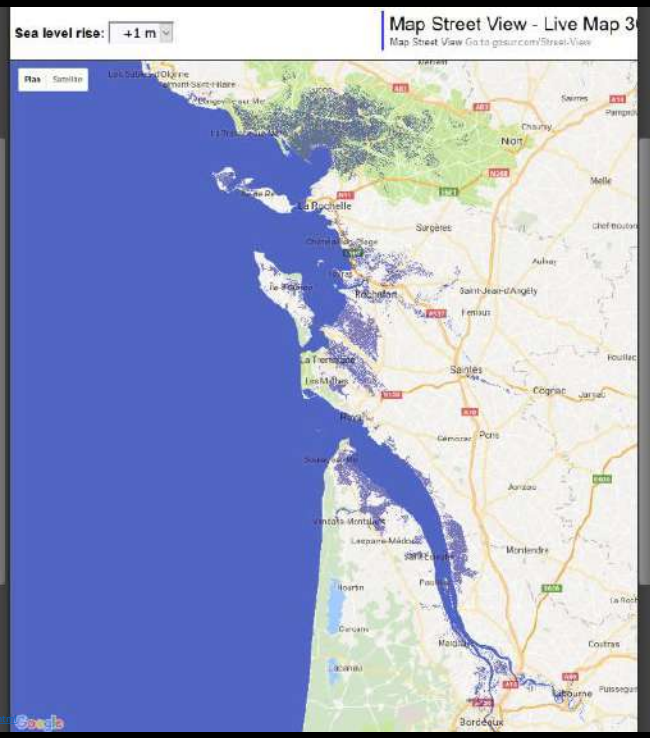
http://www.notre-planete.info/actualites/4243-hausse-niveau-mer-France

Les mesures vérifient la théorie ! La mer est montée de 20 cm depuis le début de la 3ème République.

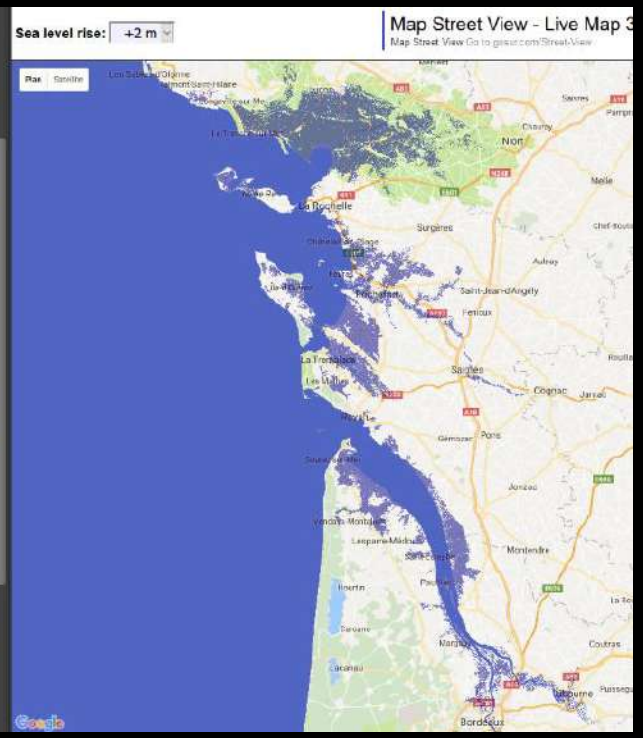
Ce que va devenir le littoral atlantique d'ici 80 ans (là où se baigneront nos petits enfants) si …



La situation actuelle



La situation si on * continue à fonctionner comme maintenant (croissance, pas de révolution énergétique …), bref, le monde selon ce qui se profile.

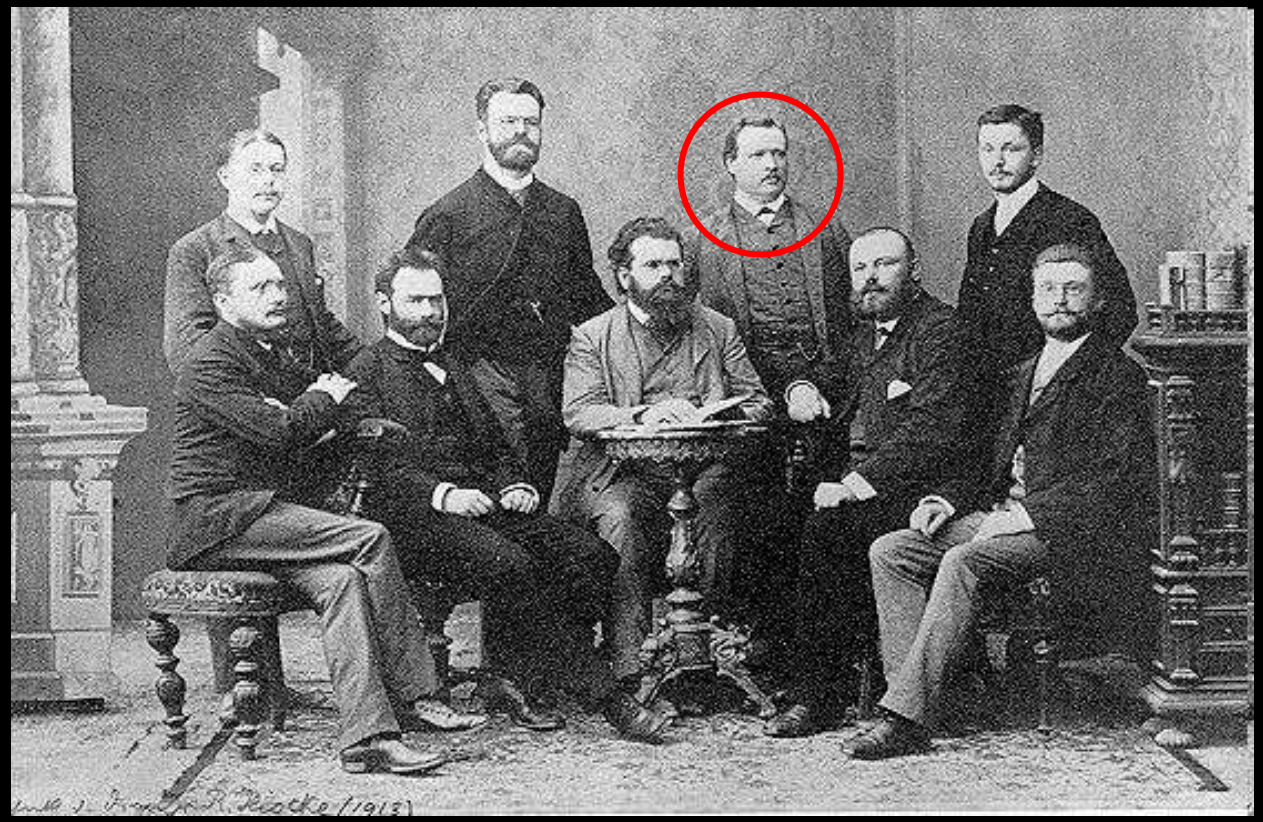


La situation avec un monde selon les électeurs de Trump.

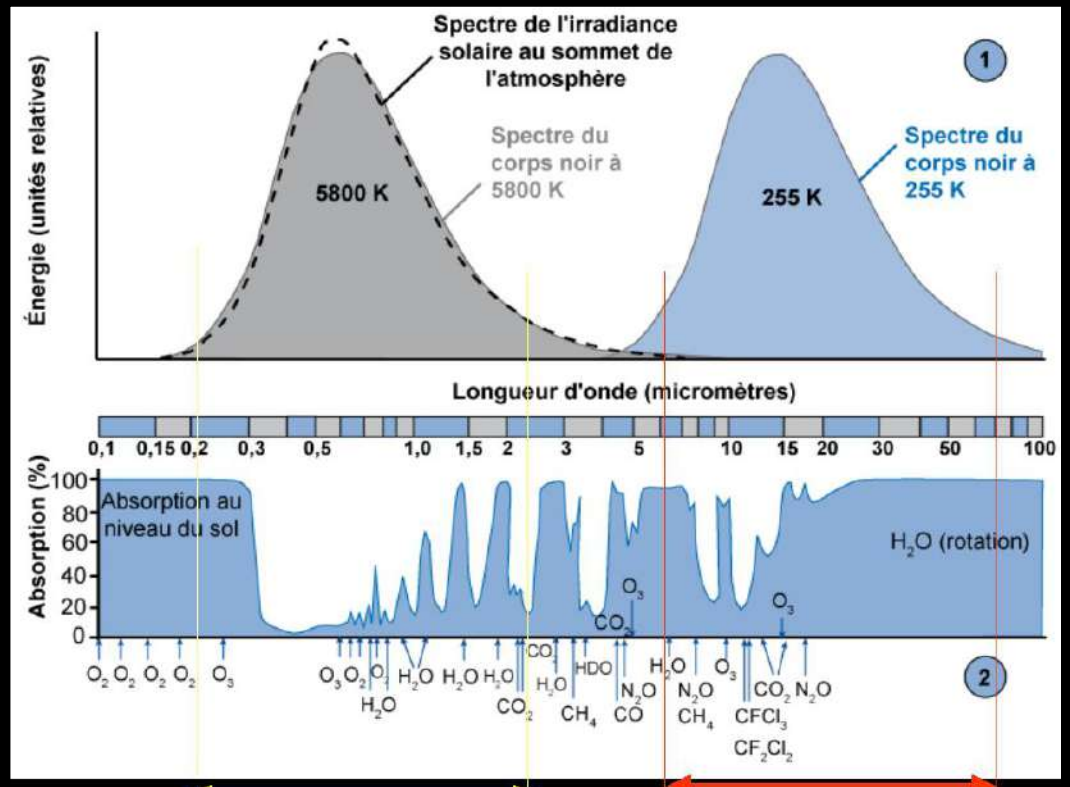
* « On », c'est toute la planète, et pas que nous, en particulier la Chine, les USA, l'Inde …, mais nous aussi.

Un des « mis en examen » : le gaz carbonique (CO_2), qui, avec d'autres gaz, cause un effet de serre supplémentaire.

Pourquoi accuse-t-on, entre autres, le CO_2 ?



La physique de l'effet de serre est « bien » connue depuis Svante Arrhenius (1859-1927)



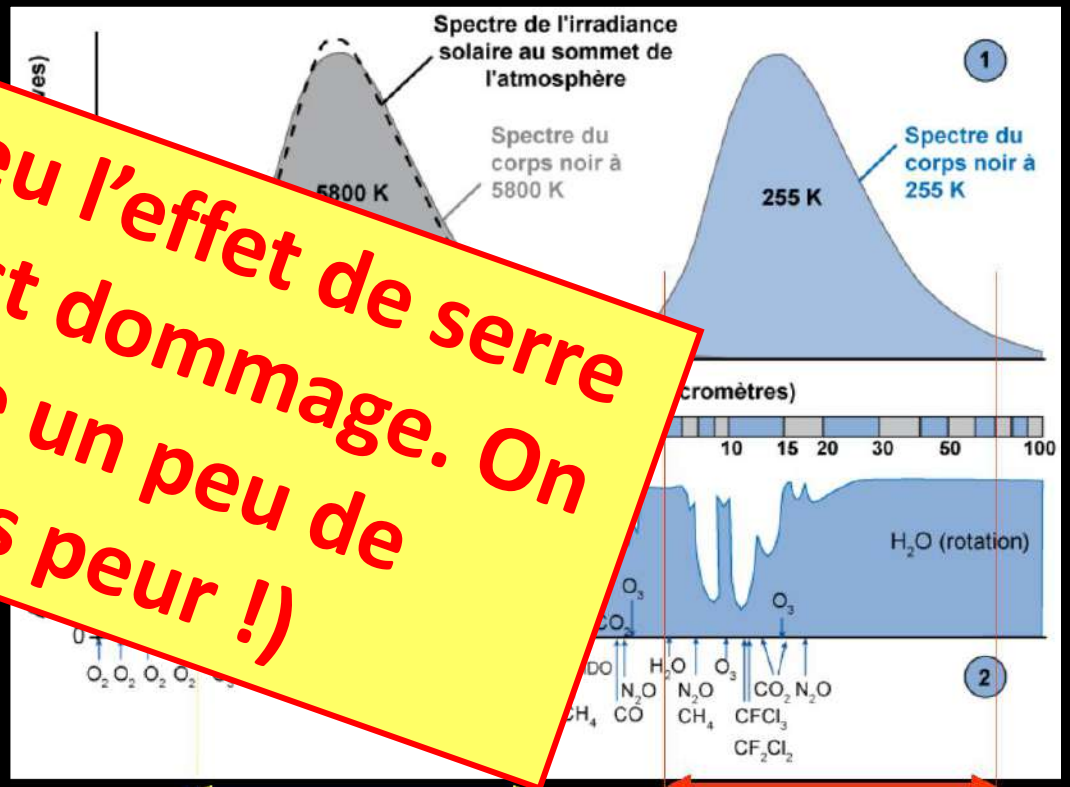
L'atmosphère est principalement transparente à la lumière incidente

L'atmosphère est majoritairement opaque aux Infra-Rouges ré-émis par la Terre

Et dès la fin du 19ème siècle, on se disait que le CO_2 atmosphérique et d'autres gaz à effet de serre devait « naturellement » rendre la Terre plus chaude qu'elle serait sans cet effet de serre.

La physique de l'effet de serre est « bien » connue depuis Svante Arrhenius (1859-1927)

Je ne détaillerai que peu l'effet de serre (faute de temps), et c'est dommage. On va quand même faire un peu de physique (n'ayez pas peur !)



L'atmosphère est principalement transparente à la lumière incidente

L'atmosphère est majoritairement opaque aux Infra-Rouges ré-émis par la Terre

Et dès la fin du 19ème siècle, on disait que le CO_2 atmosphérique et d'autres gaz à effet de serre devait « naturellement » rendre la Terre plus chaude qu'elle serait sans cet effet de serre.

TEMPERATURE ET ENERGIE/PUISSANCE

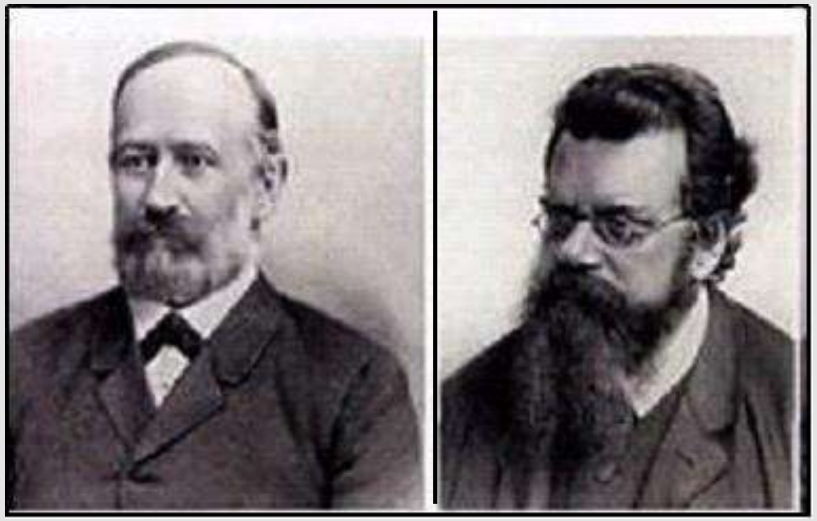
Un corps qui a une température > 0 K (0 K = -273°C) émet un rayonnement électromagnétique.

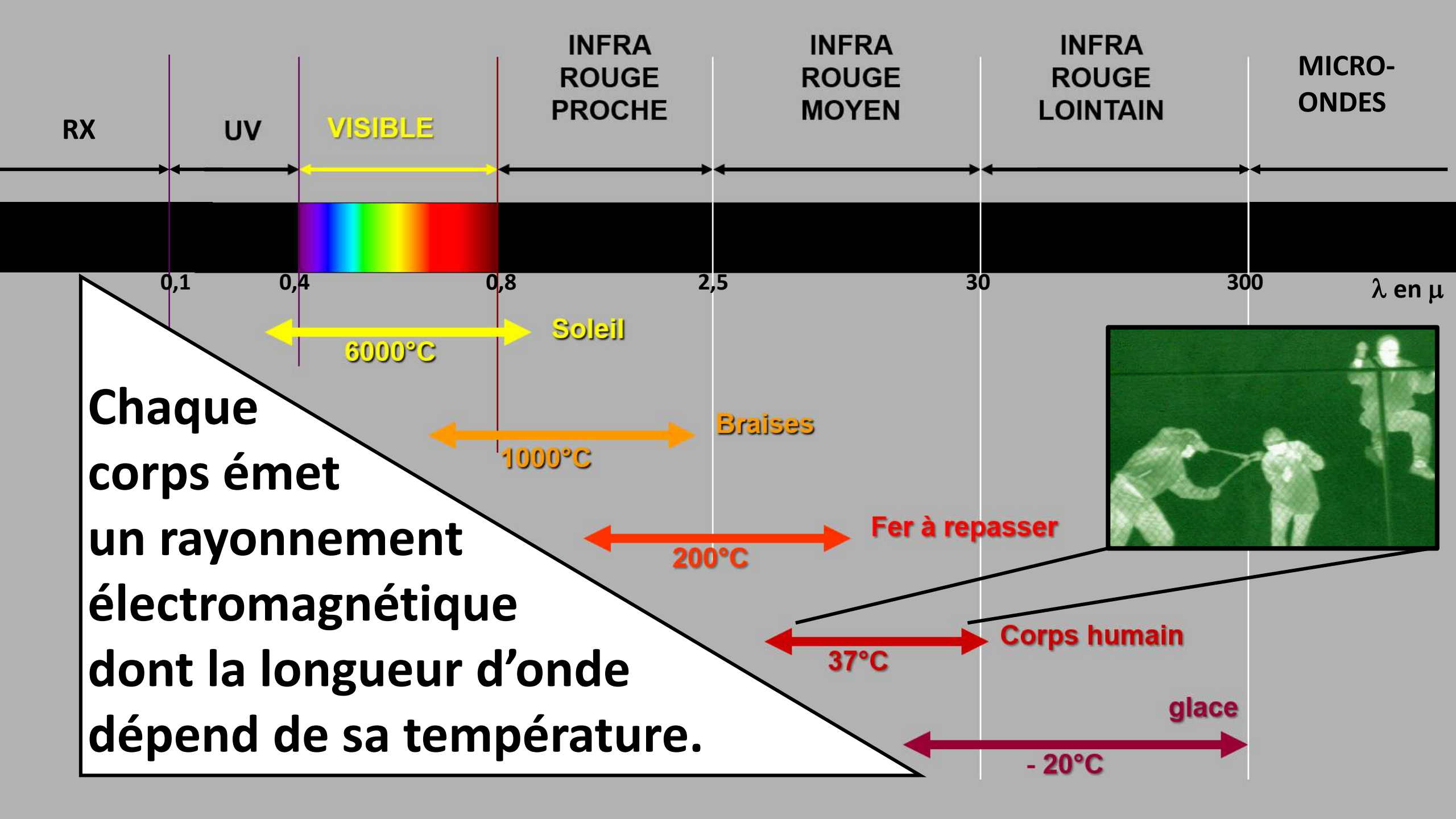
La puissance émise (en W / m^2) est égale à :

$W = \sigma T^4$ (loi de Stephan),

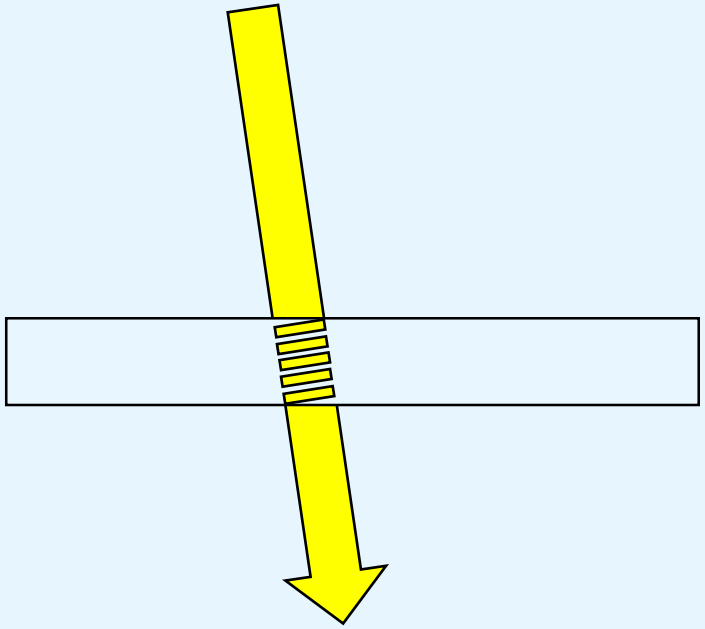
avec σ = Constante de Boltzmann = 5,67 W.m^{-2}.K^{-4}

Plus un corps est chaud, plus il émet d'énergie par unité de temps.

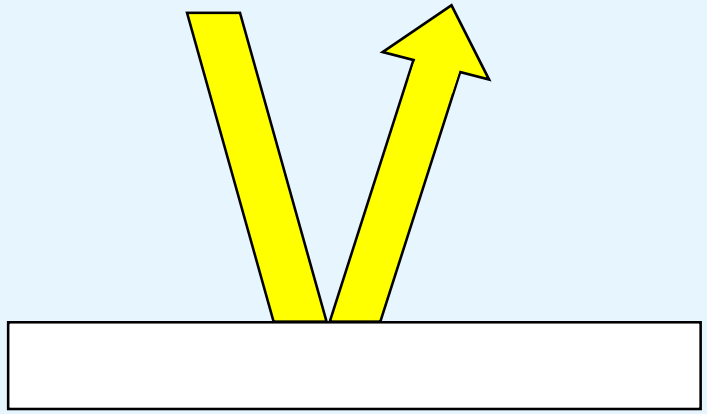



RX
UV
VISIBLE
INFRA ROUGE PROCHE
INFRA ROUGE MOYEN
INFRA ROUGE LOINTAIN
MICRO-ONDES
0,1
0,4
0,8
2,5
30
300
λ en μ
Soleil
6000°C
Braises
1000°C
Fer à repasser
200°C
Corps humain
37°C
glace
- 20°C
Chaque corps émet un rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde dépend de sa température.

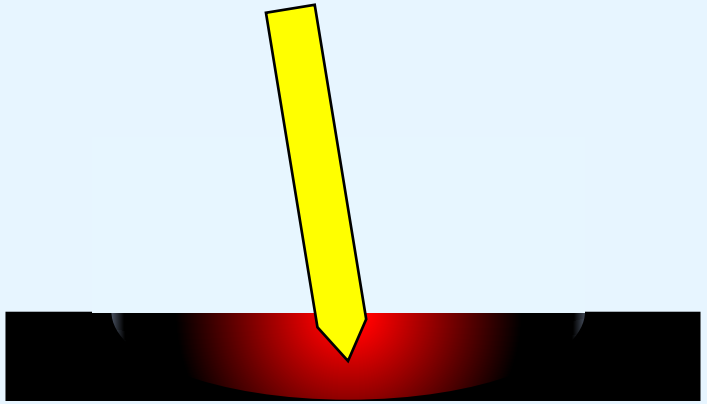
Que devient l'énergie d'un rayonnement qui arrive sur un corps ? Trois solutions principales, et toutes les combinaisons possibles !



Corps transparent. L'énergie du rayonnement traverse le corps sans le réchauffer.



Corps réfléchissant (ou blanc). L'énergie du rayonnement « rebondit » sur le corps sans le réchauffer.



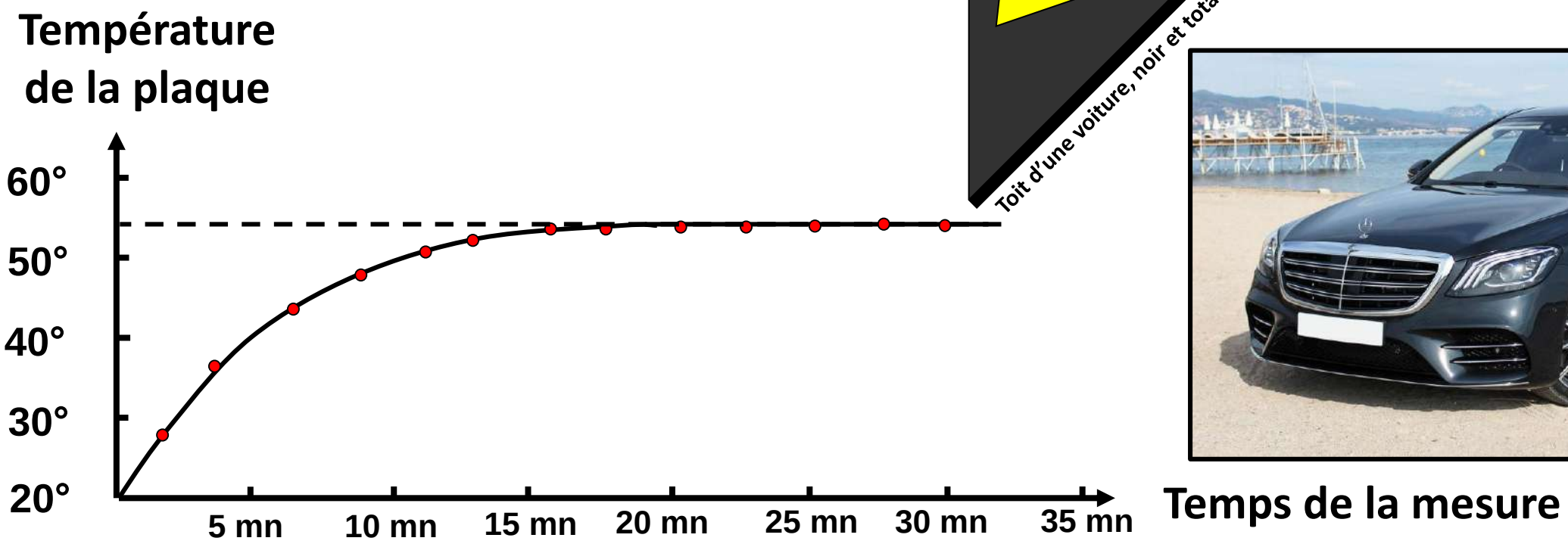
Corps opaque totalement absorbant (noir). L'énergie du rayonnement absorbé réchauffe le corps.

Ces propriétés varient en fonction de la longueur d'onde.

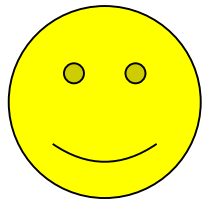
NOTION DE TEMPERATURE D'EQUILIBRE

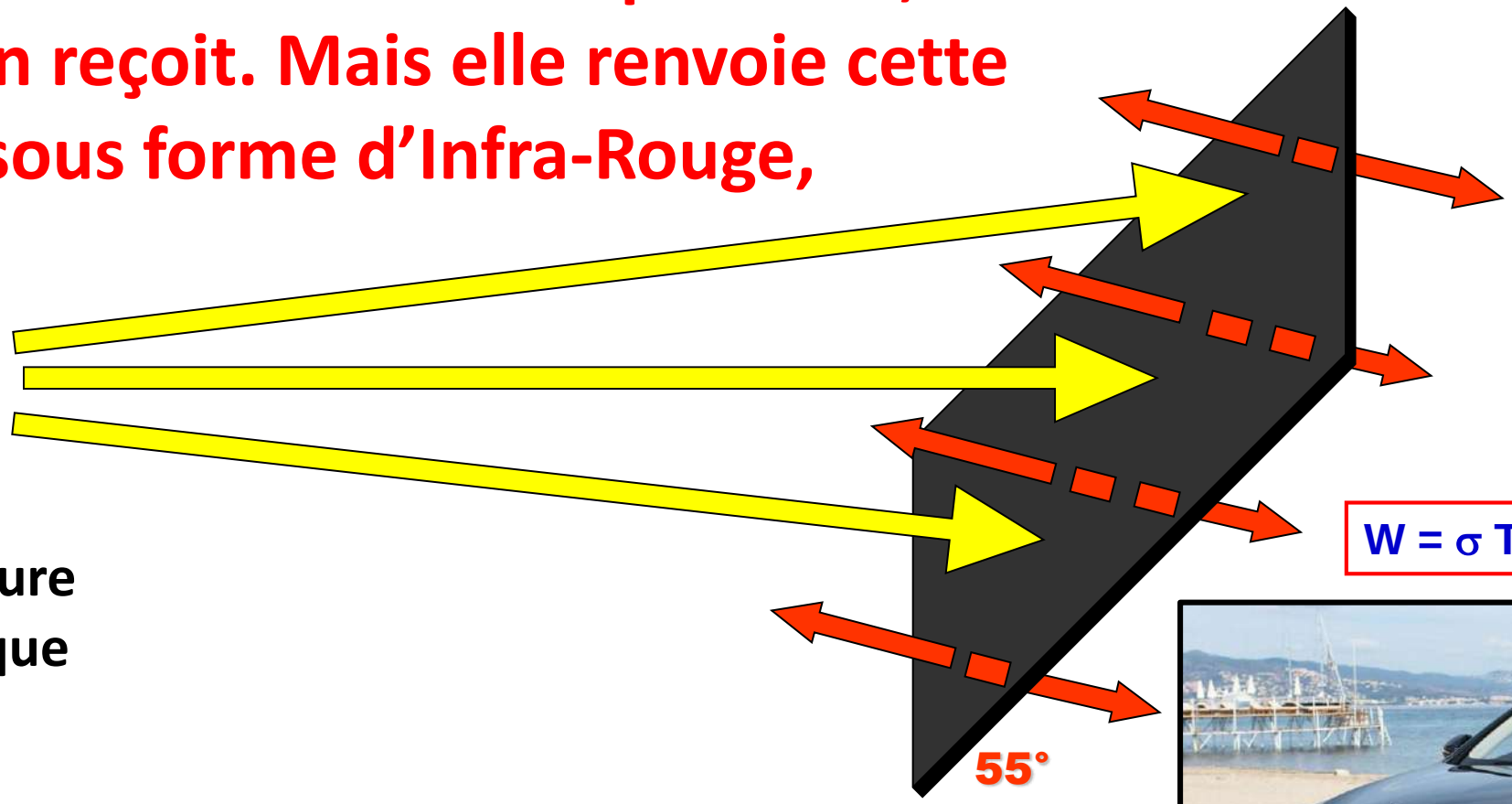
La température d'une plaque noire au soleil augmente, d'abord vite, puis lentement, puis reste constante. Pourquoi ?

La température augmente car le « noir » absorbe le rayonnement. Mais pourquoi ça s'arrète de monter au bout d'une vingtaine de minutes ?

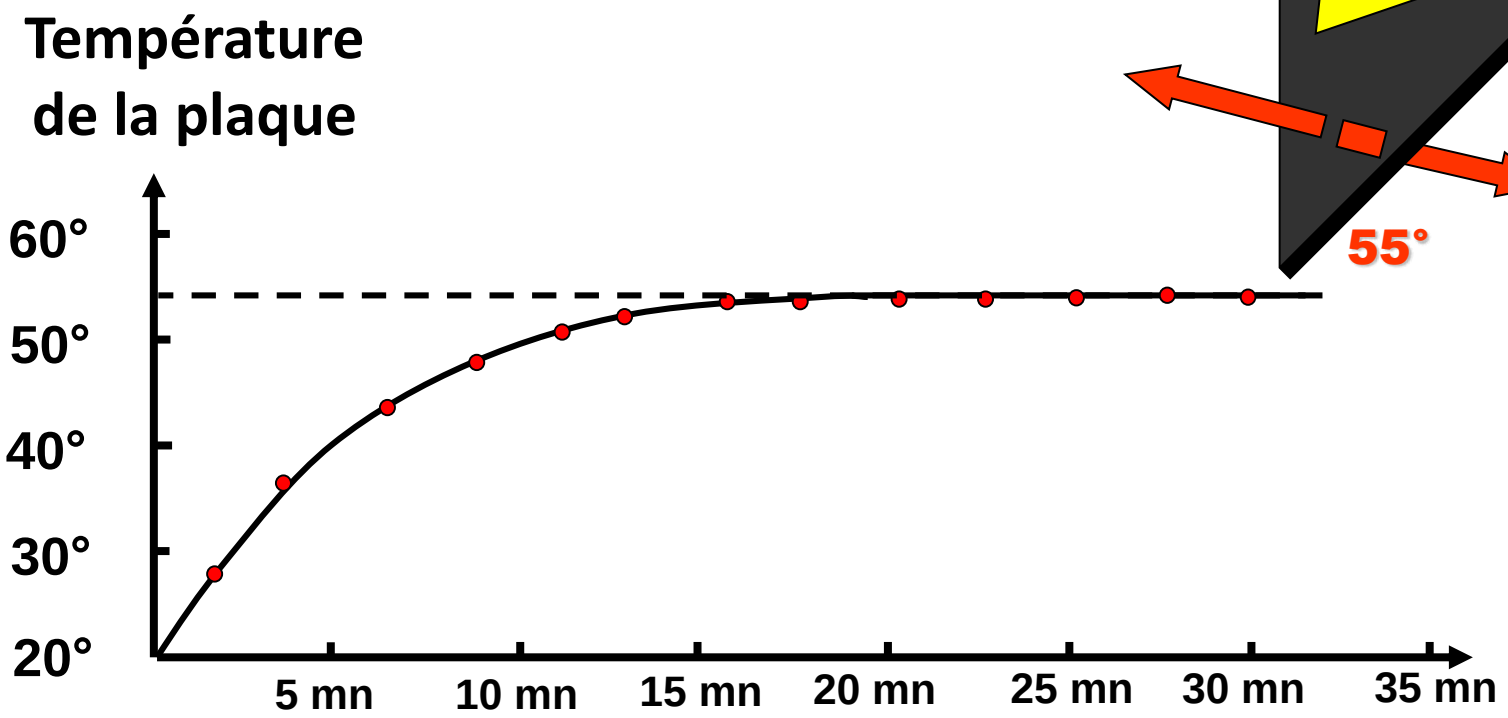


Parce qu'à une certaine température, elle renvoie autant d'énergie qu'elle en reçoit. Mais elle renvoie cette énergie sous forme d'Infra-Rouge, invisible





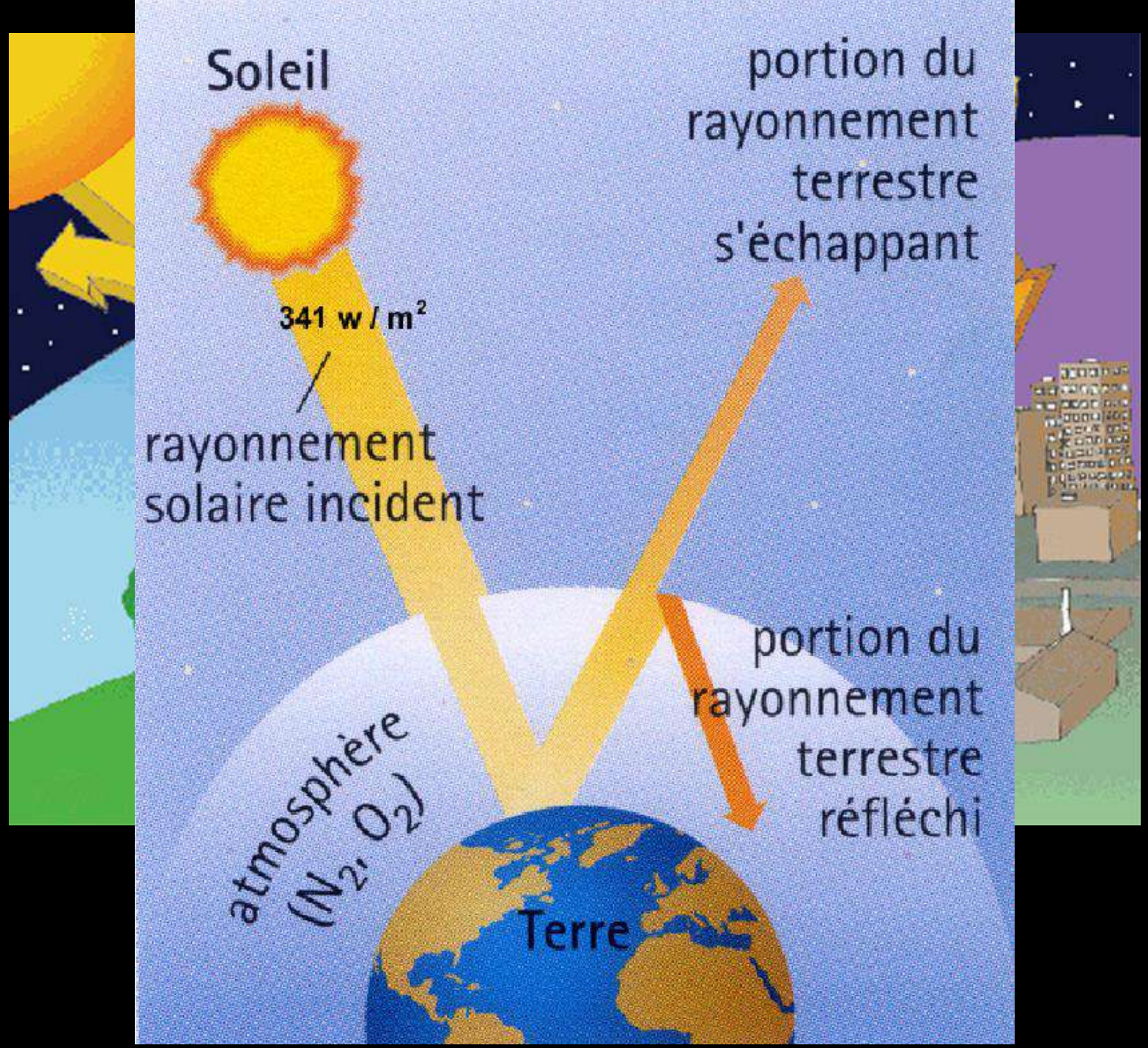
$$W = \sigma T^4$$



Qu’est-ce que l’effet de serre ?

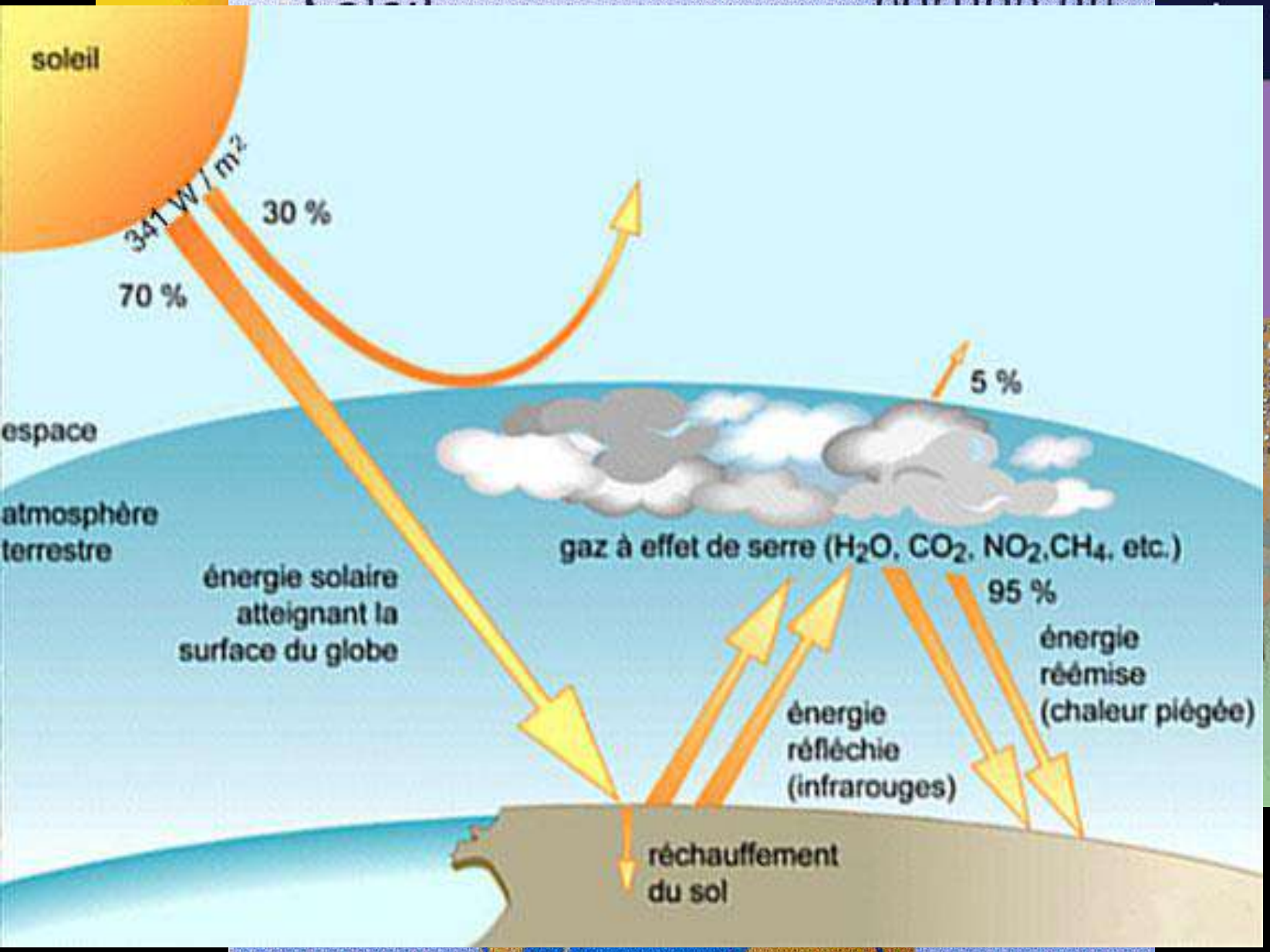
La croyance populaire : l’atmosphère, comme la vitre d’une serre, arrête les Infra-Rouge et retient la chaleur ! Le paradoxe : la Terre, comme toutes serres, renvoie vers l’extérieur autant d’énergie qu’elle en reçoit du soleil.

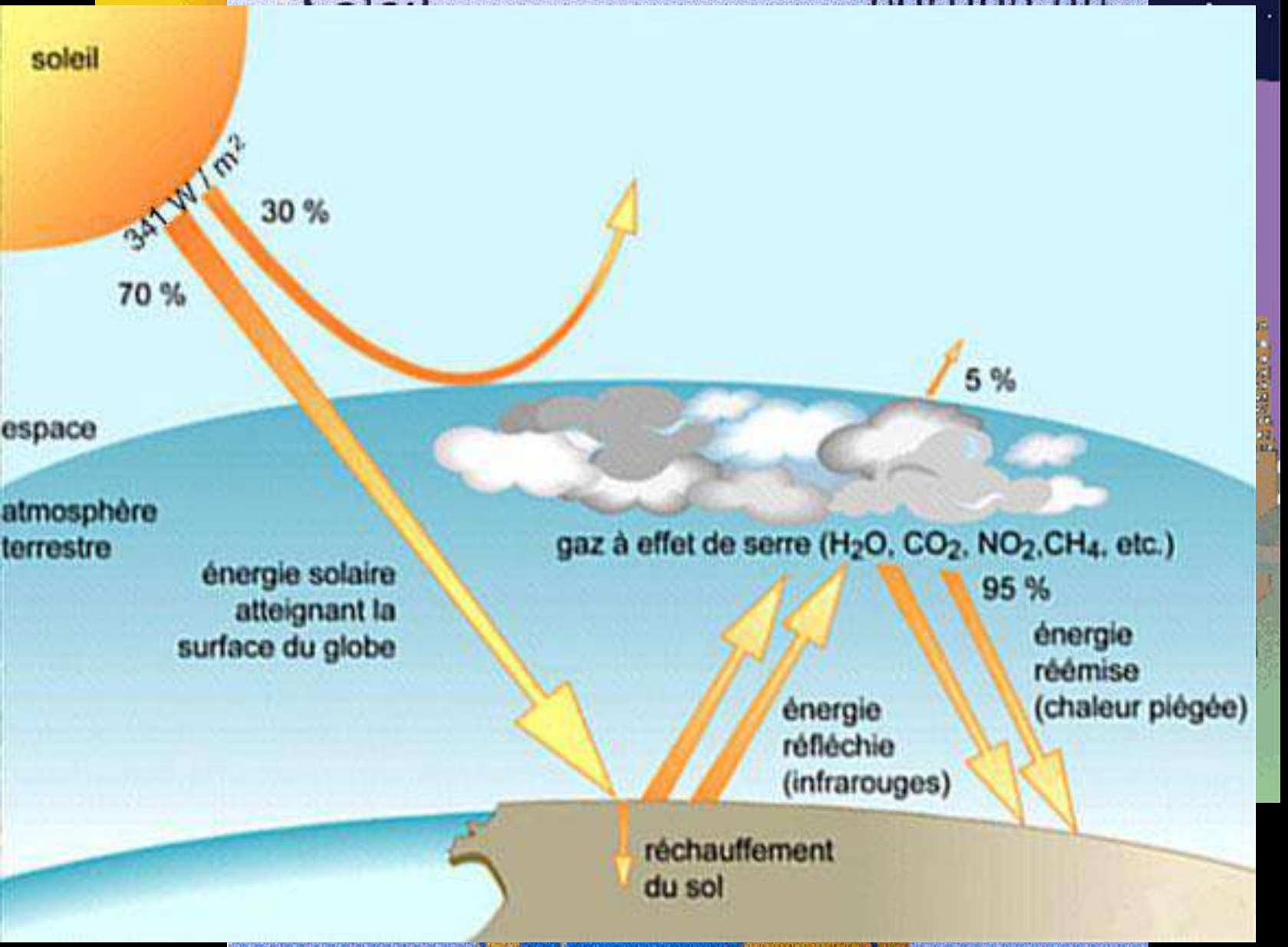
Ce que n’est pas l’effet de serre !



Ce que n'est pas l'effet de serre !

Ce que n’est pas l’effet de serre !





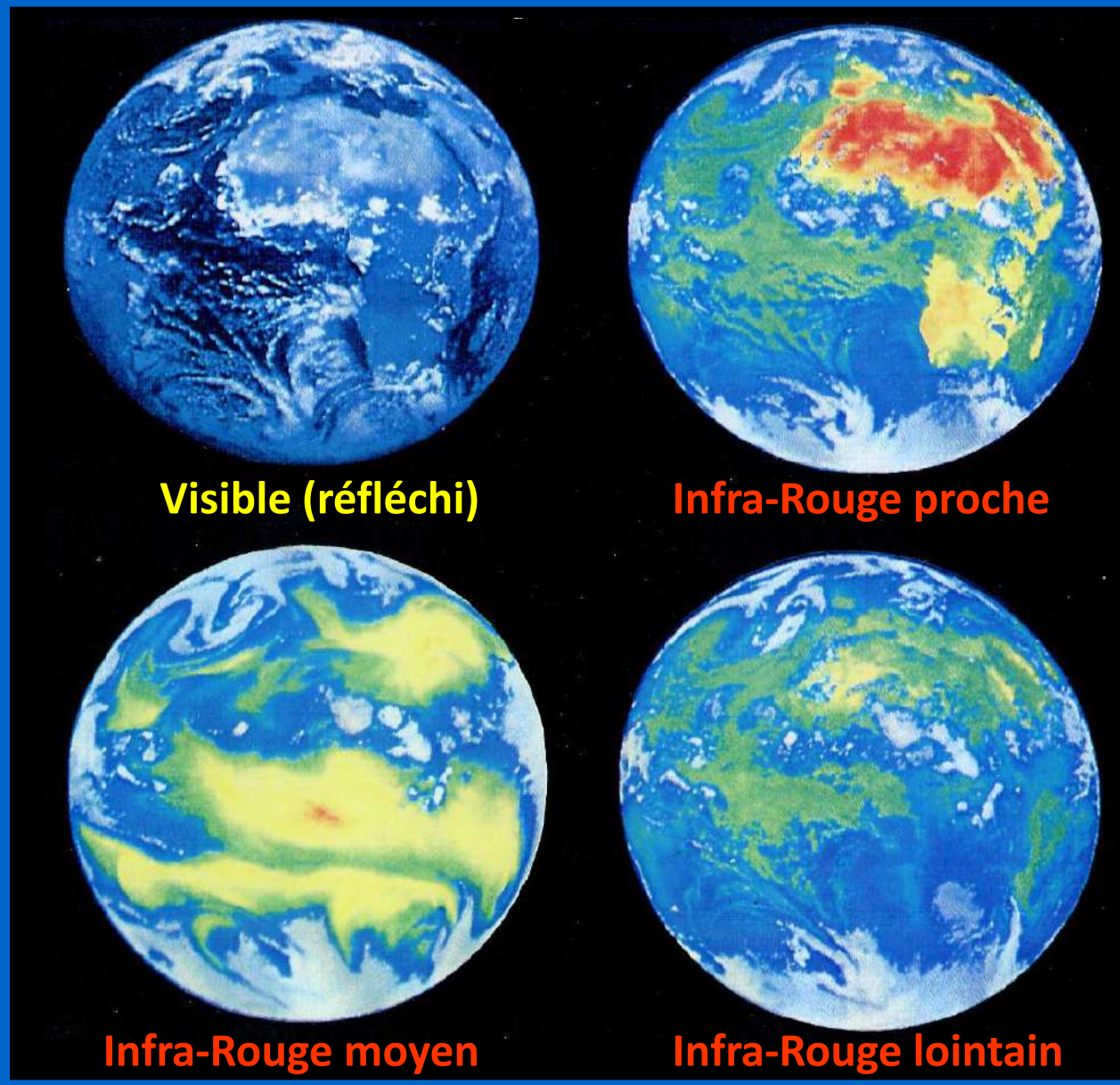
Ce que n'est pas l'effet de serre !

Sur ces schémas comme vous avez déjà du en voir partout, comme les médias nous ont abreuvé pendant la COP 21, sur les 341 W/m² qui arrivent, il en reste environ la moitié, ici 63,5% ≈ 200 W/m², Watts qui « doivent » être absorbés puisqu'ils ne repartent pas. Si ces Watts sont absorbés, la température doit augmenter. A ce rythme, il faudrait environ 10^{11} secondes pour porter tout l'océan à l'ébullition (100°C), soit environ 5 000 ans !

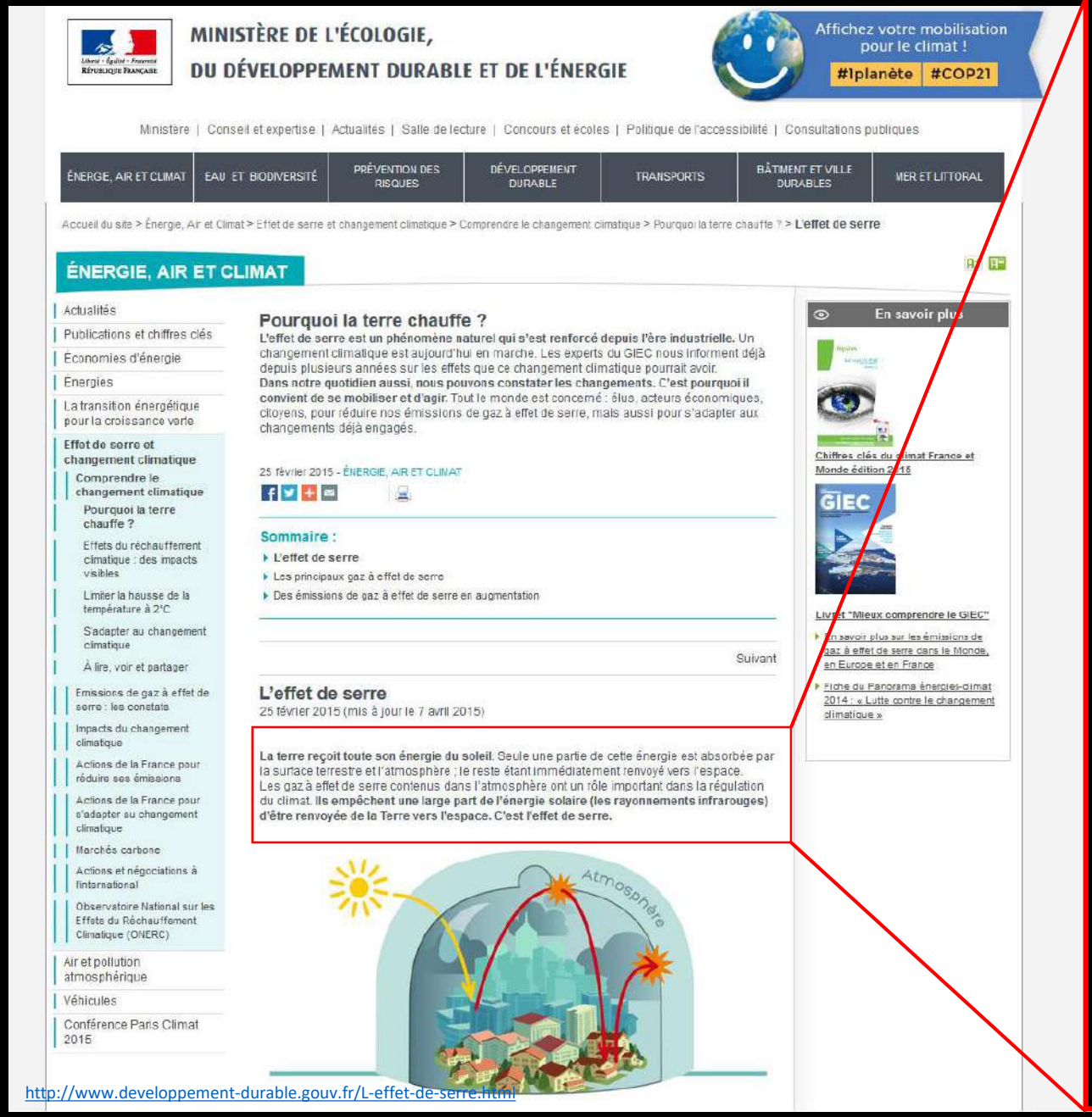
Intellectuellement, il doit y avoir équilibre sur le long terme.
Et, heureusement, c'est ce qu'on peut mesurer par satellite !

≈ 341 W /m²
moyenne jour-nuit, été-hiver, pôles-équateur

≈ 341 W / m²
total du rayonnement réfléchi + Infra-Rouge ré-émis



Exemple de « gens » qui n’y ont rien compris !



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Affichez votre mobilisation pour le climat ! #1planète #COP21

Ministère | Conseil et expertise | Actualités | Salle de lecture | Concours et écoles | Politique de l'accessibilité | Consultations publiques

ÉNERGIE, AIR ET CLIMAT | EAU ET BIODIVERSITÉ | PRÉVENTION DES RISQUES | DÉVELOPPEMENT DURABLE | TRANSPORTS | BÂTIMENT ET VILLE DURABLES | MER ET LITTORAL

Accueil du site > Énergie, Air et Climat > Effet de serre et changement climatique > Comprendre le changement climatique > Pourquoi la terre chauffe ? > L'effet de serre

ÉNERGIE, AIR ET CLIMAT

- Actualités
- Publications et chiffres clés
- Économies d'énergie
- Énergies
- La transition énergétique pour la croissance verte
- Effet de serre et changement climatique
  - Comprendre le changement climatique
    - Pourquoi la terre chauffe ?
    - Effets du réchauffement climatique : des impacts visibles
    - Limiter la hausse de la température à 2°C
    - S'adapter au changement climatique
    - À lire, voir et partager
  - Émissions de gaz à effet de serre : les constats
  - Impacts du changement climatique
  - Actions de la France pour réduire ses émissions
  - Actions de la France pour s'adapter au changement climatique
  - Marchés carbone
  - Actions et négociations à l'international
  - Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC)
- Air et pollution atmosphérique
- Véhicules
- Conférence Paris Climat 2015

Pourquoi la terre chauffe ?

L'effet de serre est un phénomène naturel qui s'est renforcé depuis l'ère industrielle. Un changement climatique est aujourd'hui en marche. Les experts du GIEC nous informent déjà depuis plusieurs années sur les effets que ce changement climatique pourrait avoir.
Dans notre quotidien aussi, nous pouvons constater les changements. C'est pourquoi il convient de se mobiliser et d'agir. Tout le monde est concerné : élus, acteurs économiques, citoyens, pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre, mais aussi pour s'adapter aux changements déjà engagés.

25 février 2015 - ÉNERGIE, AIR ET CLIMAT

Sommaire :
- L'effet de serre
- Les principaux gaz à effet de serre
- Des émissions de gaz à effet de serre en augmentation

Suivant

L'effet de serre

25 février 2015 (mis à jour le 7 avril 2015)

La terre reçoit toute son énergie du soleil. Seule une partie de cette énergie est absorbée par la surface terrestre et l'atmosphère ; le reste étant immédiatement renvoyé vers l'espace.
Les gaz à effet de serre contenus dans l'atmosphère ont un rôle important dans la régulation du climat. **Ils empêchent une large part de l'énergie solaire (les rayonnements infrarouges) d'être renvoyée de la Terre vers l'espace. C'est l'effet de serre.**

En savoir plus

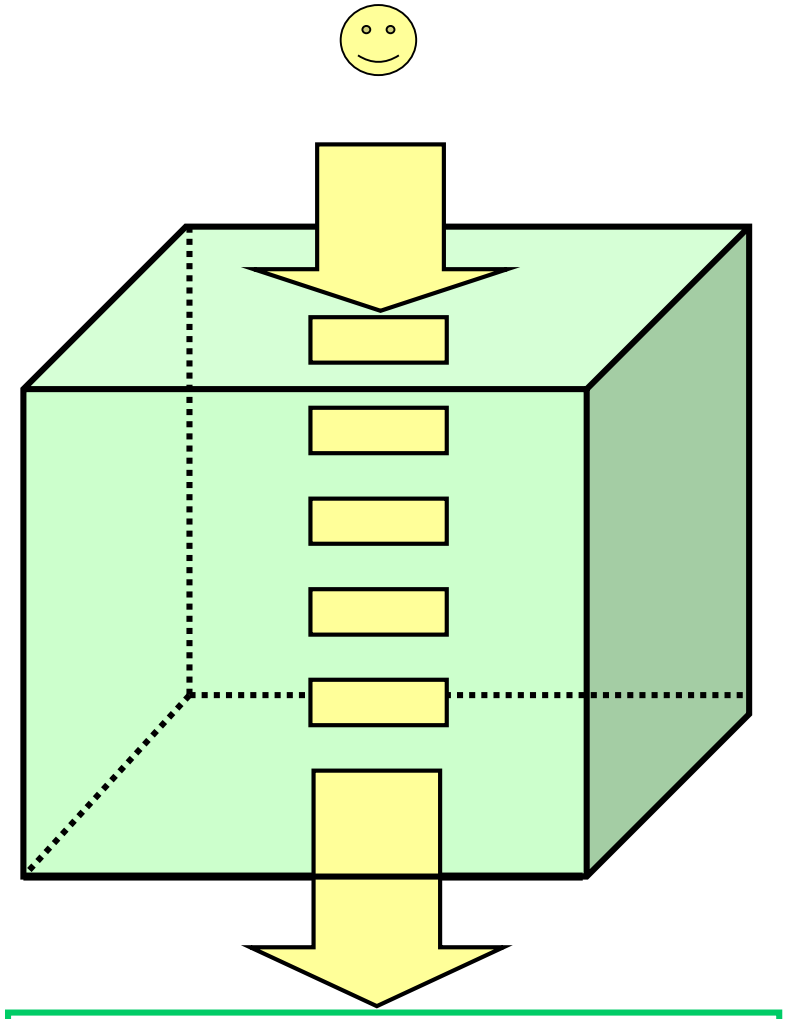
Chiffres clés du climat France et Monde édition 2015

Livret "Mieux comprendre le GIEC"

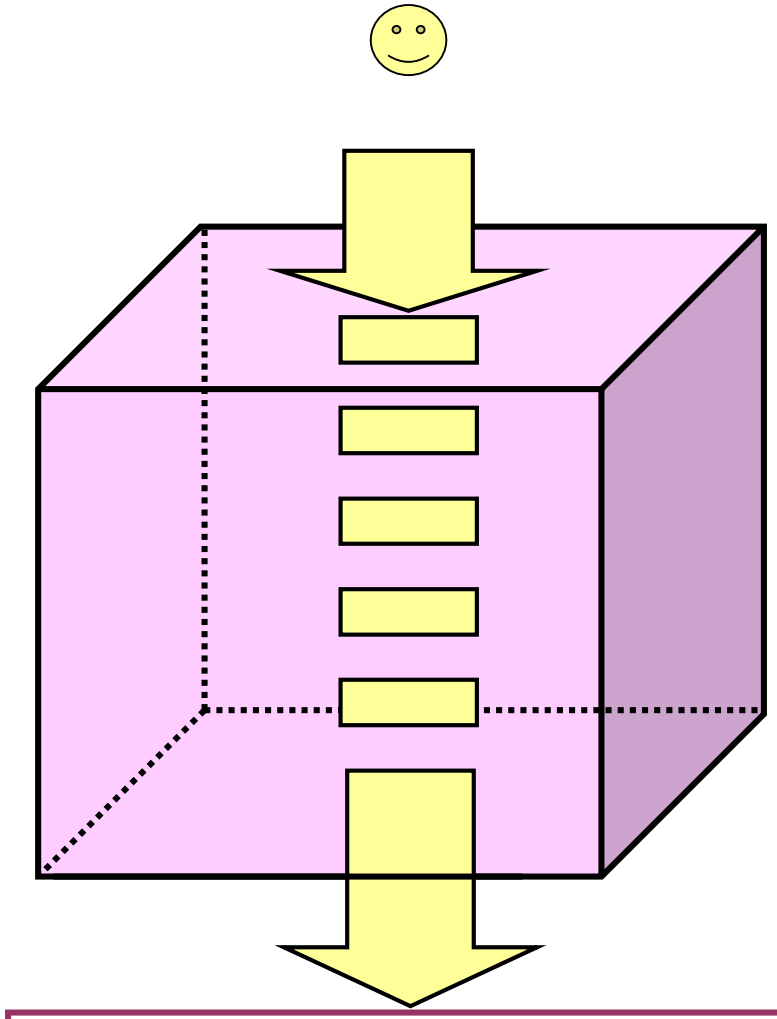
- En savoir plus sur les émissions de gaz à effet de serre dans le Monde, en Europe et en France
- Fiche du Panorama énergies-climat 2014 : « Lutte contre le changement climatique »

http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-effet-de-serre.html

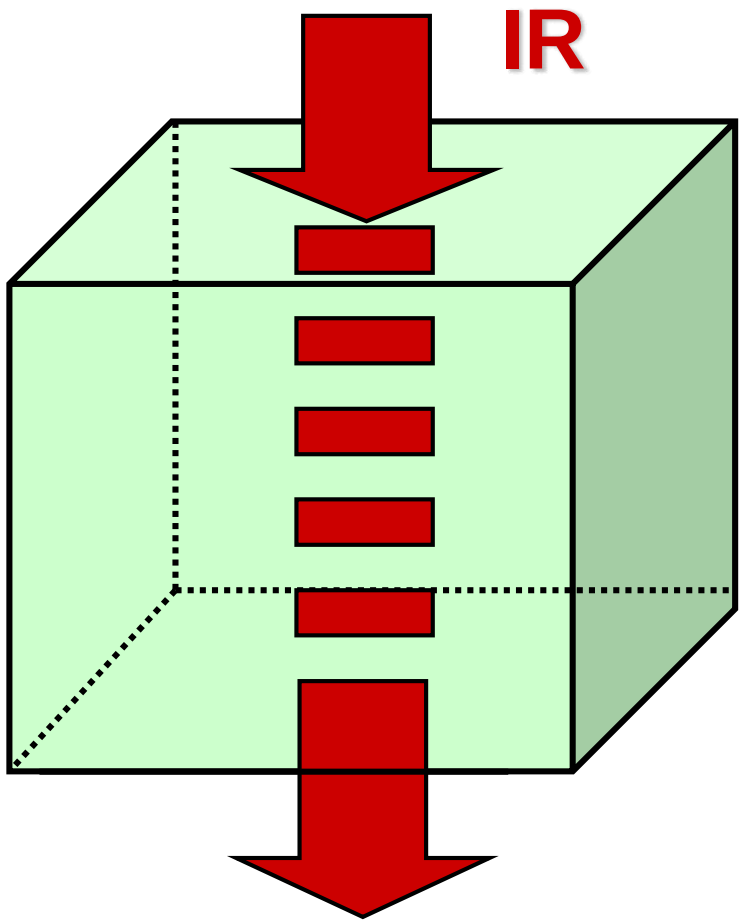
La terre reçoit toute son énergie du soleil. Seule une partie de cette énergie est absorbée par la surface terrestre et l’atmosphère ; le reste étant immédiatement renvoyé vers l’espace. Les gaz à effet de serre contenus dans l’atmosphère ont un rôle important dans la régulation du climat. Ils empêchent une large part de l’énergie solaire (les rayonnements infrarouges) d’être renvoyée de la Terre vers l’espace. C’est l’effet de serre.



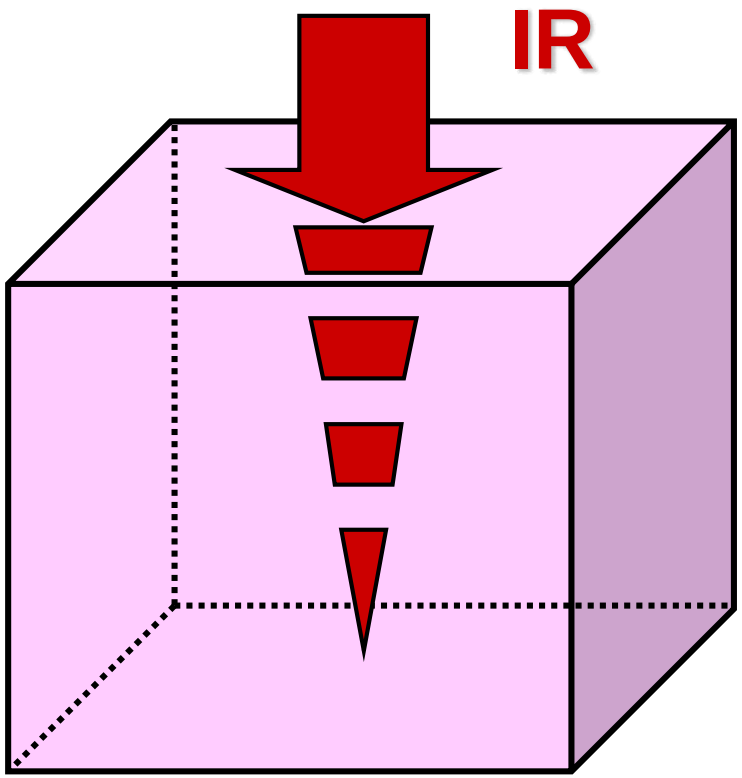
Le diazote (N_2), le dioxygène (O_2) sont transparents à la lumière visible.



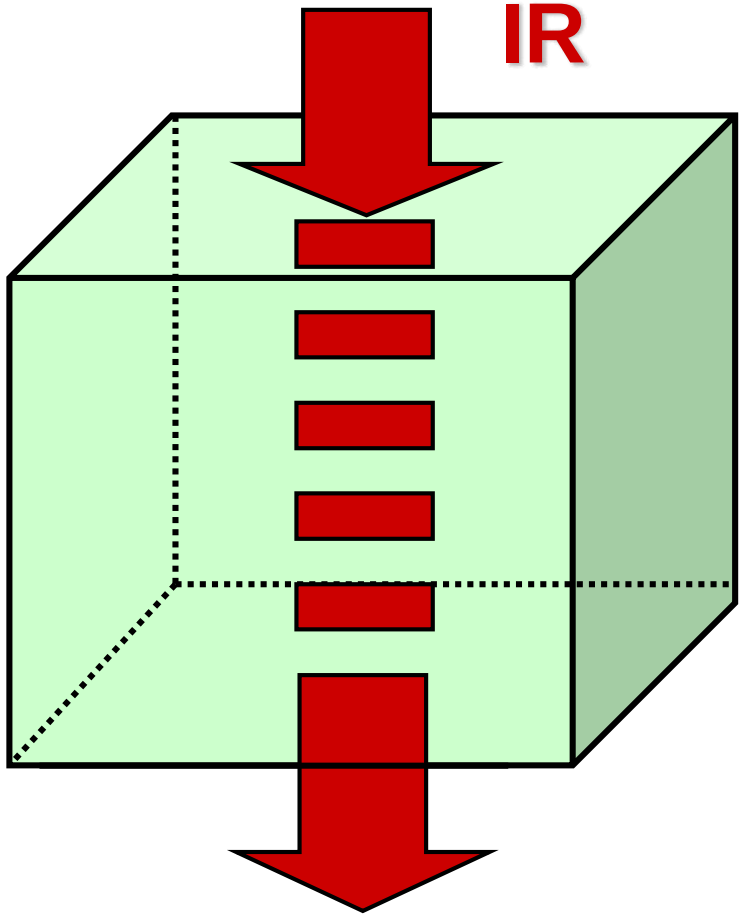
Le dioxyde de carbone (CO_2), la vapeur d'eau (H_20), le méthane (CH_4) aussi.



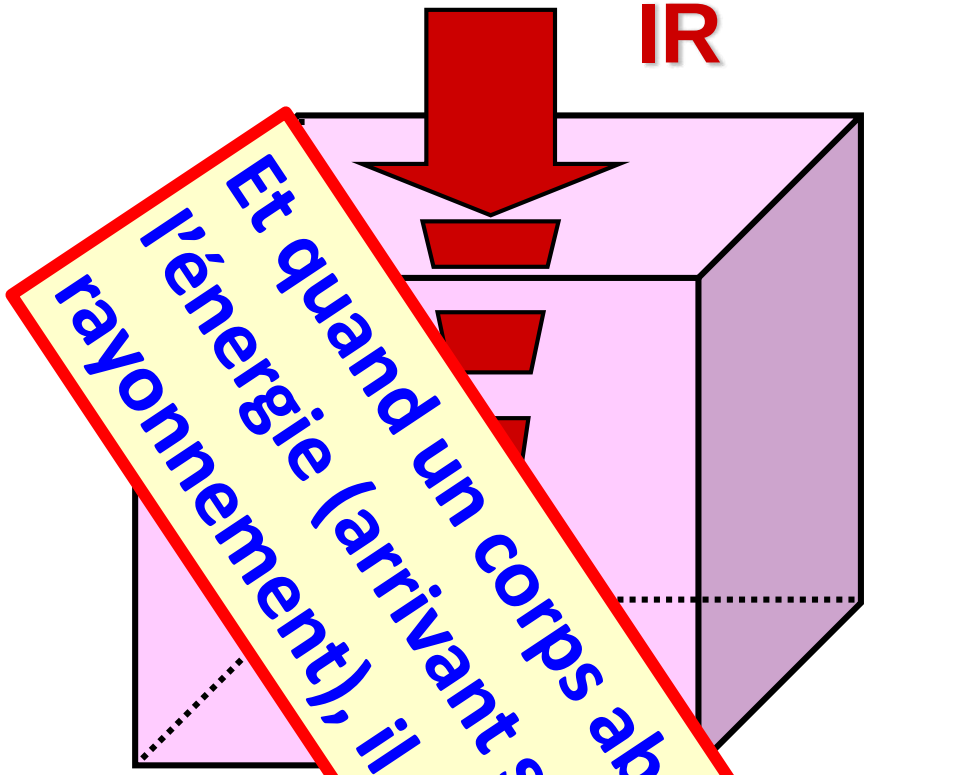
Le diazote, le dioxygène sont transparents aux Infra-rouge.



Le dioxyde de carbone, le méthane, la vapeur d'eau … sont opaques aux Infra-Rouge qu'ils absorbent.



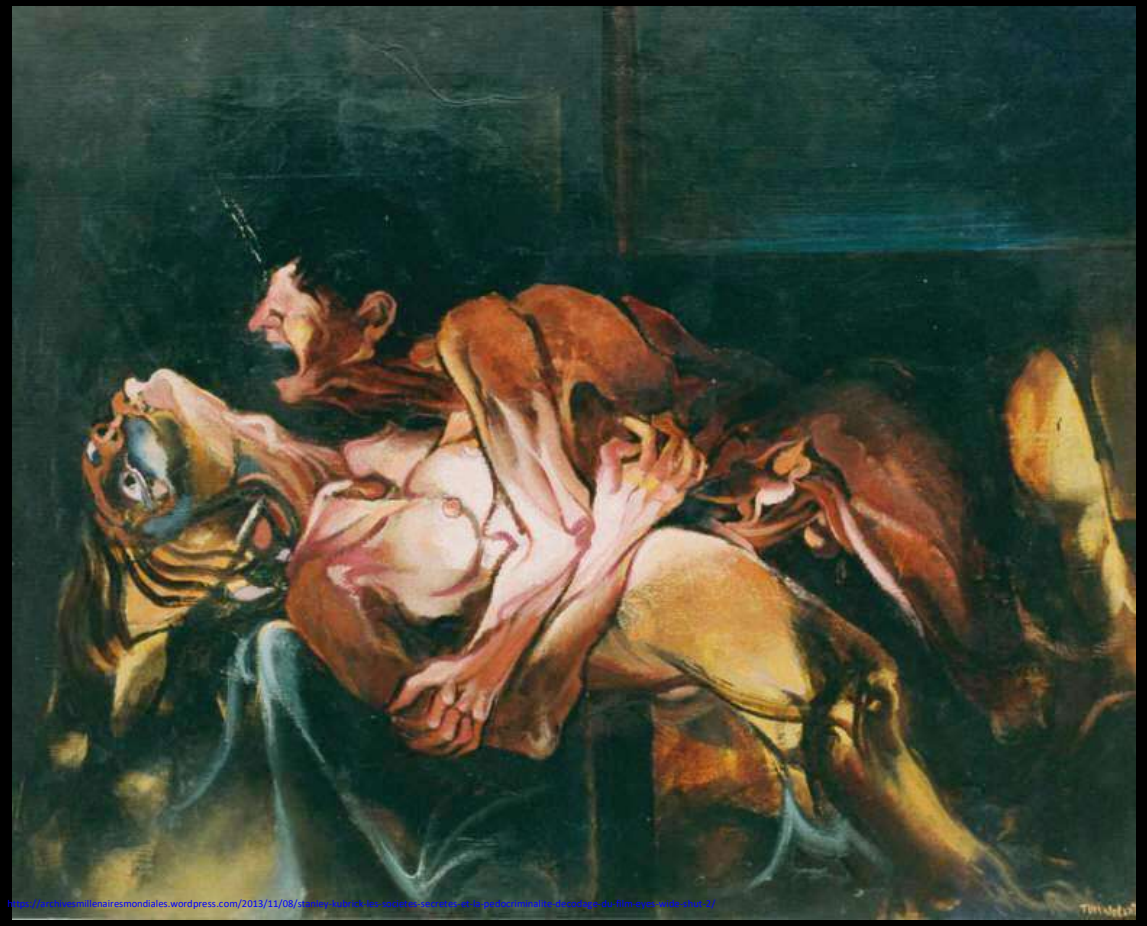
Le diazote, le dioxygène sont transparents aux Infra-rouge.



Et quand un corps absorbe de l'énergie (arrivant sous forme de rayonnement), il se réchauffe !

Le di
carbone,
la vapeur
sont opaqu
Infra-Rouge q
absorbent.

Pour comprendre l'effet de serre, on va faire une « décomposition intellectuelle », qui n'est qu'un raisonnement explicatif « pour comprendre », et pas une représentation de vrais « va et vient » de photons comme on va en voir. Attention !

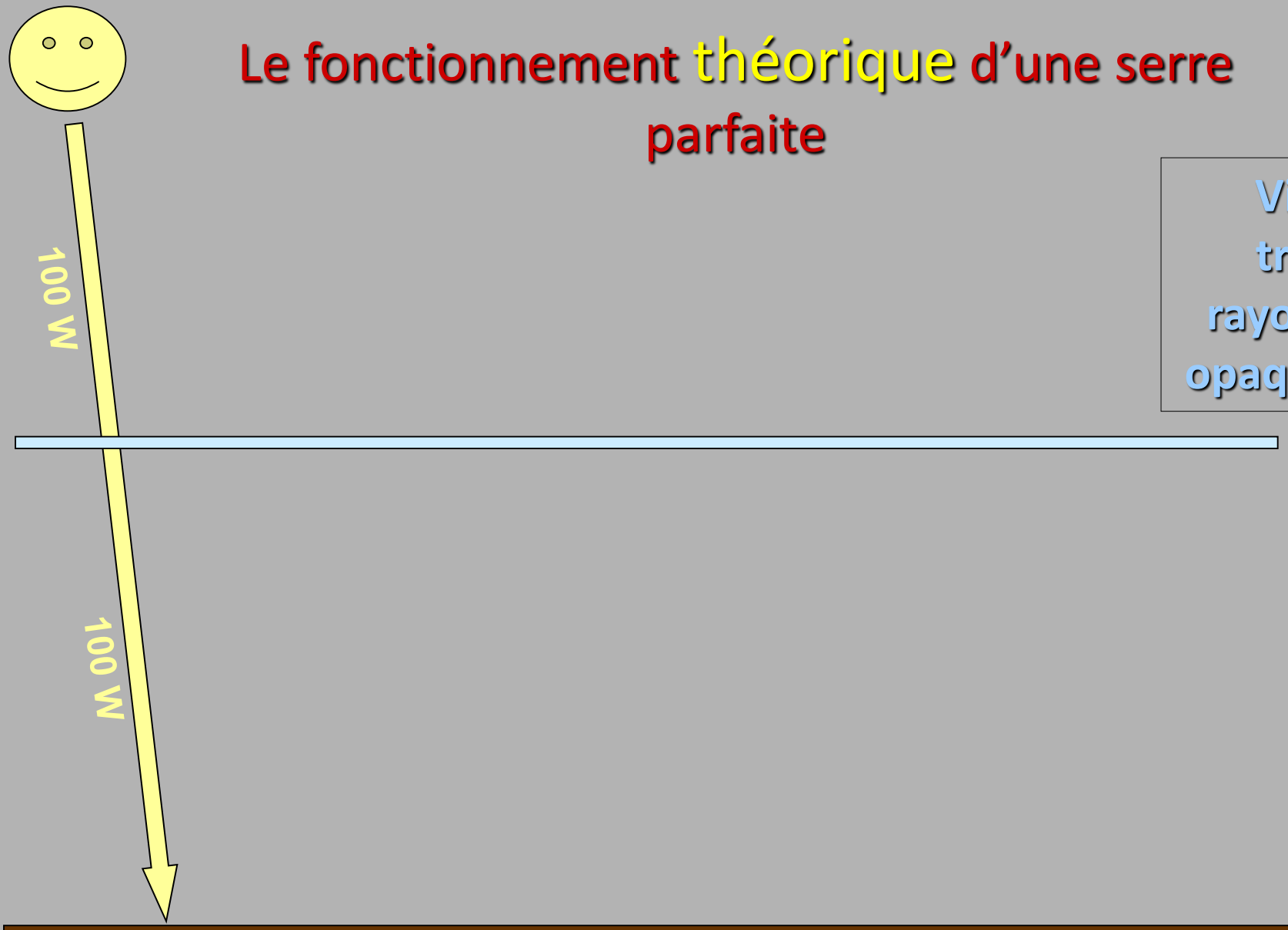


Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite

Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Sol, sombre, opaque. Il absorbe tous les rayonnements

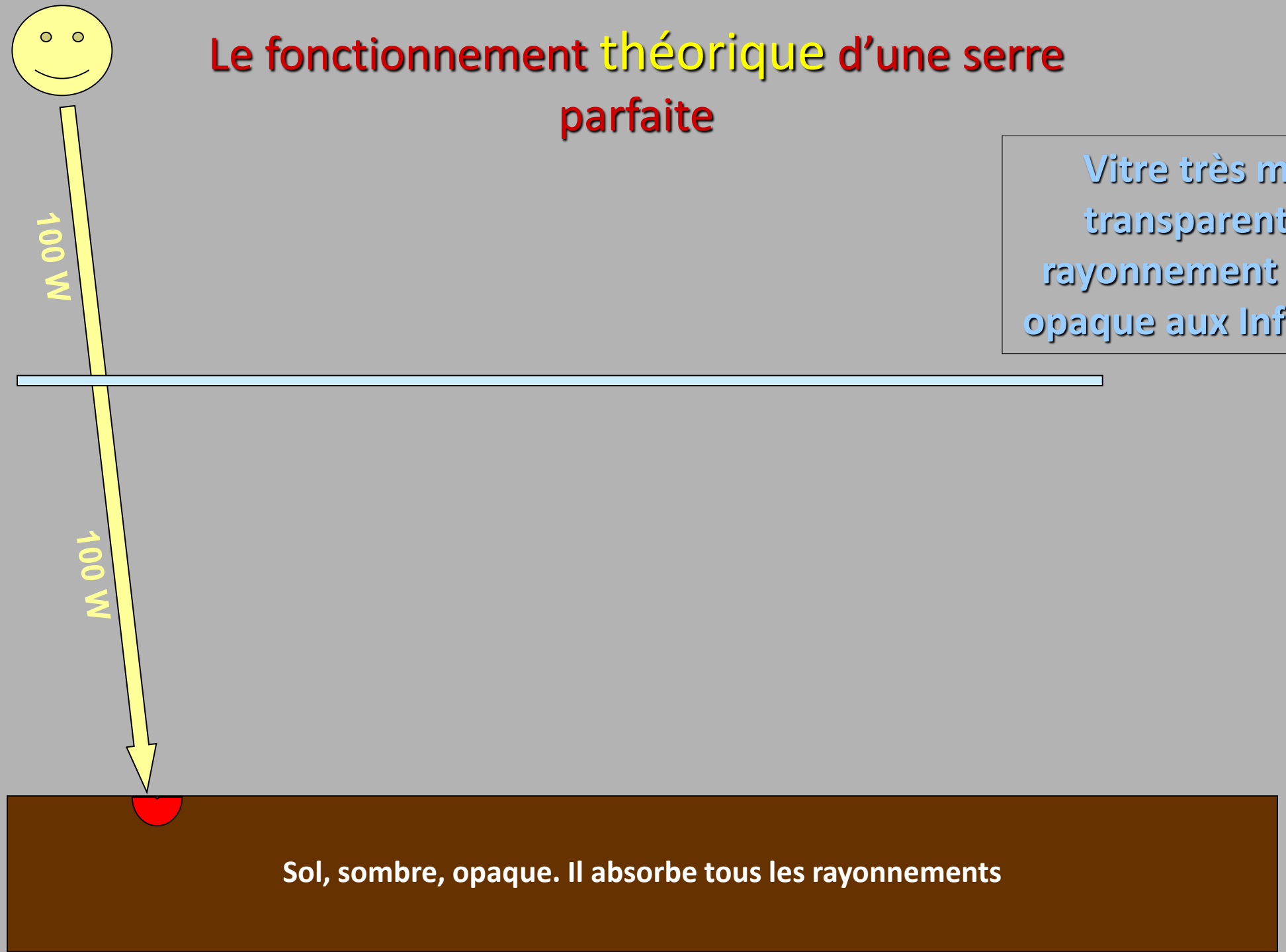
Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



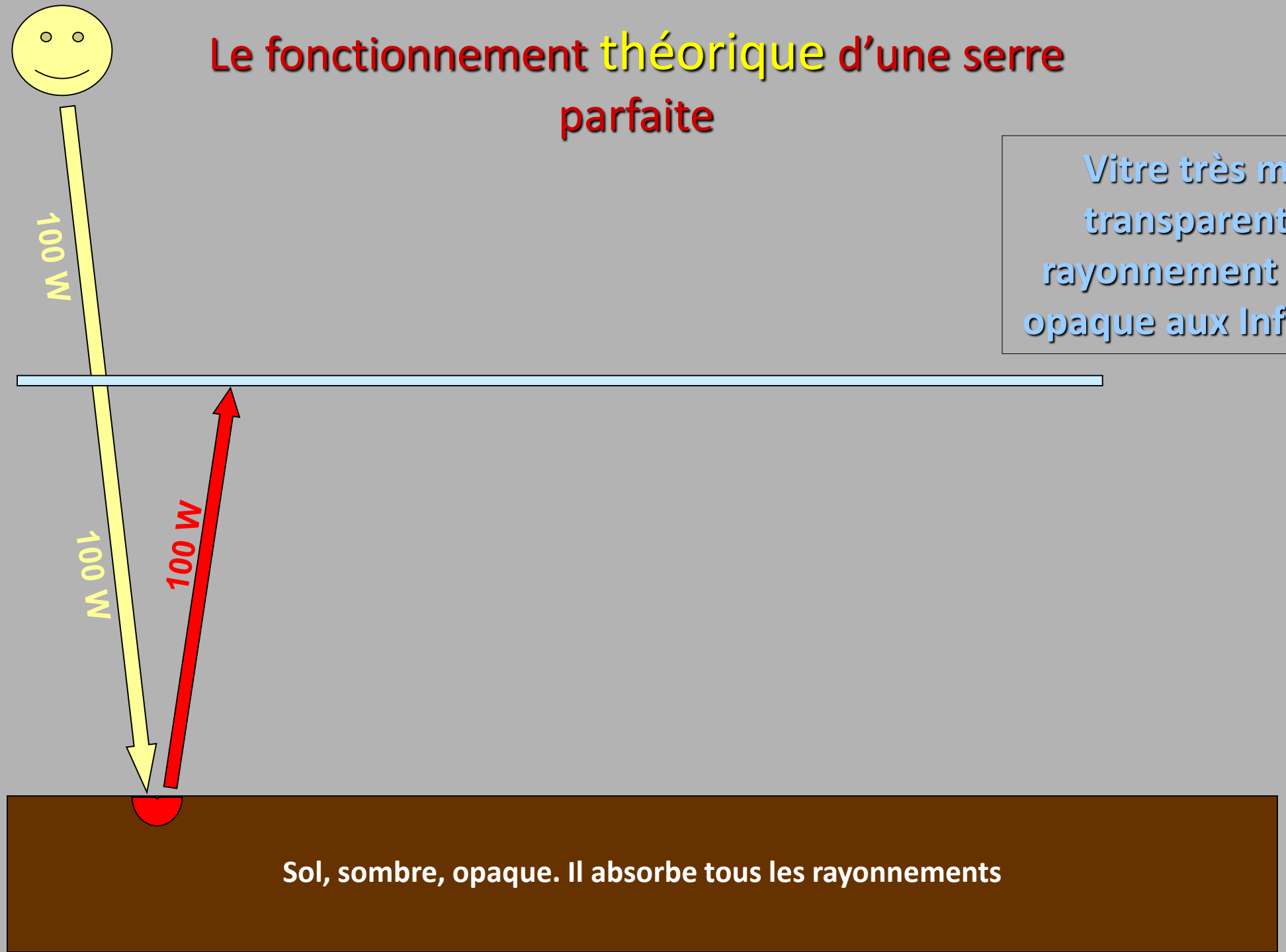
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Sol, sombre, opaque. Il absorbe tous les rayonnements

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite

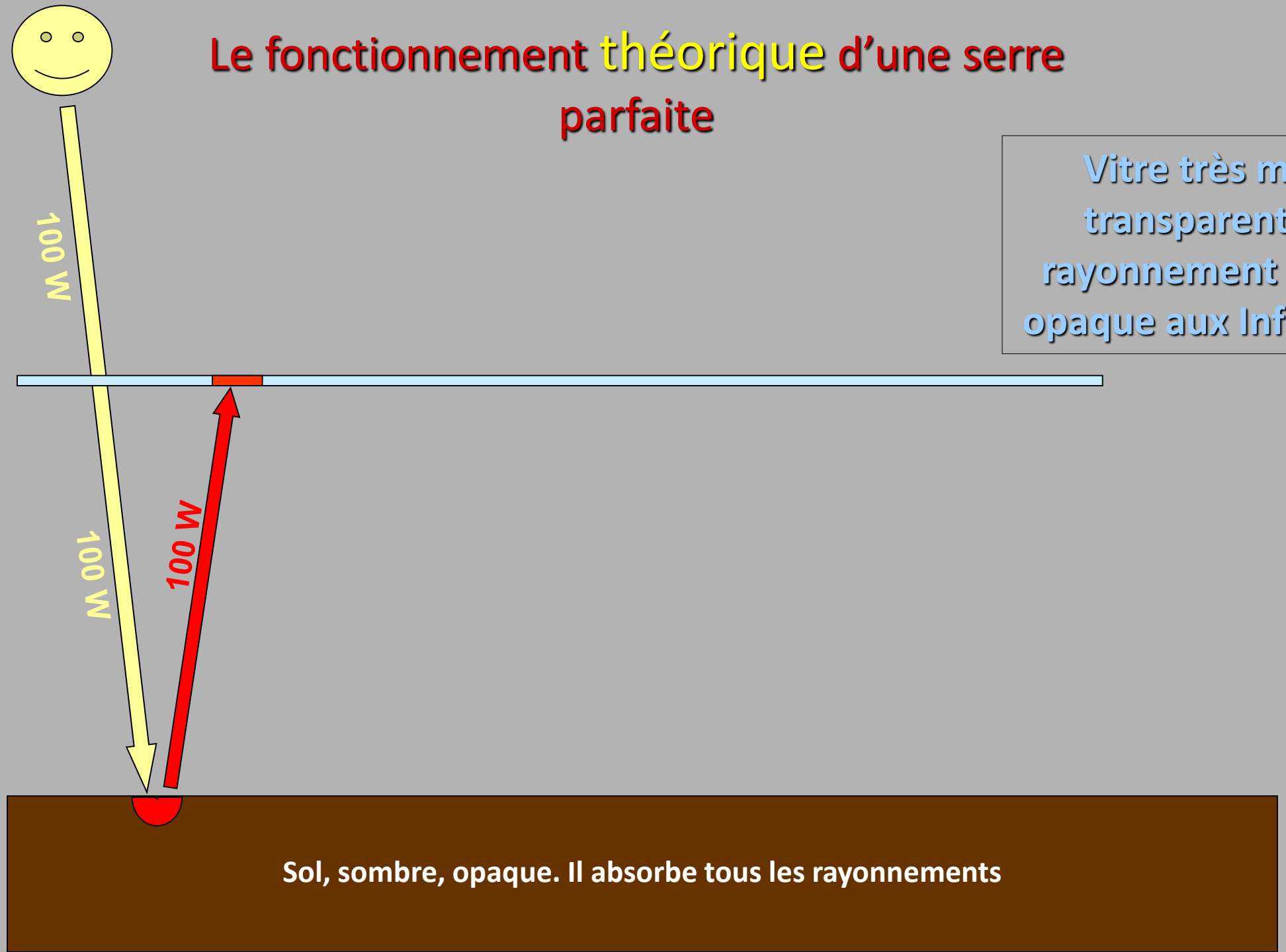


Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



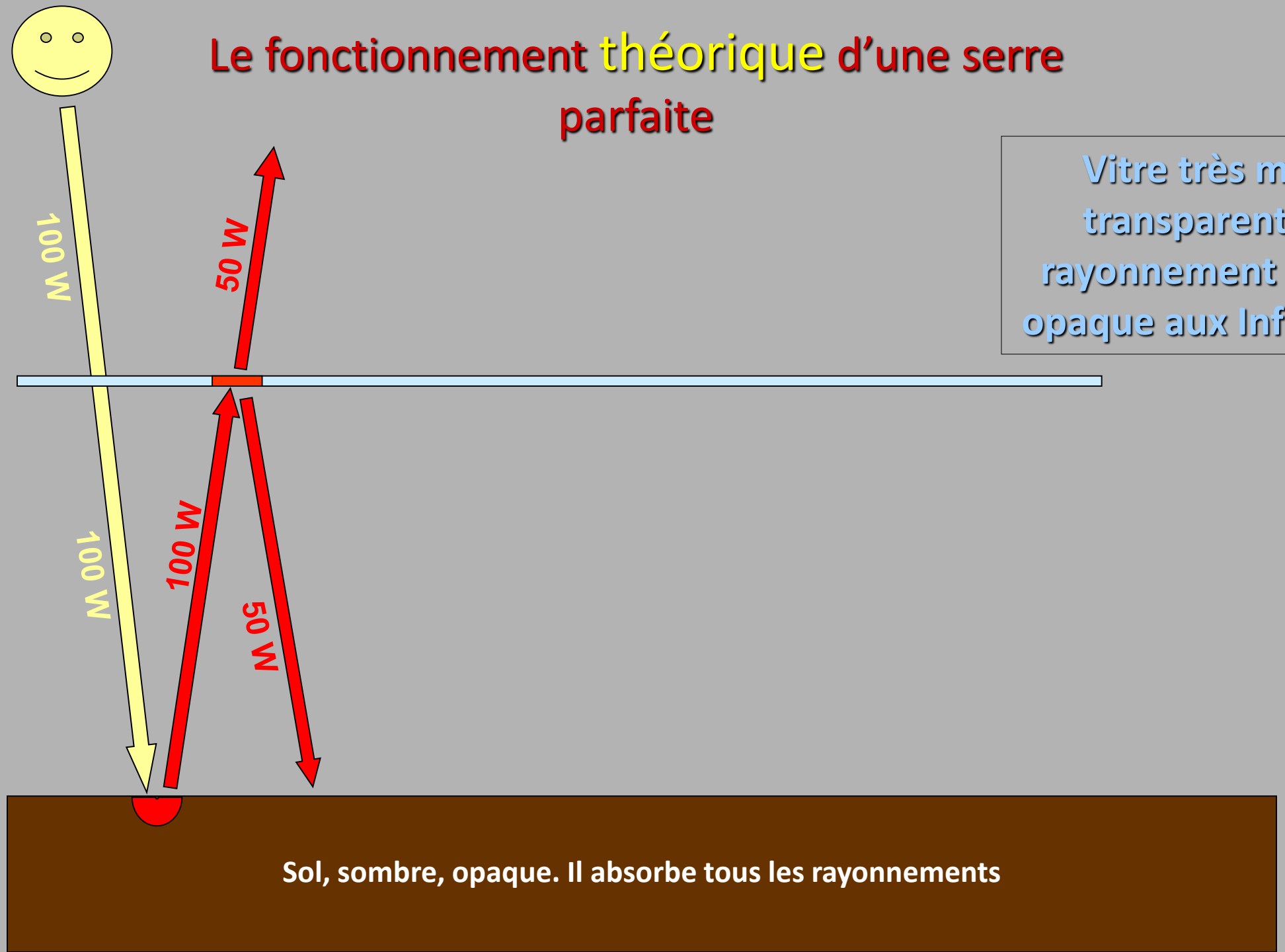
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



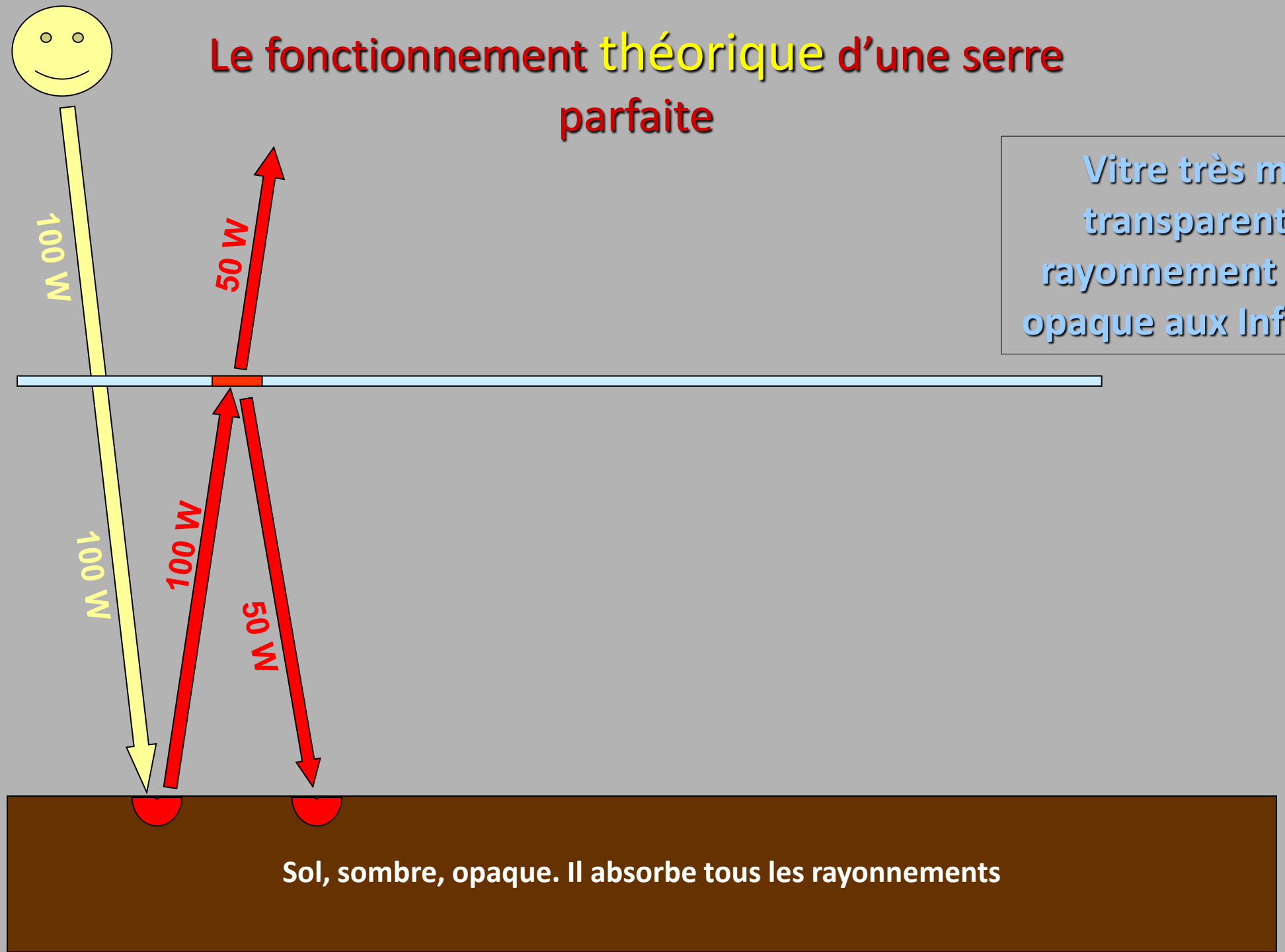
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



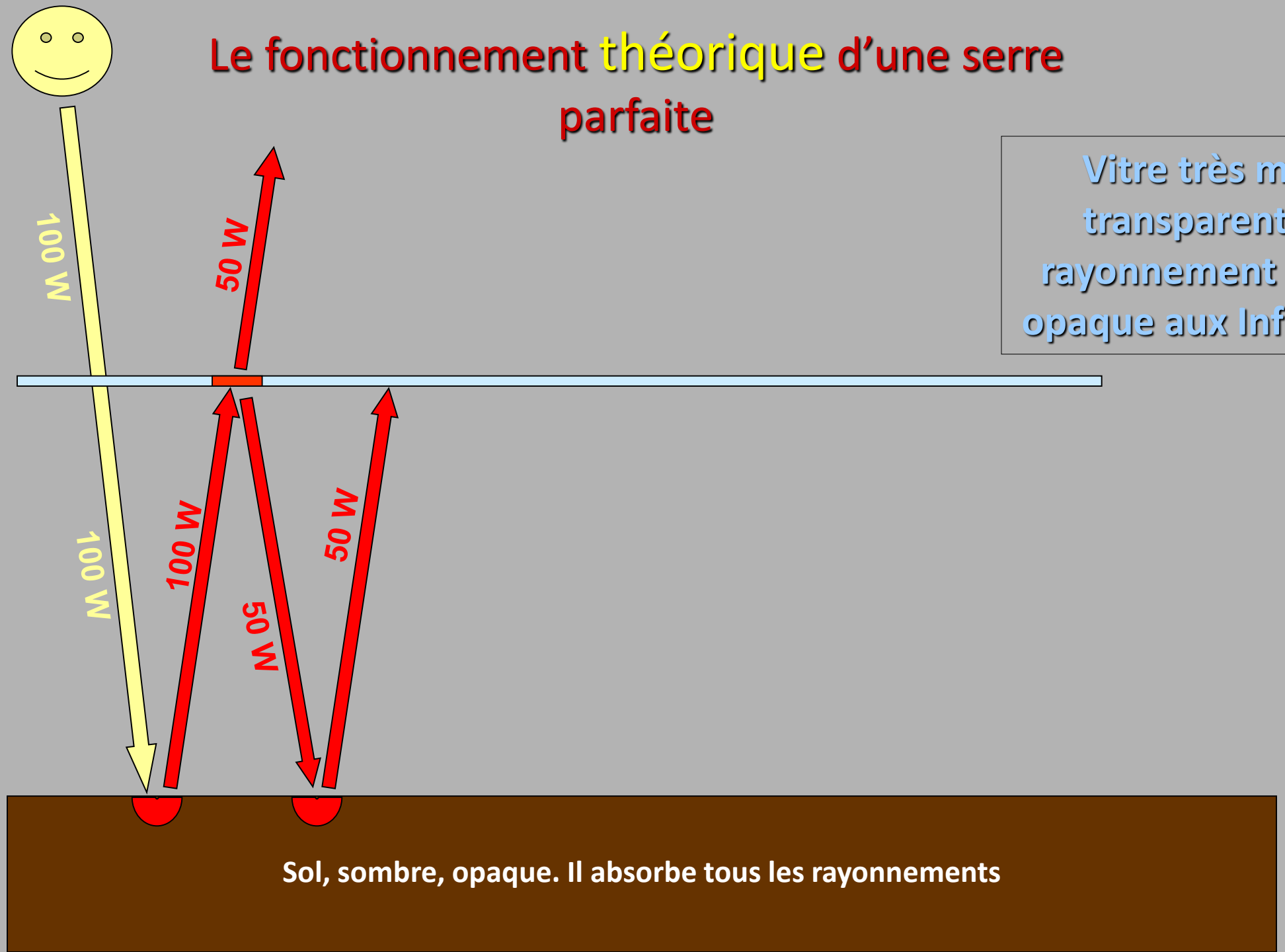
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



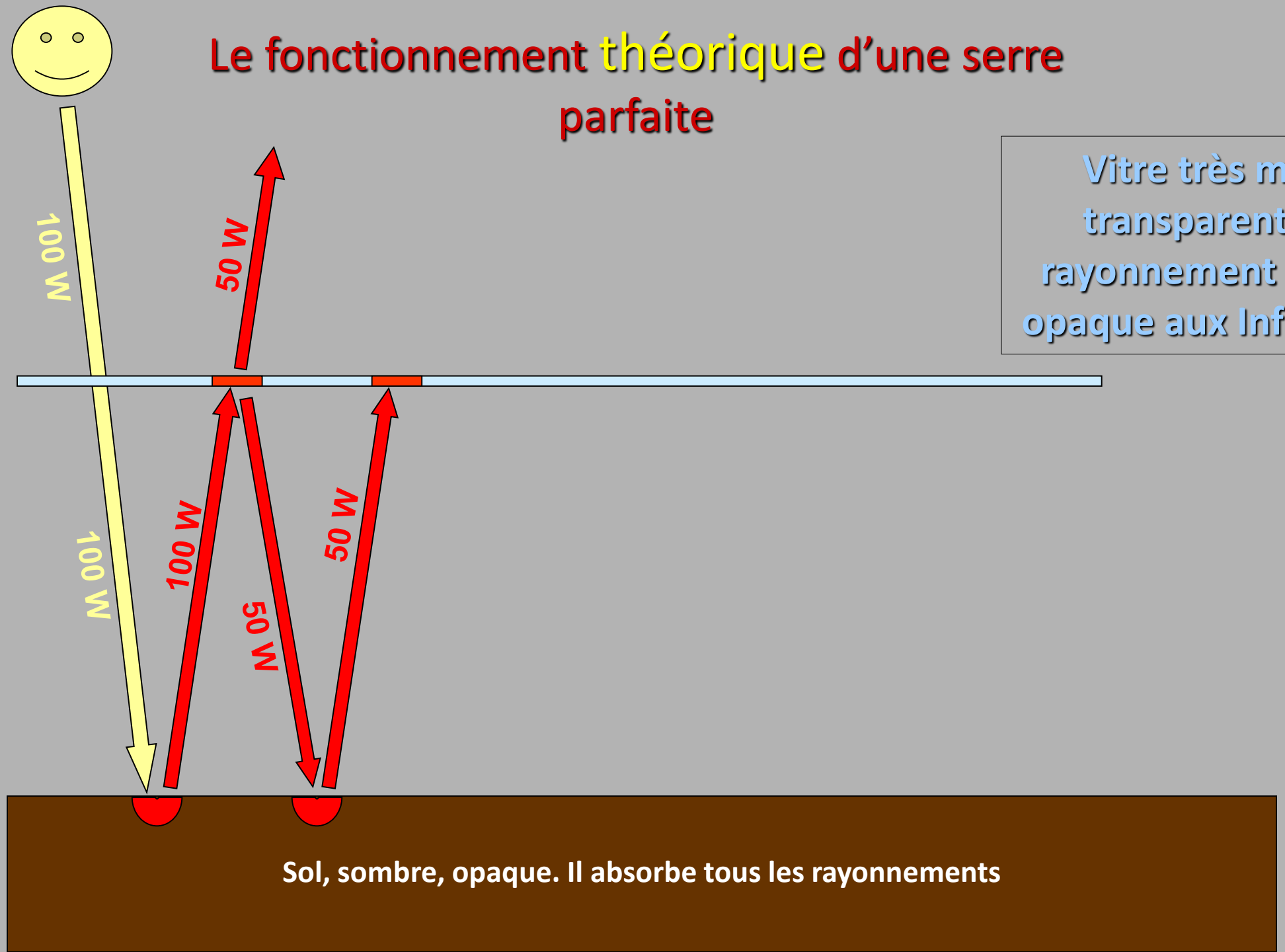
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



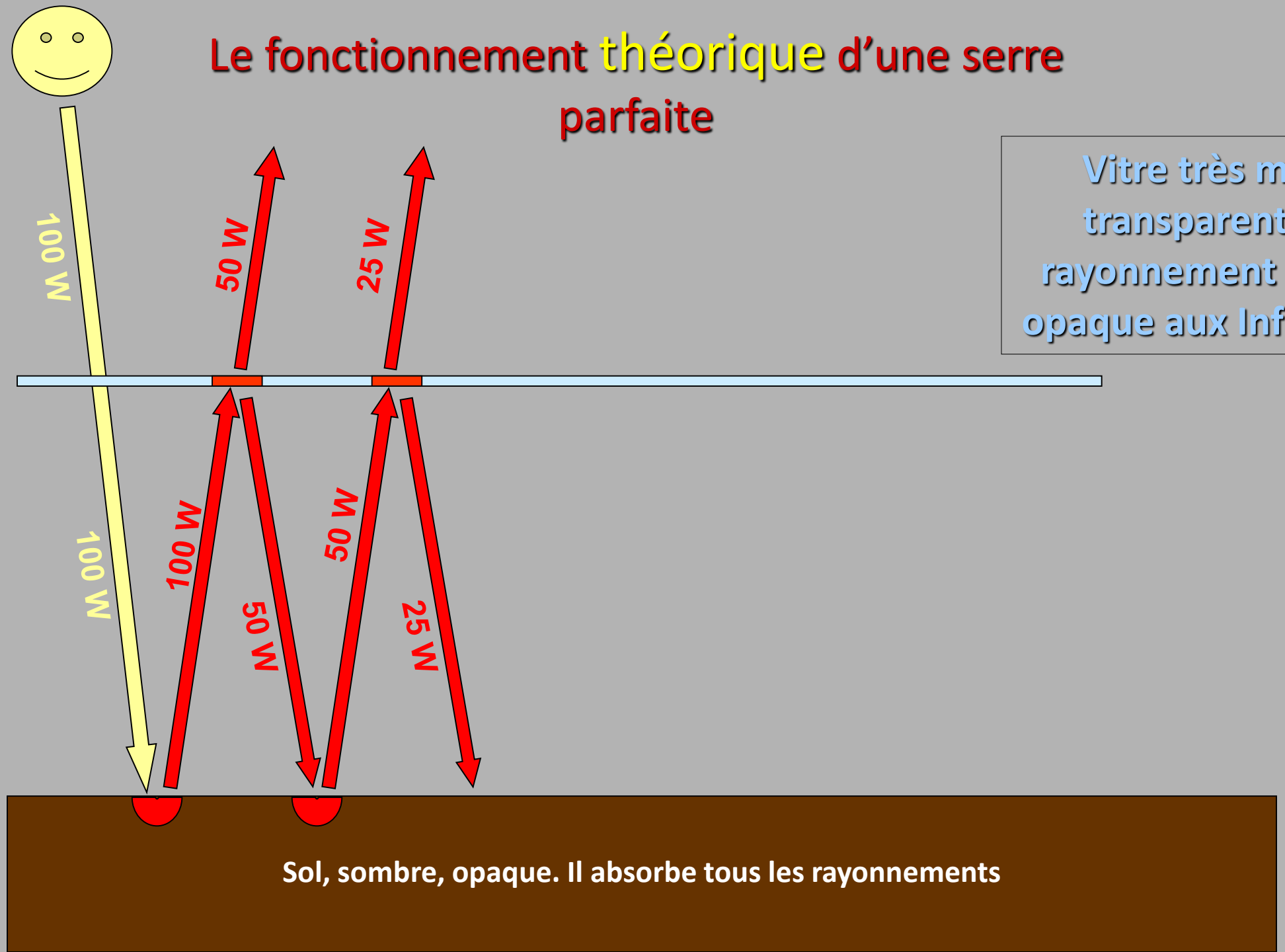
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



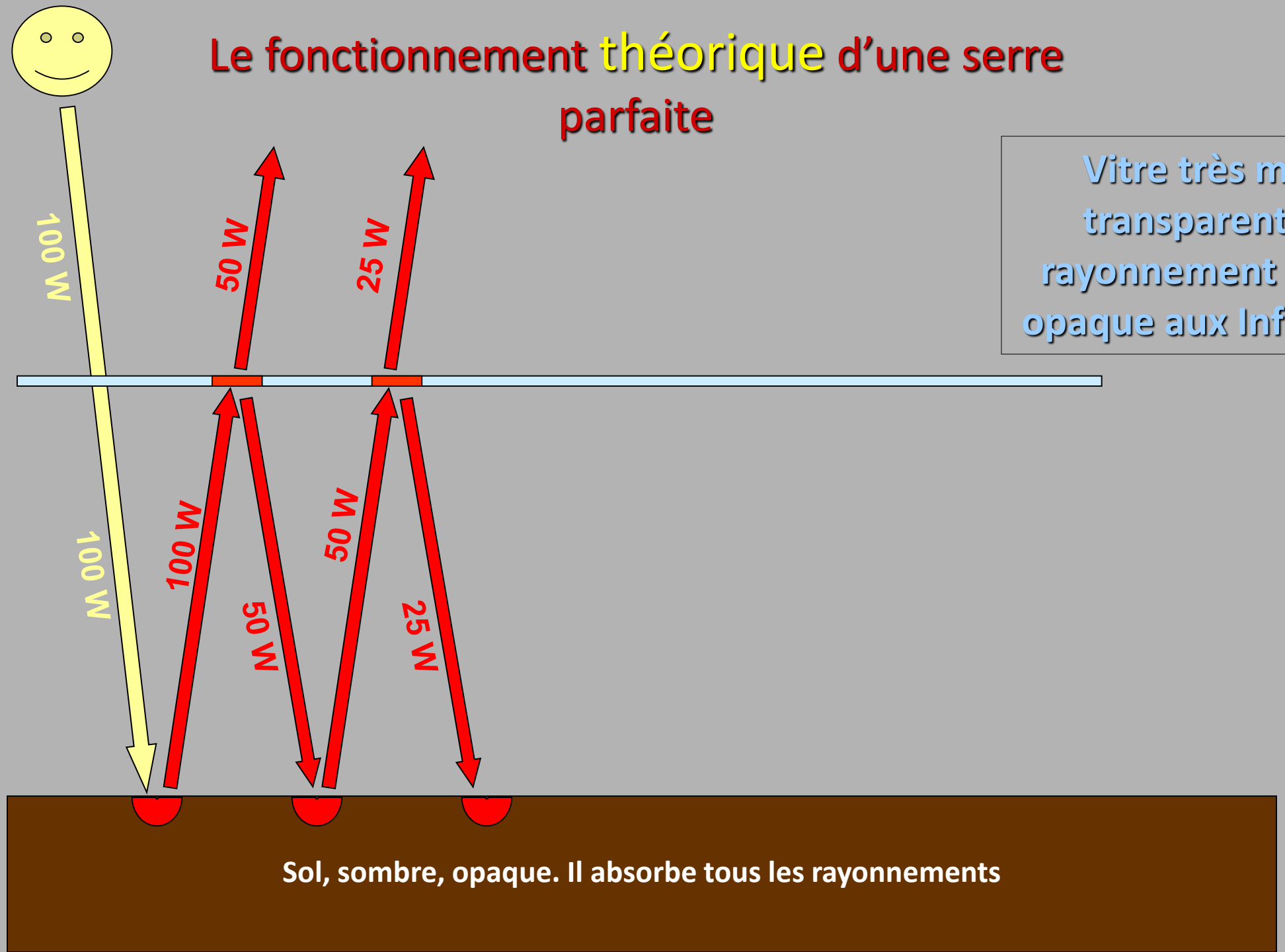
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



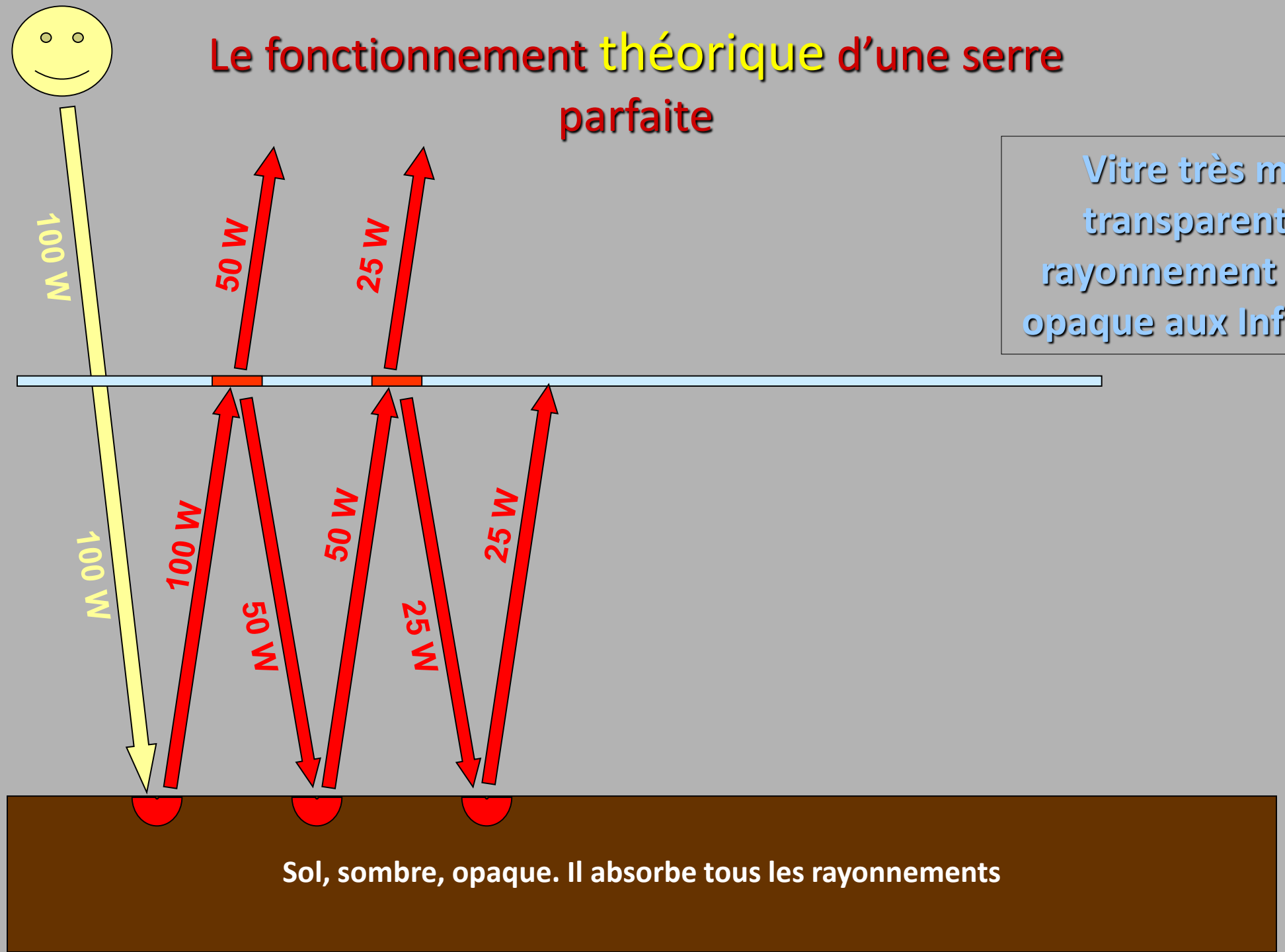
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



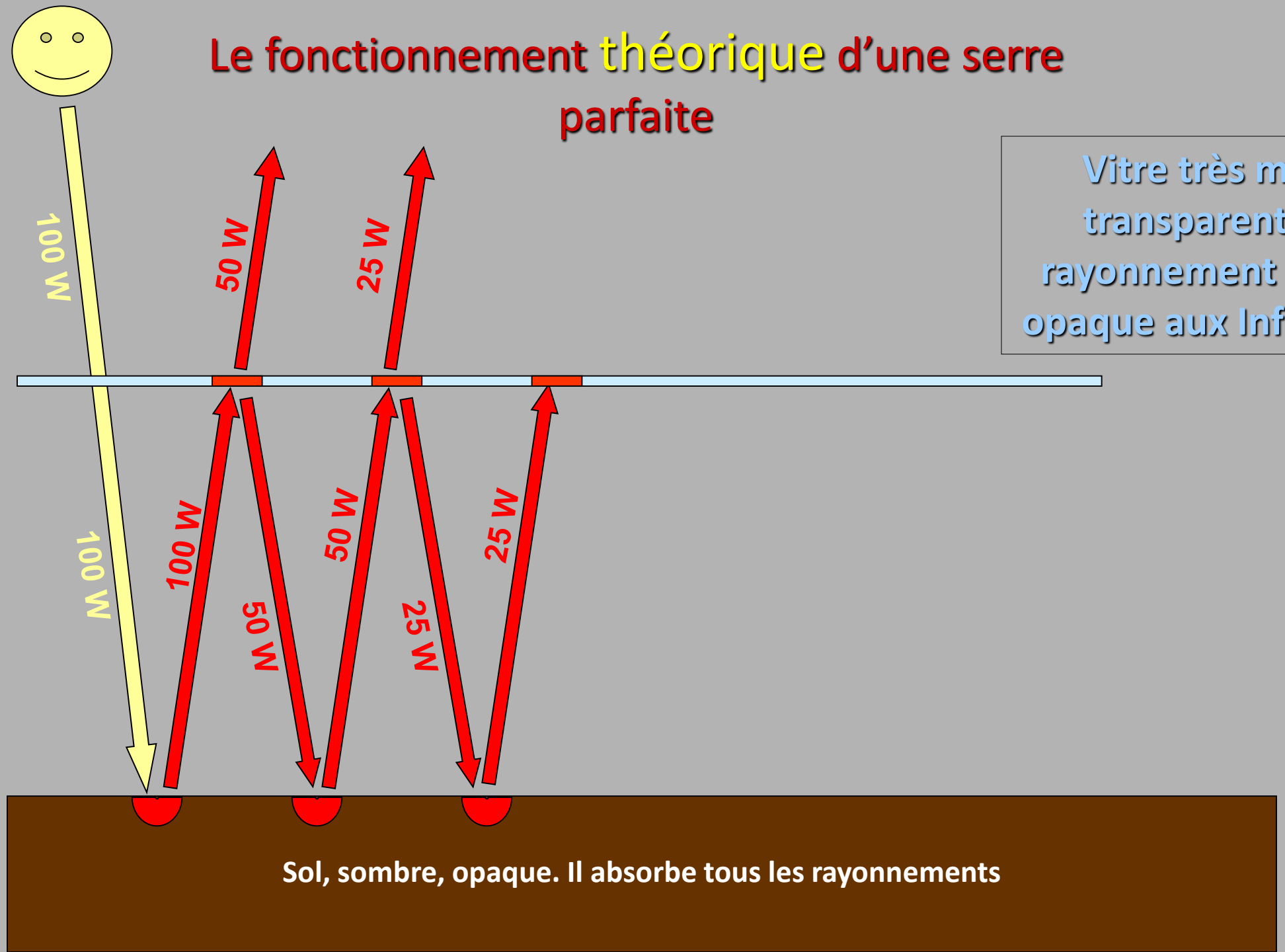
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



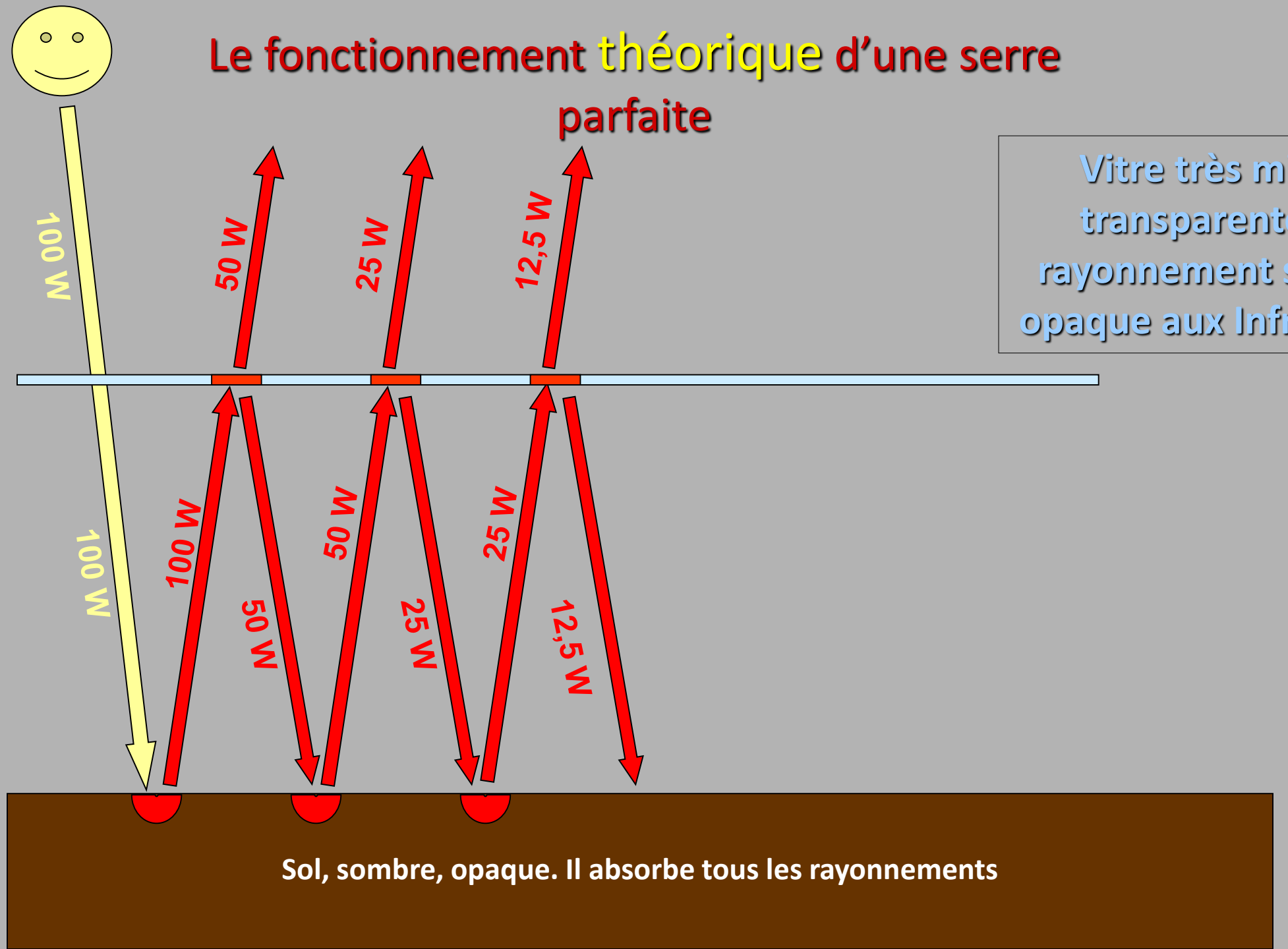
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



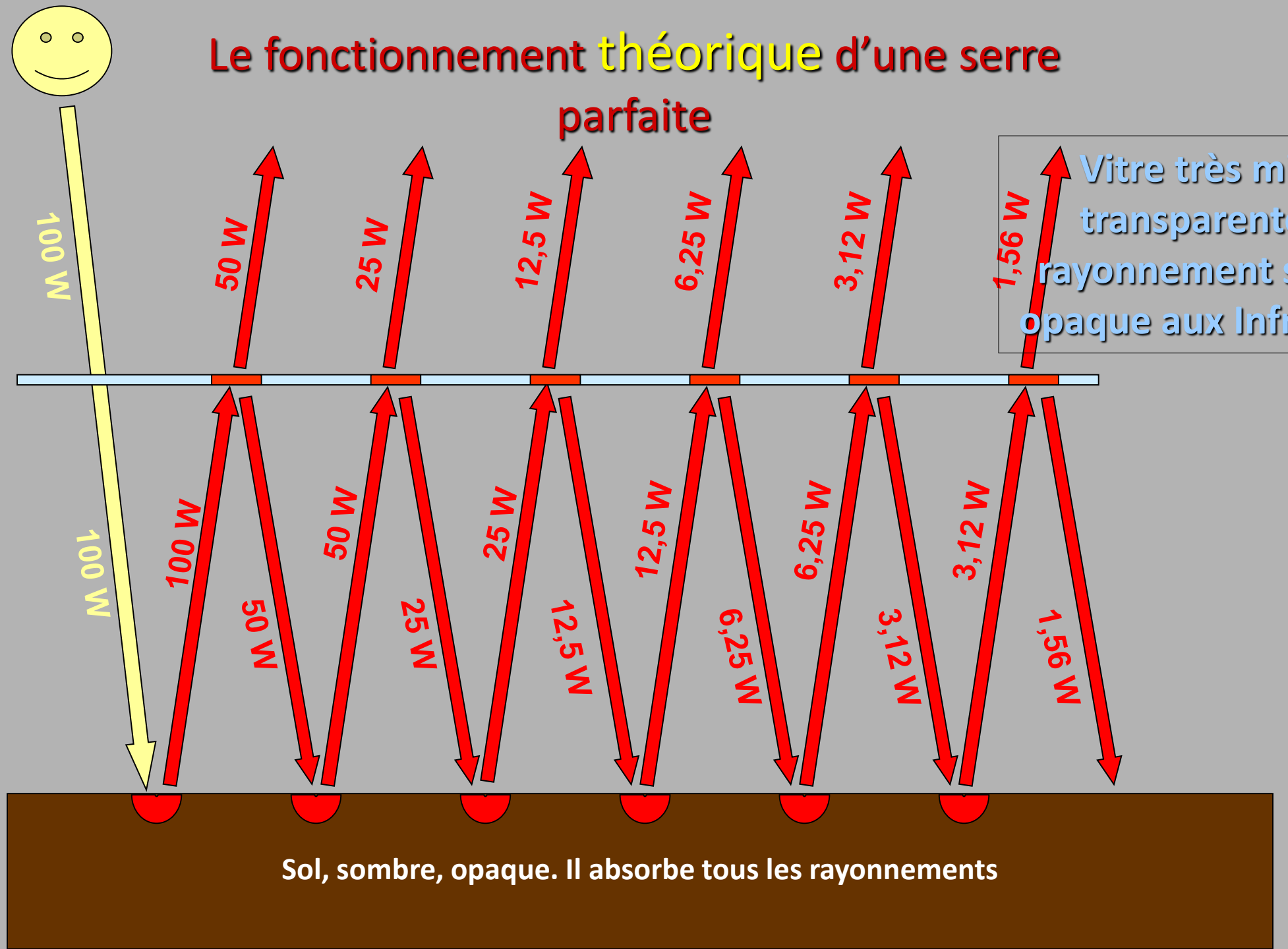
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge

Le fonctionnement théorique d'une serre parfaite



50 + 25 + 12,5 + 6,25 + 3,12 + 1,56 + ···· = 100
100 W
100 W
100 W
50 W
25 W
12,5 W
3,12 W
1,56 W
Vitre très mince, transparente au rayonnement solaire, opaque aux Infra-rouge
Attention, c'est un schéma, une décomposition « pour faire comprendre ». Dans la réalité, il n'y a pas ce « va et vient » infini de photons qui font ces aller-retours sans fin !
Regardons la somme des chiffres du haut, du bas et du milieu.
Sol, sombre, opaque. Il absorbe tous les rayonnements

Qu’est ce qui arrive sur la serre : 100 W

Qu’est ce qui repart de la serre : 50+25+12,5+6,25+ … = 100 W

Qu’est ce qui arrive au sol : 100+ 50+25+12,5+6,25+ … = 200 W

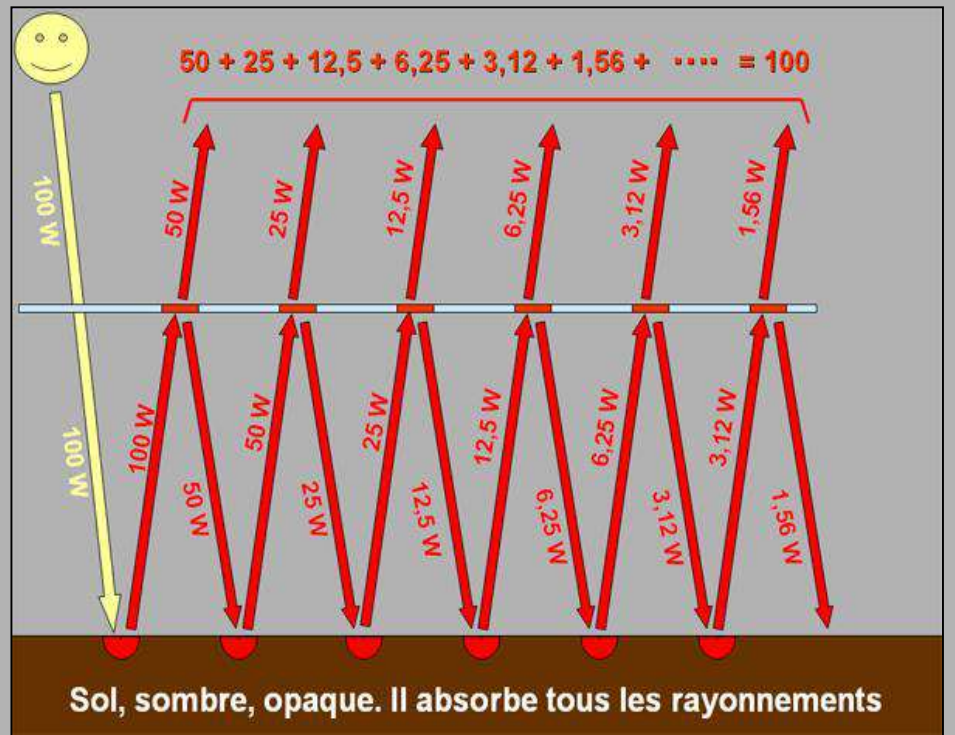
Qu’est ce qui repart du sol : 100+ 50+25+12,5+6,25+ … = 200 W

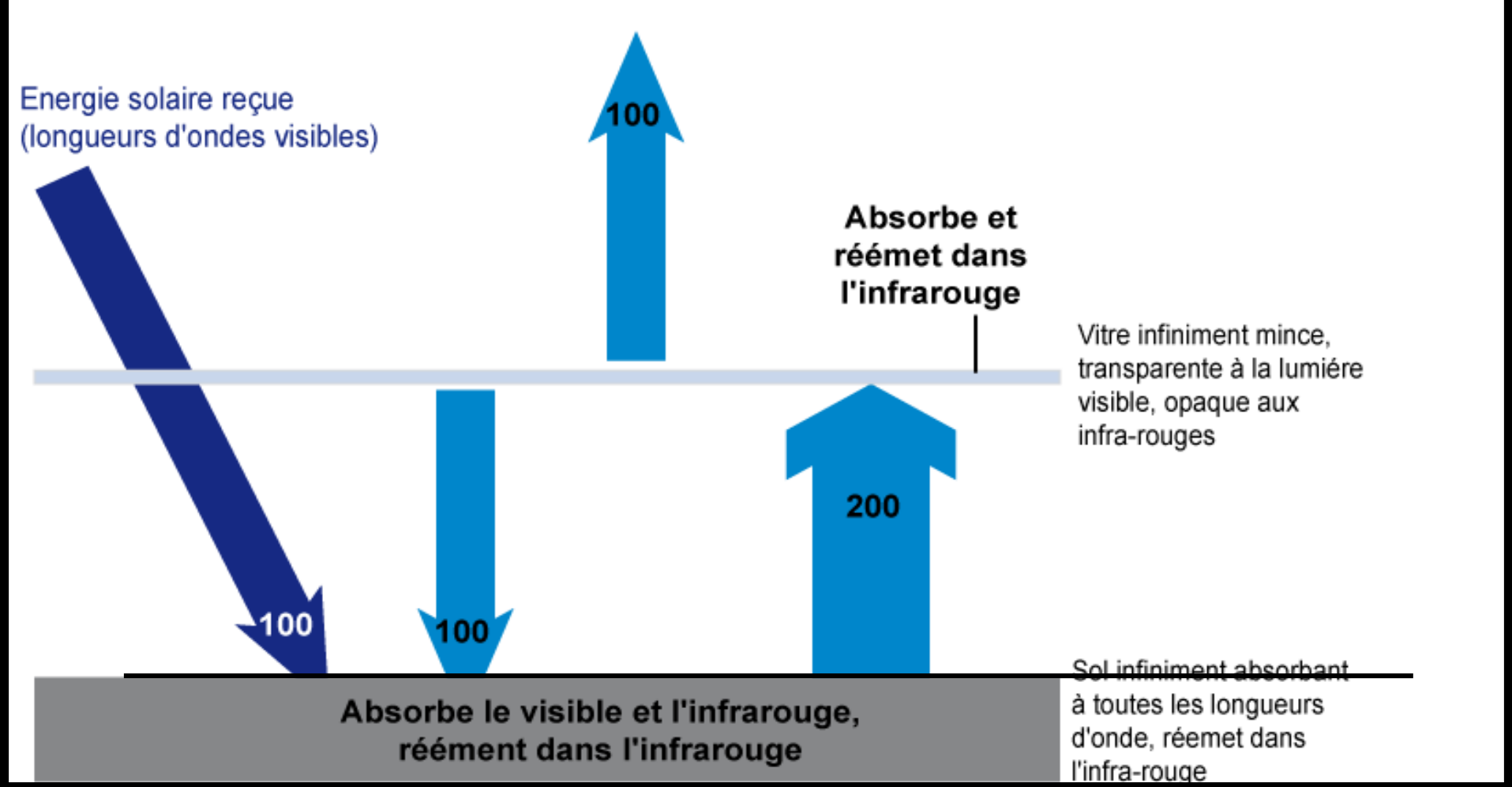
Qu’est ce qui arrive sur la vitre : 100+ 50+25+12,5+6,25+ … = 200 W

Qu’est ce qui repart de la vitre : 50+50+25+25+12,5+12,5 … = 200 W

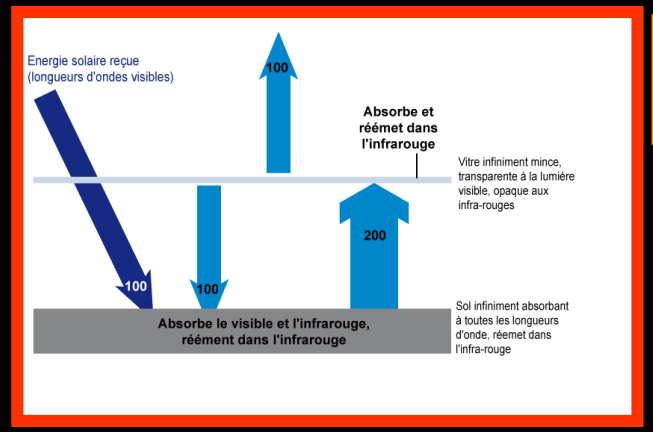
Que ce soit la serre dans son ensemble, le sol, la vitre, tout est en équilibre, tout renvoie autant d’énergie qu’il en reçoit, rien ne « garde » de l’énergie (heureusement !).

Mais sans serre, le sol recevrait (et renverrait) 100 W. Avec une serre, il en reçoit (et en renvoie) le double (200 W) !

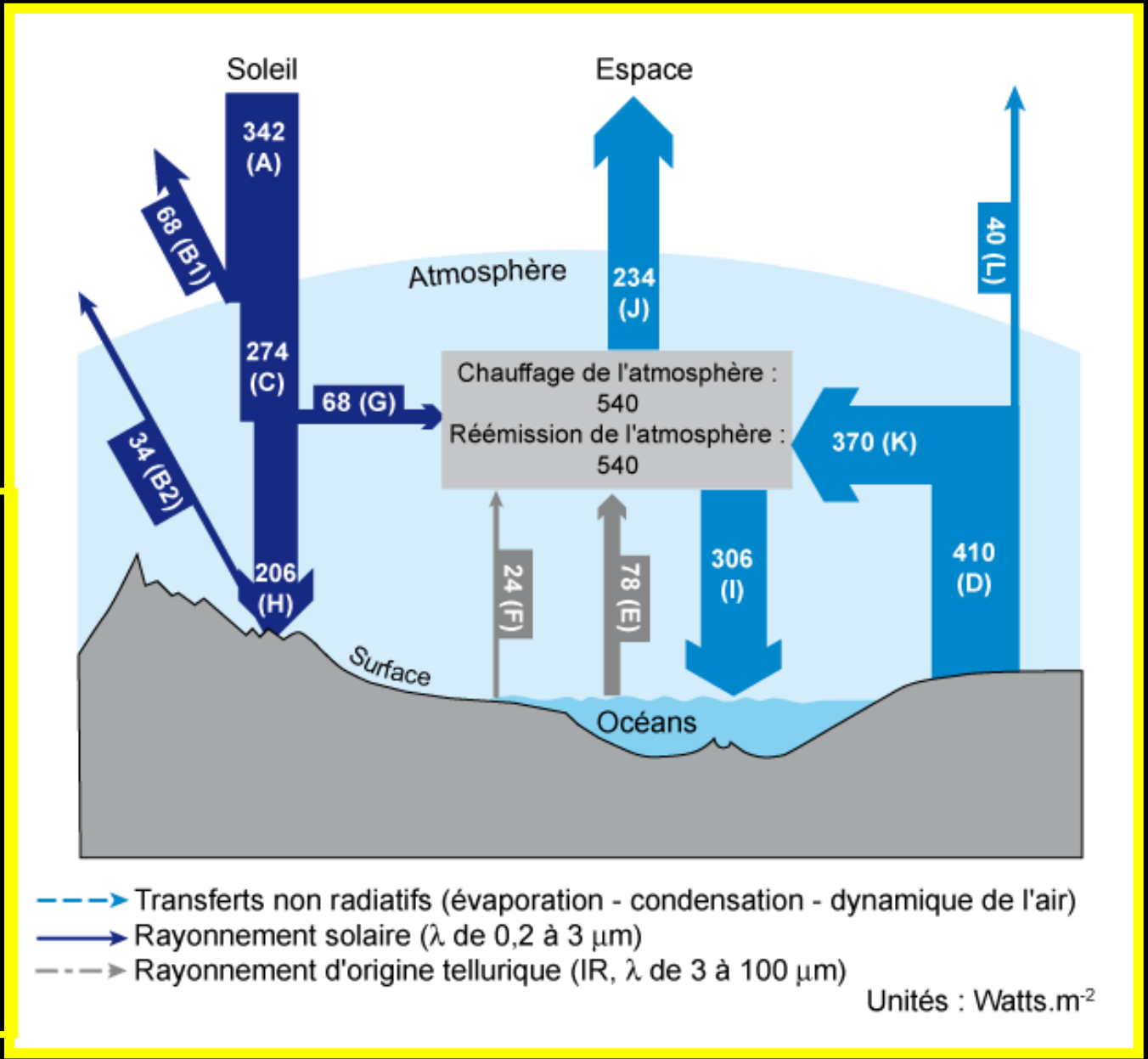




Avec la même énergie incidente et renvoyée par le système serre + sol, le sol reçoit (et renvoie) 2 fois plus d'énergie avec serre que sans serre. Et comme $W = \sigma T^4$, si W est multipliépar 2, T l'est par $\sqrt[4]{2} = 1{,}19$. Par exemple, une planète « théoriquement » à 255 K (-18°C) passe à 255 x 1,19 = 303 K (30°C).

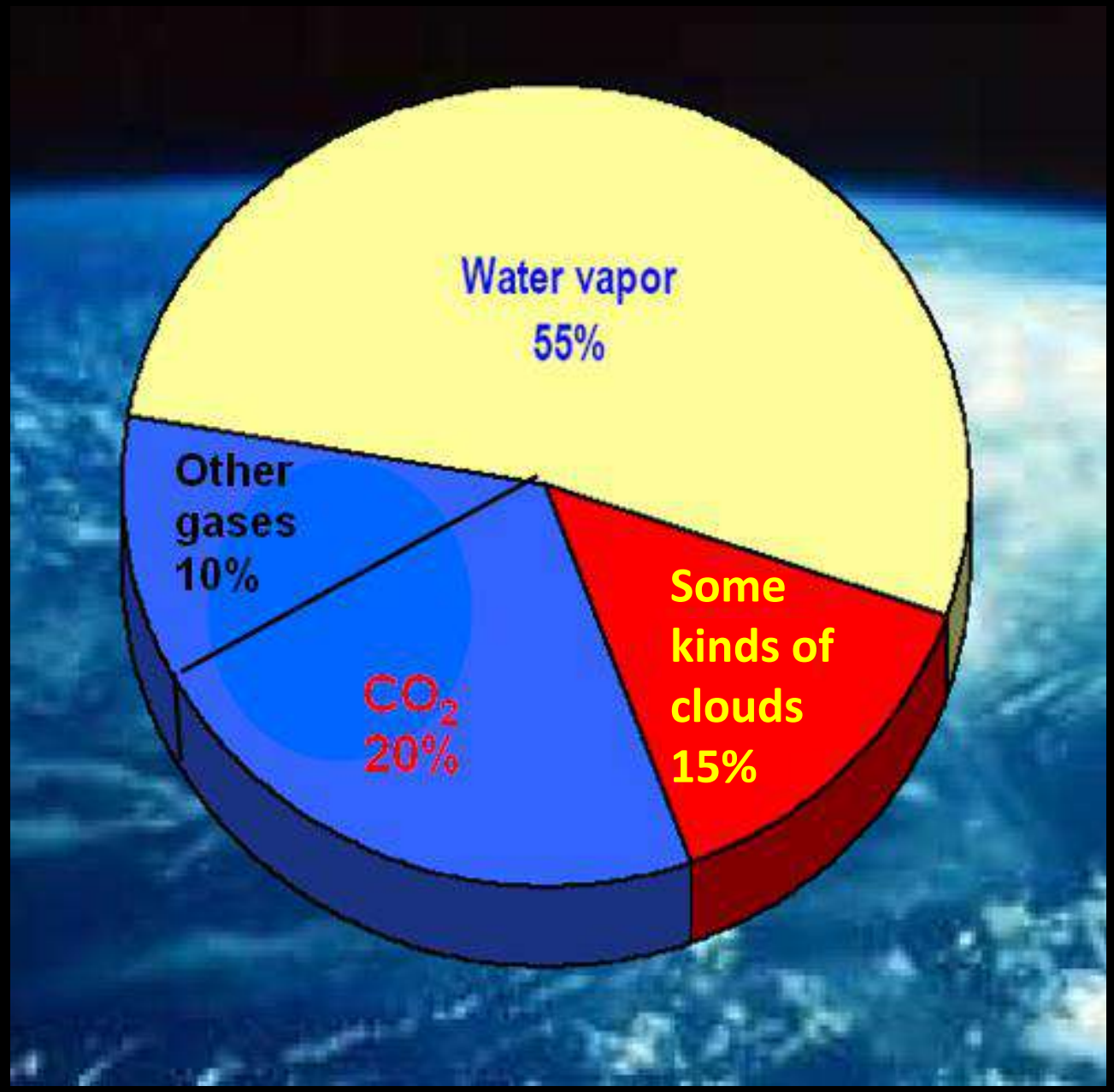


Le modèle



La réalité naturelle, forcément plus complexe que le modèle : T passe de –18°C théorique à +14°C de moyenne réelle (255 à 287 K) soit une multiplication par 1,13

L'effet de serre naturel sur Terre



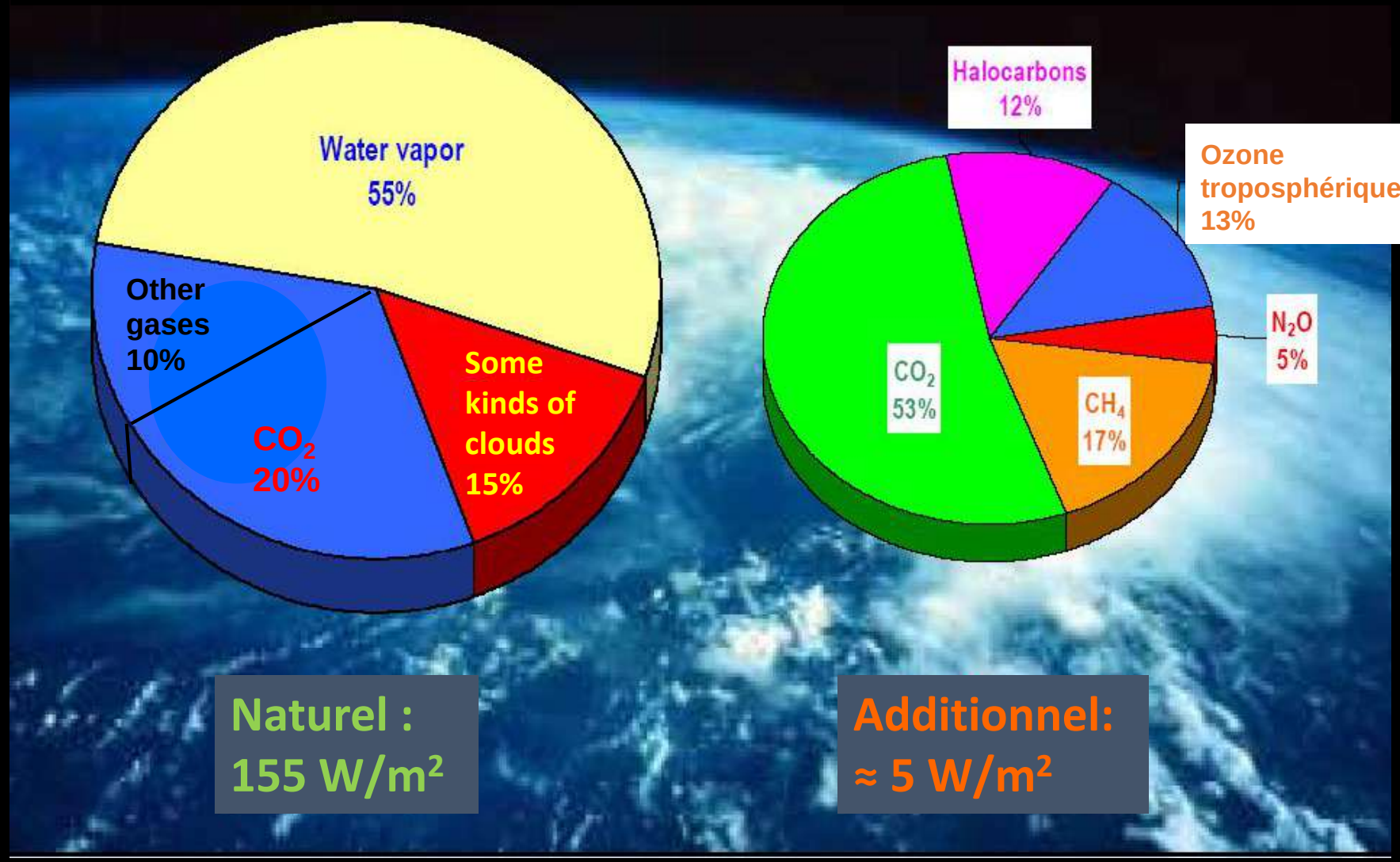
L'atmosphère de la Terre comprend 78% de diazote, 21% de dioxygène, mais 1% d'autres gaz, dont la vapeur d'eau, le méthane et le CO_2 , gaz à effet de serre (dits GES).

La Terre est une serre naturelle !

Cet effet de serre naturel sur Terre rajoute ≈ 155 W/m² aux ≈ 341 W/m² du rayonnement solaire moyen arrivant au sol.
Avec 341 W/m², la température moyenne serait de -18°C.
Avec 341 + 155 = 496 W/m², la température moyenne est de + 14°C, soit 32° de plus. Merci l'effet de serre naturel !

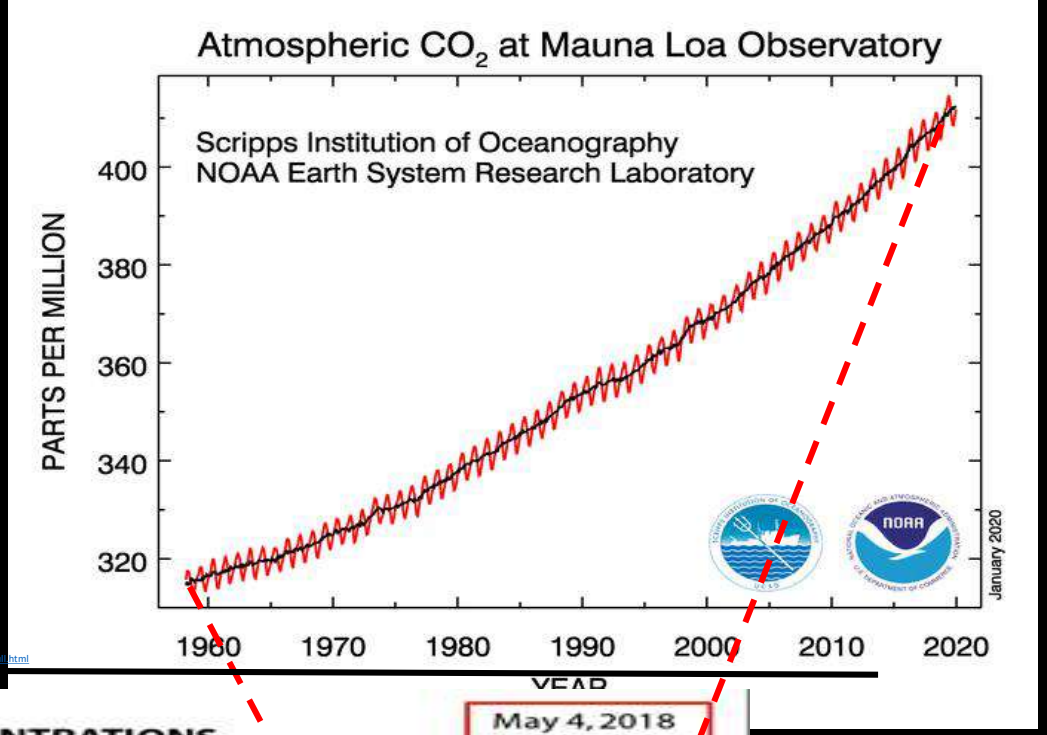
Le principal accusé du réchauffement actuel : un excès anthropique de GES

Cinq gaz rejetés par les activités humaines, surtout le CO_2, augmentent l'effet de serre naturel. Depuis 150 ans, aux 496 W/m² « ordinaires », les activités humaines rajoutent des watts, aujourd'hui ≈ 5 W/m².

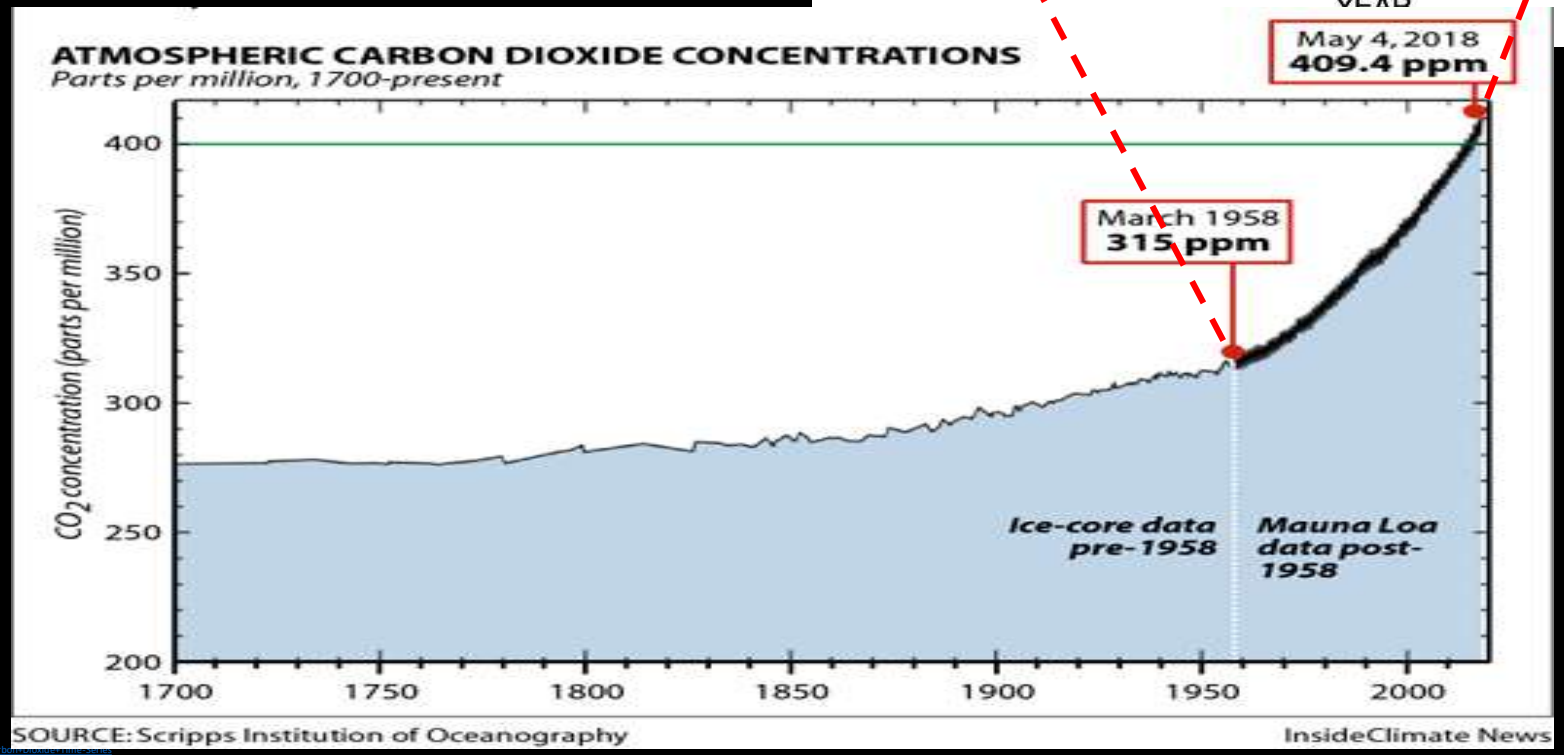


Les principaux accusés : des GES supplémentaires.

Voici les variations actuelles du CO_2. En 2019, « on » a produit 37.10^9 t de CO_2 dues au carbone fossile, et $6.\ 10^9$ t dues à l'oxydation anthropique de la biomasse (déforestation, dégradation des sols …), soit 12 Gt/an de Carbone.



https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html



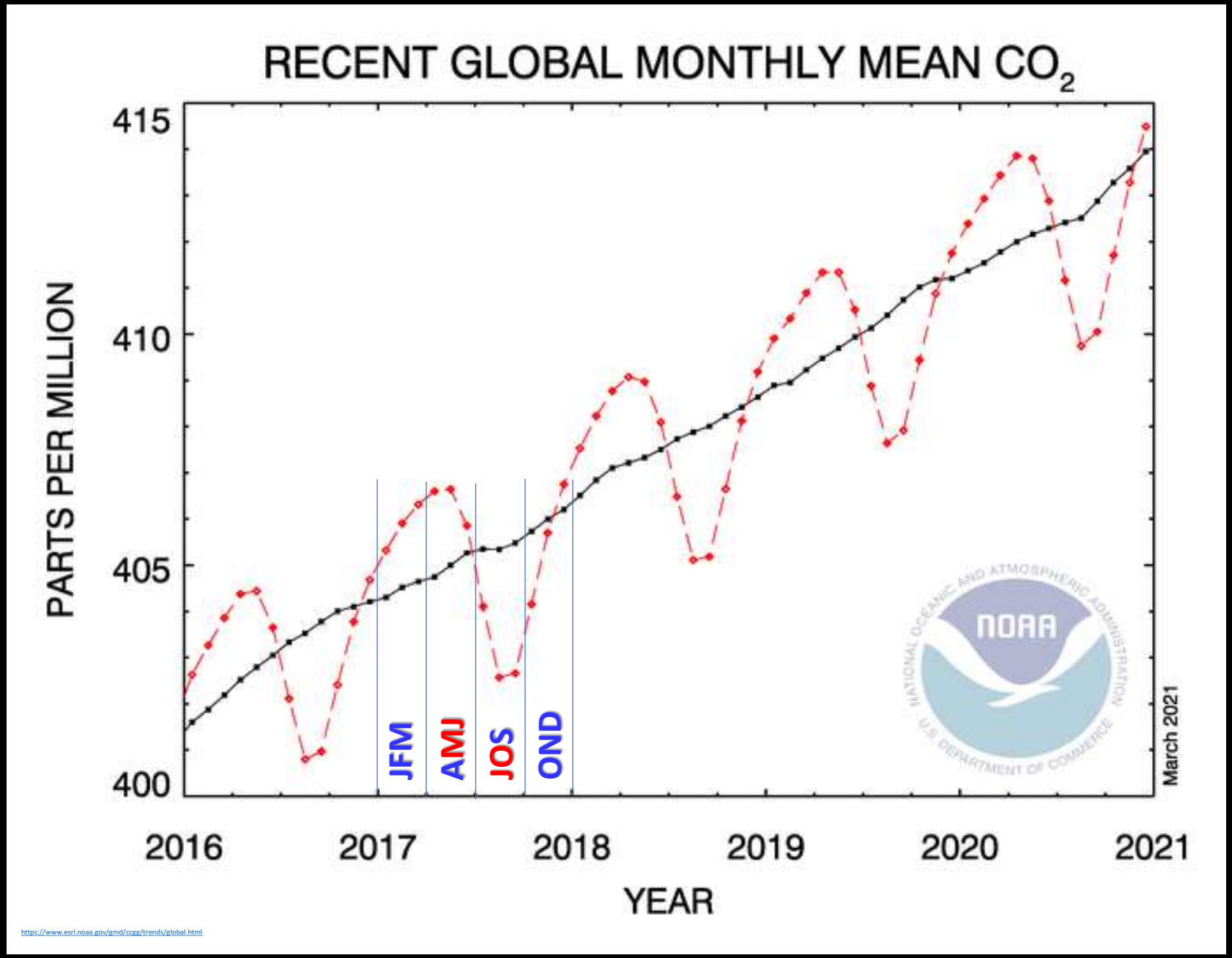
Rappel :

10^9 t

= 1 Gt

= 1 milliard de t.

https://www.pmel.noaa.gov/co2/file/Hawaii+Carbon+Dioxide+time+series



December 2020 : 414.49 ppm

December 2019 : 411.75 ppm

Les dernières (mauvaises) nouvelles : le CO_2 en décembre 2020;