

Le développement des Énergies Renouvelables

Emmanuel JOBARD (PhD) – Novembre 2025
Joris Lepré

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE,
DE L'AGRO-ALIMENTAIRE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

Liberté
Égalité
Fraternité



Sommaire

■ CONTEXTE & ENJEUX

*Comprendre le changement climatique
L'impact global du changement climatique
Focus sur l'impact en agriculture
Réponses aux idées reçues
Quelles solutions pour les exploitations ?
Décarboner le mix énergétique*

■ L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

*Principe et fonctionnement
Différents types d'installations
Points de vigilance*

■ LA MÉTHANISATION

*Principe et fonctionnement
Cadre réglementaire & points d'attention*

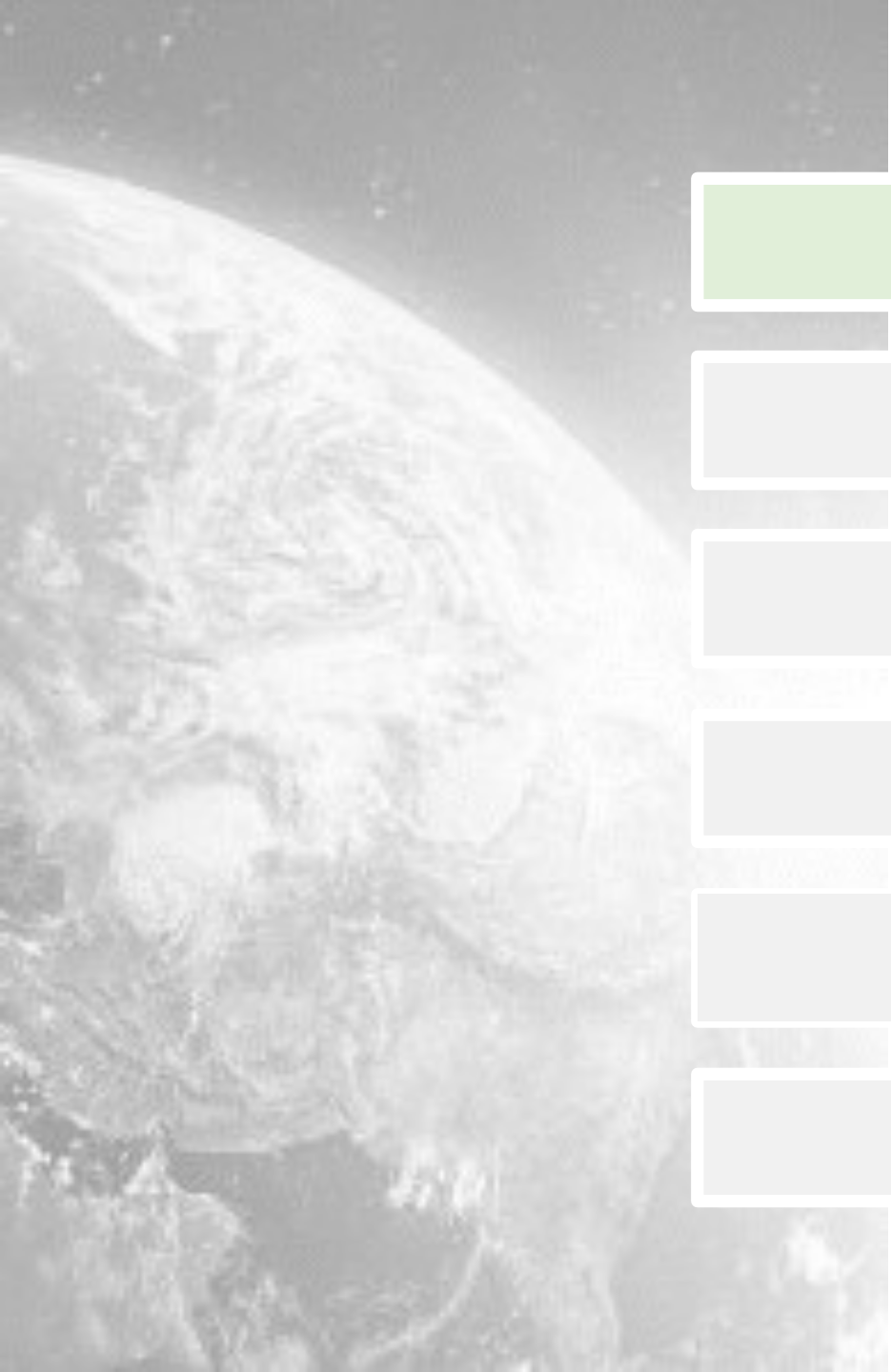
■ L'HYDROGÈNE VECTEUR D'ÉNERGIE

*Propriétés de l'hydrogène
Les sources d'hydrogène
Le stockage
Différentes utilisations*



A background image of the Earth as seen from space, showing the curvature of the planet and the blue atmosphere. The landmasses of Europe and Africa are visible in shades of brown and green against the blue oceans.

CONTEXTE & ENJEUX



Comprendre le changement climatique

L'impact global du changement climatique

Focus sur l'impact en agriculture

Réponses aux idées reçues

Quelles solutions pour les exploitations ?

Décarboner le mix énergétique

MÉTÉO $\neq$ CLIMAT

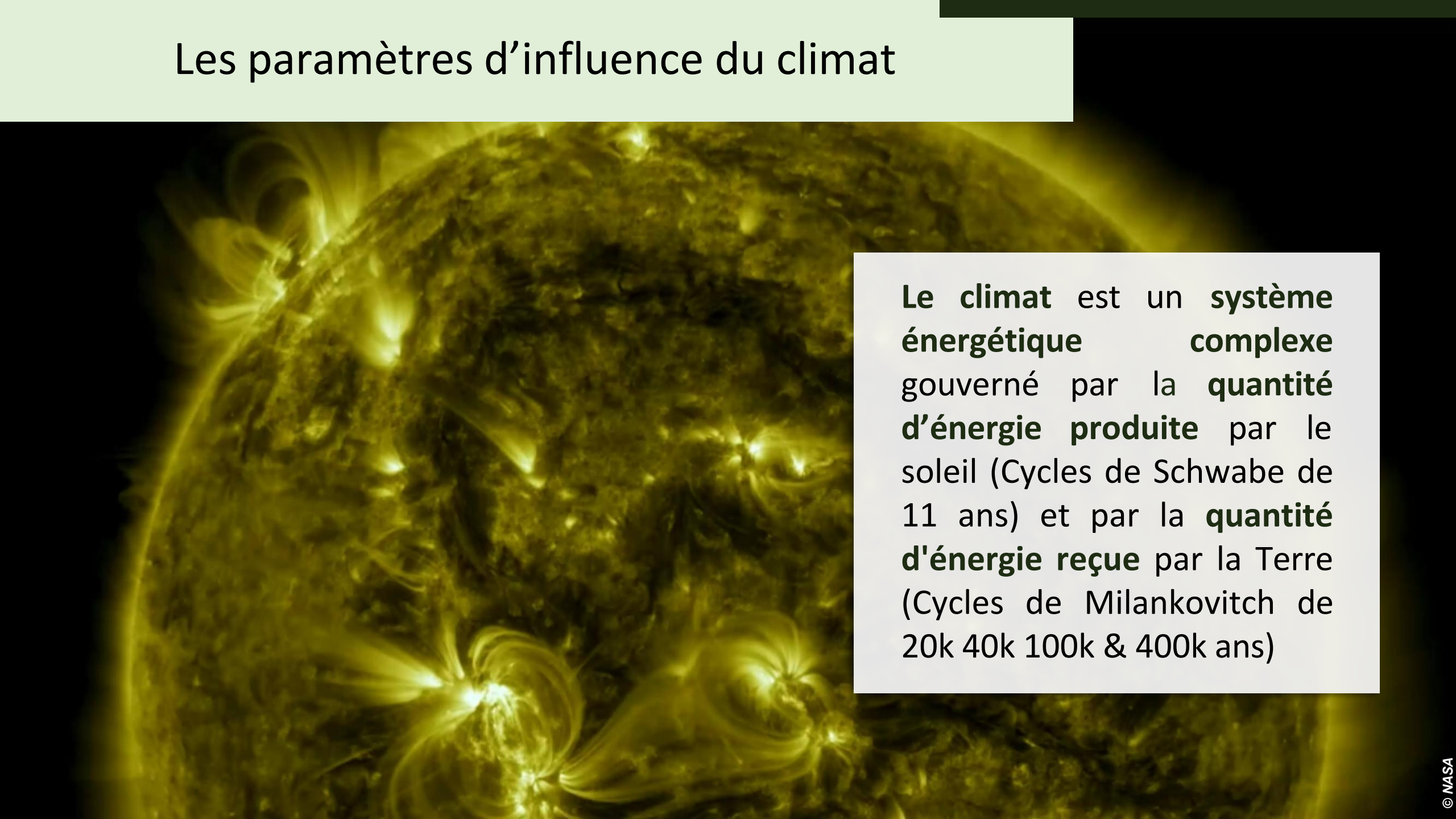


C'est le temps qu'il fait
aujourd'hui et pendant
les jours à venir



C'est la moyenne
des conditions météo
sur plusieurs décennies

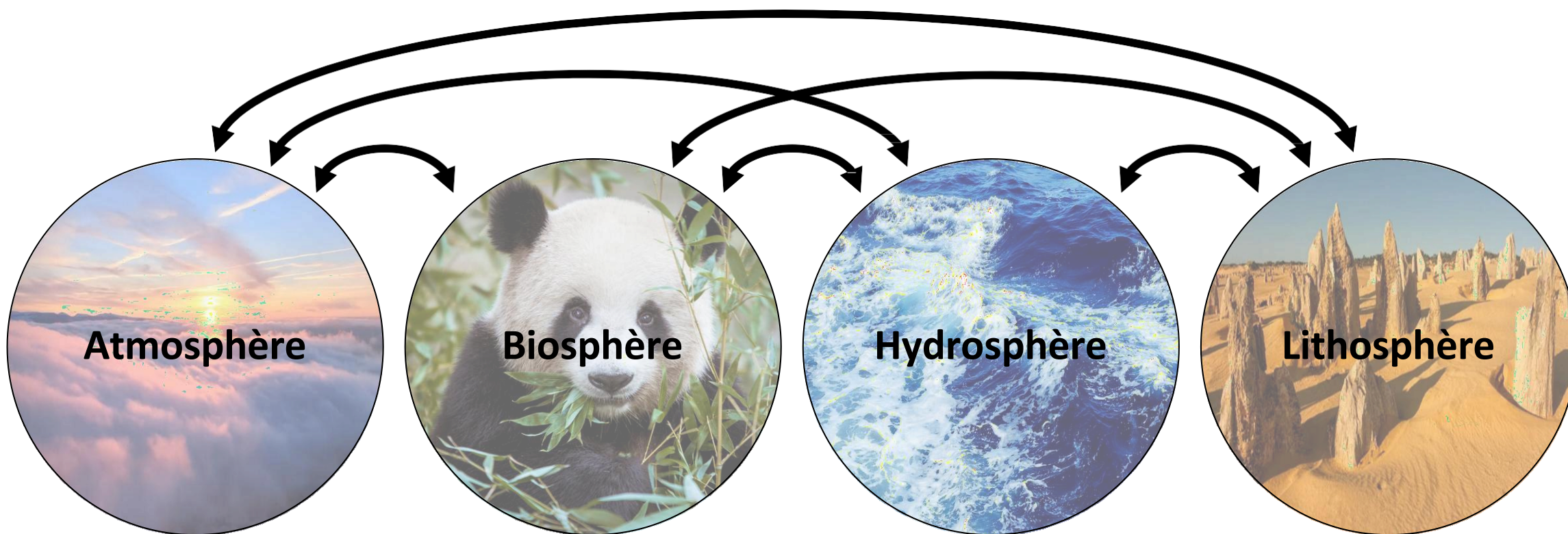
Les paramètres d'influence du climat



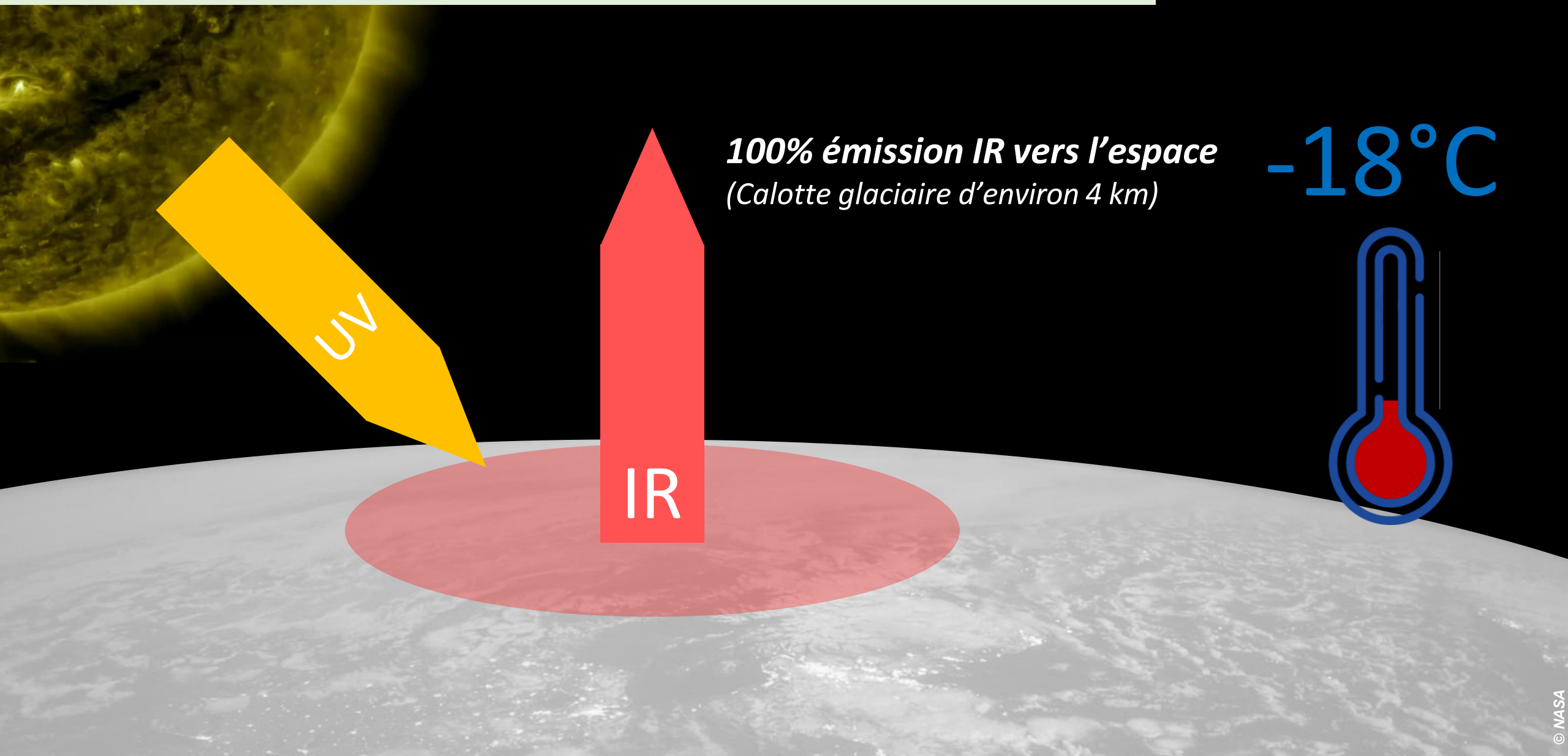
Le climat est un **système énergétique complexe** gouverné par la **quantité d'énergie produite** par le soleil (Cycles de Schwabe de 11 ans) et par la **quantité d'énergie reçue** par la Terre (Cycles de Milankovitch de 20k 40k 100k & 400k ans)

Les composantes internes du climat

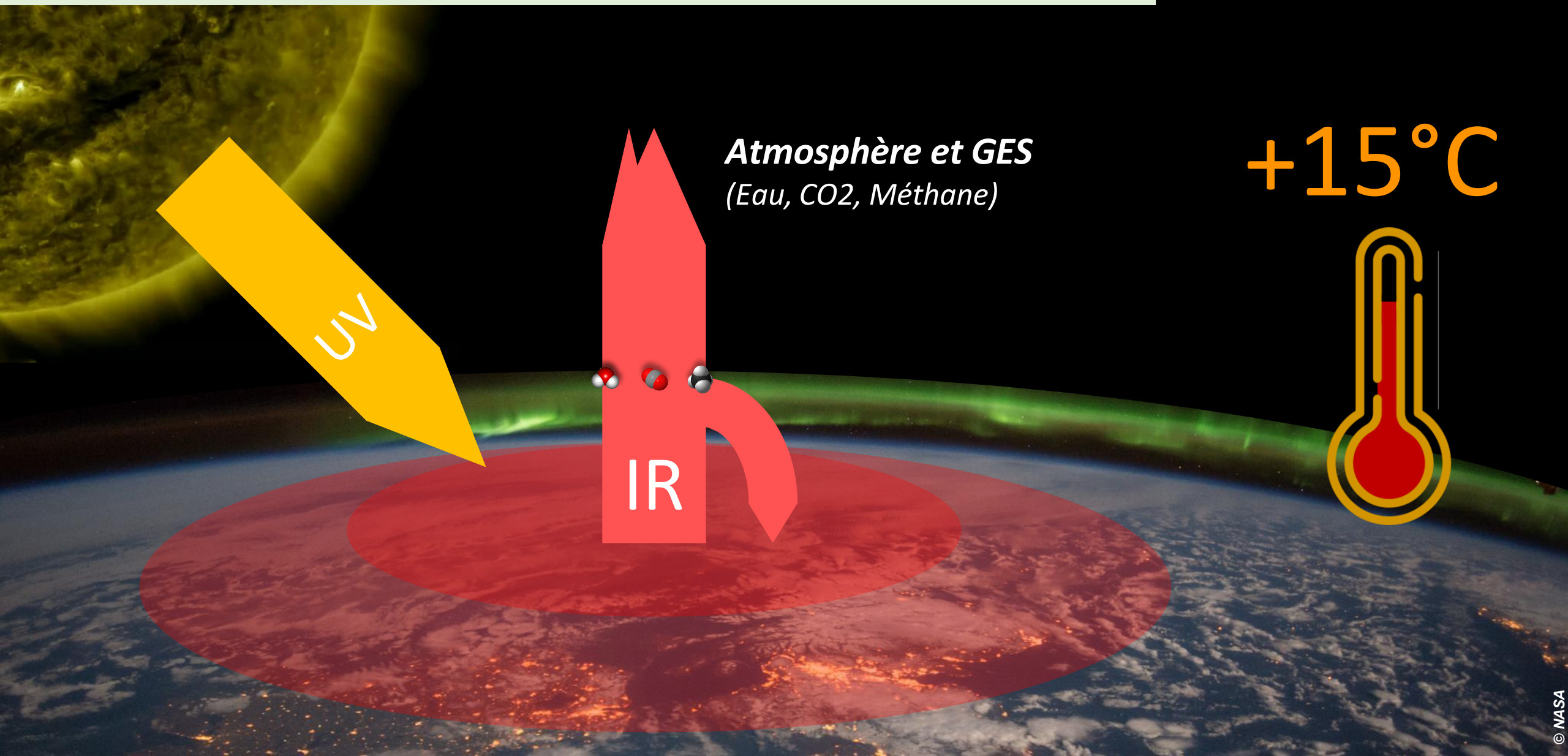
Interactions



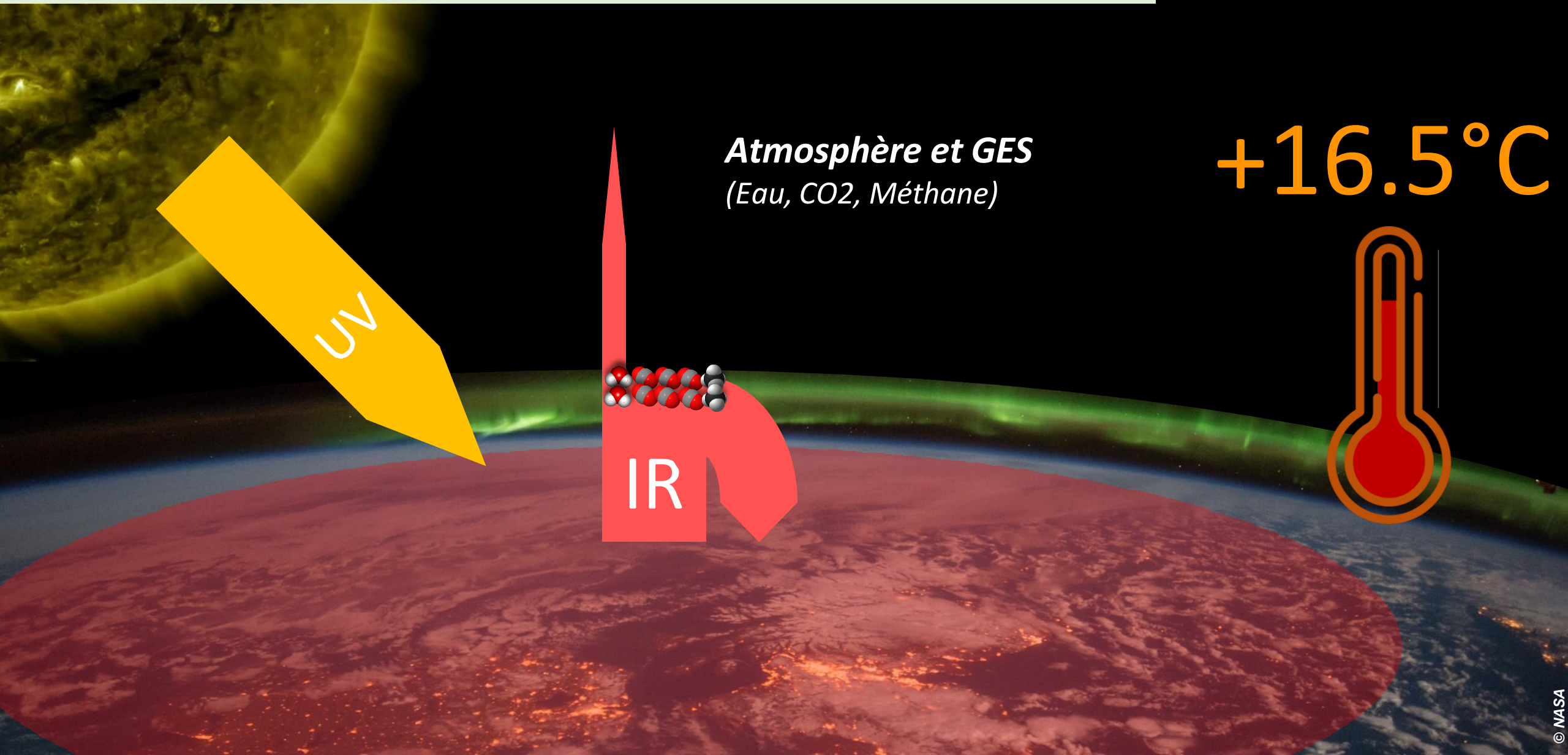
La Terre sans effet de serre



L'effet de serre



L'effet de serre



L'effet d'Auxerre

Joseph Fourier

- Mathématicien
- né à Auxerre en 1768
- Théorise l'effet de serre en 1824 en étudiant les flux de chaleur et les équilibres énergétiques de la planète

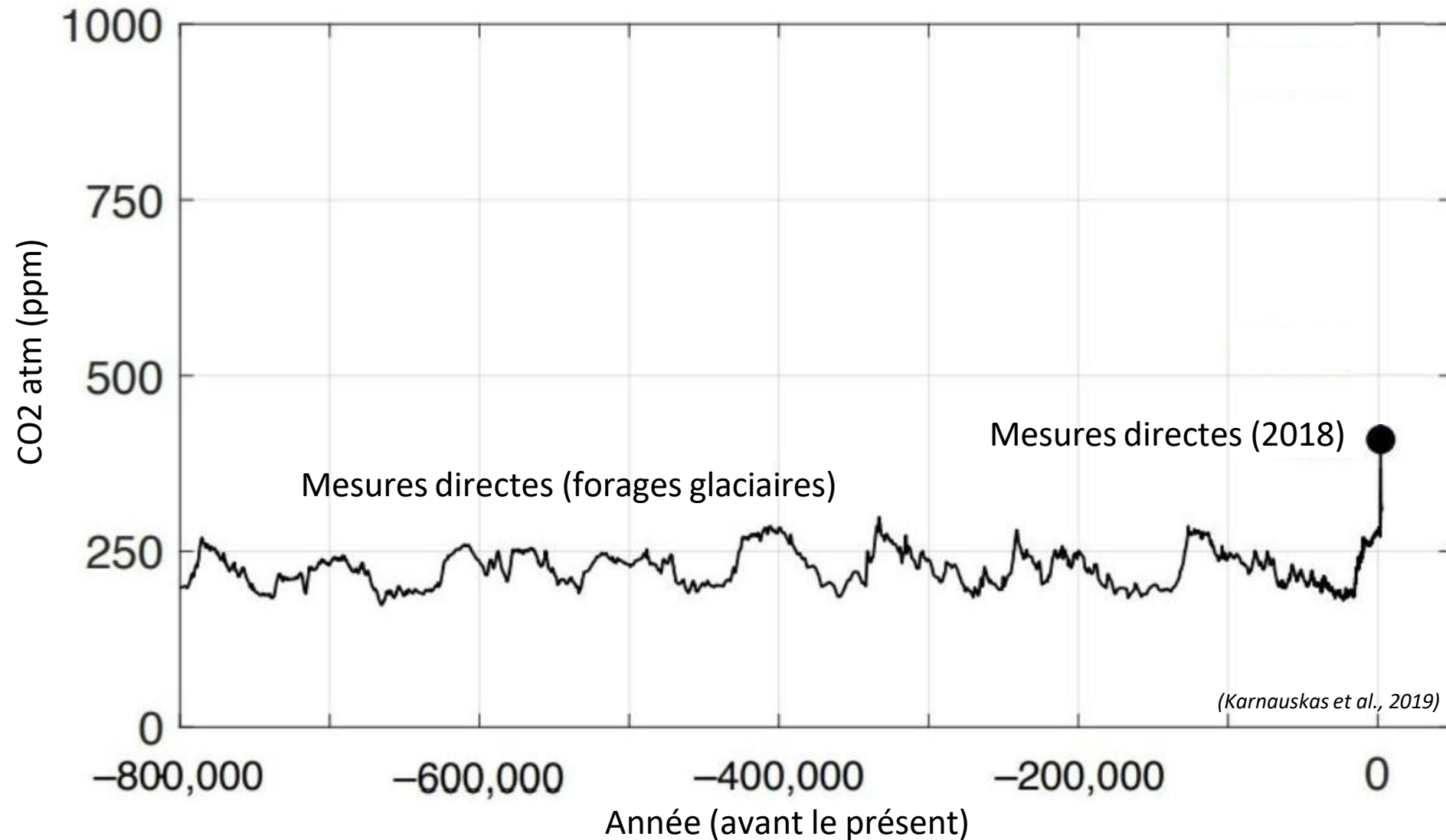


Les travaux du GIEC

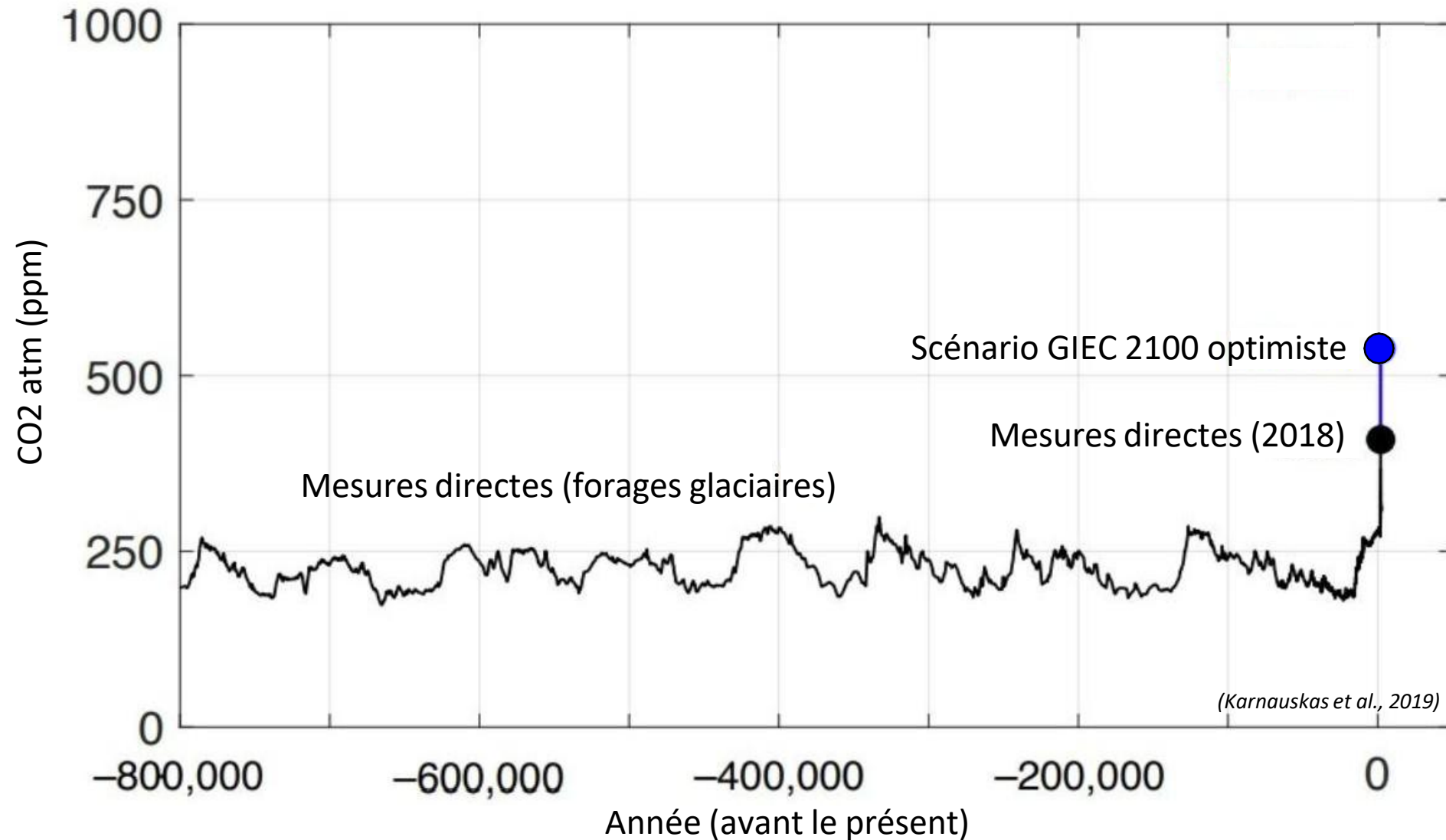


Depuis 1988, les experts du GIEC étudient toutes les publications scientifiques liées au climat, et émettent des scénarios de références selon plusieurs trajectoires en fonction d'hypothèses plus ou moins pessimistes.

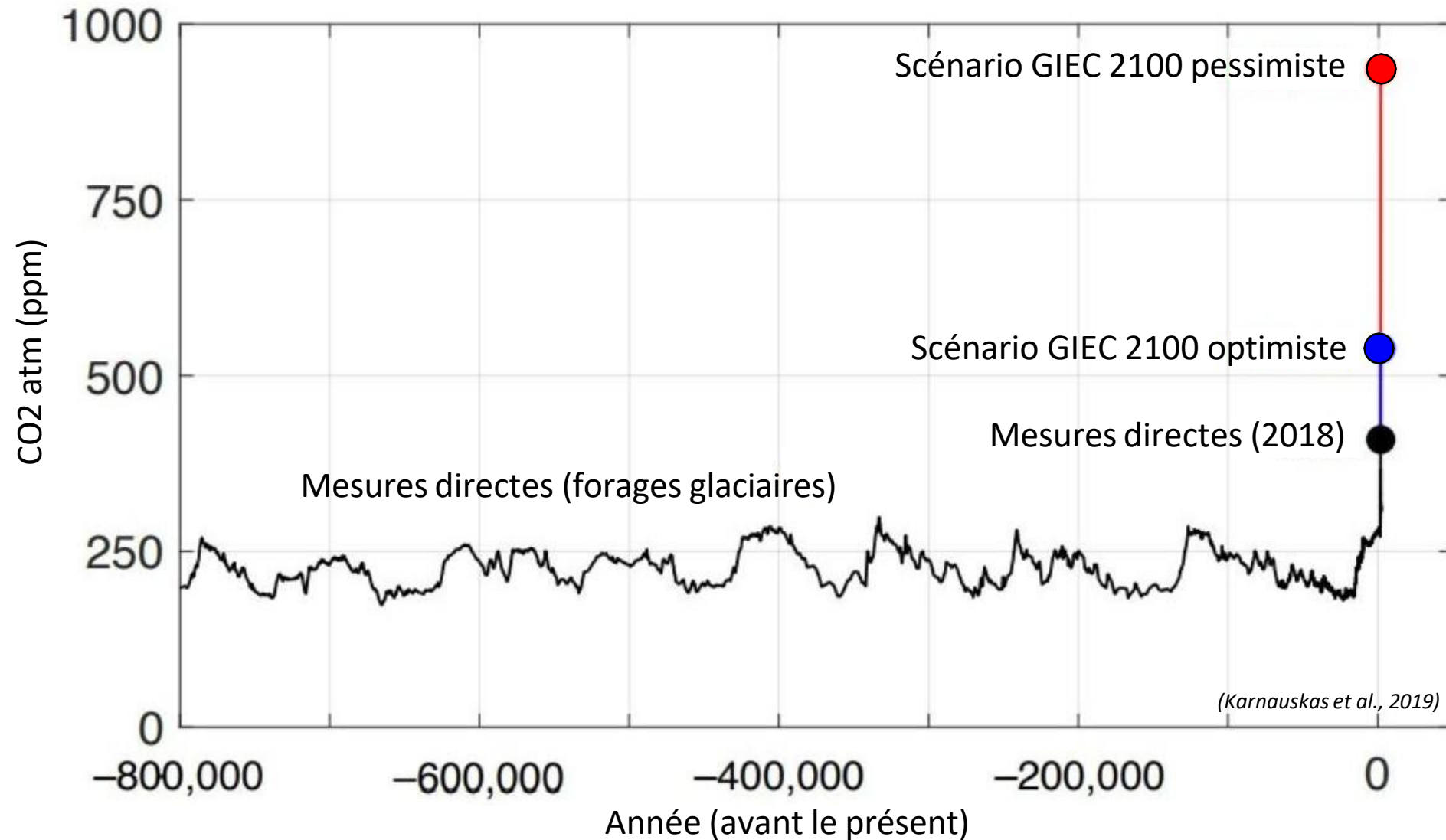
800 000 ans de CO2 atmosphérique



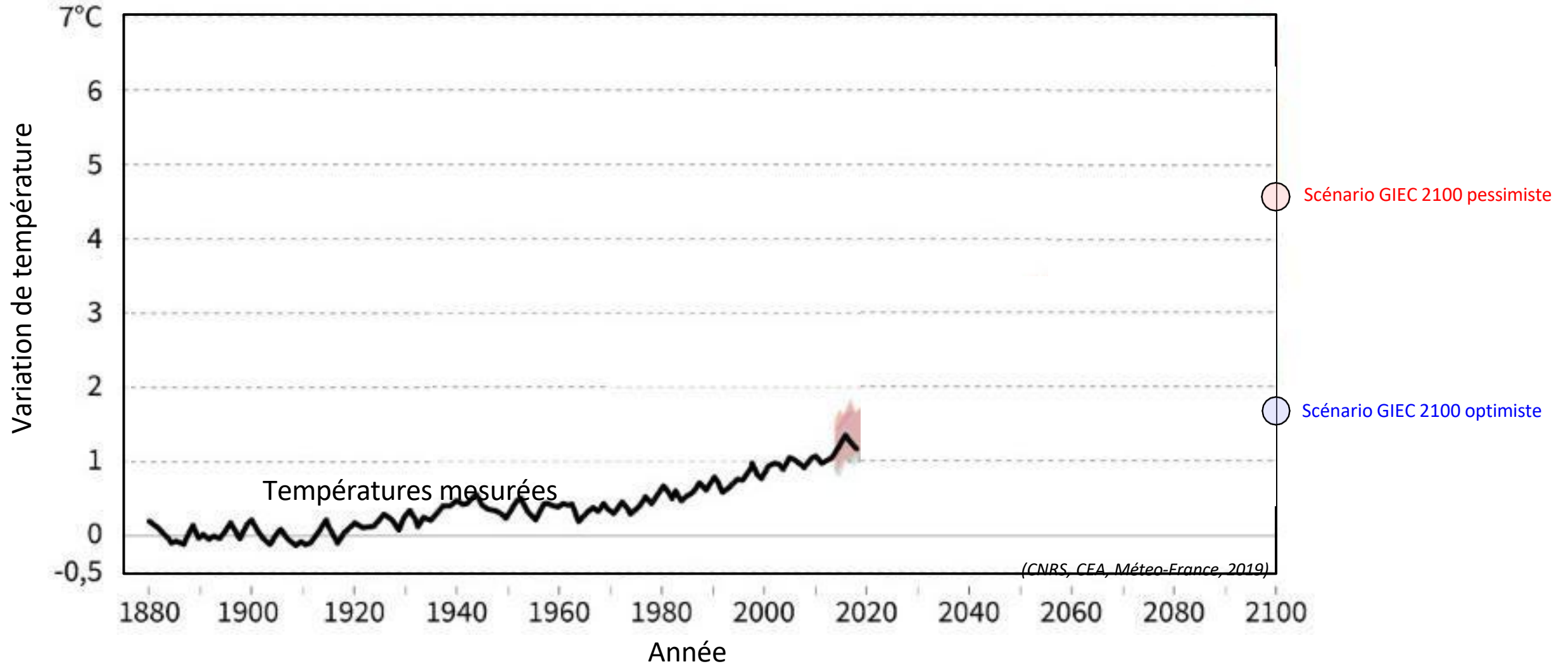
800 000 ans de CO2 atmosphérique



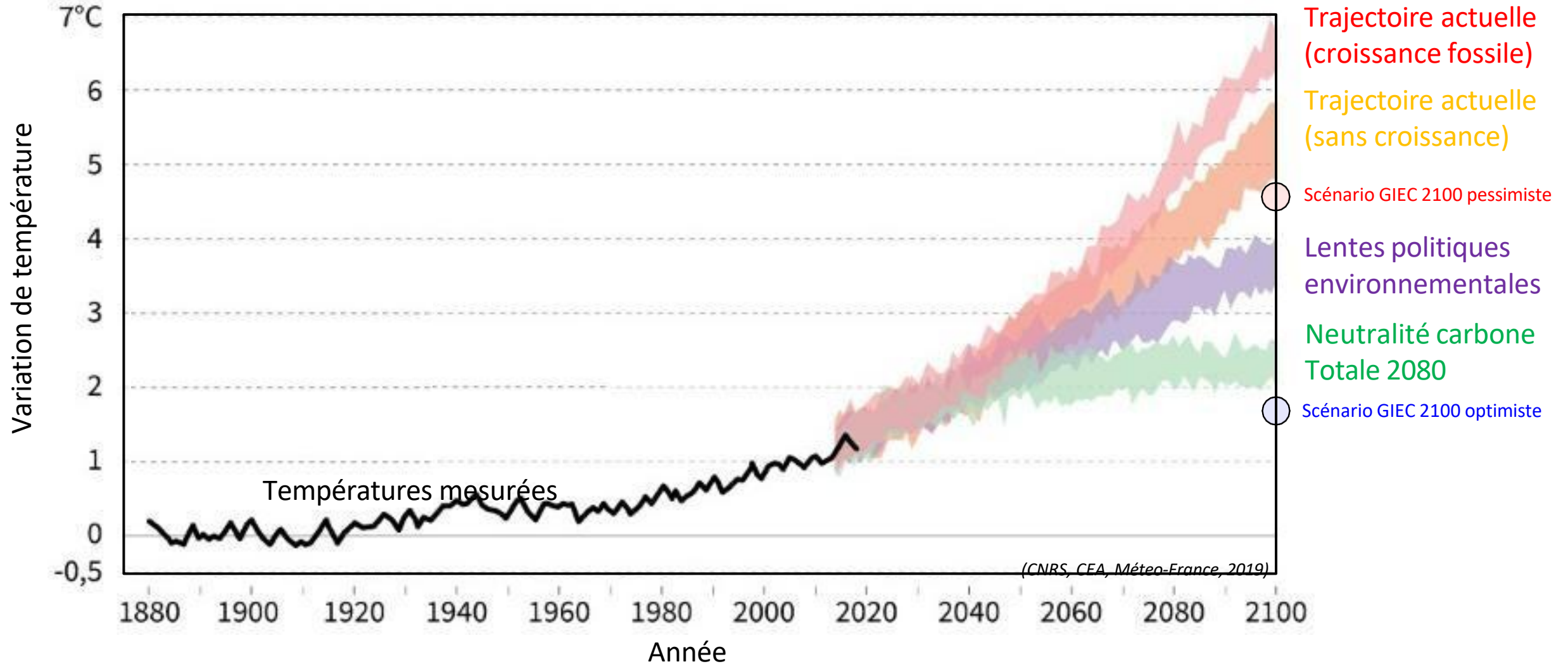
800 000 ans de CO2 atmosphérique



Évolution de la température moyenne



Évolution de la température moyenne





Comprendre le changement climatique

L'impact global du changement climatique

Focus sur l'impact en agriculture

Réponses aux idées reçues

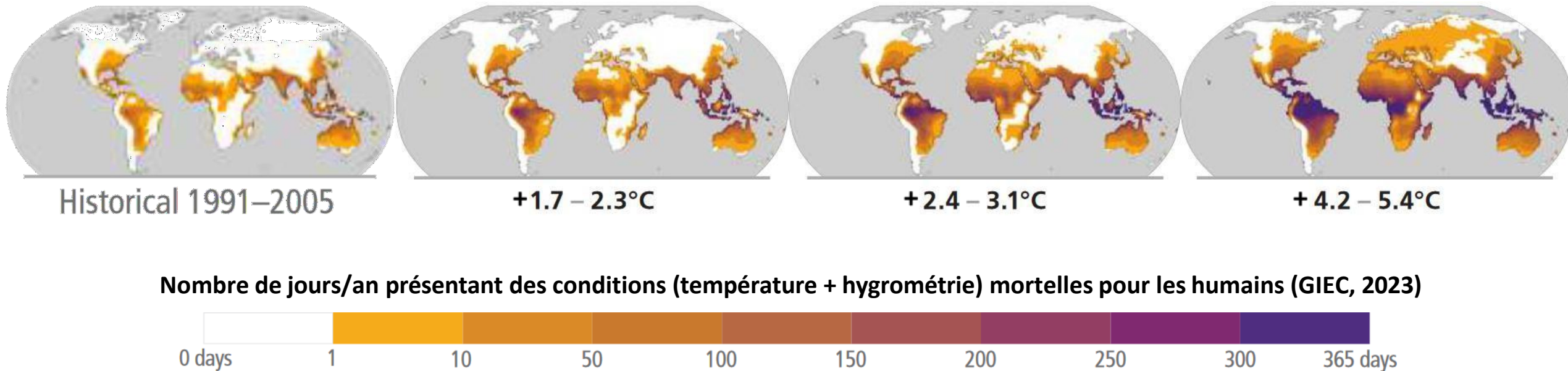
Quelles solutions pour les exploitations ?

Décarboner le mix énergétique

ATTENTION

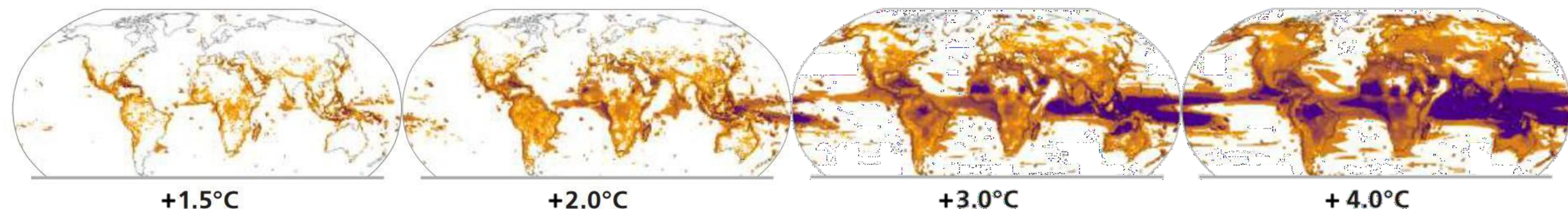
La séquence qui va suivre est susceptible de
heurter la sensibilité d'un public non averti

Des conditions qui menacent la vie humaine



> Les dernières études précisent la limite environnementale létale pour de jeunes organismes en bonne santé. Elle se situe à 38°C pour une hygrométrie de 60% (ou 31°C / 100%) (Vecellio et al. 2022 – Journal of Applied Physiology).

Des conséquences sur la biodiversité sauvage

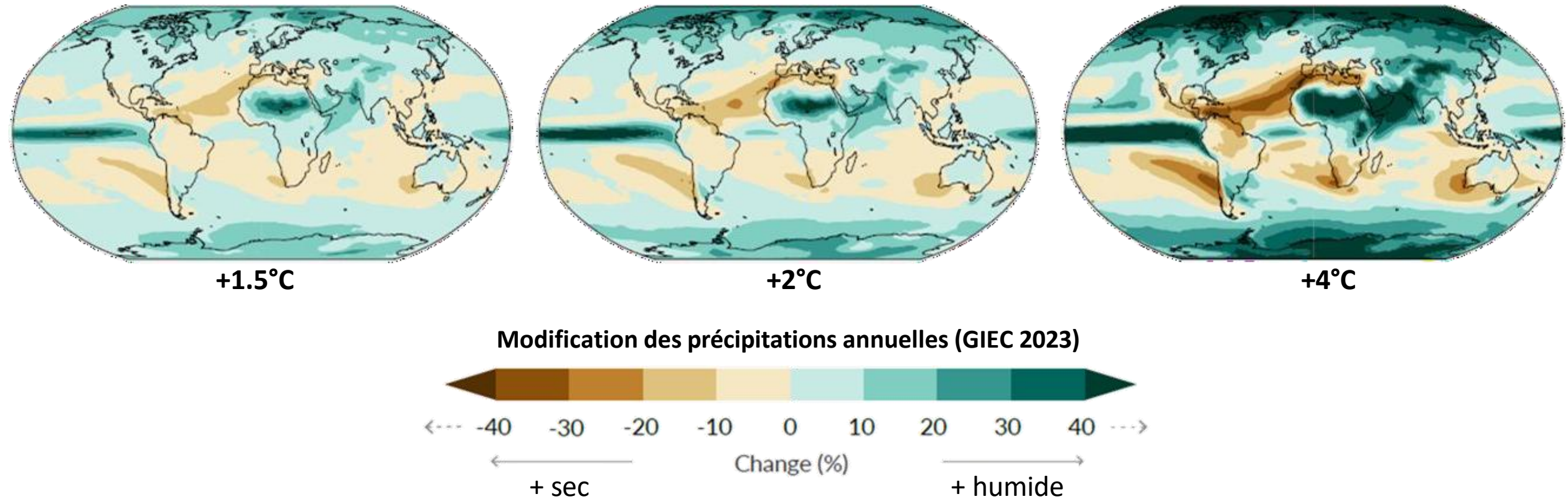


Pourcentage des espèces exposées à des conditions de températures dangereuses potentiellement létales (GIEC, 2023)



- > Le taux d'extinction actuel estimé serait 1000 fois supérieur au taux normal (Pimm et al., 2014 – Sciences)
- > La population d'insectes a chuté de 41% entre 2009 et 2019 (Sanchez-Bayo & Wyckhuys, 2019 – Biological Conservation)

Modification du régime de précipitations

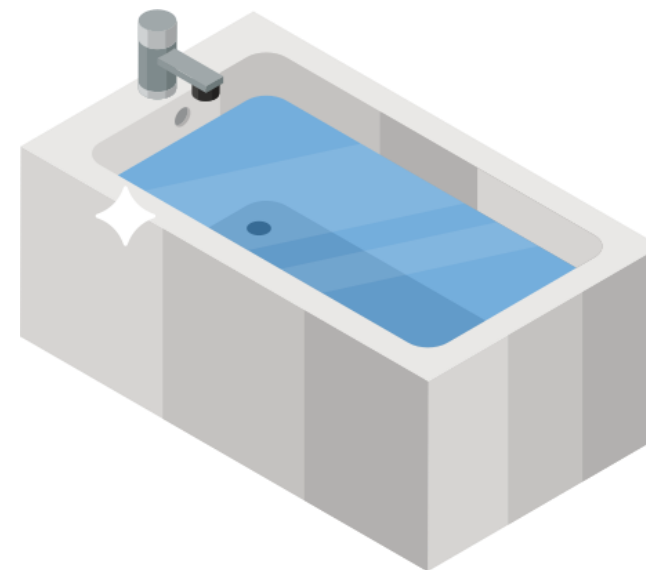


> Les précipitations décennales extrêmes se produiraient tous les 6.7 ans avec un réchauffement de 1,5°C, et tous les 4 ans avec un réchauffement de 4°C (GIEC, 2023).

Disponibilité de la ressource en eau



Toute la quantité d'eau sur Terre...



...Ramenée à une baignoire

Disponibilité de la ressource en eau



Une baignoire :

Quantité d'eau totale (100%)



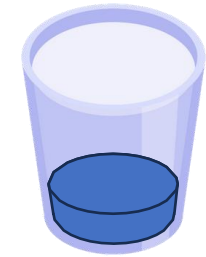
Un seau :

*Eau douce (3%)
dont 70% de glace*



Un verre :

*Eau douce disponible (0,015%)
nappes d'eau superficielles*



Fond de verre :

Consommation humaine (0,0015%)



> Aujourd'hui 1/4 de la population n'a pas accès à une eau douce en qualité et quantité suffisante. L'ONU et l'UNICEF estiment que la proportion sera d'1/3 en 2030, et de 1/2 en 2050 (démographie et réchauffement global).

Mais également :



La fonte des glaces & augmentation du niveau des océans

En fonction du niveau de fonte des glaciers, le niveau des océans augmenterait de 1 à 2m en 2100



La surreprésentation des extrêmes climatiques

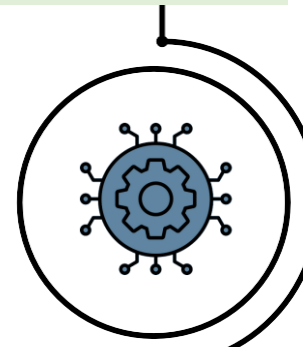
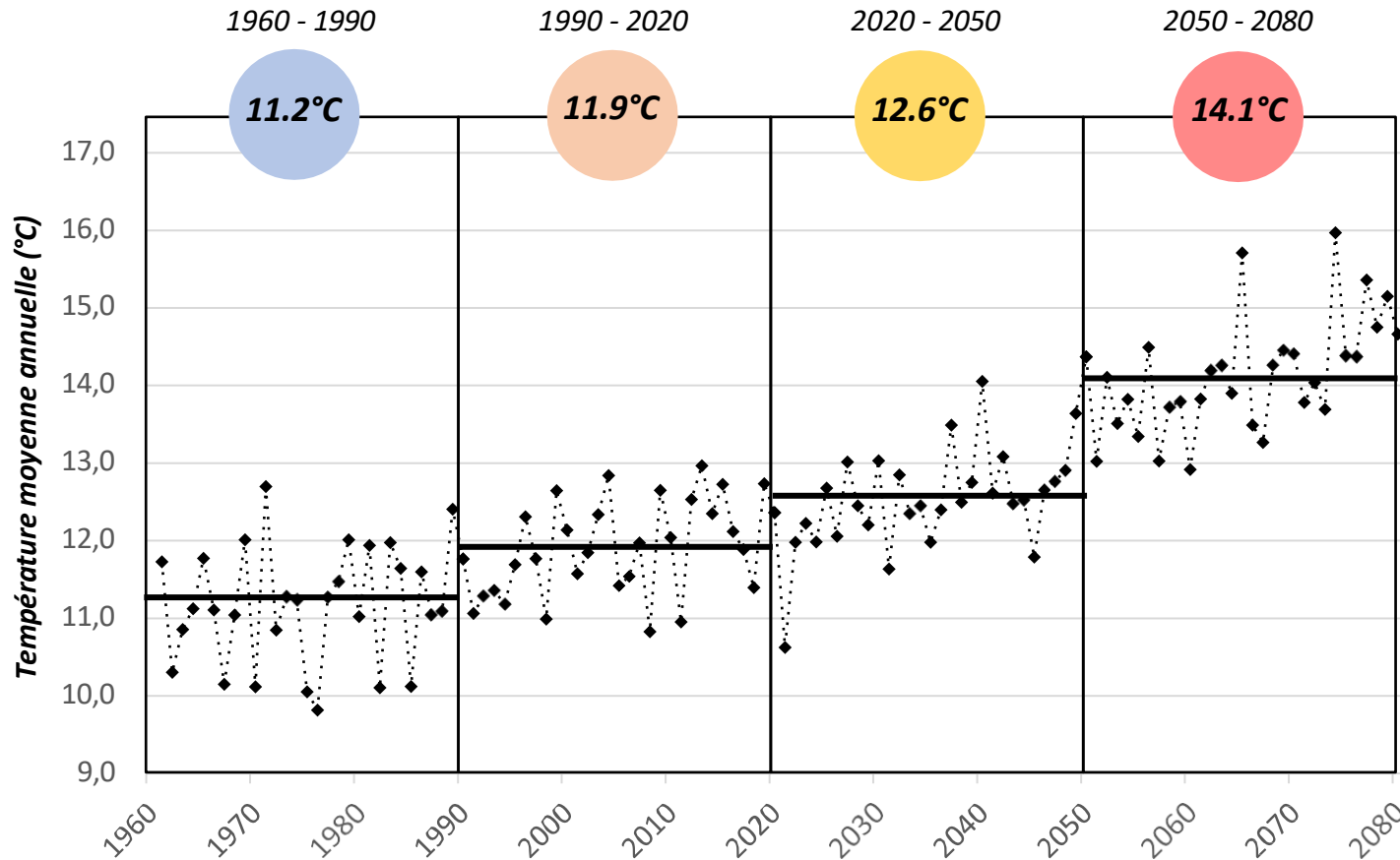
Augmentation de l'amplitude des sécheresses, inondations, tempêtes, feu de forêts...



Le coût de l'adaptation en constante augmentation

Les assurances pour catastrophe naturelle pourraient être multiplié par 3 en 2050 (Mc Kinsey)

Exemple – Ormoy // Température moyenne



Données simulées CLIMAT-XXI
Source DRIAS-2020
Selon modèle Aladin 6.3
Scénario GIEC RCP 8.5
Point de grille : Ormoy



-29
jours

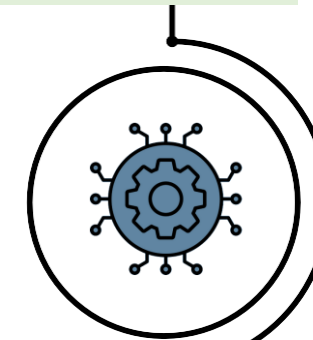
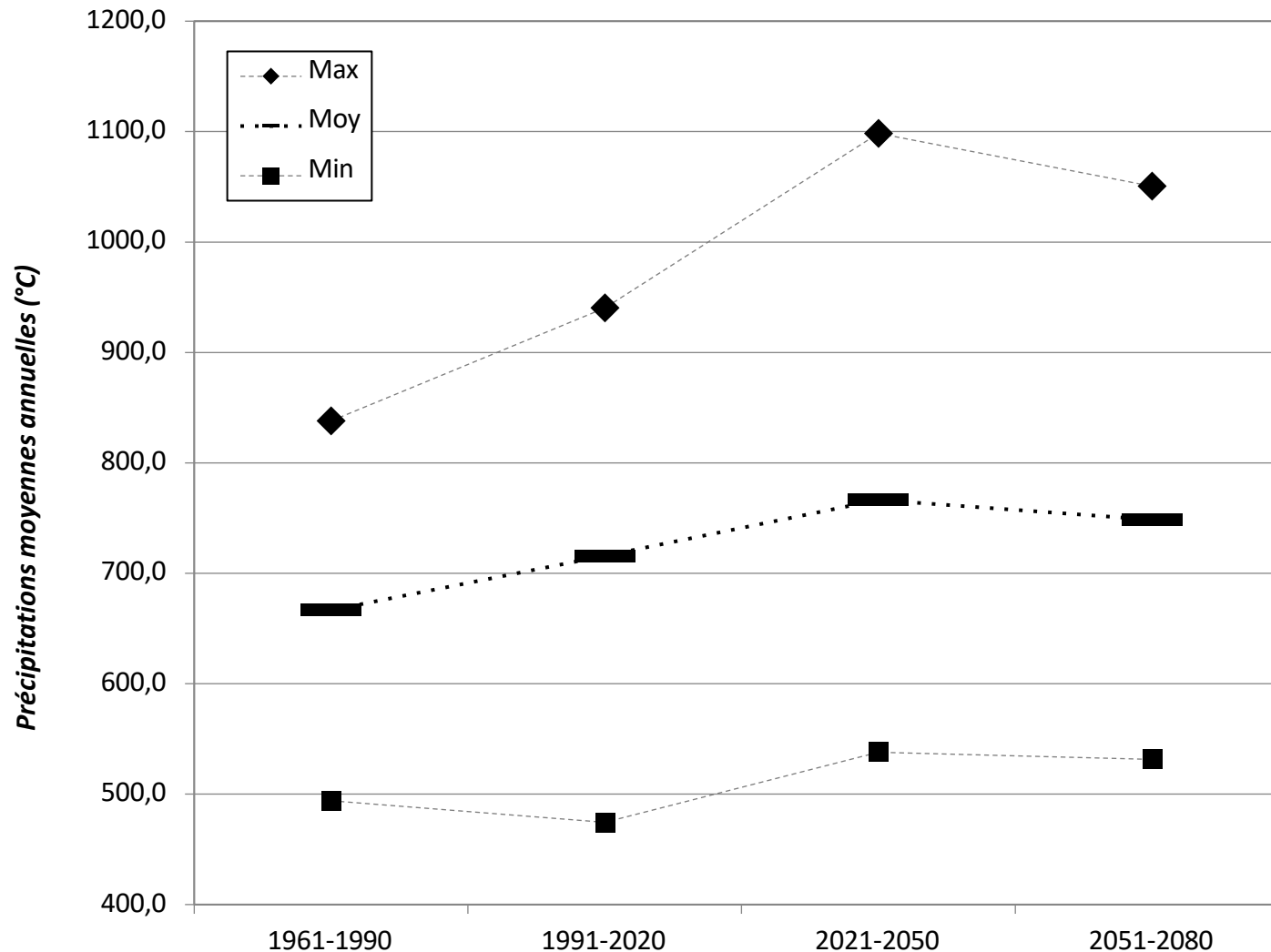
Diminution du nombre de jours de gel par année (température <0°C) dans la période 2050-2080 par rapport à la période 1960-1990



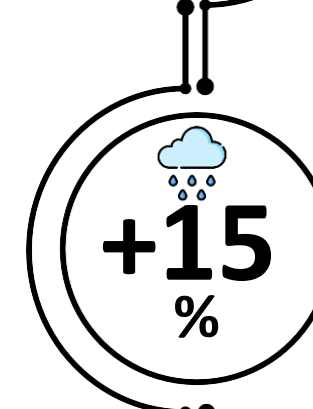
+20
jours

Augmentation du nombre de jour où la température est >30°C par année dans la période 2050-2080 par rapport à la période 1960-1990

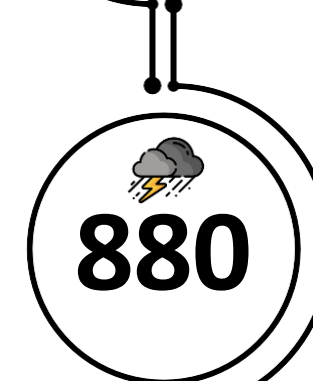
Exemple – Ormoy // Précipitations moyennes



Données simulées CLIMAT-XXI
Source DRIAS-2020
Selon modèle Aladin 6.3
Scénario GIEC RCP 8.5
Point de grille : Ormoy



Hausse des précipitations moyennes jusqu'au milieu du siècle (environ 2050) suivi d'une baisse progressive des précipitations



Les précipitations records telles que rencontrées en 2024 (≈880 mm de cumul station Auxerre) se produisent tous les 5 ans dans la période 2021-2050.



Comprendre le changement climatique

L'impact global du changement climatique

Focus sur l'impact en agriculture

Réponses aux idées reçues

Quelles solutions pour les exploitations ?

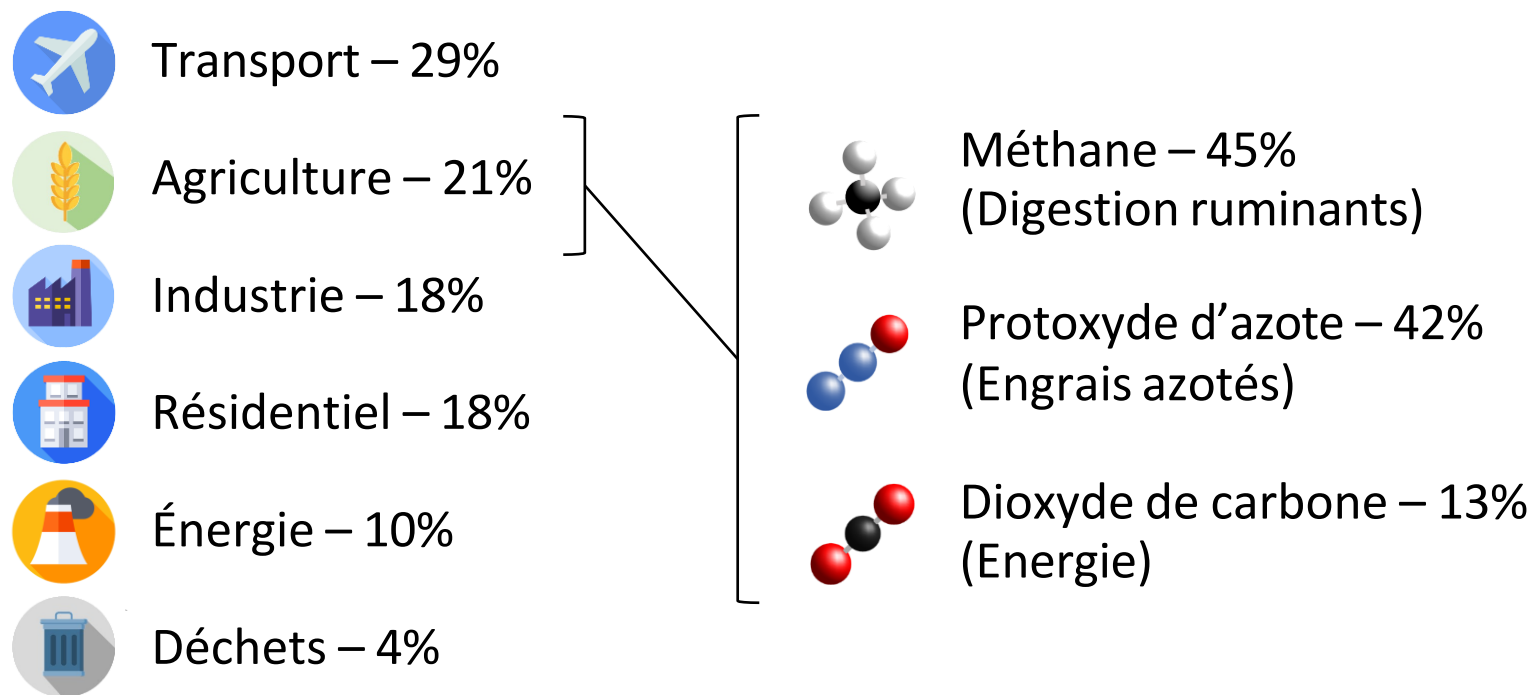
Décarboner le mix énergétique

ATTENTION

La séquence qui va suivre est susceptible de **vraiment beaucoup** heurter la sensibilité d'un public non averti

Le secteur agricole émetteur et capteur de GES

Les émissions de GES d'origine agricole (CITEPA, 2022)

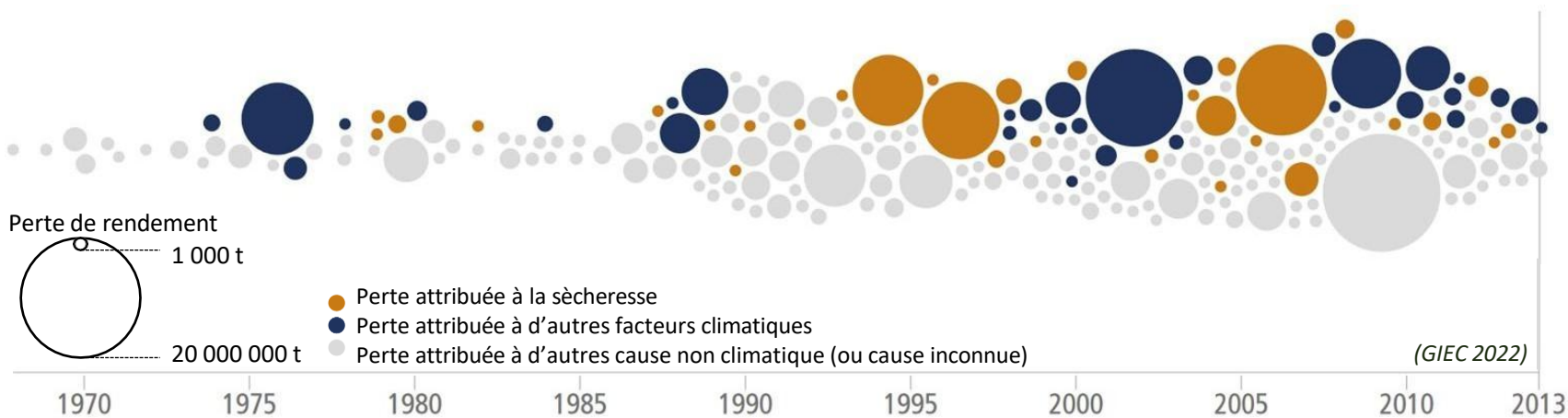


L'agriculture est également un **vecteur important de stockage du carbone**. Le carbone peut en effet être séquestré dans les **sols** et dans la **biomasse**. De nombreuses pratiques permettent d'optimiser ce processus en préservant les sols (diminution des labours, intrant biochar...) ou en augmentant la **photosynthèse** (agroforesterie, couverture végétale, rotation des cultures, gestion de l'eau...).

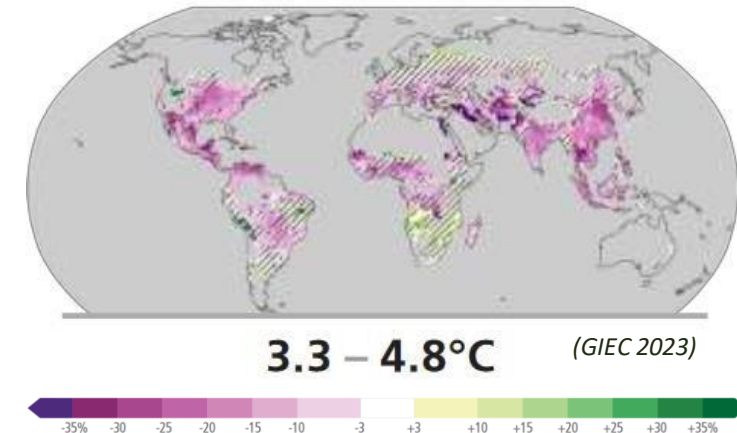
> L'agriculture représente 68% des émissions nationales de méthane et 80% des émissions de protoxyde d'azote.

Conséquences sur les rendements en cultures

Évolution des pertes de rendement imputées à des facteurs climatiques (1970 – 2013)



Modification des rendements de maïs
(projection + 3.3 – 4.8°C)



- > Les pertes de rendements agricoles liées à des phénomènes climatiques ont été multiplié par 3 en 50 ans (GIEC 2022).
- > Les rendements projetés dans un scénario à 4°C anticipe des modifications de -35 à +35% selon les régions (GIEC 2023).

Exemple grande culture - station Branche



Projection 2100 (données DRIAS/CNRM2020, RCP8.5)



Température moyenne : +3.6°C



Précipitation : +9% / -10 j de pluies



Indicateur SSWI : Sols très secs



Blé : Semis plus difficile, risque échaudage, septoriose, viroses



Colza : Pression ravageurs forte, **viabilité remise en cause**



Maïs : Avancement du calendrier, pression ravageurs accrue



Soja : Stress hydrique fort, **viabilité remise en question**



Tournesol : Stress hydrique fort, **viabilité remise en question**

Modification des terroirs, impact sur les AOC/AOP

LE PROGRES Actualité ▾ Départements ▾ Sport ▾ Sorties et loisirs ▾ Magazine ▾ Services ▾ Q

Accueil > Economie

Retraites Retrouvez-nous sur LinkedIn Casino en crise

L'AOC côte-roannaise fête ses 30 ans

Au sommaire du dossier

Loire

Changement climatique : le vignoble de la Côte roannaise va gagner en altitude

Après le combat pour la création de l'AOC il y a 30 ans, les vignerons de la Côte roannaise veulent remonter l'aire d'appellation de 50 à 100 mètres d'altitude pour s'adapter au changement climatique et mettre en valeur des lieux-dits pour ensuite se tourner vers une démarche de premiers crus.

Kévin Triet - 16 avr. 2024 à 06:00 | mis à jour le 16 avr. 2024 à 14:41 - Temps de lecture : 3 min

LesEchos

À la une Idées Économie Politique Entreprises Finance Marchés Sécurité Santé Élection US Tech-Médias Start-up Régions Patrimoine Le Mag WE

ENQUÊTE

Vins et fromages : quand le changement climatique bouleverse les traditions

Le changement climatique bouleverse les règles du jeu pour les près de 1.200 AOP/AOC, IGP et Label rouge. Dans le vignoble, et la production de fromages, des expérimentations sont en cours pour s'adapter.

Ajouter à mes articles Commenter Partager Climat Voyages



Déjà 25 AOC Bordeaux, Languedoc, Corbières, Champagne, ou Côtes de Provence se sont portées candidates pour tester de nouveaux cépages. (Sébastien Orfila/REA)

Par **Dominique Chapuis**
Publié le 25 mai 2024 à 10:59 | Mis à jour le 25 mai 2024 à 11:28

LSA

Entreprises ▾ Métiers ▾ Marchés ▾ Digital & tech ▾ La conso s'engage ▾ LSA Data ▾ LSA Events ▾

Enquête DOSSIER

Climate : comment les signes de qualité s'adaptent [DOSSIER] Sommaire ▾

Pour lire l'intégralité de cet article, **abonnez-vous à LSA Conso - édition Abonné**

IGP, AOP : comment les signes de qualité s'adaptent au changement climatique

Dans un contexte bousculé par le changement climatique mais aussi par la concurrence mondiale accrue, les filières françaises de produits sous signes de qualité doivent ajuster leur cahier des charges.

Réservé aux abonnés

Marie Cadoux
12 août 2024 | 12h00

2 min. de lecture



© Franck Socha/IGP Marennes Oléron

L'IGP Marennes d'Oléron a par exemple décidé d'arrêter l'activité des huîtres labellisées de juin à août.



> Le changement climatique peut intervenir dans la redéfinition des terroirs. Ces modifications peuvent avoir des répercussions sur les aires de répartitions des types d'exploitations, mais également sur les définitions des appellations.

Fréquence et amplitude des épizooties



L'augmentation des températures présente des conséquences sur la **propagation des épizooties**, selon des interactions écosystémiques complexes.

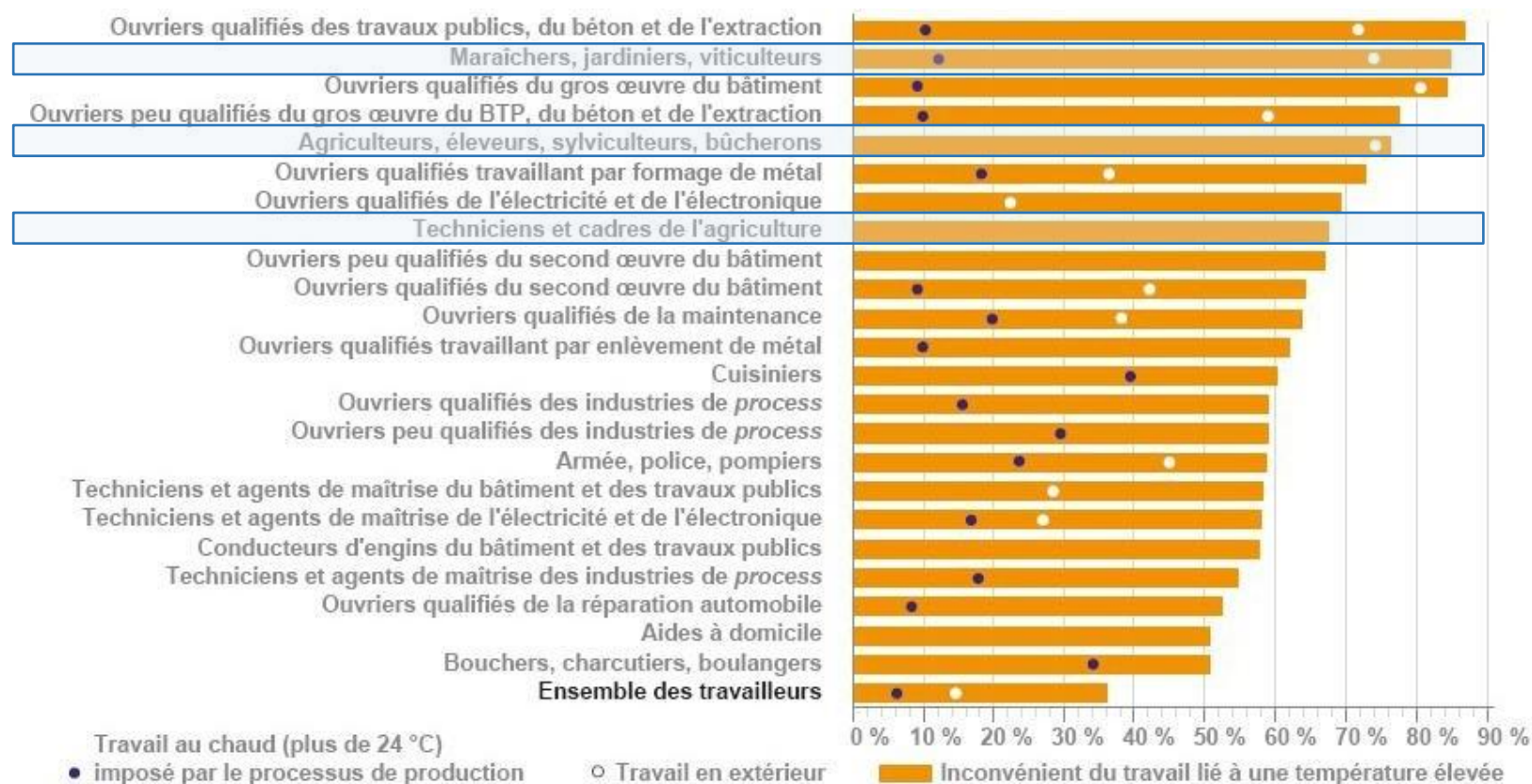
- Augmentation des **taux métaboliques des arthropodes**
- Modification de **l'aire de répartition des vecteurs**
- Stress thermique et **diminution des défenses immunitaires**
- Fonte des pergélisols et **réapparition des pathogènes**
- Prolifération et **déséquilibre de prédation**



> *L'augmentation des taux métaboliques se traduit par une vitesse d'alimentation plus élevée, une fréquence de ponte plus importante et une meilleure transmission des pathogènes à l'hôte (Ahumada et al., 2004; Bett et al., 2017).*

Pénibilité au travail

Métiers les plus exposés à une température élevée (France stratégie – enquête condition de travail, DARES 2019)



> D'après Parson et al. (Environmental Research Letter, 2022), 650 milliards d'heure de travail perdues dans le monde en 2017 sont imputables à une trop forte exposition à la chaleur humide (148 millions d'emplois à temps plein).



Comprendre le changement climatique

L'impact global du changement climatique

Focus sur l'impact en agriculture

Réponses aux idées reçues

Quelles solutions pour les exploitations ?

Décarboner le mix énergétique

AVERTISSEMENT

Toute ressemblance avec des personnes ou des situations existantes ou ayant existé pourrait être fortuite (ou pas)

Le climat a toujours changé ...



Vrai

"Le climat change tout le temps, c'est un processus naturel, ~~l'Homme n'y est pour rien~~"

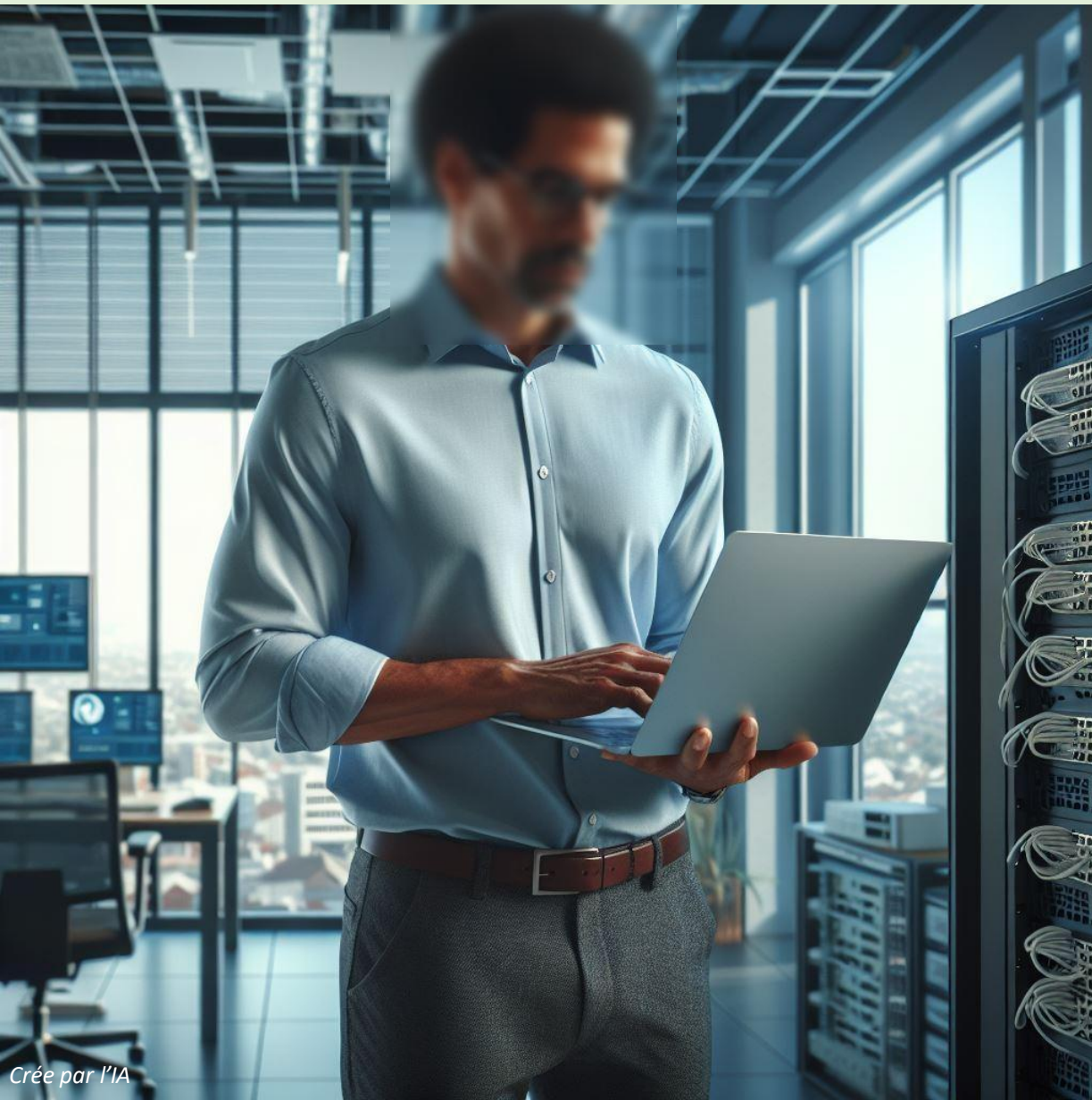
Faux

Michael J. Garagiste dans le Connecticut

Les climatologues ont (très) bien étudié les différents cycles qui gouvernent le climat depuis plusieurs millions d'années, et **l'impact des activités humaines sur le réchauffement climatique est aujourd'hui avéré.**

Par contre ils ne sont pas spécialistes en réparation de voiture 🤨

Le CO2 ne représente que 0,04% ...



Vrai

"Le CO2 ne représente que 0,04% de l'atmosphère, ~~les récentes variations ne changent rien au climat~~"

Faux

Irvin P. Ingénieur télécom dans la Creuse

Dans un système aussi complexe, la moindre modification peut avoir des effets à grande échelle, et **le CO2 joue un rôle crucial** dans l'équilibre climatique lié à l'effet de serre.

Même une petite graine peut donner un arbre gigantesque (et une goutte de cyanure peut détruire un organisme) 🤖

Hier il a fait froid ...



Vrai

**"Hier il a fait froid, c'est bien la preuve
que le réchauffement climatique
n'existe pas"**

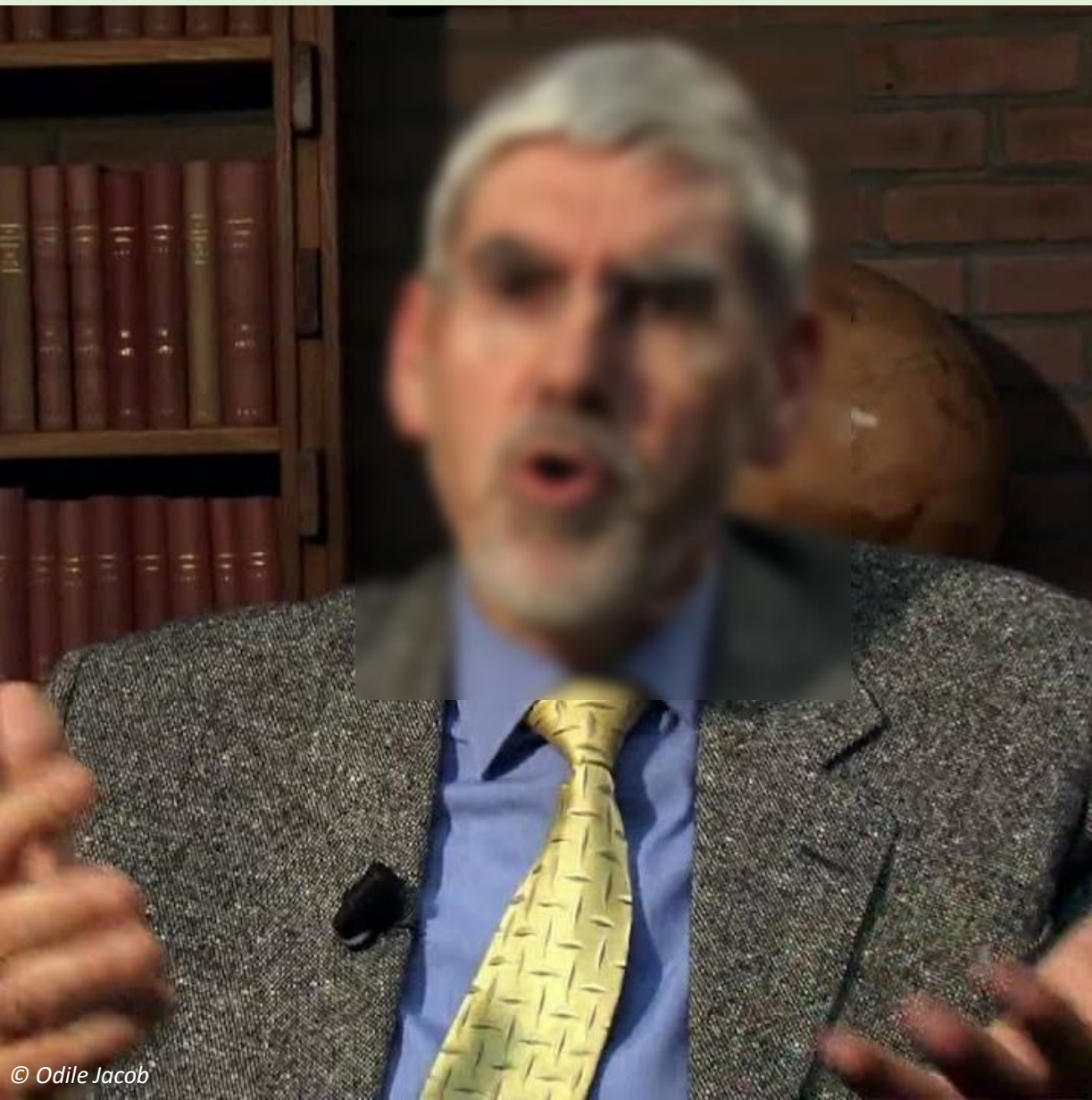
Faux

Donald D. Fonctionnaire de l'administration américaine

Ce cher Donald confond météo et climat, ce qui est une erreur courante chez les personnes non initiées.

Heureusement que les personnes qui occupent des postes stratégiques sont formées et bien conscientes des enjeux 👍

Absence de consensus scientifique ...



Vrai

"Tous les scientifiques ne sont pas d'accord, ~~c'est bien qu'il y a un complot derrière tout ça~~" *Faux*

Vincent C. Docteur en Sciences occultes

Les scientifiques sont d'accord à 97% sur la causalité anthropique du réchauffement climatique, il y a donc consensus. Pour comparaison, le consensus scientifique sur les effets néfastes de la pollution de l'air sur les organismes est de 90%.

Par contre 10% des français considèrent qu'il est possible que la Terre soit plate (IFOP). Cette proportion passe à 99.9% chez les utilisateurs de Tiktok (Fake) 🕶️



Comprendre le changement climatique

L'impact global du changement climatique

Focus sur l'impact en agriculture

Réponses aux idées reçues

Quelles solutions pour les exploitations ?

Décarboner le mix énergétique

Prise en compte dans les politiques publiques



COP21 • CMP11
PARIS 2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE

Monde - Accords de Paris

- > Réduction des émissions de GES (limiter le réchauffement à +2°C à horizon 2100)
- > Ressources financières aux pays en développement pour en atténuer les effets
- > Accroître les capacités d'adaptation aux effets produits par ces changements



Europe - Politique agricole commune (PAC) + Green Deal :

- > Lutter contre le changement climatique
- > Protéger les ressources naturelles
- > Renforcer la biodiversité



France - Plan de relance France 2030, planification écologique...

- > Économie (économie circulaire, circuits courts)
- > Mix énergétique décarboné (production et usages – transport, logement...)
- > Transition agricole & environnement (protection des sols, biodiversité, eau potable)



Local – Intégration dans les différents plans stratégiques

- > Projets Alimentaires Territoriaux (PAT)
- > Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET)
- > Plan de mandat ...

Travailler sur l'atténuation (préventif)



RÉDUIRE LES ÉMISSIONS

*Travailler sur les **équivalents carbone**s et mettre en place des leviers pour **limiter les émissions** (réduction du **méthane entérique**, limiter les **intrants**, valoriser les **déchets**, limiter la **consommation de fuel**...). Développer les **énergies renouvelables** pour décarboner le mix énergétique.*



PIÉGER LE CARBONE

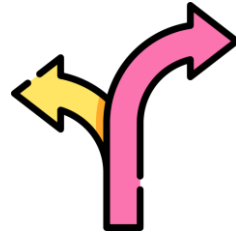
*Favoriser la séquestration du carbone (travail sur les **sols**, favoriser le **compostage**, explorer l'**agroforesterie** & les **couverts permanents**, **renaturation des haies**, protéger la **biodiversité**...).*

Travailler sur l'adaptation (curatif)



ANTICIPER

*Anticiper les **grandes tendances climatiques**, la **modification des terroirs**, l'**impact financier** sur le long terme, travailler sur des stratégies de **gestions de crises**.*



DIVERSIFIER

*Transformer les **produits**, vendre en **circuits courts**, développer les **énergies renouvelables**, optimiser les sources de revenus, limiter la **corrélation entre le climat et les rendements**.*



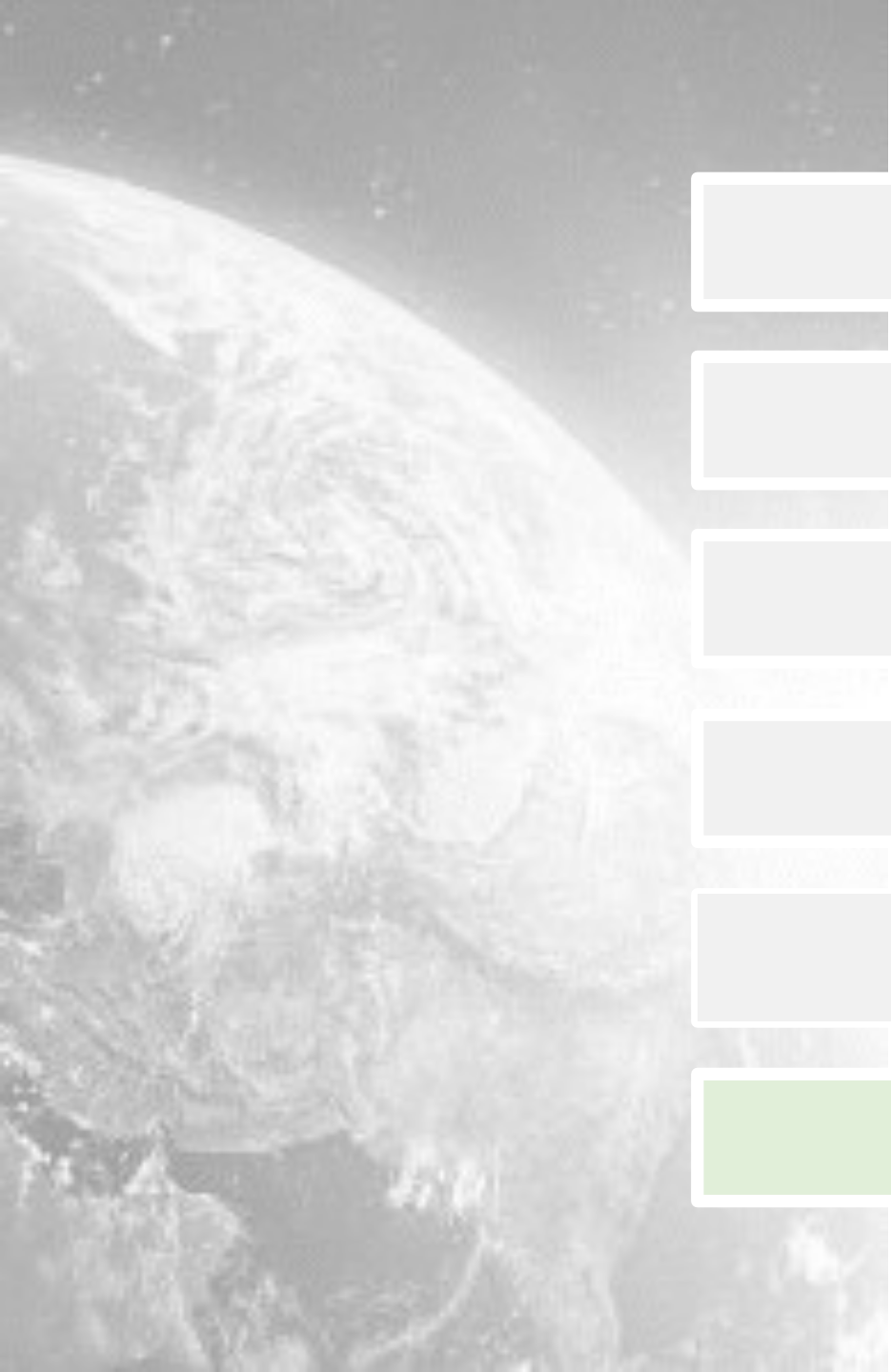
INNOVER

*Modifier des pratiques, **explorer d'autres pistes** comme **l'agriculture de précision**, la sélection d'autres **variétés** plus adaptées, **retarder les semis**...*



SE FAIRE AIDER

*il est impossible de traiter ces sujets en restant isolé, **les réseaux de spécialistes sont là pour accompagner** du diagnostic jusqu'à la prise de décision.*



Comprendre le changement climatique

L'impact global du changement climatique

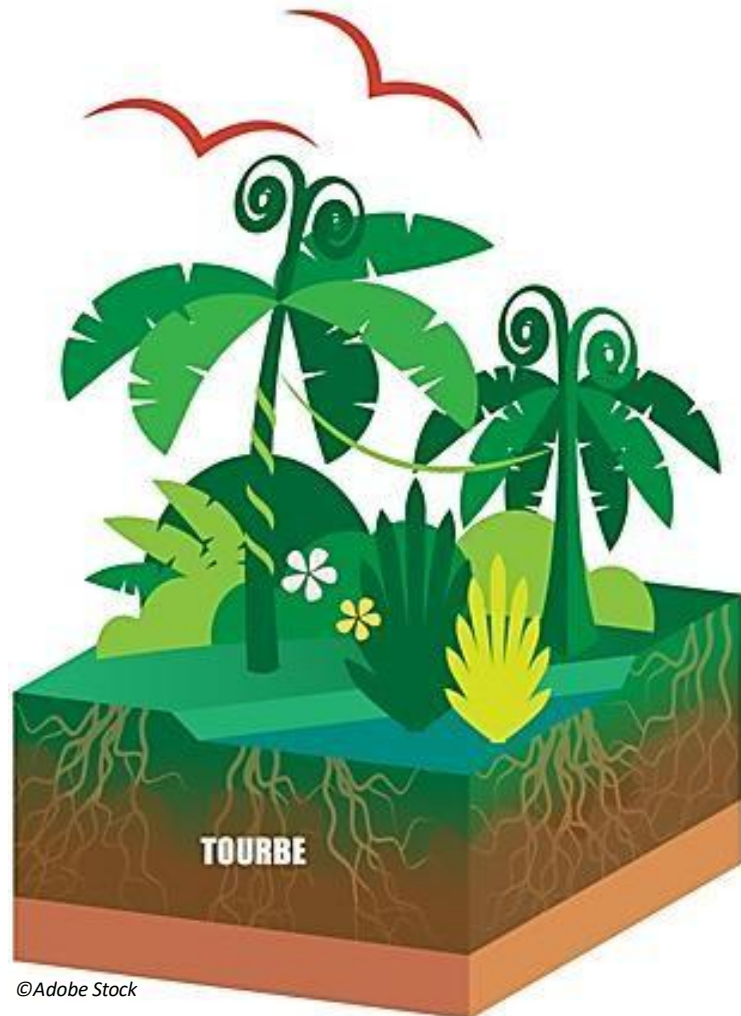
Focus sur l'impact en agriculture

Réponses aux idées reçues

Quelles solutions pour les exploitations ?

Décarboner le mix énergétique

Origine des énergies fossiles

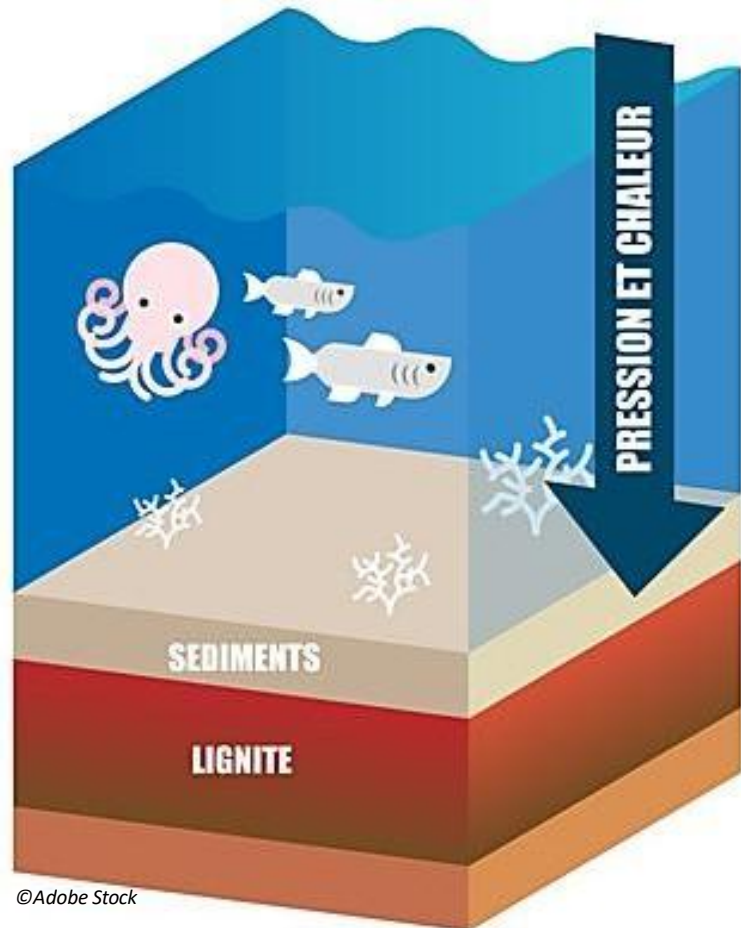


LE CHARBON

- **Développement de la végétation (Carbonifère -300 Ma) :**

Climat tropical chaud et humide, favorise le développement de fougère arborescente. Les débris de végétaux s'accumulent dans des marais/tourbière

Origine des énergies fossiles



LE CHARBON

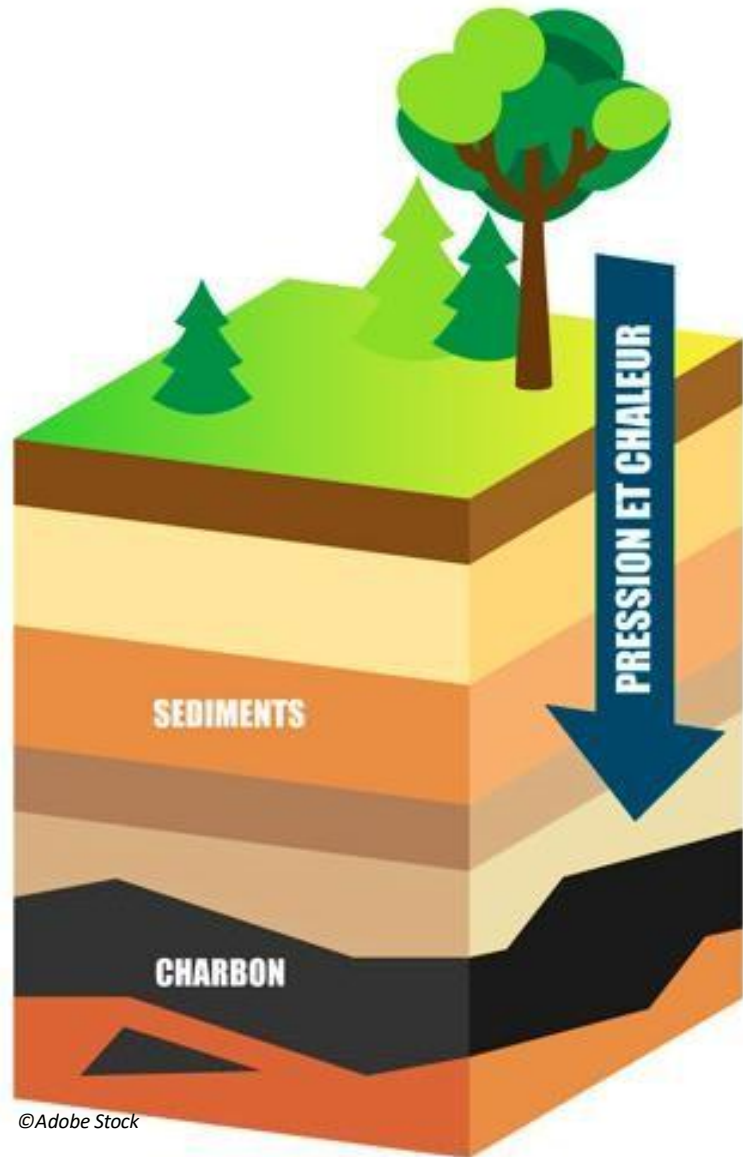
- **Développement de la végétation (Carbonifère -300 Ma) :**

Climat tropical chaud et humide, favorise le développement de fougère arborescente. Les débris de végétaux s'accumulent dans des marais/tourbière

- **Enfouissement de la matière organique :**

Transgression marine, enfouissement de la matière organique, montée en pression et en température.

Origine des énergies fossiles



LE CHARBON

- **Développement de la végétation (Carbonifère -300 Ma) :**
Climat tropical chaud et humide, favorise le développement de fougère arborescente. Les débris de végétaux s'accumulent dans des marais/tourbière
- **Enfouissement de la matière organique :**
Transgression marine, enfouissement de la matière organique, montée en pression et en température.
- **Fossilisation complète, extraction et combustion**
Fossilisation complète et densification du carbone pour obtenir des roches à fort pouvoir calorifique.

Origine des énergies fossiles

LE PÉTROLE ET LE GAZ

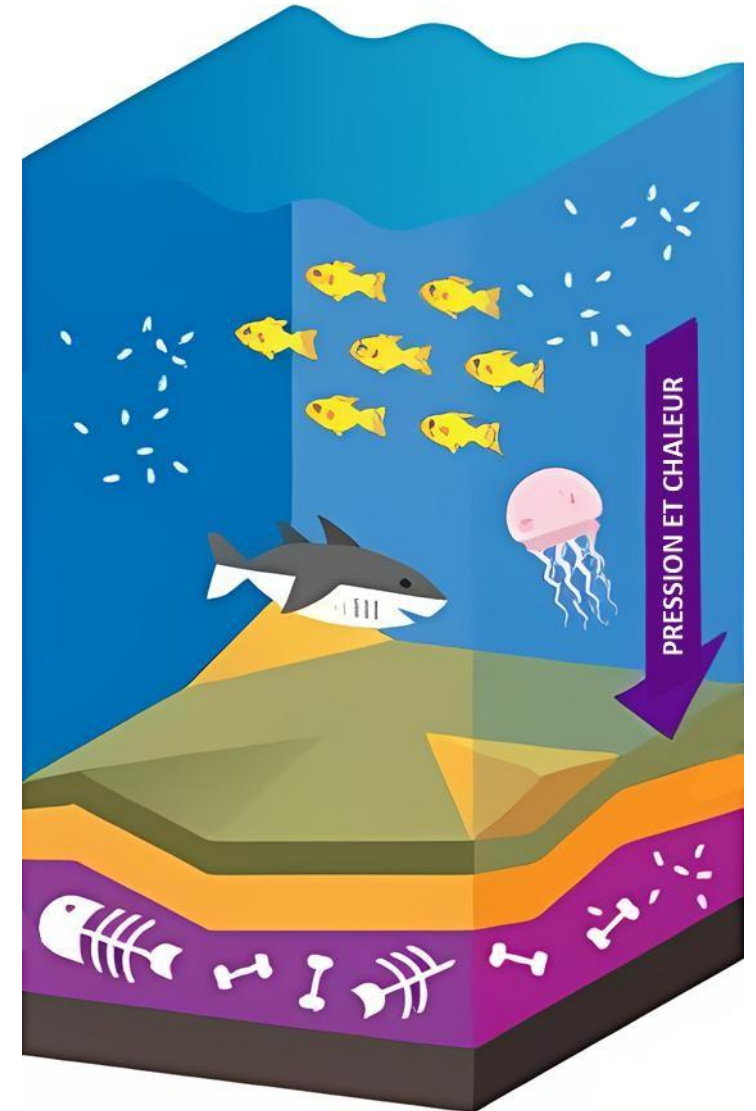
- **Développement de la vie marine (Cambrien > Crétacé -540 > -65 Ma) :**
Foisonnement de la vie marine et accumulation de micro-organismes et de fragment d'animaux.



Origine des énergies fossiles

LE PÉTROLE ET LE GAZ

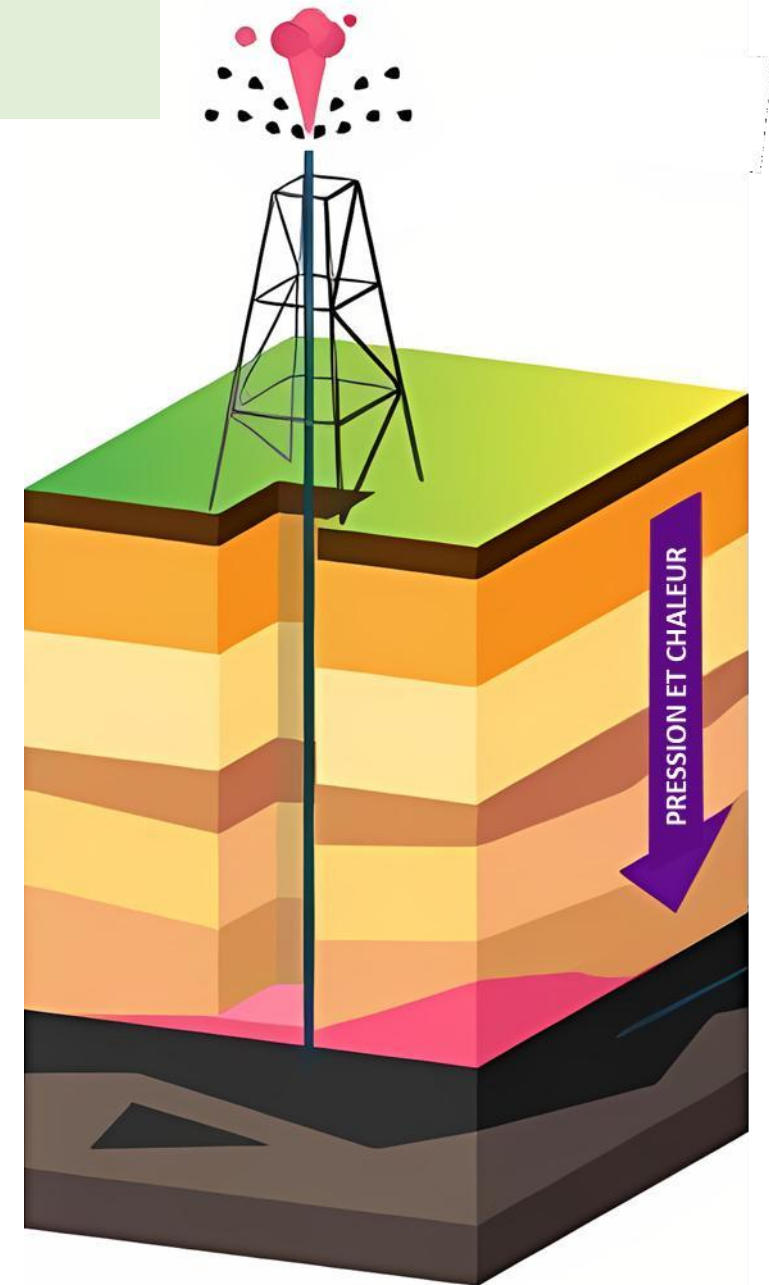
- **Développement de la vie marine (Cambrien > Crétacé -540 > -65 Ma) :**
Foisonnement de la vie marine et accumulation de micro-organismes et de fragment d'animaux.
- **Enfouissement de la matière organique :**
Enfouissement de la matière organique, montée en pression et en température.



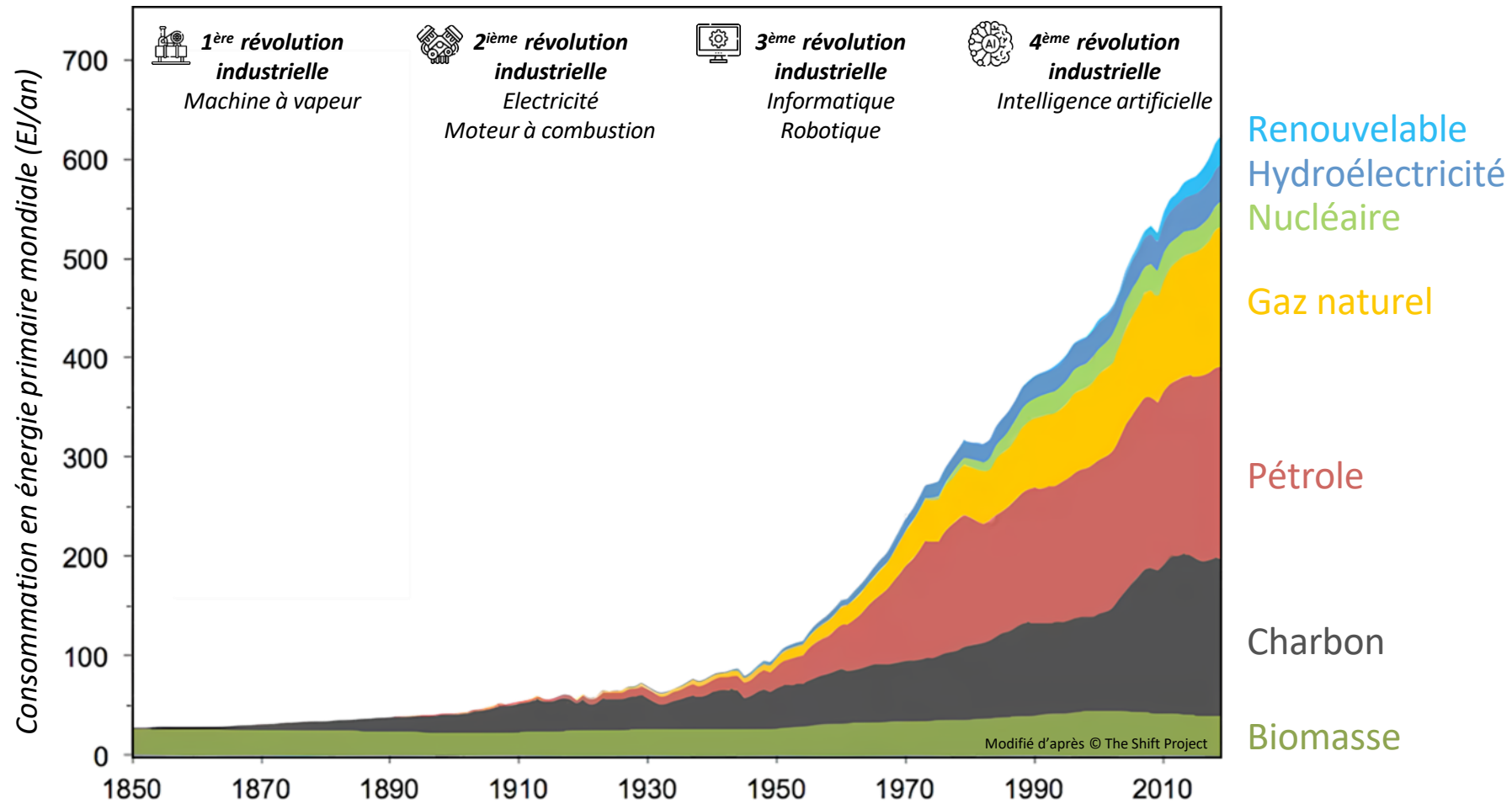
Origine des énergies fossiles

LE PÉTROLE ET LE GAZ

- **Développement de la vie marine (Cambrien > Crétacé -540 > -65 Ma) :**
Foisonnement de la vie marine et accumulation de micro-organismes et de fragment d'animaux.
- **Enfouissement de la matière organique :**
Enfouissement de la matière organique, montée en pression et en température.
- **"Craquage" de la matière organique, extraction et combustion :**
La matière organique se désagrège sous l'impact de la chaleur et de la pression pour former des molécules plus simple > le pétrole et le gaz, combustibles à haut pouvoir calorifique.

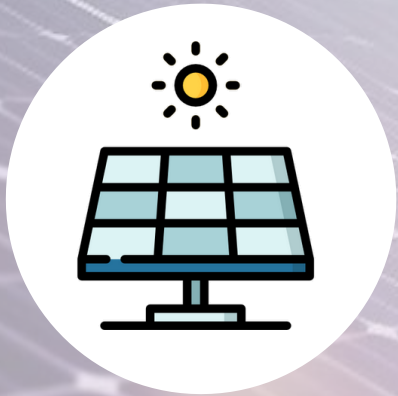


Le mix énergétique mondial

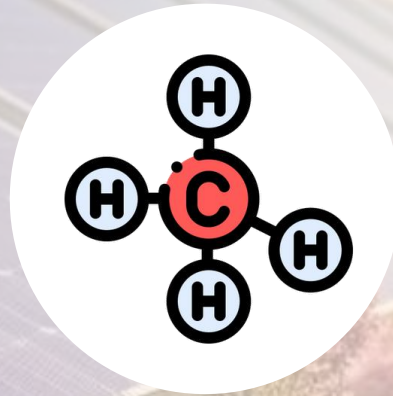


> En 2020, le mix énergétique mondial est dominé par le fossile à 80%. La consommation d'énergie a été multipliée par 2 entre 1980 et 2020. La part du renouvelable représente 14% en France en 2022.

Les énergies renouvelables pour décarboner



PHOTOVOLTAÏQUE



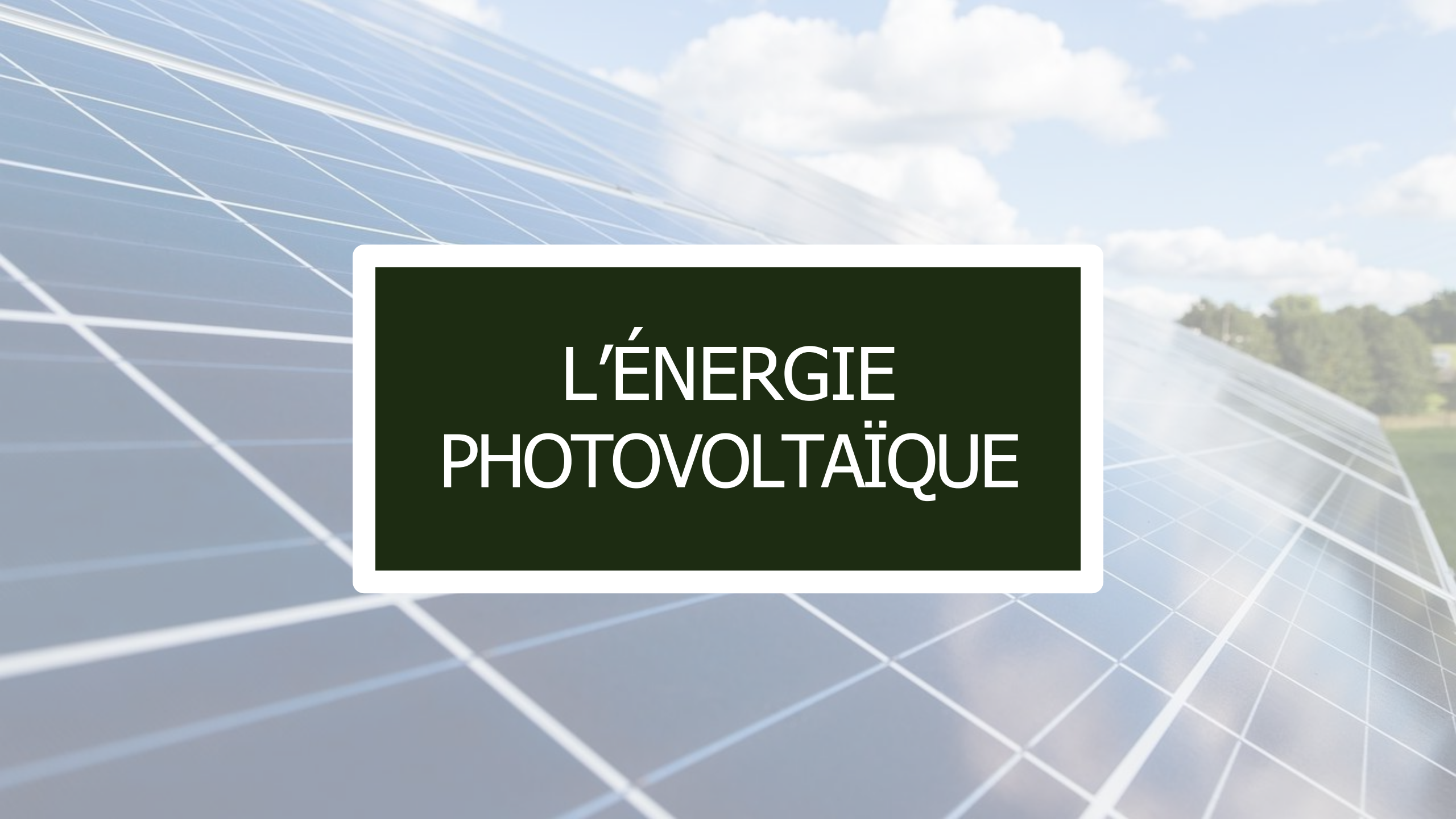
MÉTHANISATION



ÉOLIEN



HYDROGÈNE



L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE



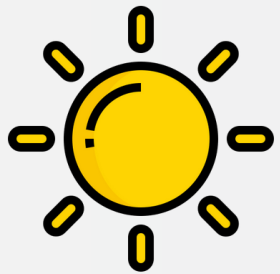
Principe et fonctionnement

Différents types d'installations

Points de vigilance

Convertir l'énergie du Soleil

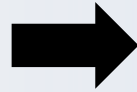
Effet voltaïque



Energie solaire
(Photons)



Panneau solaire
(Silicium - Phosphore)



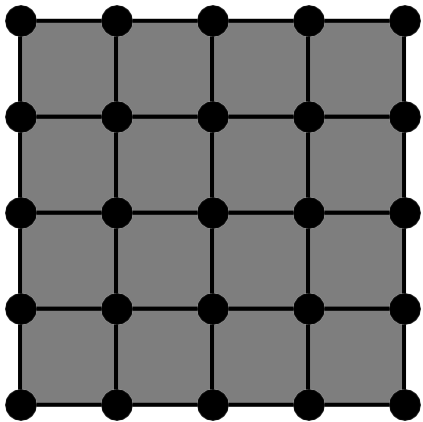
Électricité
(Électrons)

- 1) Les photons surchargent en énergie le matériau semi-conducteur
- 2) Les électrons entrent dans un état excité, ils peuvent alors se déplacer
- 3) Ce déplacement crée un champ électrique disponible pour alimenter un appareil
- 4) Après utilisation, les électrons retournent à leur état stable
- 5) Cette boucle se répète jusqu'à l'usure du matériel (corrosion, jaunissement UV...)



Différents types de cristaux

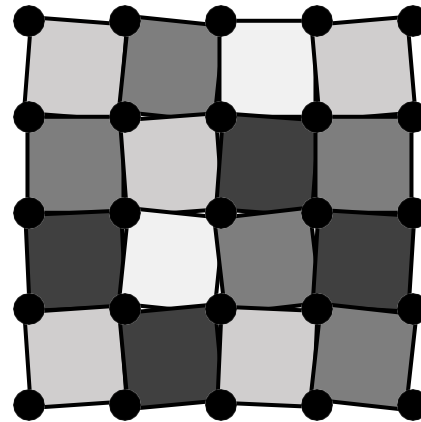
MONOCRISTALLIN



Cristal unique et ordonné

- + *Electrons très mobiles*
- + *Efficacité énergétique élevée*
- *Coûts de production élevés*
- *Poids élevé (~20 kg/m²)*

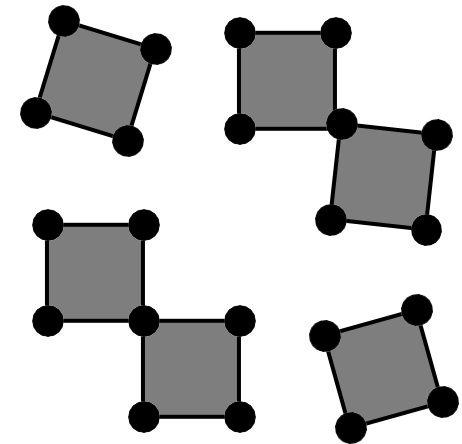
POLYCRISTALLIN



Plusieurs cristaux & impuretés

- = *Electrons moyennement mobiles*
- = *Efficacité énergétique moyenne*
- = *Coûts de production moyens*
- = *Poids moyen (~15 kg/m²)*

AMORPHE

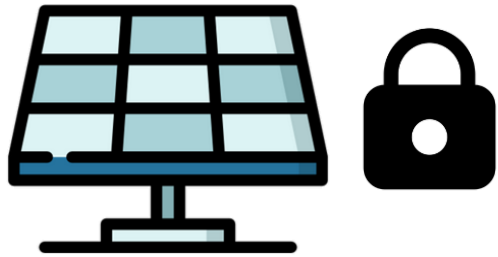


Structure cristalline désordonnée

- *Electrons peu mobiles*
- *Efficacité énergétique faible*
- + *Coûts de production faibles*
- + *Poids faible (~10 kg/m²)*

Différentes technologies

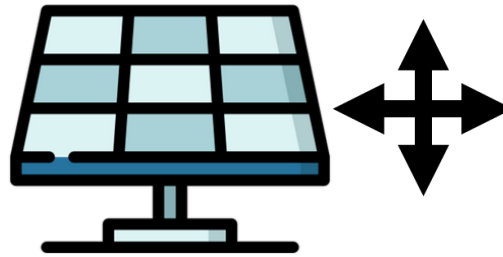
PANNEAUX FIXES



Panneaux immobiles

- + Installation simple
- + Coûts plus faibles
- + Moins de maintenance
- Rendements inférieurs
- Moins productif en hiver

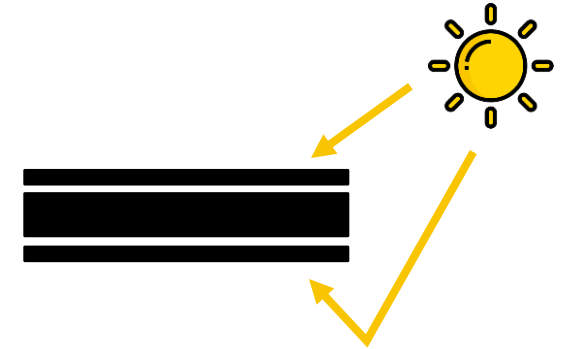
TRACKER



Tracker 1 ou 2 axe(s)

- Installation plus complexe
- Coûts plus élevés
- Plus de maintenance
- + Rendements supérieurs (25-40%)
- + Plus productif en hiver

BIFACE



Recto / Verso

- Installation plus complexe
- Coûts plus élevés
- = Maintenance identique PV fixes
- + Rendements supérieurs (10-30%)
- = Pas de grosse différence en hiver

Utilisations potentielles



AUTOCONSOMMATION

Consommation immédiate des électrons dans le circuit local et selon les besoins à l'instant t



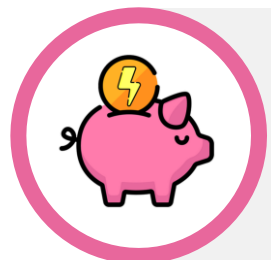
REVENTE

Injection dans le circuit et vente des électrons selon le prix défini par contrat avec un fournisseur d'électricité



STOCKAGE PHYSIQUE

Stockage des électrons pour autoconsommation ultérieure



STOCKAGE VIRTUEL

Electrons injectés dans le réseau, mais alimentation d'une épargne virtuelle compensant le prix d'achat sur le réseau

Types de montages potentiels

INVESTISSEMENT EN PROPRE

Propriétaire du matériel et des contrats de revente



INVESTISSEMENT PARTIEL

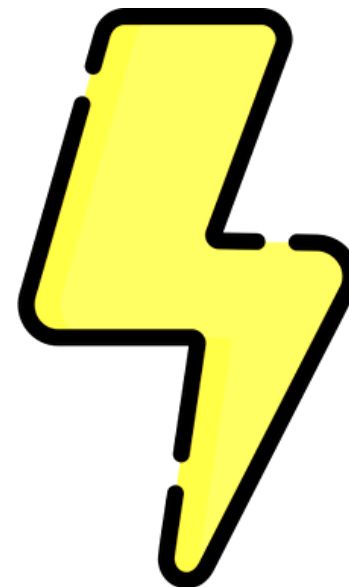
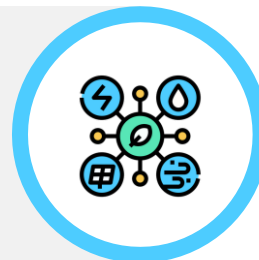
Actionnaire du projet avec versement de dividendes



LE DÉVELOPPEUR PORTE L'INVESTISSEMENT

Signature d'un bail emphytéotique

Reversement d'une indemnité par le développeur





Principe et fonctionnement

Différents types d'installations

Points de vigilance

Où installer des panneaux



AU SOL



© Adobe Stock



SUR PARCELLE AGRICOLE



© Hellio



SUR TOITURE



© Terra Solaire

PV au sol

Parcelle non agricole (pas de déclaration PAC depuis 2015)
Pas de potentiel agricole identifié
Document Cadre réalisé par la Chambre d'Agriculture
Validé par un arrêté préfectoral, révisable 1x par an
Pas de PV au sol en dehors des parcelles inscrites dans le document

Où installer des panneaux



AU SOL



SUR PARCELLE AGRICOLE



SUR TOITURE



Agrivoltaïsme



Véritable projet agricole respectant la **doctrine** agrivoltaïsme
Etudes technico économique et étude de sol **obligatoires**
Mauvaise qualité agronomique des sols (catégorie 3 ou 4)
Garantie du **partage de la valeur** (limité à 10 Mw par exploitant)
Alimentation d'un **fond de compensation** agricole
Protection de l'exploitant par un bail agricole

Où installer des panneaux



AU SOL



© Adobe Stock



SUR PARCELLE AGRICOLE



© Hedio



SUR TOITURE



© Terra Solaire

PV sur toiture



Sur tout bâtiment (habitation, hangar...)
Structure supportant un poids de 20 kg/m²
Orientation Sud (ou SSE / SSO)
Pente de 30° ou toit plat





Principe et fonctionnement

Différents types d'installations

Points de vigilance

La ruée vers l'or solaire



Points d'attention



Développeurs très actifs en prospection constante

Prendre le temps d'étudier les propositions, négocier, ne pas hésiter à faire jouer la concurrence



Bien étudier le temps de ROI (retour sur investissement)

Demander des estimations hautes et basses, challenger les propositions



Se renseigner sur la réglementation des sujets liés

Par exemple proposition de prise en charge la suppression des haies...



Se faire accompagner, prendre le temps de la réflexion

Contacter les organismes qui peuvent conseiller (Chambre, DDT, Mairies...)

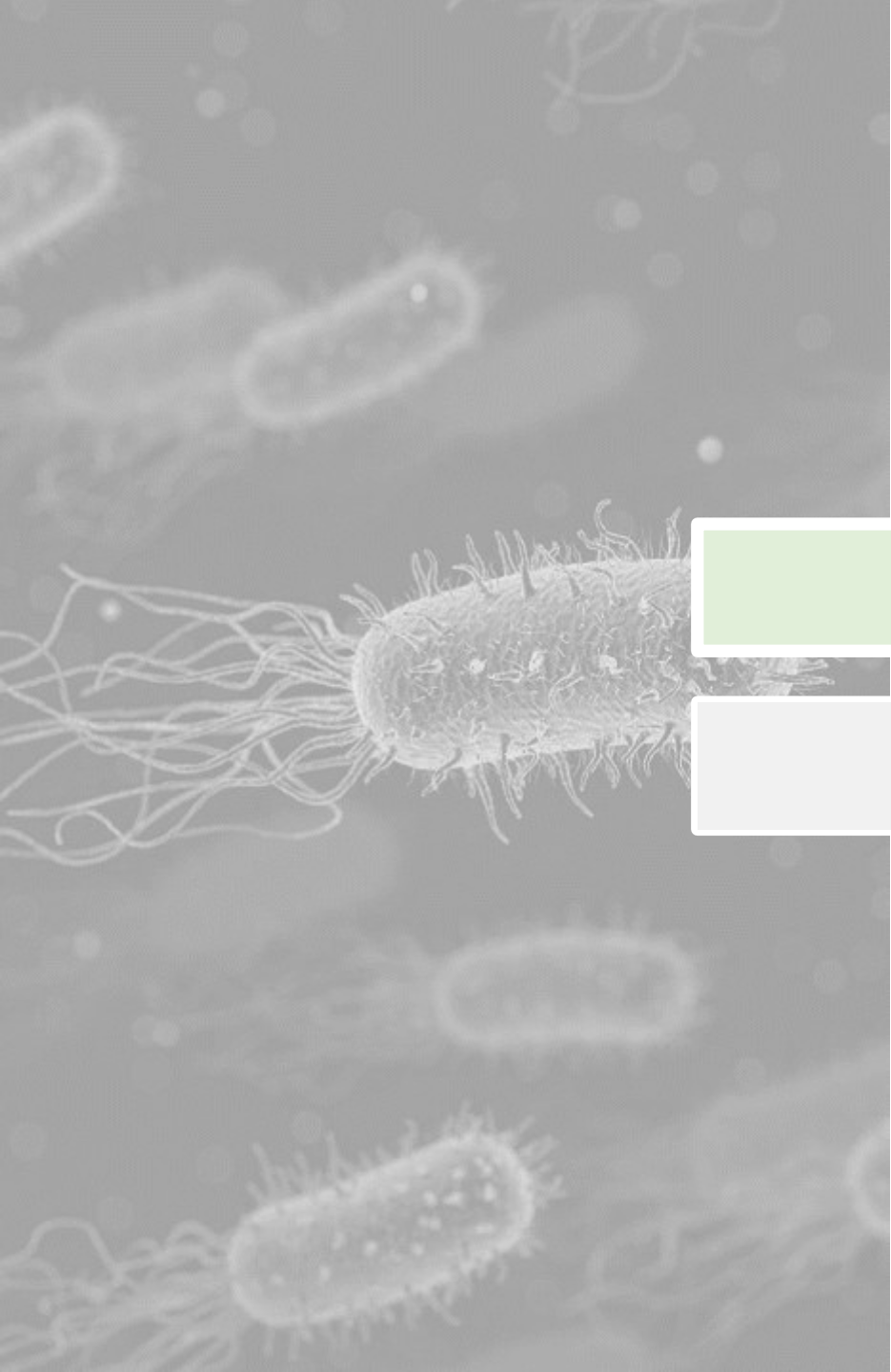


Anticiper la saturation des réseaux

Réalisation des projets conditionnées par la capacité des postes sources (ou autoconsommation)

The background of the slide is a light blue color with a microscopic theme. It features several elongated, rod-shaped bacteria with fine, hair-like appendages (flagella) extending from their surfaces. Scattered throughout the background are numerous small, bright blue circular dots, resembling particles or molecules. In the center of the slide, there is a dark green rectangular box with a white border. Inside this box, the text 'LA MÉTHANISATION' is written in a bold, white, sans-serif font.

LA MÉTHANISATION

A grayscale microscopic image of various bacteria, including several rod-shaped organisms with long, thin flagella, serving as a background for the left side of the slide.

Principe et fonctionnement

Cadre réglementaire & points d'attention

La matière organique

Matière organique

Composée majoritairement de carbone

Fabriquée par les êtres vivants

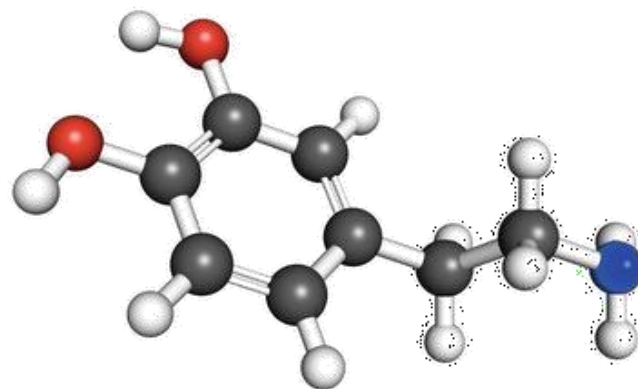
Trois grandes catégories

Primaires : Glucides, lipides, protéines, acides nucléiques

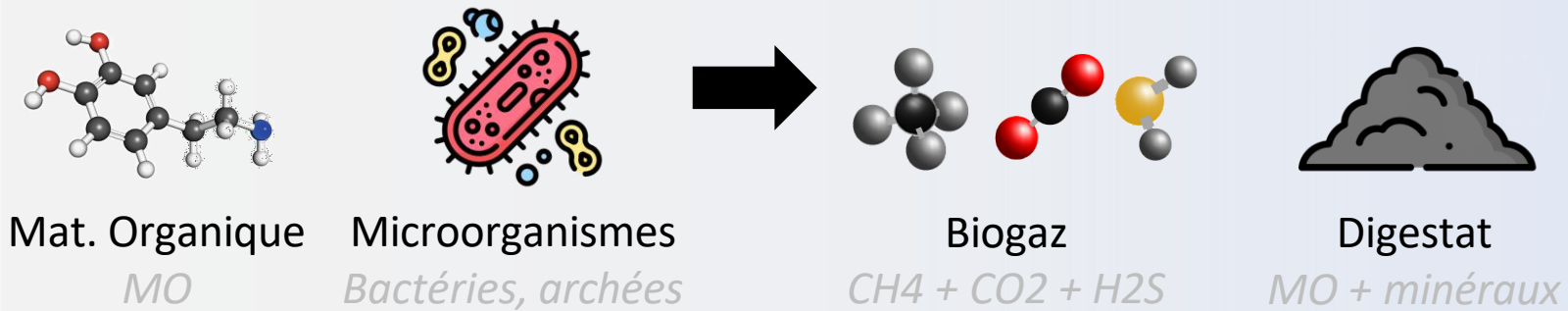
Secondaires : Métabolites secondaires, pigments, vitamines, cires

Dérivées : Hydrocarbures, humus, charbon

Molécules complexes



La méthanisation



- *Processus de digestion / casser les molécules organiques*
- *Un écosystème de microorganismes*
- *4 réactions chimiques successives, de l'hydrolyse à la production de méthane*
- *Production de biogaz (CH₄, CO₂, H₂S)*
- *Production de digestat riche en matière organique*



Contenu en eau

VOIE SÈCHE



Substrat solide

Taux de matière sèche > 20%

- + Besoin en eau limité
- + Peu de besoin en électricité
- + investissements moins élevés
- = Adapté aux substrats solides
- Besoin en main d'œuvre
- Production discontinue
- Réaction plus lente

VOIE HUMIDE



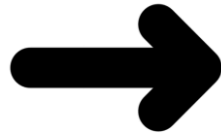
Substrat liquide

Taux de matière sèche < 15%

- Besoin en eau plus élevé (dilution)
- Besoin en électricité plus élevé
- Investissements élevés
- = Adapté aux substrats liquides
- + Besoin en main d'œuvre
- + Production continue
- + Réaction plus rapide

Mode d'alimentation

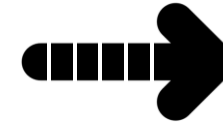
CONTINU



Alimentation constante

- + *Rendement stable et élevé*
- + *Production régulière*
- = *intrants liquides*
- = *Grandes installations*
- *Consomme beaucoup d'énergie*
- *Nécessite une automatisation*
- *Investissement élevé*

DISCONTINU



Alimentation par cycle

- *Rendements variables*
- *Production par cycle*
- = *intrants solides*
- = *Petites installations*
- + *Consomme peu d'énergie*
- + *Gestion plus simple*
- + *Investissement plus faible*

Utilisations potentielles du biogaz

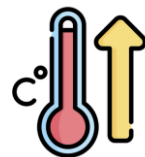
PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Combustion et alimentation d'un générateur électrique



CHAUFFAGE, EAU CHAUDE, CUISSON

Combustion chaudière ou plaque de cuisson



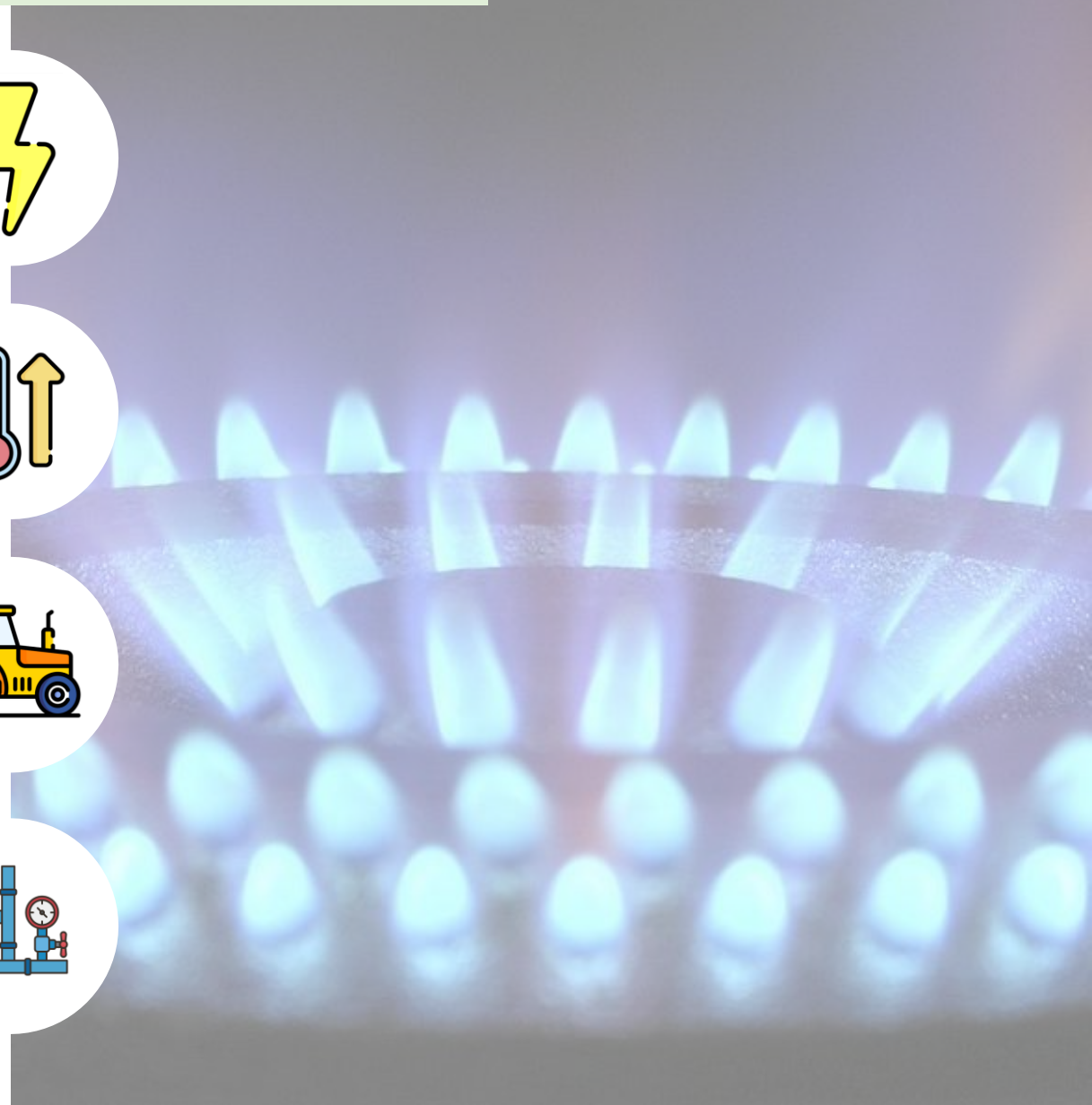
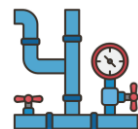
MACHINES AGRICOLES

Épuration et combustion dans un moteur thermique



INJECTION RÉSEAU

Épuration et injection dans le réseau de gaz naturel

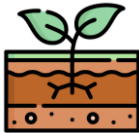


Utilisations potentielles du biogaz



ENGRAIS

Après traitement, épandage comme engrais de substitut



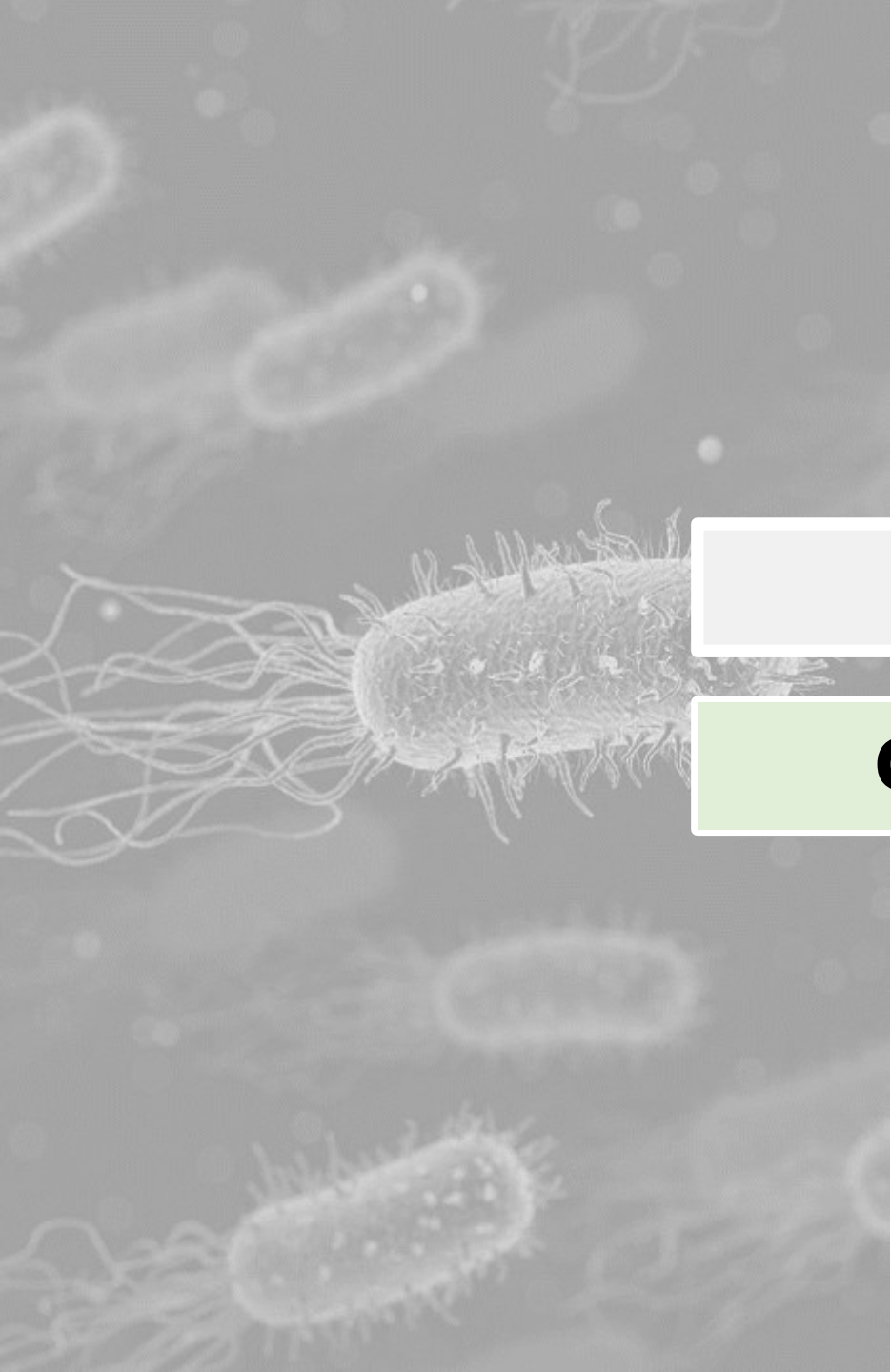
AMENDEMENT DES SOLS

Permet d'améliorer la structure du sol, rétention d'eau, pH...



RECYCLAGE DES NUTRIMENTS

Cycles Carbone, Azote et Phosphore

A grayscale microscopic image of various bacteria, including several rod-shaped organisms with flagella, serving as a background for the left side of the slide.

Principe et fonctionnement

Cadre réglementaire & points d'attention

Biodéchets



Obligation de tri à la source

2016 : 10t/an > 2024 : tous les producteurs (y compris les ménages)

Transport et traçabilité

Statut déchet > Tenue d'un registre de traçabilité obligatoire (nature, volume)

Conformité sanitaire

Hygiénisés pour méthanisation (CE n° 1774/2002, puis CE n° 1069/2009)

Épandage du digestat



Norme produit ou statut déchet

Respect de la norme NF U 44-051 > commercialisation possible (sinon statut déchet)

Plan d'épandage

Nécessité d'un plan d'épandage validé (directive nitrates)

Conformité sanitaire

Digestat exempt de pathogènes ou d'éléments nuisibles pour les sols (CE 2019/1009)

Transport et entreposage intrant & digestat



Stockage intrants & digestats

Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Prévenir les fuites et la contamination (cuves étanches, bac de rétention)

Pour les effluents d'élevage : cf. directive nitrates

Transport

Si déchets dangereux, application des règles relatives au transport de matières dangereuses (ADR)

ICPE



Régime Déclaration, Enregistrement ou autorisation (rubrique 2781)

Matières traitées : Déclaration < 30 t/j, Enregistrement > 30 t/j < 100 t/j, au-delà autorisation

Obligations

Étude environnementale préalable

Contrôle des rejets atmosphériques

Gestion du bruit (R.1334-30 à R.1334-37 du Code de l'Environnement) + gestion des odeurs

Normes atmosphère explosive (ATEX)

Points d'attention



Importance du cadre réglementaire

La méthanisation est concernée par plusieurs cadres réglementaires contraignants



Travailler en écosystème de production & d'usage

Elaboration d'un projet partenarial, sécurisation des flux

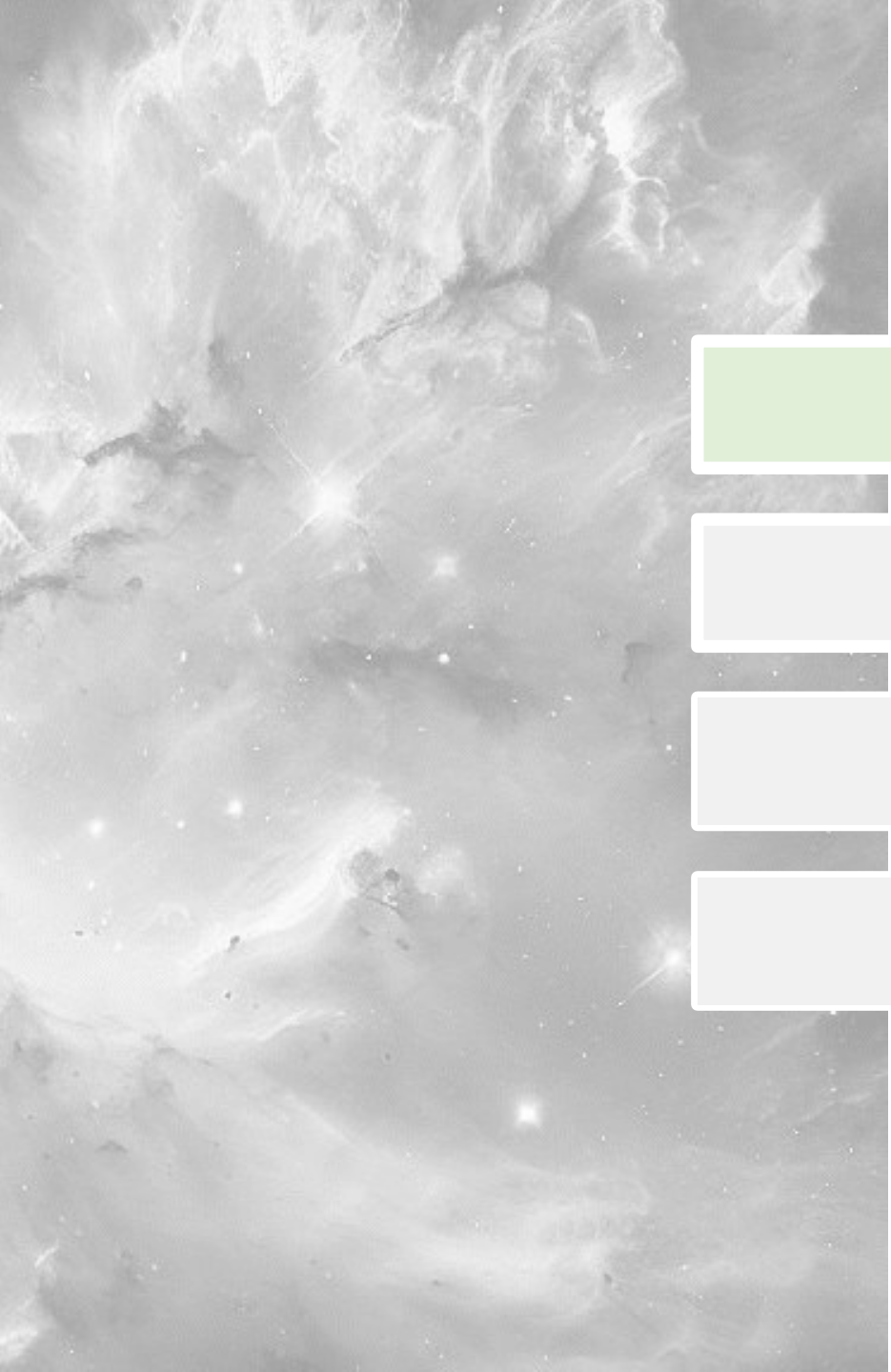


Se faire accompagner, prendre le temps de la réflexion

Contacter les organismes qui peuvent conseiller (Chambre, DDT, Mairies...)



L'HYDROGÈNE VECTEUR D'ÉNERGIE

A grayscale image of a cosmic scene, likely a nebula or a deep-space photograph, showing intricate patterns of light and dark matter. It serves as a background for the left side of the slide.

Propriétés de l'hydrogène

Les sources d'hydrogène

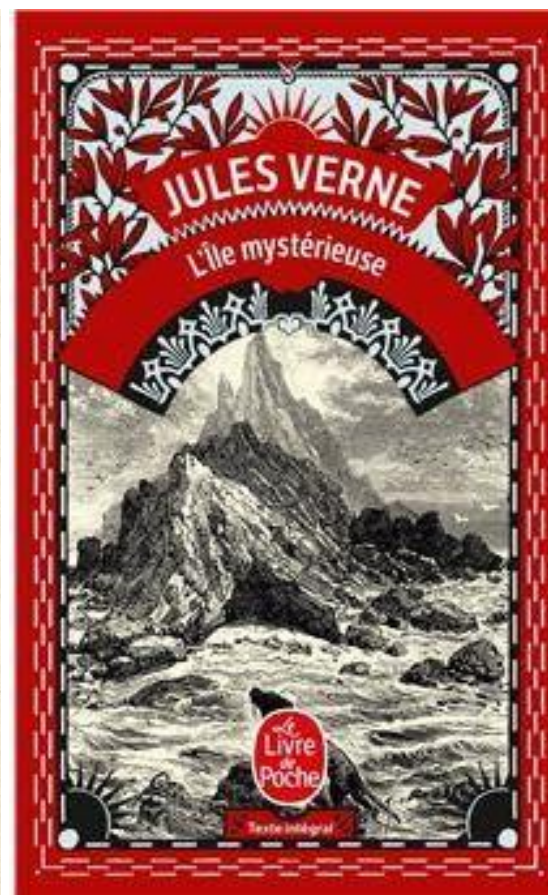
Le stockage de l'hydrogène

Différentes utilisations

Jules Verne en 1875



© Archivist / stock.adobe.com



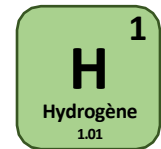
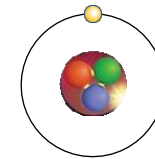
Cyrus Smith :

"Je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène qui la constituent, utilisés seuls ou ensemble, fourniront une source inépuisable de chaleur et de lumière, d'une intensité dont le charbon n'est pas capable."

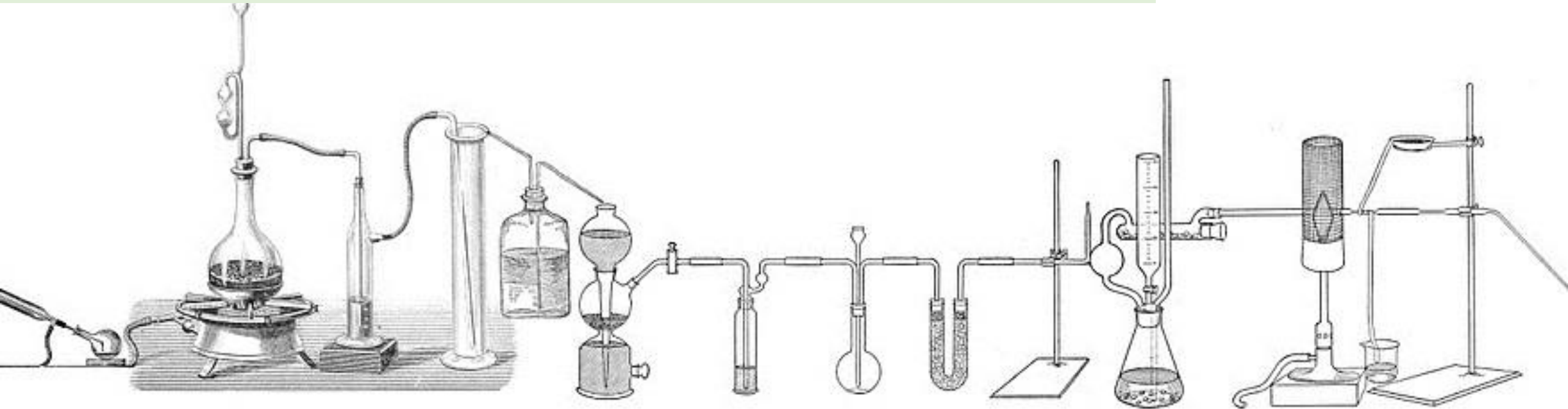
L'île Mystérieuse – Jules Verne (1875)

1^{er} atome de l'univers

Quelques heures après le "BigBang" : agrégation d'un proton et d'un électron pour former le **1^{er} atome dans l'univers** : l'hydrogène.

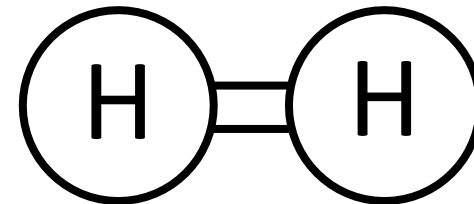


Quelques données sur l'hydrogène



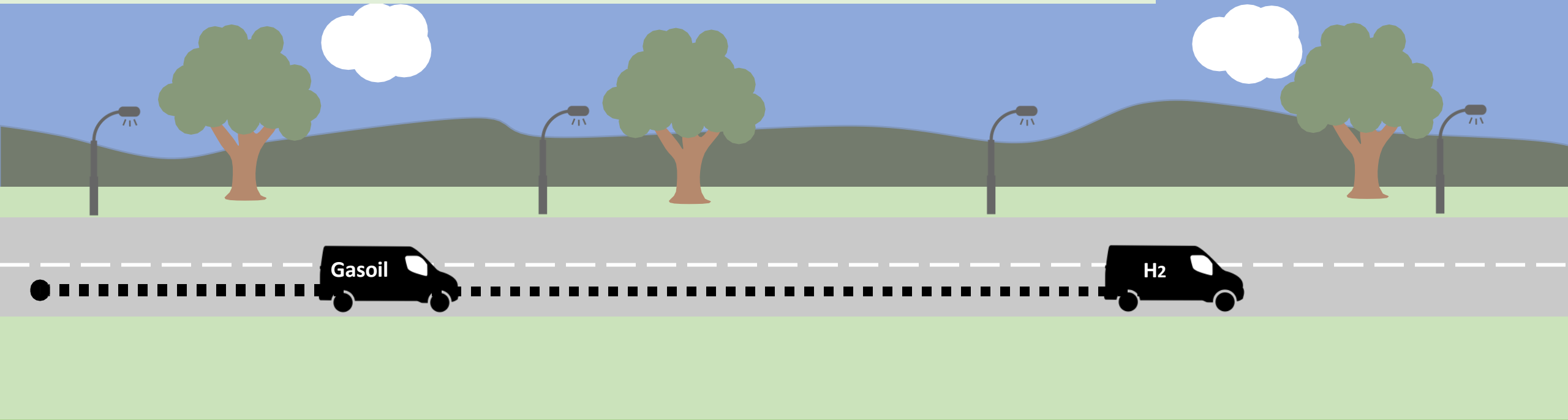
75%

Abondance de l'atome
d'hydrogène dans l'univers
(% massique)



2 atomes d'hydrogène pour
former la molécule de
dihydrogène (H₂)

Une molécule très énergétique



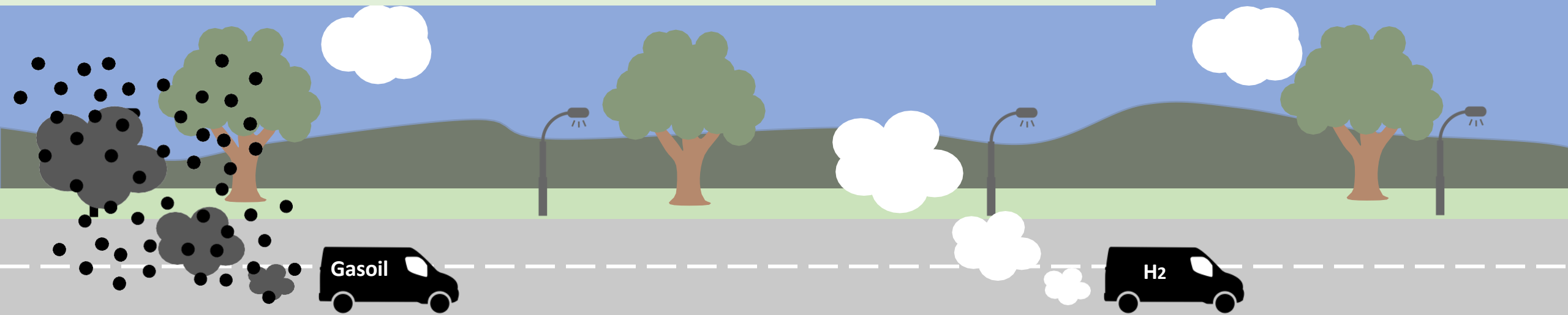
~30 km

Distance parcourue avec
1 Kg d'hydrocarbure
(*gasoil, essence, gaz naturel*)

~100 km

Distance parcourue avec
1Kg d'hydrogène
(*pile à combustible*)

Pas de pollution directe



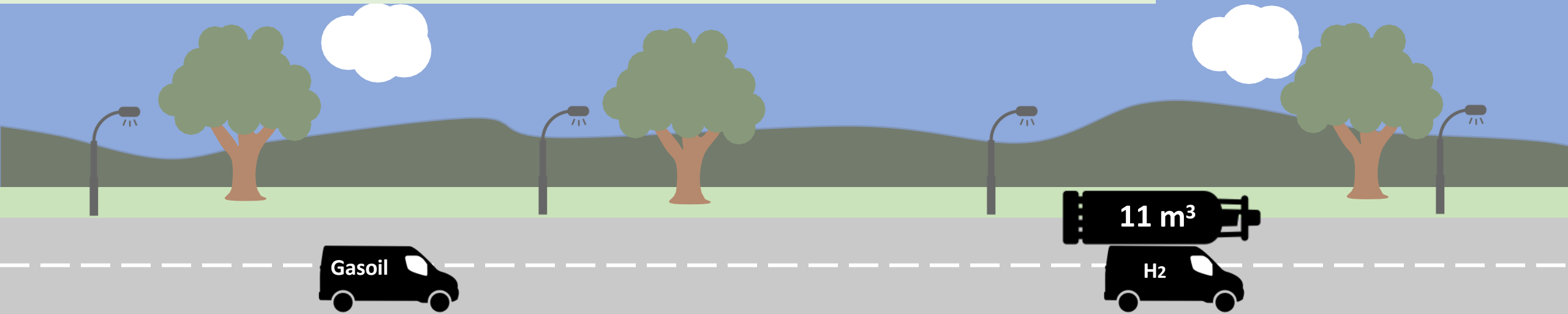
Rejets liés à la combustion des
hydrocarbures + particules fines,
oxydes d'azotes...

(peu de particules fines au gaz naturel)



Seuls rejets liés à l'utilisation
(combustion ou électrolyse)
de l'hydrogène

Une molécule très légère



À température ambiante (25°C) et pression atmosphérique (1 bar)

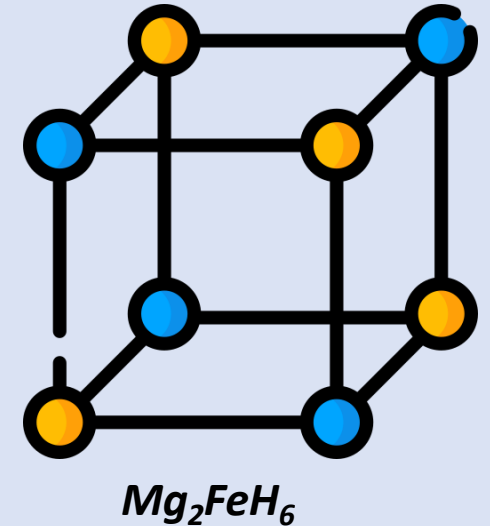
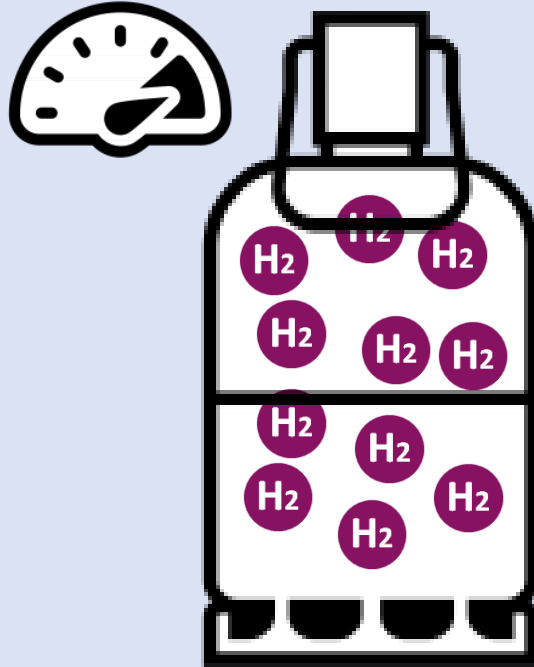
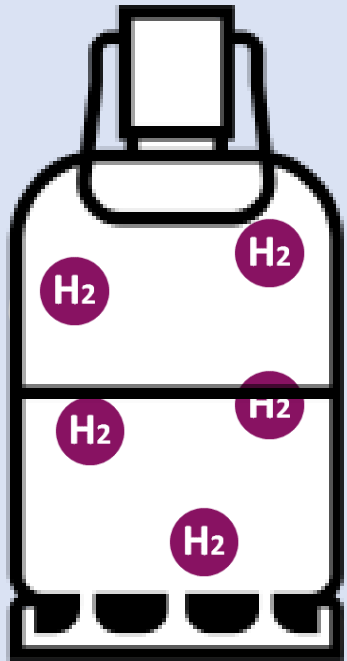
1.3 L

Volume pour 1 Kg de carburant
(gasol, essence)
1 Kg de gaz naturel → 1000 L

11 000 L

Volume pour 1 Kg d'hydrogène

Augmenter la densité pour le stockage



Plusieurs solutions pour stocker cette matière

25°C / 1 bar

1 Kg dans 11 000 L

25°C / 700 bar

1 Kg dans 25 L (densité $\times 400$)

-250°C / 1 bar

1 Kg dans 15 L (densité $\times 700$)

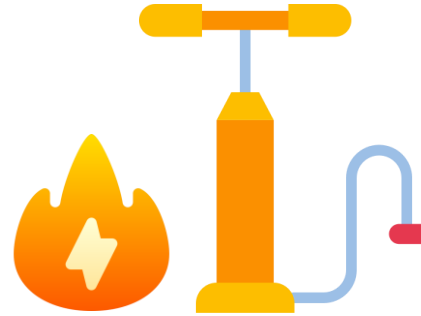
25°C / 1 bar

1 Kg dans 6 L

Un effet Joule-Thomson inverse

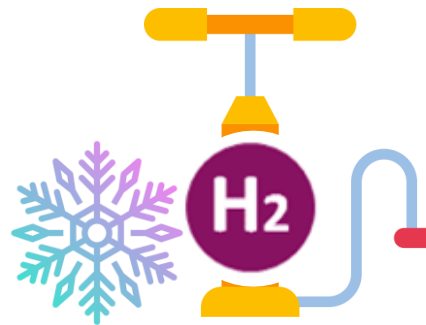
> Effet Joule Thomson :

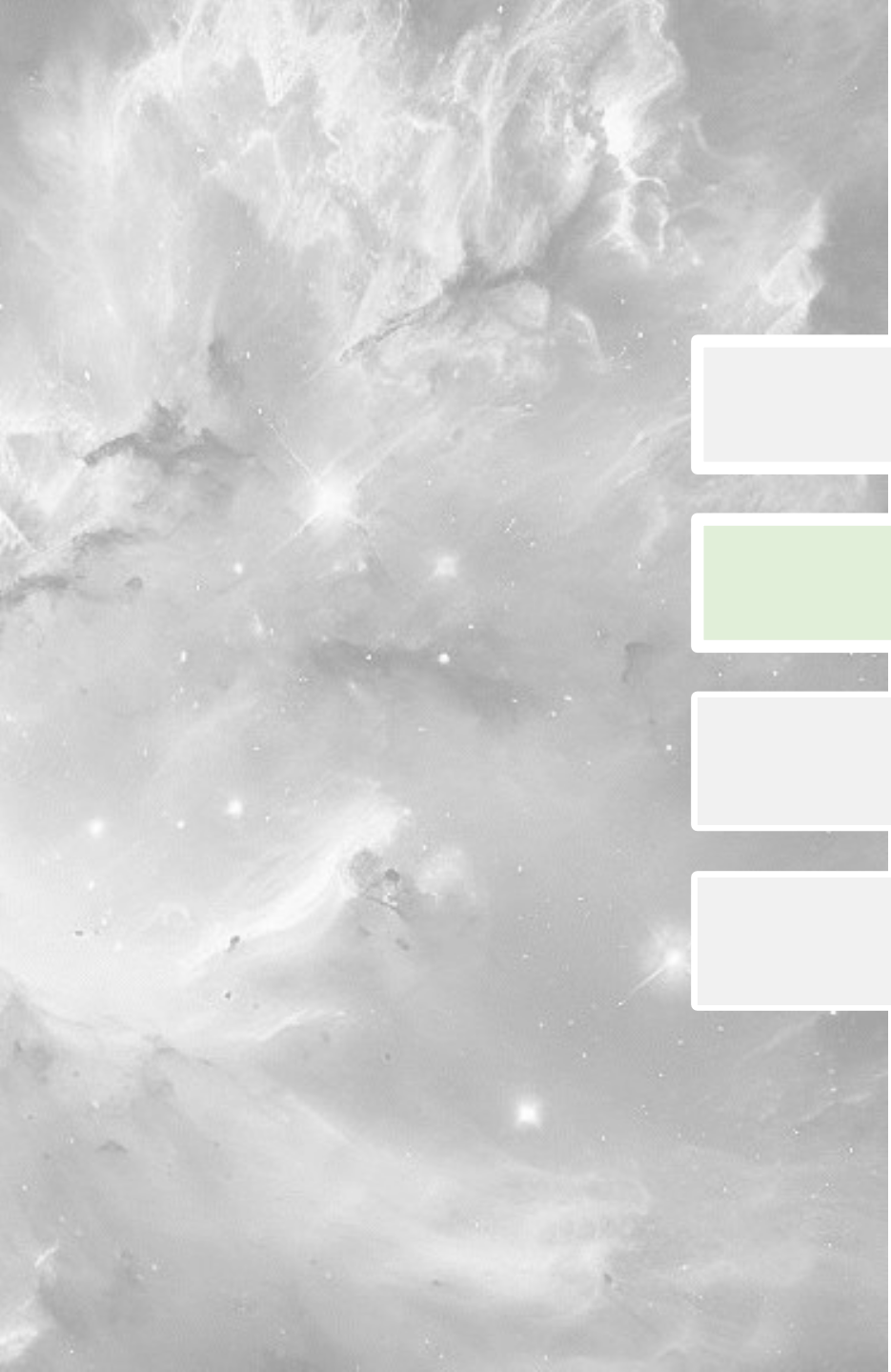
La **compression** d'un gaz se traduit par une **augmentation de la température**



> Effet Joule Thomson inverse :

Pour le **dihydrogène** l'effet Joule Thomson est **inversé** à température ambiante



A vertical strip on the left side of the slide features a grayscale image of a cosmic nebula or galaxy, showing intricate patterns of light and dark matter.

Propriétés de l'hydrogène

Les sources d'hydrogène

Le stockage de l'hydrogène

Différentes utilisations

Les sources d'hydrogène



Vaporeformage des hydrocarbures



Gazéification du charbon



Électrolyse de l'eau



Photosynthèse des bactéries



Photolyse de l'eau



Radiolyse de l'eau



Thermolyse de l'eau



Hydratation / oxydation minérale



Désintégration radioactive minérale

*Sources artificielles
carbonées*

*Sources artificielles
décarbonées*

*Sources
Anecdotique (R&D)*

*Sources
naturelles*

Cartographie des sources naturelles



> Le flux mondial actuel d'hydrogène naturel est estimé à 25 Mt/an (V. Zgonnik, 2020 Earth Science Review). La consommation actuelle est de 90 Mt/an, et devra être portée à 650 Mt/an en 2050 (ONU)



Un filon en Lorraine ?

CNRS
Donner du sens à la science

Rechercher : Se connecter / S'inscrire / Mes blogs / Mon compte

ACCUEIL / L'hydrogène, gaz de la transition énergétique ?

Actualité / Articles / Un gisement géant d'hydrogène en Lorraine ?

Un gisement géant d'hydrogène en Lorraine ?

08/07/2023 par Valérie Deschamps

Des chercheurs ont découvert un gisement potentiel d'hydrogène naturel dans le bassin houiller lorrain... Lequel pourrait être le plus gros réservoir mondial de ce gaz !

Le bassin minier lorrain s'apparente à d'autres territoires d'Europe 7 pays, cette région située à la frontière franco-allemande était surtout connue pour ses puits de mines de charbon, dans le dernier « Sersil » y avait 100 ans. Mais à l'avenir, elle pourrait devenir mondialement célèbre pour une autre raison : elle pourrait être le plus grand réservoir mondial d'hydrogène naturel. C'est ce qu'a découvert un puits de charbon lorrain, les chercheurs de l'Institut de physique de l'Université de Strasbourg ont découvert que le sous-sol du bassin minier lorrain est riche en hydrogène blanc. Ce gaz est valuable, car il pourrait permettre grandement d'aider à assurer la transition vers des sources d'énergie propres, propres et décarbonées, ce qui est un objectif de l'Union européenne.

Philippe de Chateau

franceinfo

vidéos radio jt émissions

politique vrai ou faux société faits-divers santé éco/conso monde europe culture sport environnement météo **LE LIVE**

Accueil / France / Grand-Est

Lorraine : l'espoir de l'hydrogène naturel

Publié le 28/07/2023 21:17 Mis à jour le 28/07/2023 23:19 Durée de la vidéo : 2 min.



20h week-end

Défi d'avenir L'espoir de l'hydrogène naturel

France 2
France Télévisions

De l'hydrogène naturel a été identifié en Lorraine. Cette ressource décarbonée pourrait permettre de limiter les émissions carbonees et suscite de nombreux espoirs.

ici PAR FRANCE BLEU ET FRANCE 3 | Le média de la vie locale

VIDÉO - "C'est du jamais vu" : sur la piste de l'hydrogène blanc, au coeur d'un forage en Moselle

Depuis décembre 2022, des chercheurs lorrains sont à la recherche d'hydrogène dans le sous-sol de Folschviller, en Moselle. Ils soupçonnent que ce gaz soit produit naturellement à plus de 3 kilomètres sous la surface. France Bleu Lorraine a visité l'un des puits.

Folschviller

De Bastien Munch

Jeudi 27 juillet 2023 à 21:22

Par France Bleu Lorraine Nord, France Bleu Sud Lorraine



Jacques Pinon présente cette sonde unique au monde, brevetée il y a quelques mois, © Radio France - Bastien Munch

> Gisement estimé à **46 millions de tonnes**

50 nuances d'hydrogène

COULEUR			PROCÉDÉ	MATIÈRE PREMIÈRE	SOURCE ÉNERGÉTIQUE	EMISSIONS CO2
Brun			Gazéification + Vaporeformage	Lignite	Combustibles fossiles	++++
Noir				Charbon		+++
Gris			Vaporeformage	Méthane		++
Bleu			Vaporeformage + CCS			+
Jaune	Rose	Violet	Electrolyse	Eau	Electricité d'origine nucléaire	-
Vert					Electricité d'origine renouvelable	--
Turquoise			Pyrolyse	Biométhane	Electricité toutes origines	---
Blanc			Extraction	Minéraux + eau souterraine	/	----
Orange (CNRS)			Oxydation + CCS	Minéraux + eau + catalyseur	/	---- (-)

Pas de consensus international sur la nomenclature

Vers une simplification

COULEUR		
Brun		
Noir		
Gris		
Bleu		
Jaune	Rose	Violet
Vert		
Turquoise		
Blanc		
Orange (CNRS)		

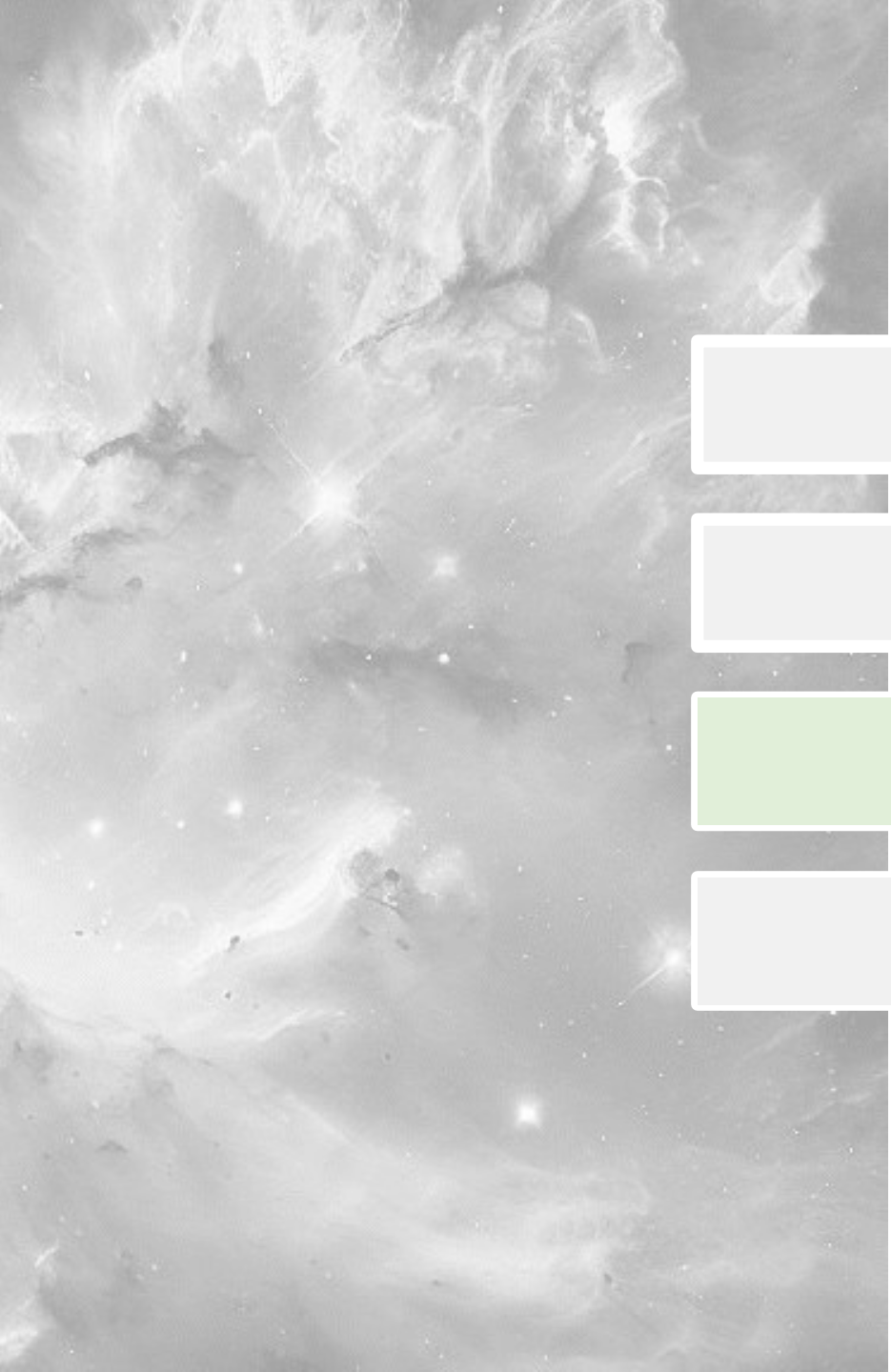
*Ordonnance du 17 février 2021
loi énergie climat sur l'hydrogène*

Le carboné : produit grâce à des énergies fossiles

Le bas carbone : produit grâce à des énergies faiblement émettrices

Le renouvelable : produit grâce à des énergies renouvelables

?

A vertical strip on the left side of the slide features a grayscale image of a cosmic nebula or galaxy, showing intricate patterns of light and dark matter.

Propriétés de l'hydrogène

Les sources d'hydrogène

Le stockage de l'hydrogène

Différentes utilisations

Le stockage de surface



En phase gaz à **haute pression**



En phase liquide à **basse température**

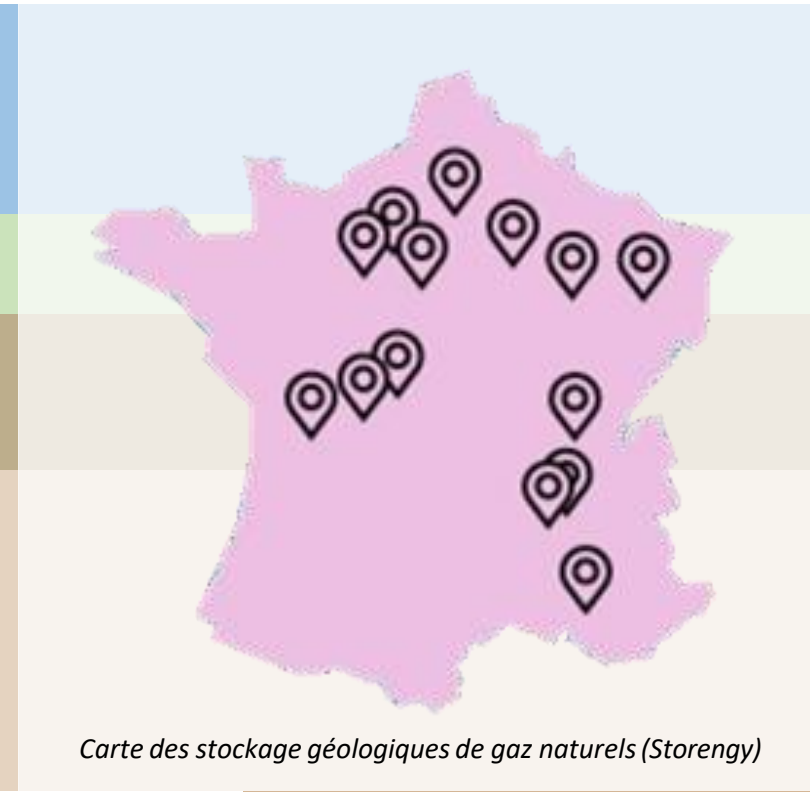
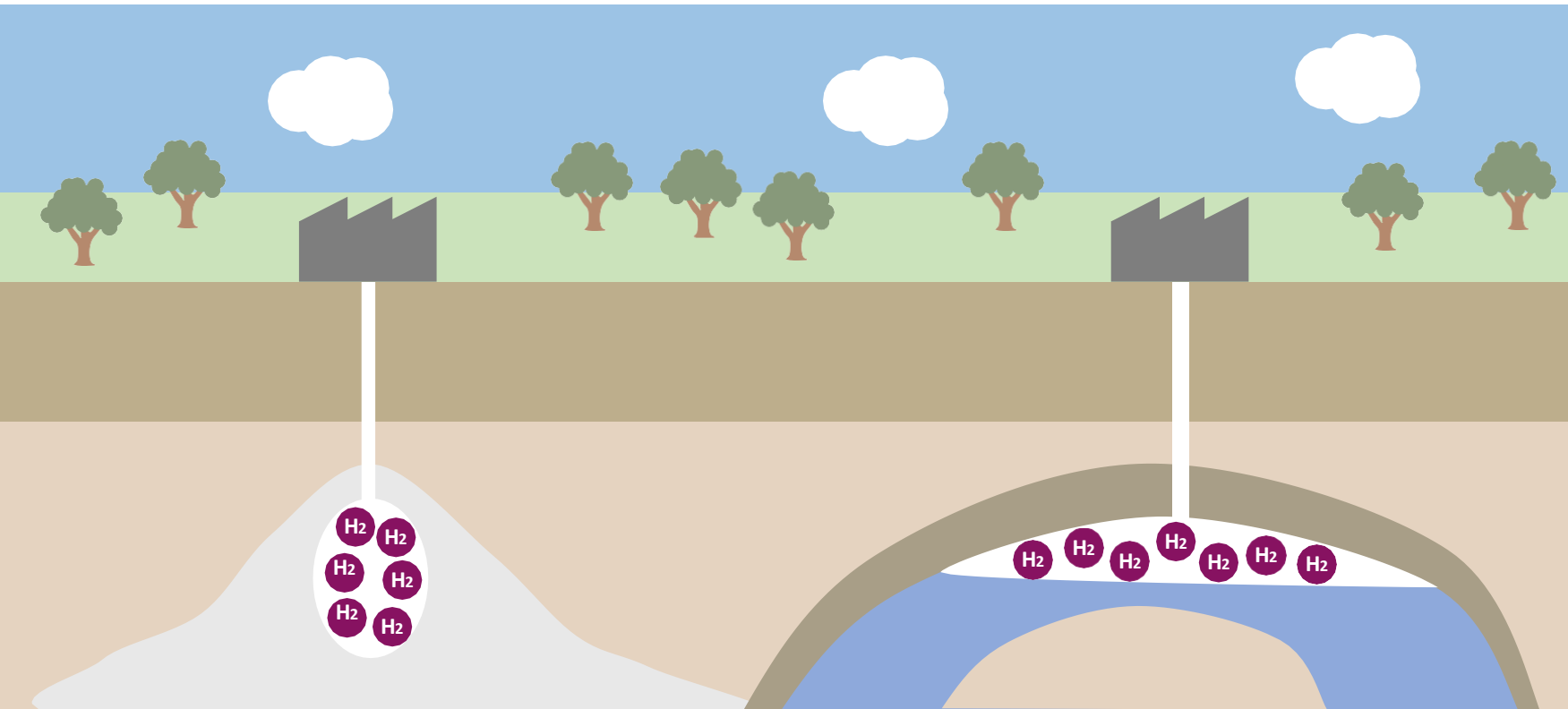


En phase solide (**hydrure**)



Empêcher, détecter & rediriger les fuites

Le stockage géologique

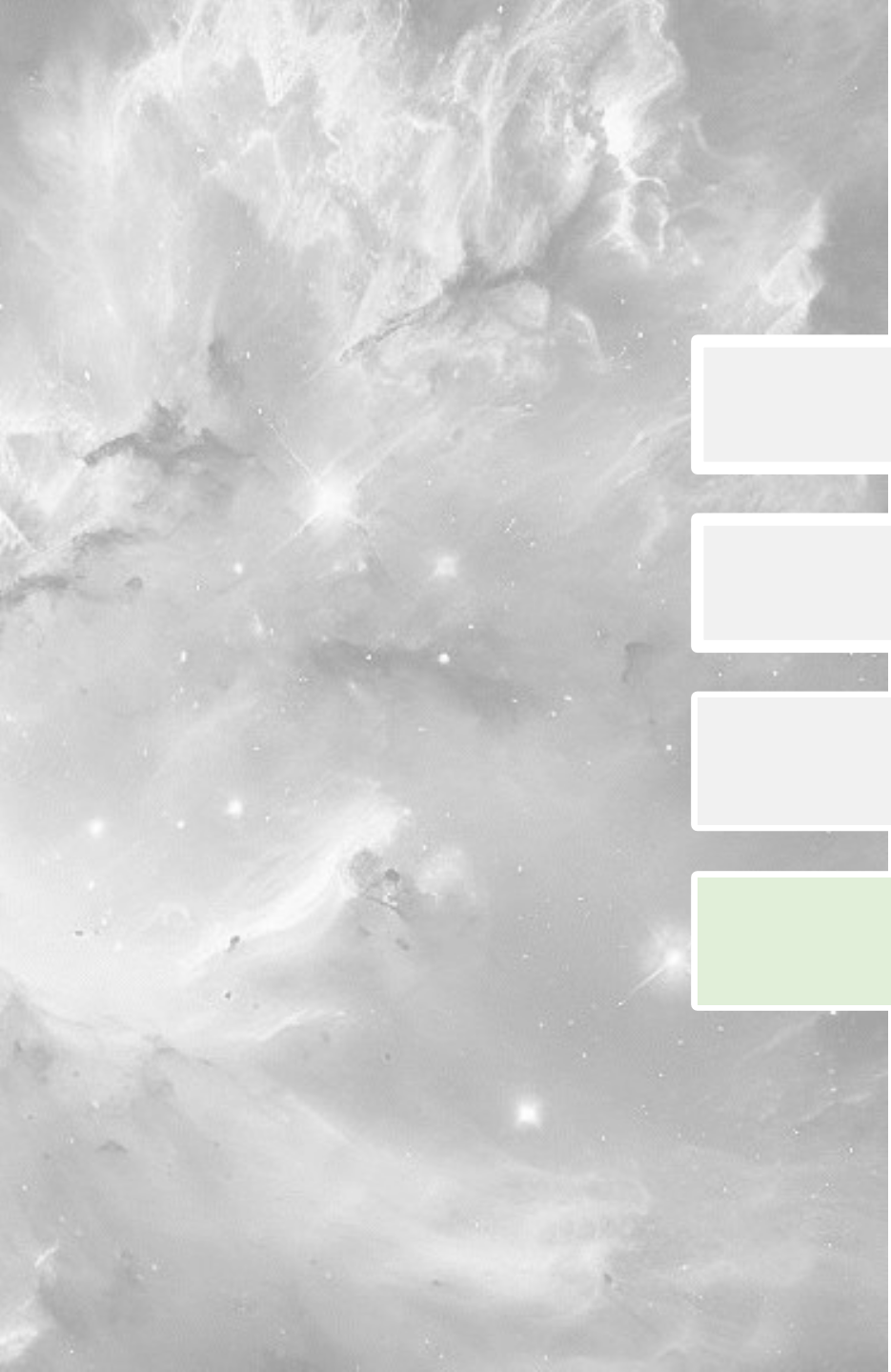


Cavité saline

Dissolution de cavité puis injection

Aquifère profond

Profondeur 500 - 2000 m

A vertical strip on the left side of the slide features a grayscale image of a cosmic nebula or galaxy, showing intricate patterns of light and dark matter.

Propriétés de l'hydrogène

Les sources d'hydrogène

Le stockage de l'hydrogène

Différentes utilisations

La mobilité lourde

Rail



Crédit : Alstom/Design & Styling

ALSTOM

Aérien



Crédit : Airbus

AIRBUS

Routier (transport de personnes)



Crédit : Safra

Safra

Routier (transport de marchandises)



Crédit : Mercedes-Benz



Mercedes-Benz

La mobilité "légère"

VU



Crédit : Renault

**Renault
Group**

VUL



Crédit : Renault

**Renault
Group**

SPORT



Crédit : GCK

GCK motorsport

DOUCE



Crédit : Pragma

PRAGMA MOBILITY
Move As You Are

Le "rétrofit" hydrogène



RÉTROFIT ÉLECTRIQUE H2

Remplacement moteur thermique > moteur électrique
Ajout d'un stockage d'hydrogène + pile à combustible

Plus coûteux, moins écologique

Performances d'un véhicule électrique



RÉTROFIT THERMIQUE H2

Conversion du moteur thermique (culasse, injection...)
Ajout d'un stockage d'hydrogène

Économique, écologique

Performances identiques à un moteur diesel

> Le retrofit est une solution rapide et écologique qui devrait favoriser la massification des usages et ainsi contribuer à la diminution des coûts.

L'hydrogène "stationnaire"

BATIMENT



essor
GROUPE

GROUPE



H₂SYs
Hydrogen to system

TORCHE



 **bulane**

CHAUDIÈRE



Autres utilisations



Élimination du soufre des hydrocarbures



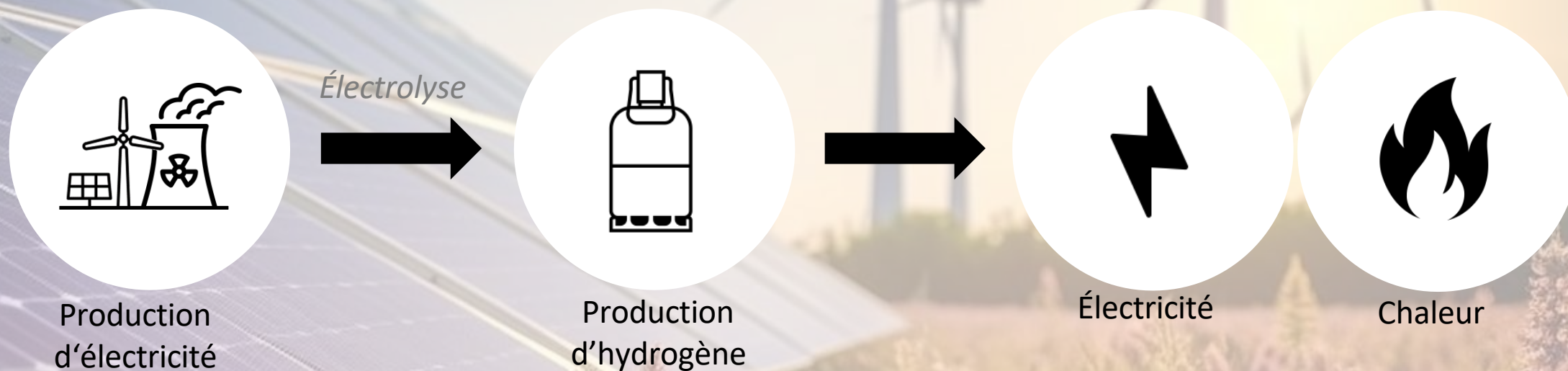
Réactif industriel (textile, électronique...)



Carburant pour les lanceurs spatiaux



Stockage d'électricité



- > **déperdition énergétique** de l'ordre de **70%** du fait de la double conversion (20% électrolyse, 50% pile à combustible).
- > L'hydrogène se travaille en écosystème de production et d'usages pour des projets partenariaux.

Points d'attention



Technologies en évolution constante, R&D - innovation

Les technologies hydrogènes sont émergentes et présentent des évolutions régulières



Travailler en écosystème de production & d'usage

Importance de l'élaboration d'un projet partenarial (production, stockage, combustion...)



Se faire accompagner, prendre le temps de la réflexion

Contacter les organismes qui peuvent conseiller (Chambre, énergéticiens, écosystèmes...)

Contact



Emmanuel JOBARD

Chambre d'Agriculture de l'Yonne

Responsable Territoires – Environnement – Terroirs

e.jobard@yonne.chambagri.fr

06 33 77 96 47