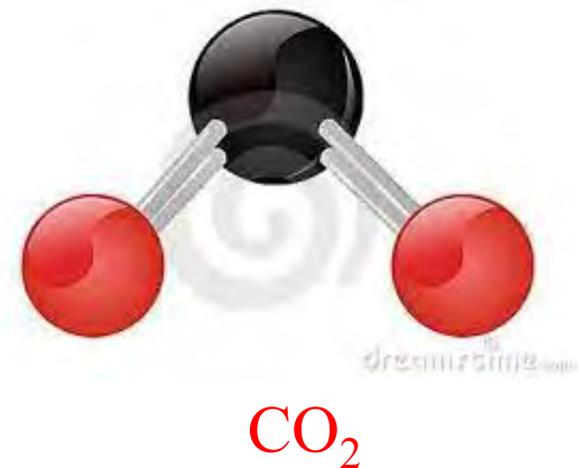
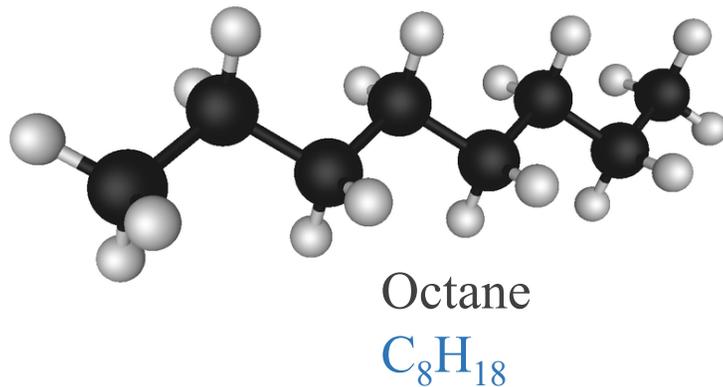


# LE CLIMAT : SON ÉTUDE ET LE RESTE

Conférence donnée dans le cadre  
des rencontres des membres de l'AREP



## SUJETS TRAITÉS

- Bref survol de l'histoire de l'étude du climat
- Création du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat  
Le GIEC
- Présentation des principales conclusions du 6<sup>e</sup> rapport du GIRC :
  - WG1 : Évolution du climat du passé (2021-08-09)  
Projections du GIEC pour l'avenir à partir des différents scénarios
  - WG2 : Vulnérabilités et adaptation (2022-02-28)
  - WG3 : Atténuation (sortie prévue en avril 2022)
- Situation au Québec :  
Les bonnes et les mauvaises idées pour l'avenir

### **Rappel :**

- 1972 : Publication du rapport « Les limites à la croissance » (rapport Meadows)
- 2022 : 50 ans plus tard -----> Que s'est-il passé ??

### **Sources principales d'information :** rapports du GIEC

- WG1 : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>
- WG2 : <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>

# HISTORIQUE DE L'ÉTUDE DU CLIMAT

**1824** : Joseph Fourier, mathématicien et physicien français, postule que les gaz de l'atmosphère jouent un rôle dans l'équilibre énergétique de la Terre en interceptant le rayonnement émis par le sol.

Première hypothèse concernant l'effet de serre.

**1861** : John Tyndall identifie les principaux responsables de l'effet de serre :

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et la vapeur d'eau.

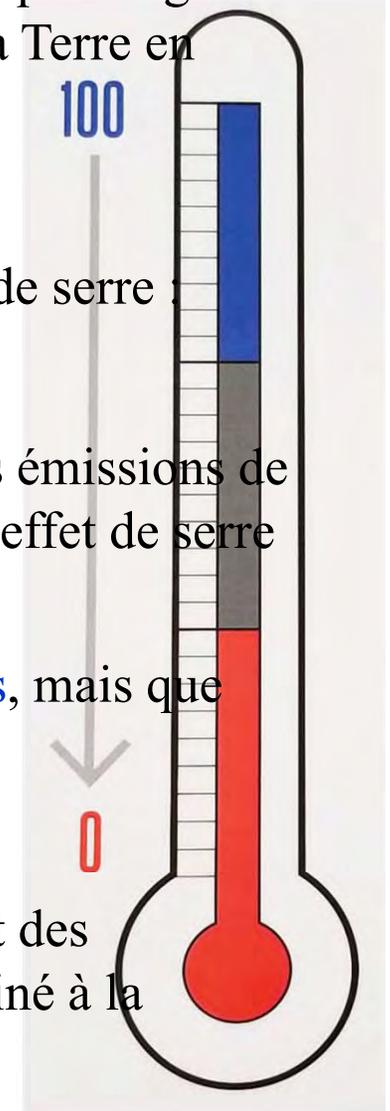
**1896** : Svante Arrhenius, chimiste suédois, avance la théorie que les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la combustion du charbon vont accroître l'effet de serre et d'entraîner le réchauffement de la planète.

Cela fait donc 125 ans que les bases scientifiques sont posées, mais que l'action est différée.

**Comment expliquer cet oubli ?**

Deux guerres mondiales, un développement accéléré de la science et des technologies, et le confort que procurent ces développements, combiné à la croissance du capitalisme triomphant :

Sont des freins à la prise de conscience du dérèglement climatique.



## HISTORIQUE DE L'ÉTUDE DU CLIMAT (suite)

**1957** : Deux scientifiques du Scripps Institute of Oceanography, Revelle et Seuss, signalent pour la première fois que le **CO<sub>2</sub>** rejeté dans l'atmosphère n'est **pas entièrement absorbé** par les océans, mais en partie stocké dans l'atmosphère.

**1958** : Charles Keeling, du Scripps Institute, effectue les **premières mesures fiables** du CO<sub>2</sub> atmosphérique à l'observatoire situé sur le Mauna Loa, à Hawaii.

Concentration mesurée de CO<sub>2</sub> de 315 ppm (parties par million)

**1967** : Syukuro Manabe, climatologue d'origine japonaise, publie la première simulation fiable par ordinateur

Résultat de la simulation de 1967 : la température moyenne mondiale pourrait augmenter de plus de 2,5 °C si le niveau de CO<sub>2</sub> doublait par rapport à ce qu'il était à l'ère préindustrielle.

**Résultat validé par tous les autres travaux depuis 50 ans.**

**1987** : Publication des résultats d'analyse de carottes de glace provenant de l'Antarctique. Corrélation très étroite entre la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique et la température depuis 400 000 ans.

Ce travail montre que le climat a toujours varié dans le passé de façon naturelle, mais que **l'humain est le moteur des changements actuels.**

# HISTORIQUE DU GIEC

**1988** : Création du GIEC par le Programme des Nations Unies pour l'environnement et l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

Composition : **scientifiques** et délégués du **monde politique**.

Mandat : évaluer, analyser et synthétiser la documentation scientifique et socio-économique sur l'évolution du climat et ses conséquences.

**Composition du GIEC** : trois groupes de travail qui publient chacun un rapport synthèse aux six ans.

- WG1 : étudie les aspects scientifiques du changement climatique
- WG2 : étudie les conséquences, la vulnérabilité et l'adaptation
- WG3 : étudie l'atténuation du changement climatique (mitigation)

**1990** : Publication du premier rapport du GIEC

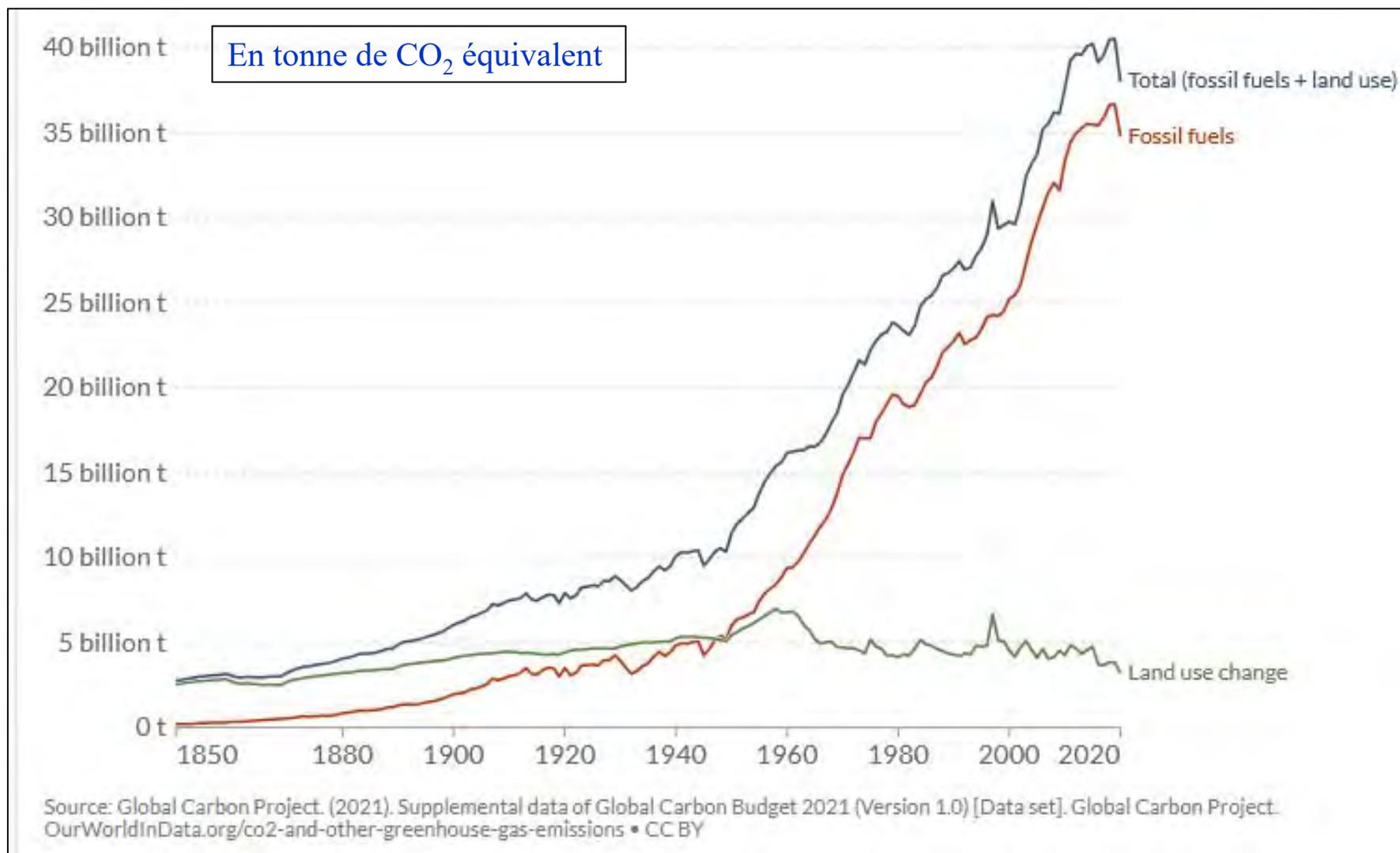
**1992** : Signature premier accord international sur le changement climatique.

**1995** : Première conférence annuelle des parties (COP1) à Berlin.

**2015** : COP21 Signature de l'Accord de Paris ratifié par 195 pays

L'humanité doit diminuer les émissions de GES pour ne pas dépasser une augmentation de température moyenne de 2 °C et idéalement de 1,5 °C.

# ÉMISSIONS MONDIALES DE CO<sub>2</sub>



Source : <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

## 9 Août 2021 : Publication du rapport du WG1 (~ 4000 pages)

**A)** Les **changements climatiques** proviennent des **émissions de (GES)** générées principalement par la combustion du charbon, pétrole et gaz naturel, ainsi que de la déforestation, de l'agriculture intensive et de l'élevage de bovins.

Depuis la publication du 1<sup>er</sup> rapport du GIEC en 1990 :

- 1000 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> ont été émises.
- Presque la moitié de nos émissions depuis le début de toute l'ère industrielle.
- **Chaque tonne** de CO<sub>2</sub> émise participe au réchauffement.

**B)** Chacune des quatre dernières décennies a été plus chaude que toutes les décennies qui l'ont précédée depuis 1850.

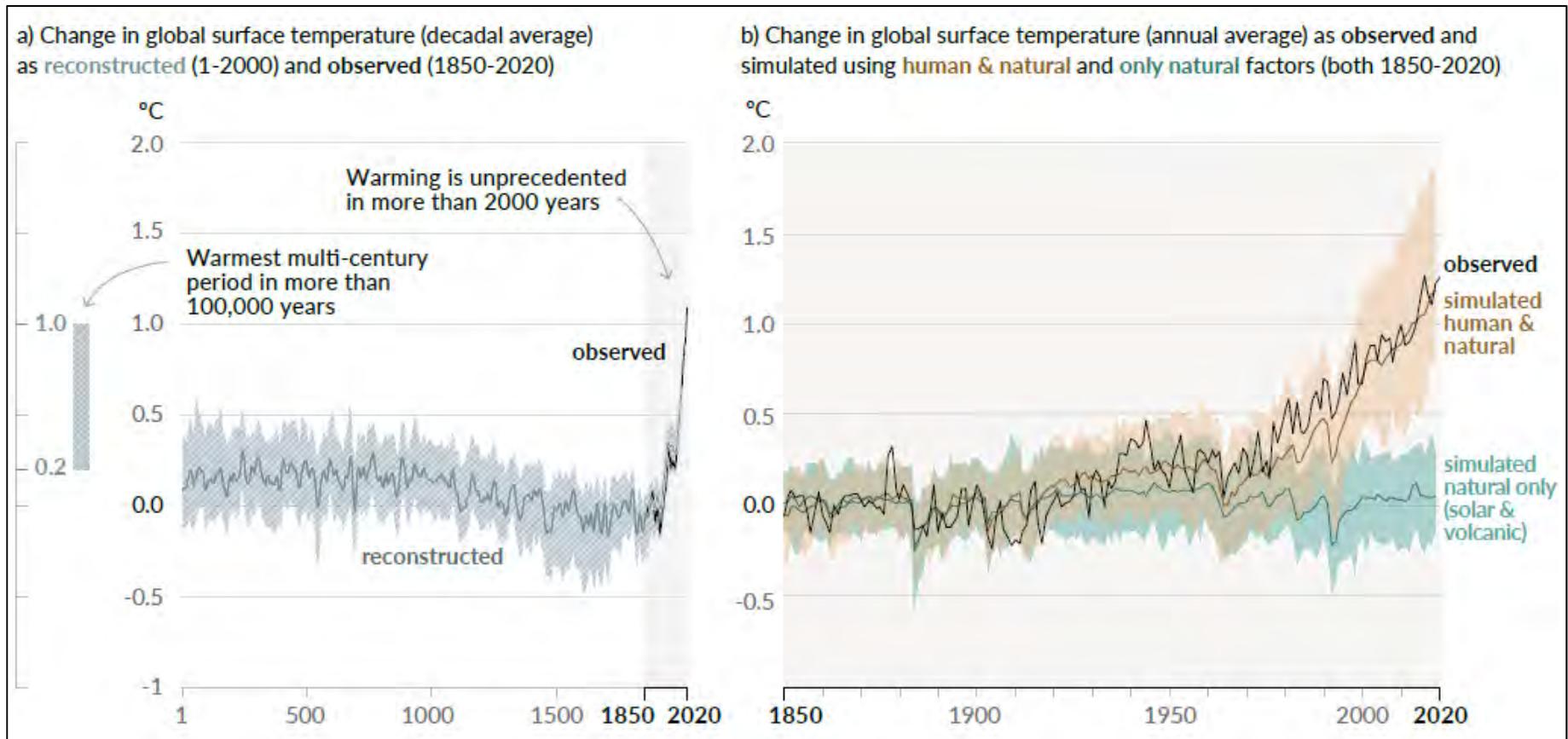
**C)** Durant la décennie 2011-2020, la température moyenne à la surface du globe a été **supérieure de 1,1°C à celle de 1850-1900**.

Tous les scénarios prévoient que la planète connaîtra un réchauffement **dépassant 1,5°C au milieu des années 2030**.

# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

## Augmentation de la température moyenne mondiale

(référence : moyenne entre 1850 – 1900)



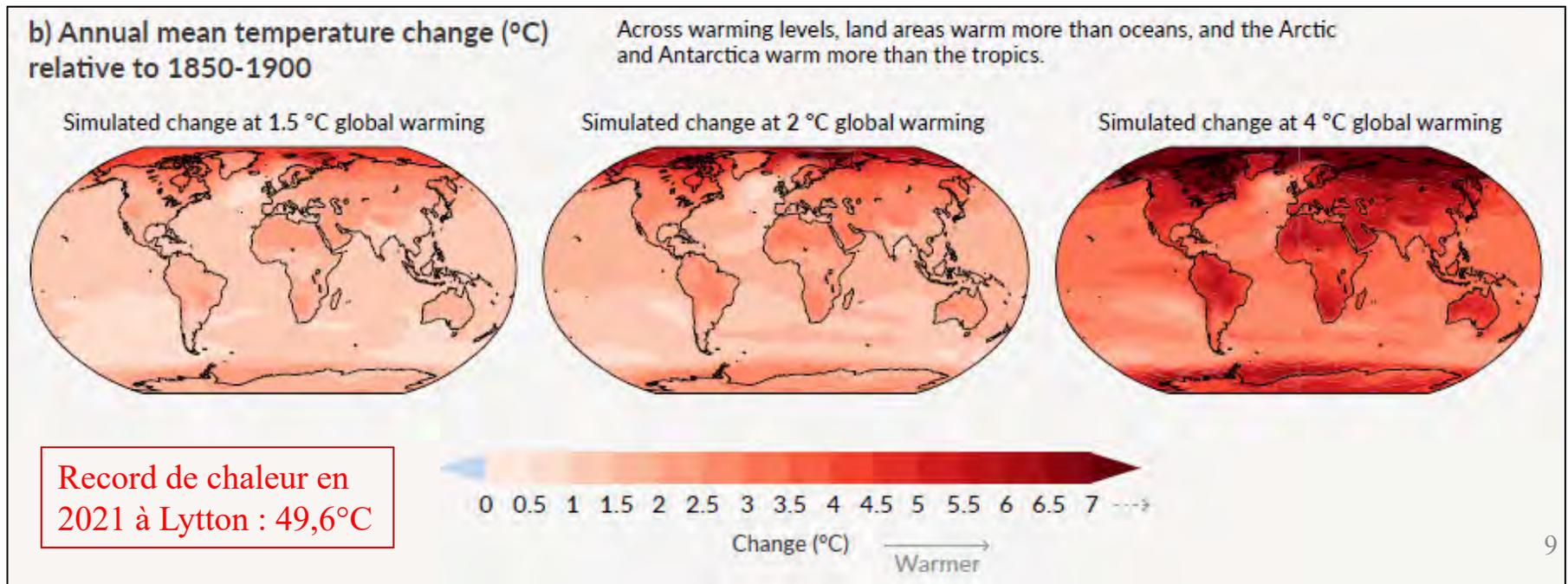
Validation des modélisations par la simulation des années antérieures

Source : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM>

## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

- D)** Les **précipitations moyennes** mondiales ont augmenté depuis 1950, avec un taux d'augmentation plus rapide depuis les années 1980.
- E)** Le **recul mondial des glaciers** depuis les années 1990 et la diminution de la **superficie de la glace de mer arctique** depuis 1975 (d'environ 40%) est directement en lien avec le réchauffement.

Le **Nord se réchauffe trois fois plus rapidement** que la moyenne terrestre. Le **pergélisol** a commencé son dégel, ce qui peut libérer une grande quantité de méthane et de CO<sub>2</sub>, et ainsi accélérer l'effet de réchauffement.



# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

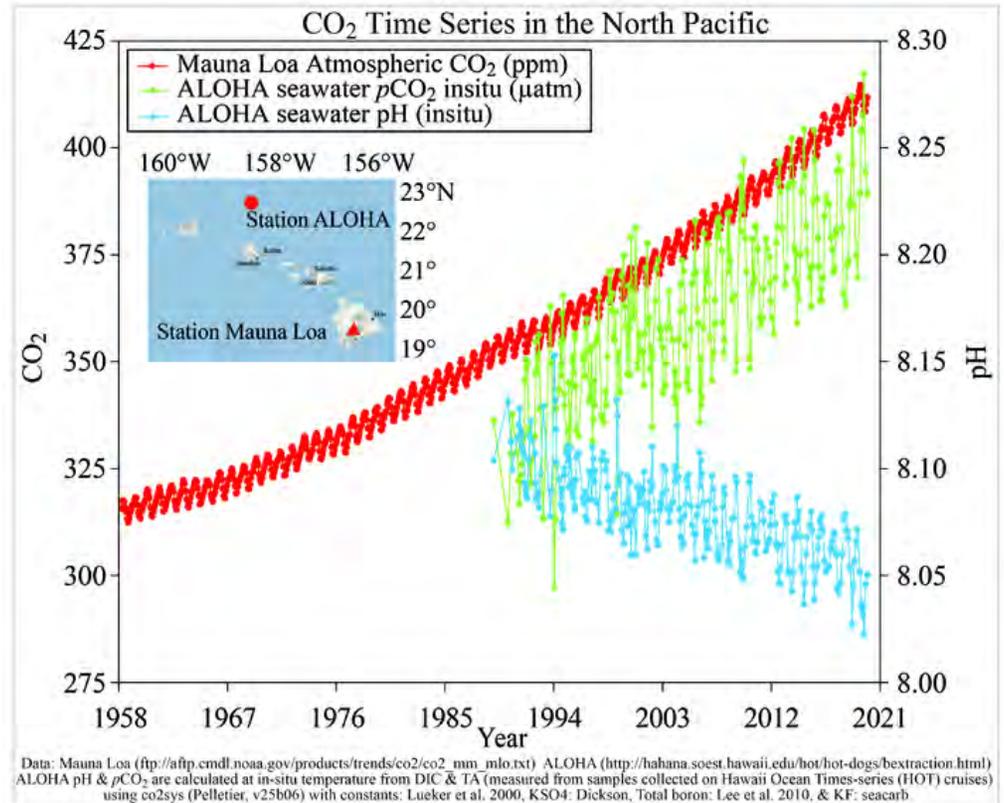
F) La **couche supérieure de l'océan** (0-700 m) s'est réchauffée depuis les années 1970.

G) Les émissions de CO<sub>2</sub> sont le principal facteur de l'**acidification** globale actuelle de la surface des océans.

Diminution de la **concentration de O<sub>2</sub>** dans les eaux chaudes (loi de Henry).

Ces facteurs mettent en danger la survie des crustacés et de certaines espèces de poissons.

C'est un phénomène qui entraîne une diminution des pêches et donc un problème alimentaire supplémentaire.



## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

H) Le **niveau moyen des océans** a augmenté de 20 cm entre 1901 et 2018.

Taux moyen d'élévation du niveau de la mer :

1,3 mm par an entre 1901 et 1971

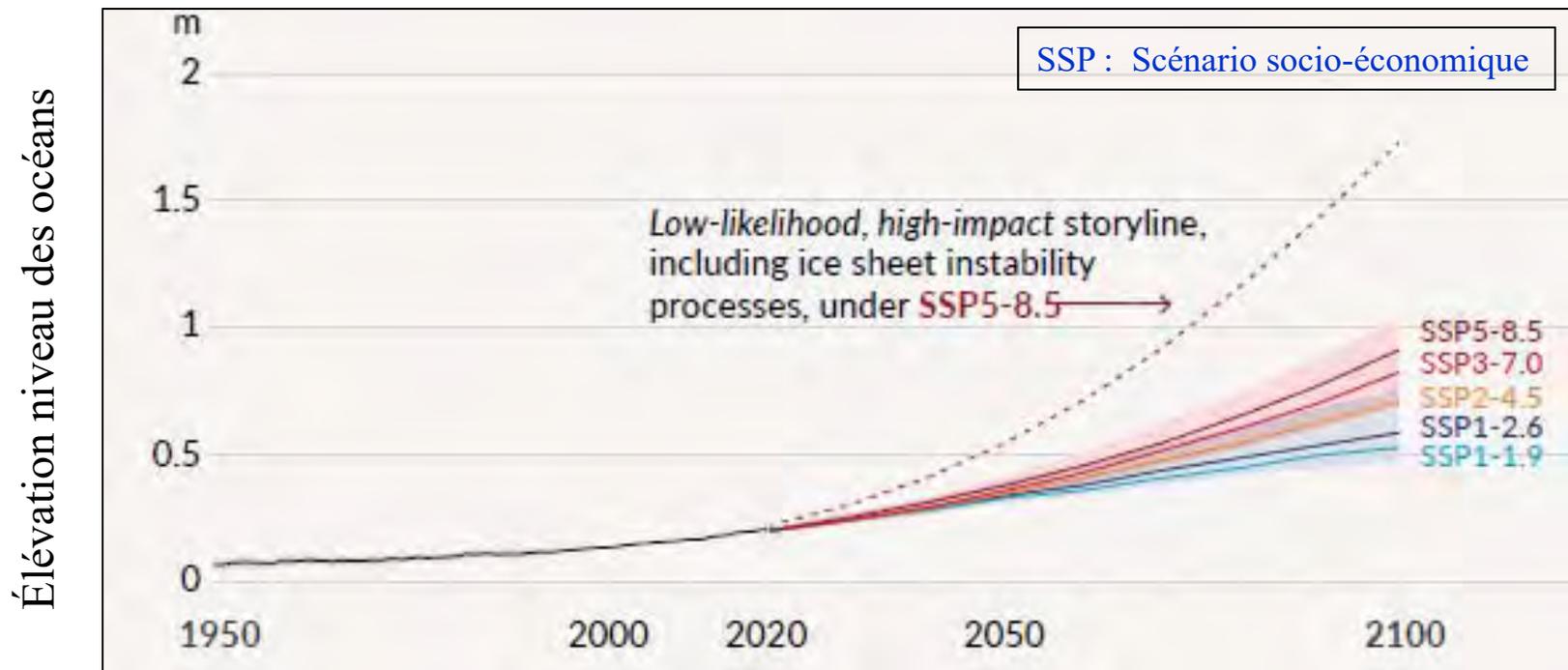
1,9 mm par an entre 1971 et 2006

3,7 mm par an entre 2006 et 2018

2022 à 2100

Dépend des émissions de GES

Les populations côtières sont directement mises en danger par cette élévation. De grandes villes se trouvent le long des océans et les habitants sont menacés de perdre leurs maisons : Nouvel-Orléans, Miami, New-York, Bombay .....



# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

## Futurs climatiques possibles : Scénarios analysés

- Grand nombre de scénarios analysés dans le rapport du GIEC
- Regroupés en cinq scénarios typiques (SSPx-y)
- Couvre la période de 2015 à 2100
- Température moyenne des années 1850 à 1900 utilisée comme référence
- Point de départ : les émissions mondiales de 40 Gt de CO<sub>2</sub> en 2015

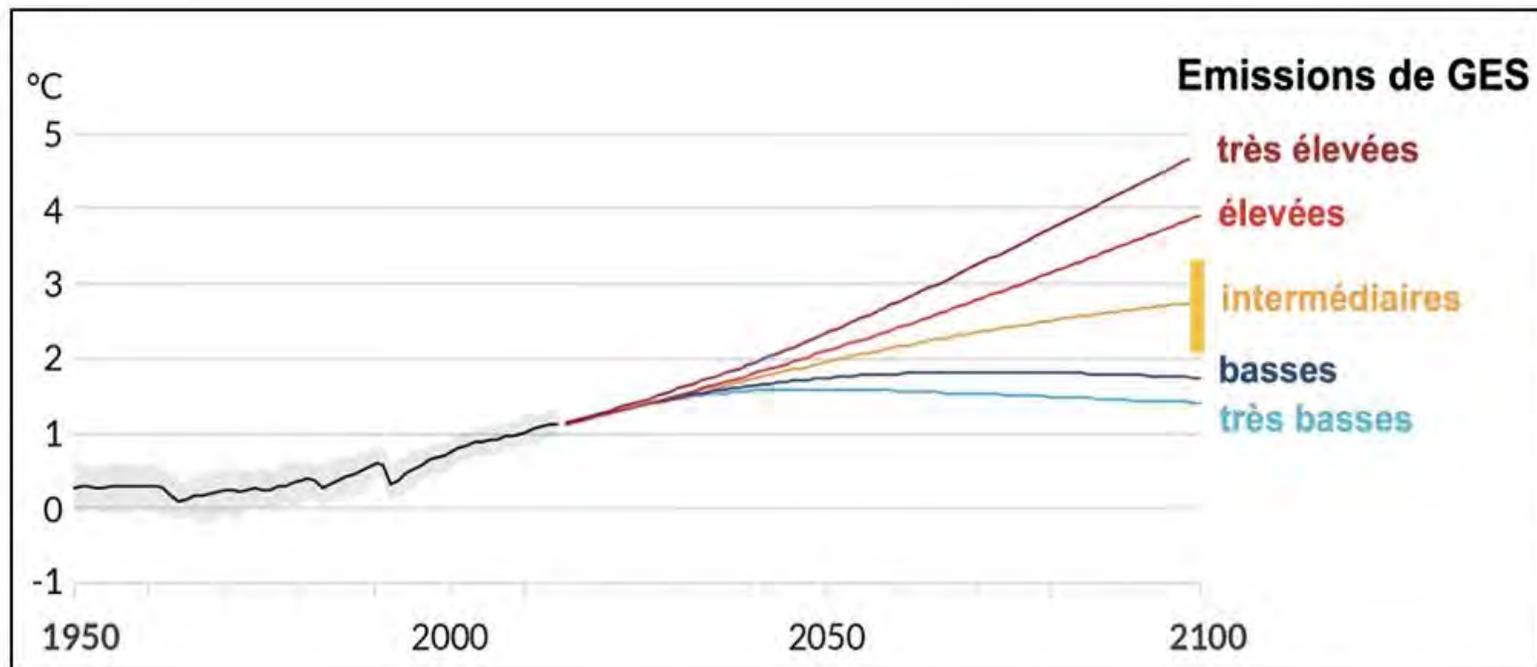
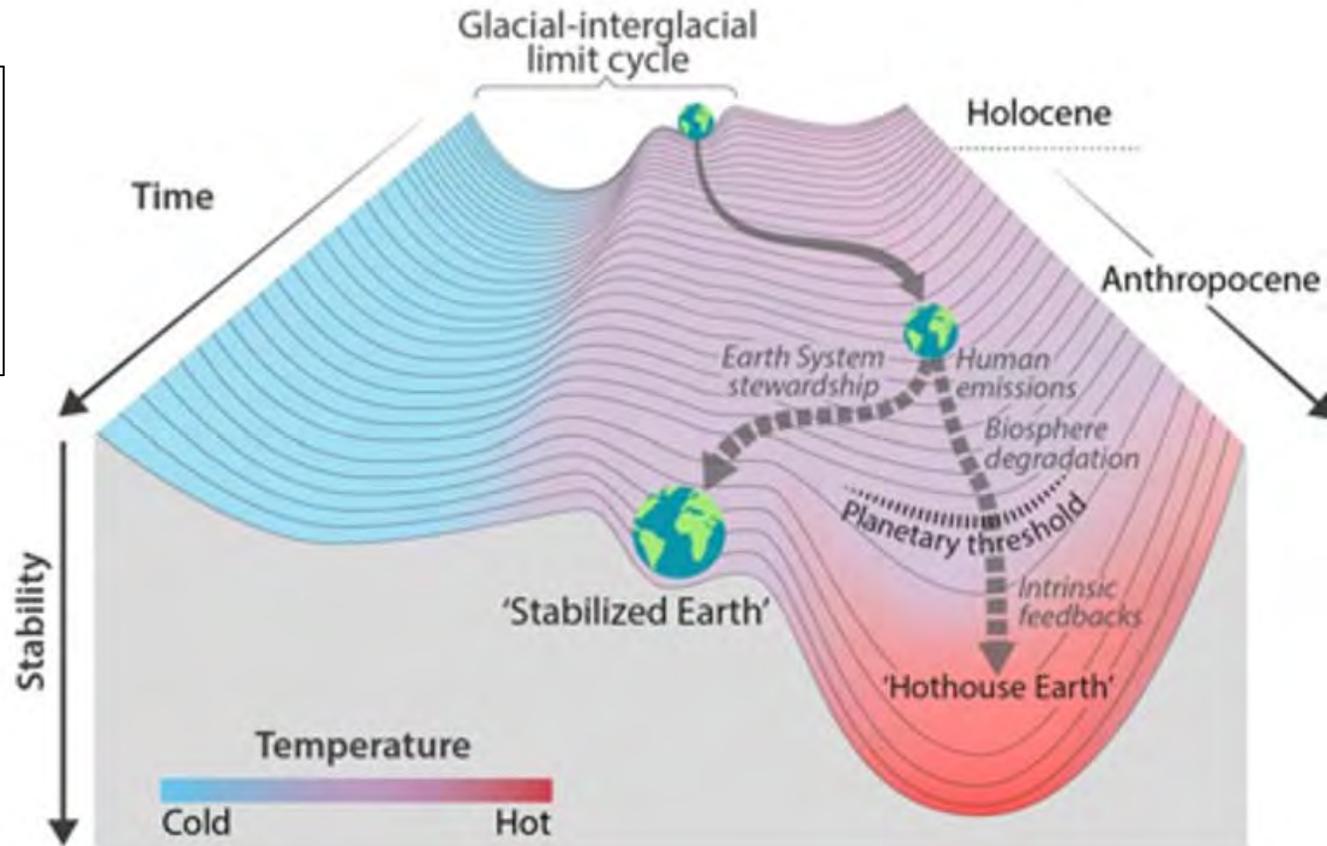


Figure - Température moyenne de la Terre dans l'avenir selon les différents scénarios d'émissions.

# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

## Équilibre

- Neutre
- Stable
- Métastable
- Instable



Actuellement la planète se trouve près de l'intersection de deux trajectoires

- Stabilité précaire** à une température d'environ  $+2^{\circ}\text{C}$
- Forte stabilité en serre chaude** où les évolutions irréversibles seront entretenues par des **boucles de rétroactions positives**.

# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

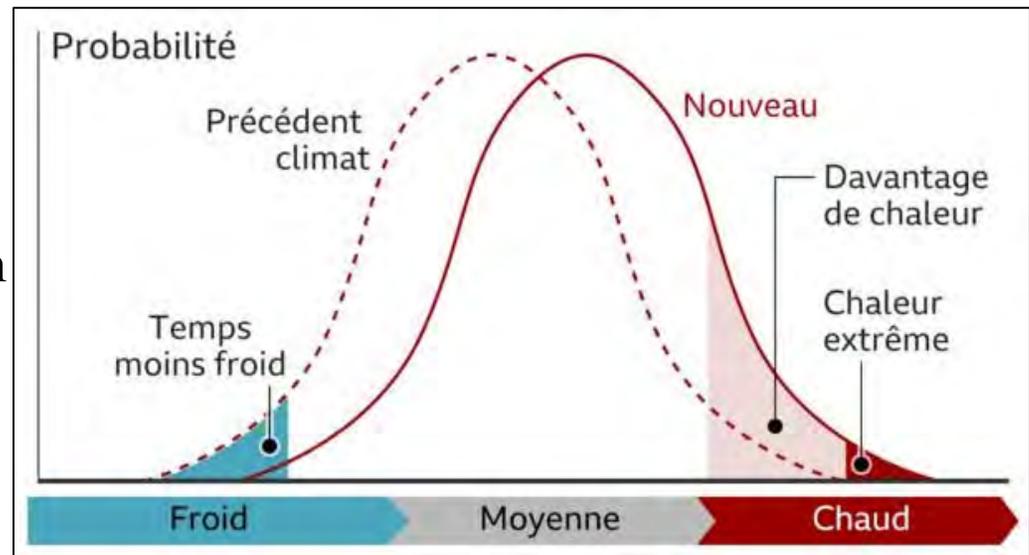
- Les changements climatiques provoquent des modifications sur deux échelles :
  - Changements **lents sur de très grandes surfaces** et ayant des impacts à long terme -----> **Climatologie**  
Exemples : Réchauffement de l'océan Arctique
  - Changements **ponctuels et locaux** -----> **Météorologie**  
Exemples : Ouragan Katrina 2005



- Question à se poser face aux événements extrêmes :  
Quelle est la probabilité que des événements extrêmes se produisent ?

- Réponse : plus souvent qu'avant

- Le réchauffement global observé depuis plus d'un siècle affecte :
  - La moyenne des températures
  - L'ensemble de leur distribution statistique



# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

**28 Février 2022 : Publication du rapport du WG2** (~ 3700 pages)

**Sujet d'analyses du WG2 :**

La **vulnérabilité** est la propension à subir des effets néfastes d'événements climatiques.

Englobe la susceptibilité aux dommages et le manque de capacité à faire face et à s'adapter.

La vulnérabilité diffère au sein des communautés et entre les sociétés, les régions et les pays, elle évolue dans le temps.

Définition de l'**adaptation** dans les systèmes humains :

Processus d'ajustement au climat et à ses effets afin de modérer les dommages ou de tirer parti des opportunités bénéfiques.

L'adaptation est soumise à des limites.

La capacité d'adaptation diminue avec l'augmentation des températures.

Les systèmes de la nature ont également leurs modes d'adaptation.

L'adaptation est souvent organisée autour de la **résilience**, qui consiste à rebondir et à revenir à un état antérieur après une perturbation.

## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

- Le changement climatique est un défi mondial qui exige des **solutions** :
  - Globales** -----> Diminution des émissions de GES
  - Locales** -----> Adaptation aux changements

Le rapport du WG2 renferme énormément d'informations régionales utiles pour un développement résilient.

- Le rapport indique qu'un développement résilient :
  - Est un défi au niveau actuel de réchauffement
  - Il sera plus difficile si le réchauffement planétaire excède 1,5 °C
  - Dans certaines régions, il sera impossible si le réchauffement planétaire dépasse 2 °C
- Certains effets économiques positifs ont été identifiés dans certaines régions :
  - Due à une baisse de la demande énergétique
  - Augmentation de la production agricole
- Mais les effets négatifs sont bien **supérieurs** à ceux positifs.  
Environ 3,4 milliards de personnes vivent dans des contextes qui sont très vulnérables au changement climatique.

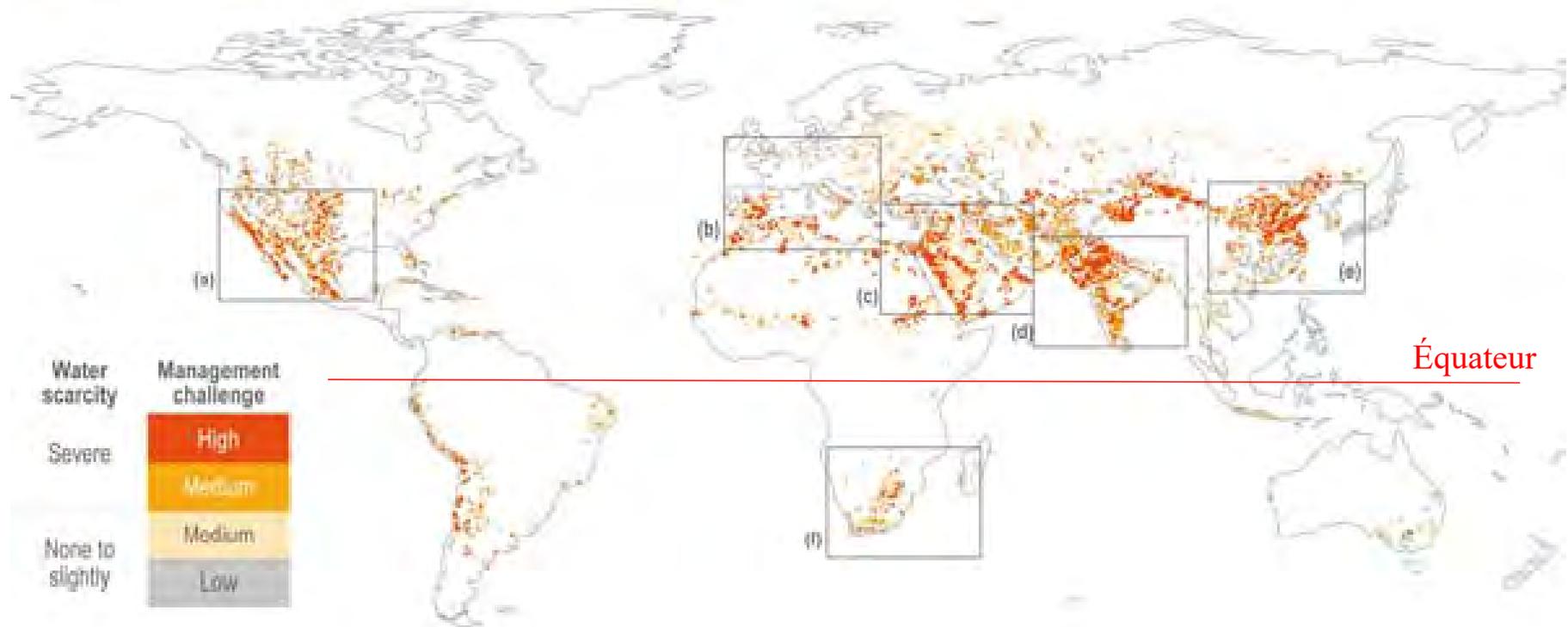
## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

- Types de **risques** dus au réchauffement climatique :
  - Météorologique : Tornades, Inondations, Sécheresses
  - Alimentaire : diminution de la productivité des sols , perte de sols cultivables par inondation
  - Santé humaine, animale et végétale
    - Vagues de chaleur : augmentation de la mortalité
    - Prolifération des maladies endémiques : malaria, dengue, choléra
    - Augmentation mortalité massive des arbres : feu, assèchement, maladie
- Vulnérabilité différente entre les zones **rurales** et les zones **urbaines**
  - Environ 3,4 milliards de personnes vivent dans des zones rurales
  - Principalement dans les pays en voie de développement
  - Beaucoup sont très vulnérables au changement climatique
  - Migration accélérée des zones rurales vers les villes
  - Migration accélérée vers d'autres pays -- Conflits aux frontières
- Le **renforcement des capacités d'adaptation** minimise les impacts négatifs
  - Mais cela demande des investissements que les pays les plus pauvres ne peuvent faire
  - Les pays du Nord ont plus de moyens

# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

## Augmentation des sécheresses en de nombreux endroits

Drought is exacerbating water management challenges which vary across regions with respect to anticipated water scarcity conditions by 2050

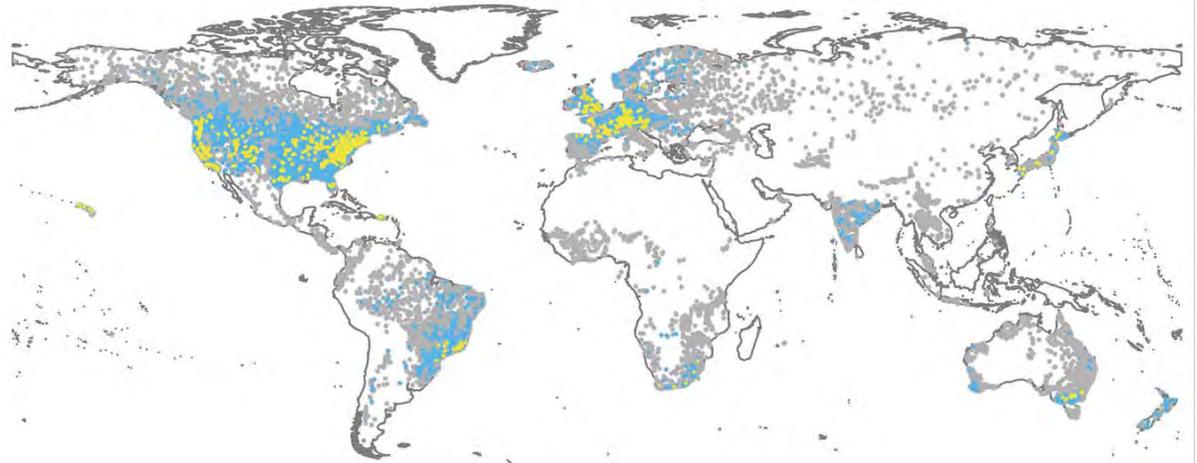


Zoomed-in map segments of six most affected regions of differing management challenges with respect to anticipated water scarcity conditions by 2050.

# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

## Augmentation des inondations en de nombreux endroits

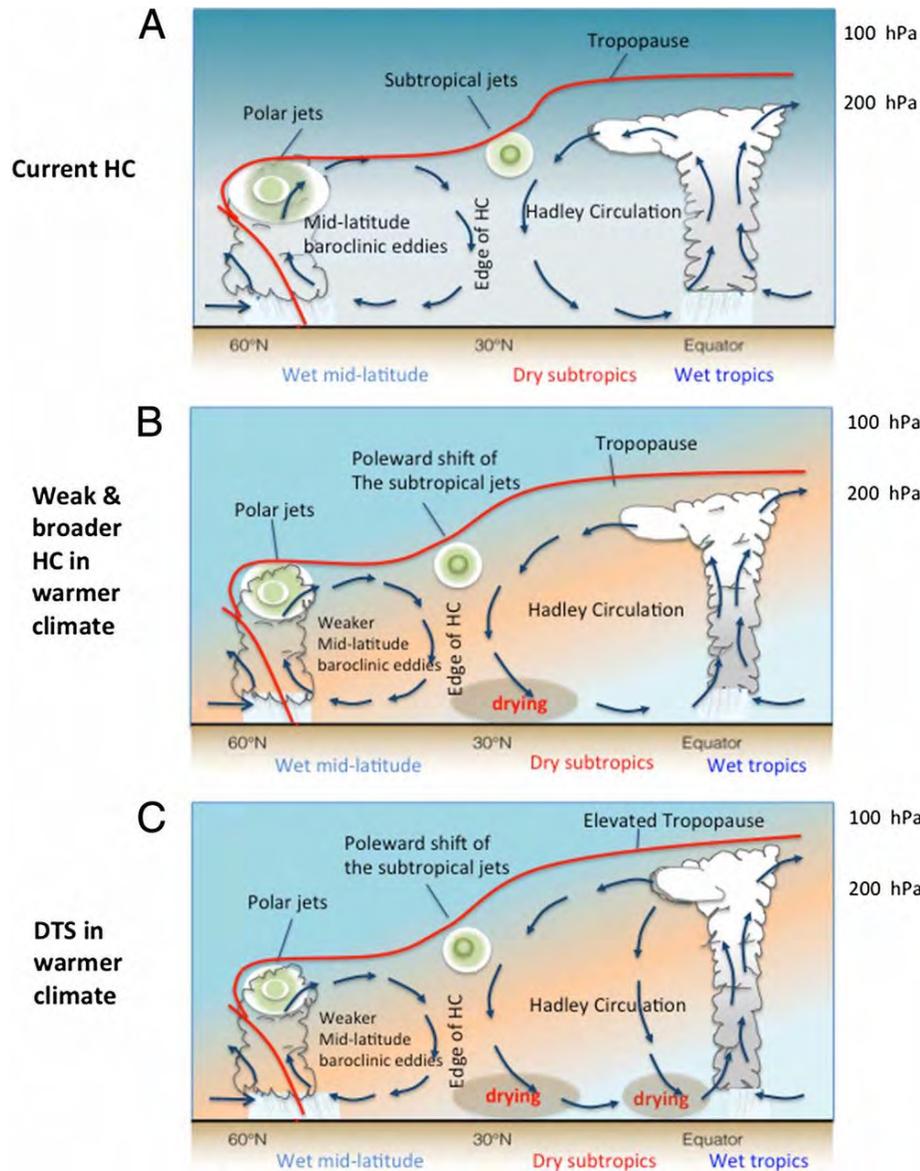
Augmentation des inondations **continentales** dues à l'augmentation du régime des pluies



Dommages directs causés par les inondations devraient être multipliés par 1,4 ou 2 à 2°C et par 2,5 ou 3,9 à 3°C par rapport à un réchauffement planétaire de 1,5°C sans adaptation

Augmentation des inondations **côtières** dues à l'augmentation du niveau des océans et du nombre de tempêtes

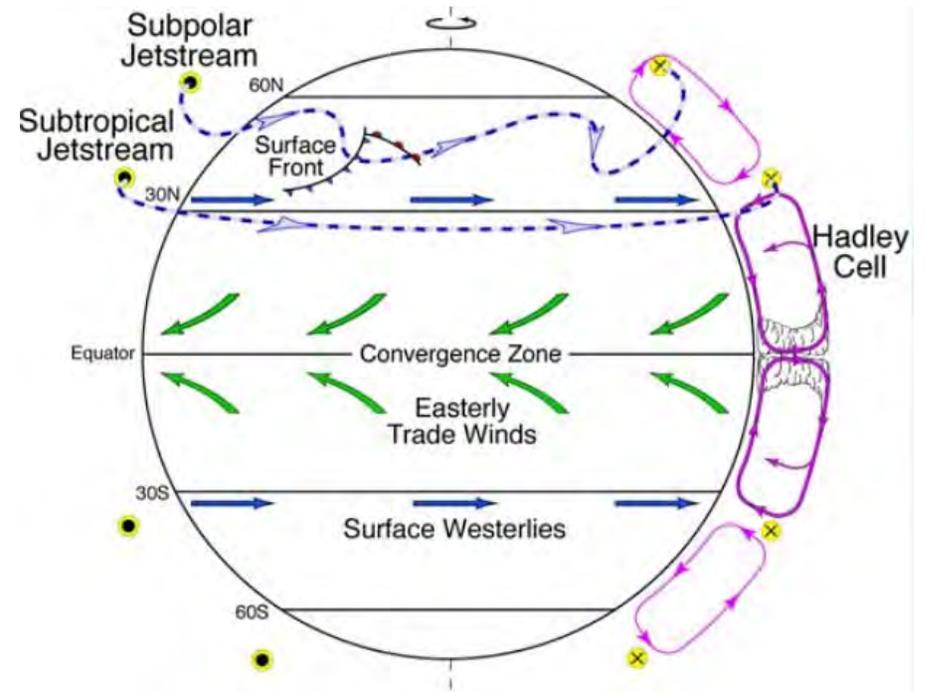
# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC (WG2)



## Raison pour laquelle il y a en même temps

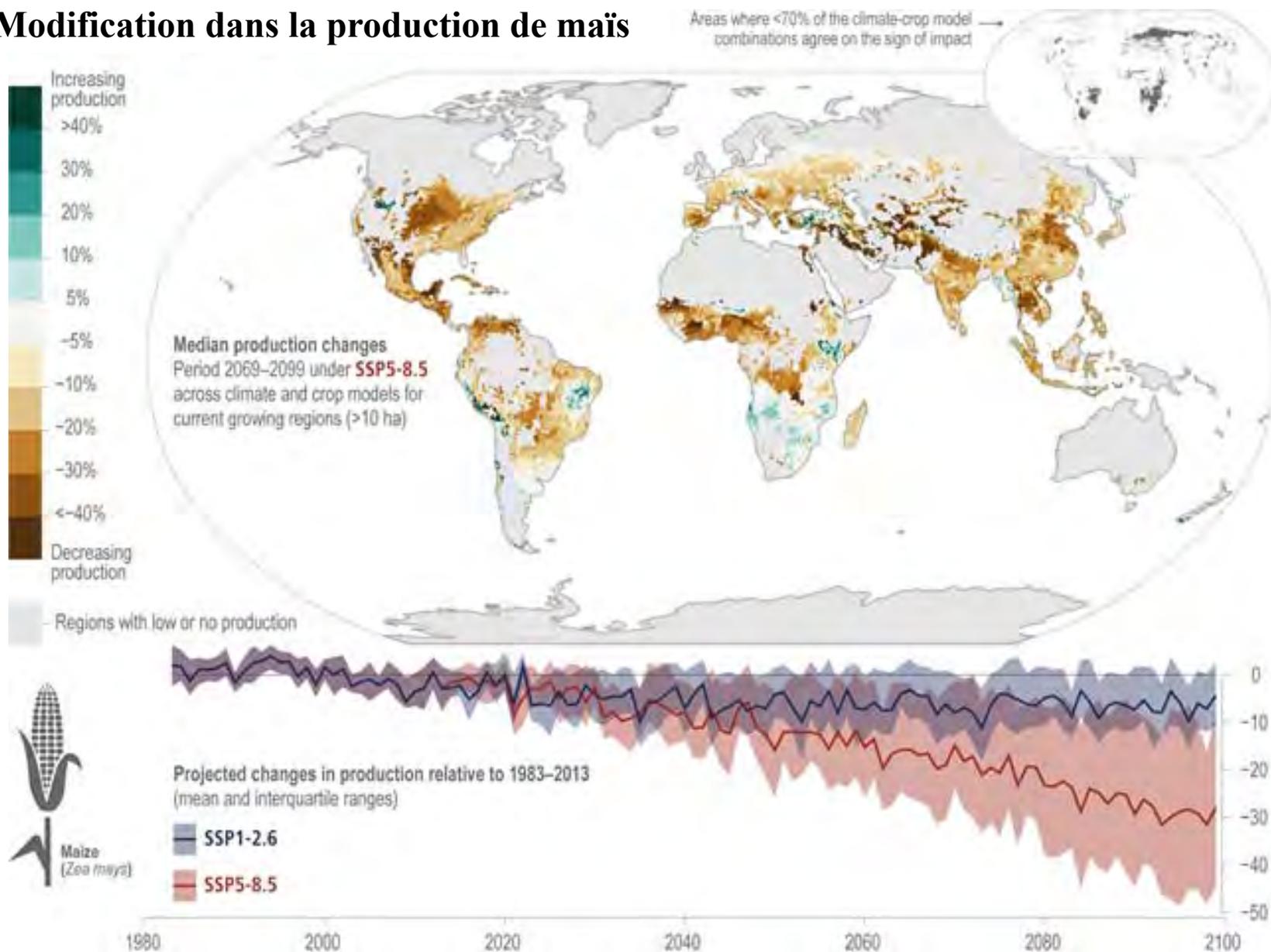
- Augmentation des sécheresses
- Augmentation des inondations

Plus la T est élevée, plus il y a de vapeur d'eau dans l'atmosphère (**rétroaction positive**)  
Déplacement des zones sèches et humides



# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

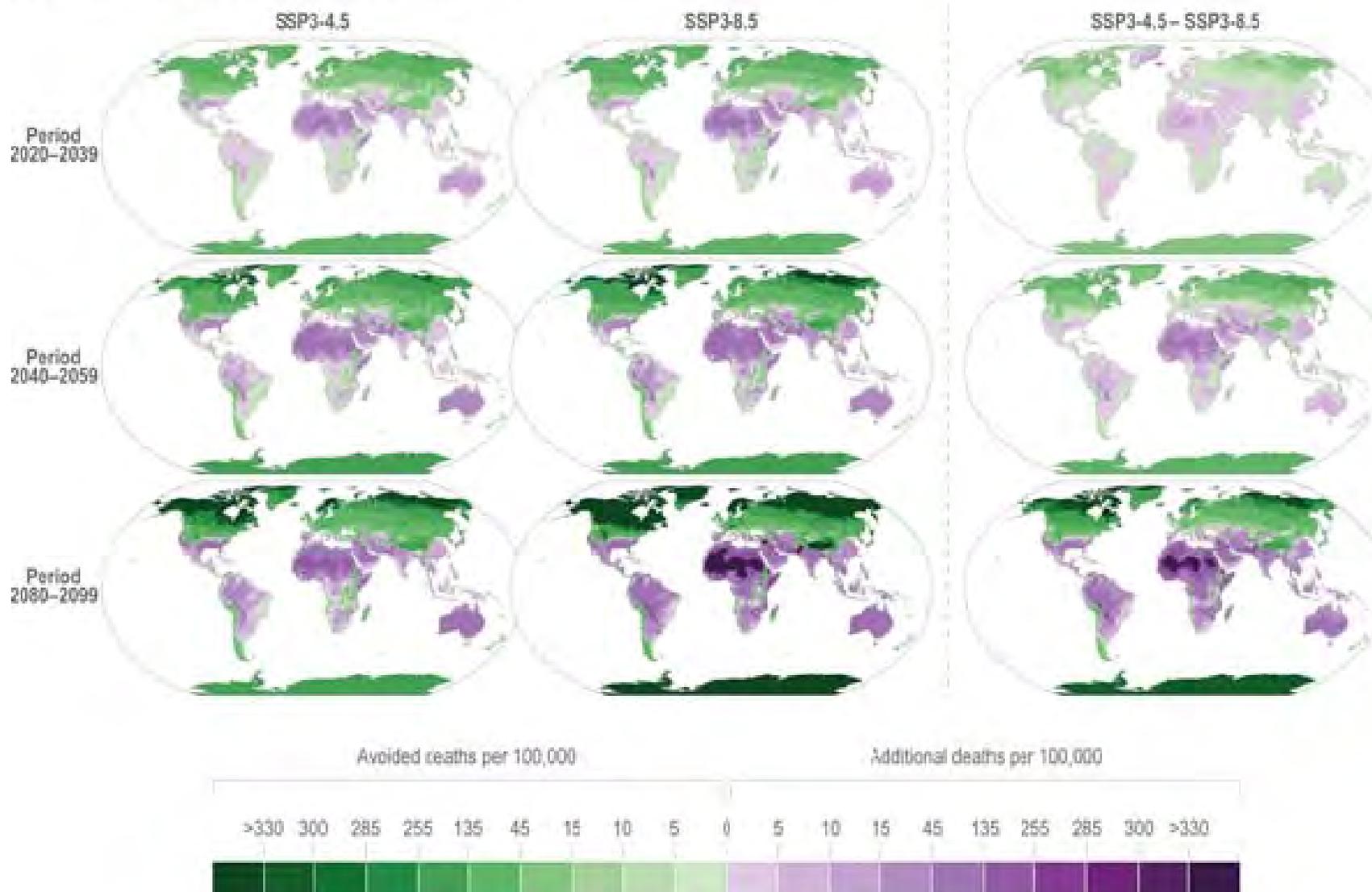
## Modification dans la production de maïs



# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

## Augmentation du risque de mortalité due aux changements climatiques

Projections shown are independent of regions's population density.

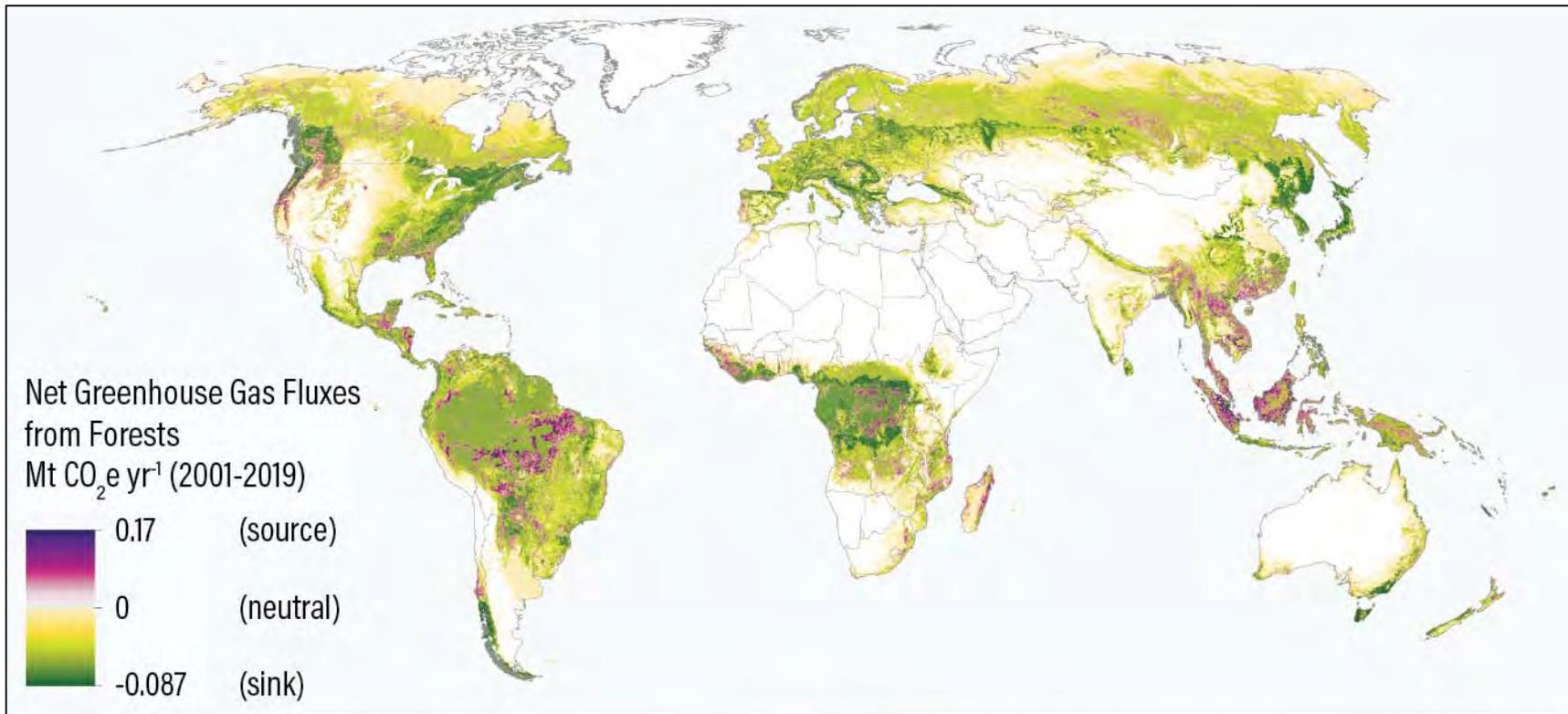


# CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

Le réchauffement climatique implique :

- Augmentation des incendies de forêt
- Augmentation de la mortalité des arbres
- L'assèchement des tourbières
- Dégel du pergélisol

Ce qui affaiblit les **puits de carbone** terrestres naturels  
Certaines régions passent de **puits** de carbone à **source** de carbone



Source: Harris et al. 2021

20.01.21

# LES BONNES ET MAUVAISES IDÉES POUR L'AVENIR

## **Les bonnes idées (au Québec) :**

- Toutes les idées qui permettront de diminuer la consommation énergétique
- Toutes les idées qui permettront de diminuer les émissions des GES

### Exemples de bonnes idées :

Diminution des pertes (**efficacité énergétique**) -- **Sobriété énergétique**  
Transport actif et collectif -- Électrification des transports  
Électrification des bâtiments -- Électrification de l'industrie  
Amélioration de l'isolation des bâtiments -- Pompes à chaleur  
Test climat appliqué à tout projet

## **Les mauvaises idées (au Québec) :**

- Toutes les idées qui font augmenter la consommation énergétique
- Toutes les idées qui font augmenter les émissions de GES

### Exemples de mauvaises idées :

Biénergie dans les bâtiments -- Hydrogène dans le gaz naturel  
Étalement urbain -- Augmentation de la masse des véhicules  
Production d'hydrogène à partir du méthane -- Construction autoroutes  
Capture et séquestration du CO<sub>2</sub> -- Production de 'e-fuel'

# POTENTIEL D'ÉLECTRIFICATION AU QUÉBEC

## Hypothèse :

Les calculs sont faits pour une condition statique : Aucun changement de démographie et sans augmentation de la consommation par personne.

## Données et Calculs : Calculs faits par Bruno Detuncq (voir annexe pour détails)

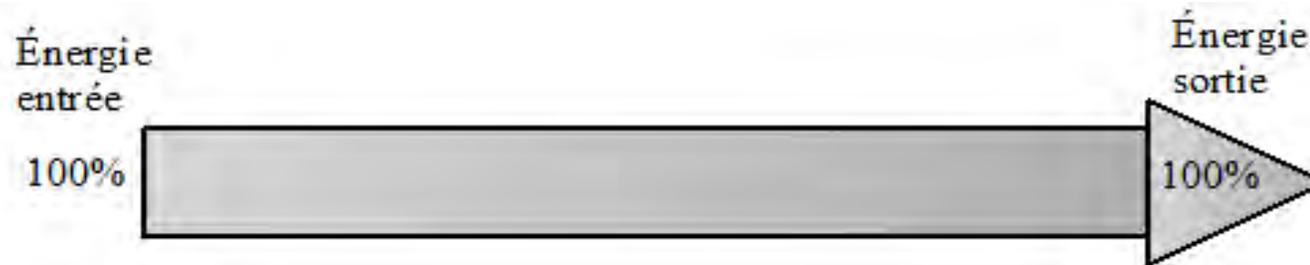
- Consommation d'électricité en 2020 au Québec : **202,7 TWh**
- Électrification des transports -- énergie annuelle supplémentaire à fournir : 27,3 TWh
- Électrification de l'industrie -- énergie annuelle supplémentaire à fournir : 40,45 TWh
- Électrification des bâtiments -- énergie annuelle supplémentaire à fournir : 36,7 TWh
- Énergie électrique à fournir si tous les secteurs électrifiables le sont : **307,2 TWh**
- Si 10% d'hydrogène (électrolyse) est ajouté au GN, il faut ajouter : 11,1 TWh

## Analyse :

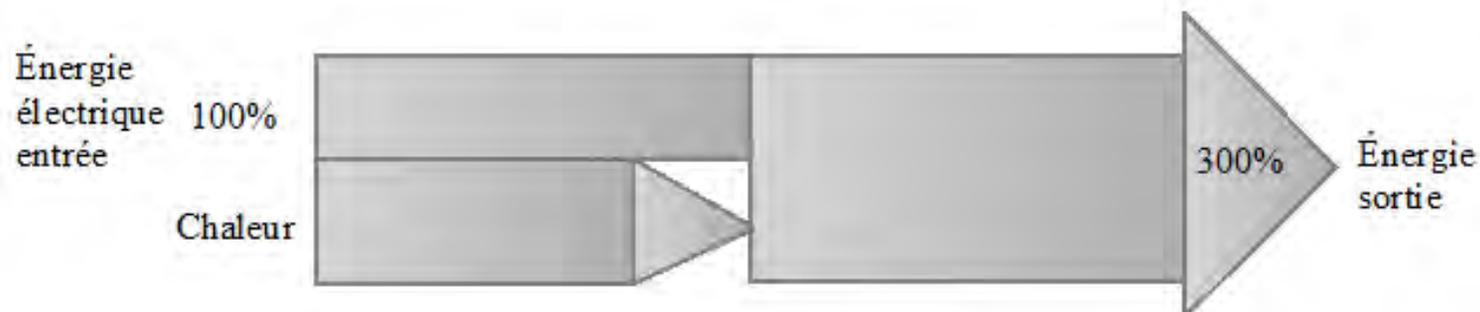
- Est-ce qu'Hydro-Québec peut fournir ce surplus d'énergie ?
- Le rapport Dunsky de 2021 propose d'augmenter la production de 350 TWh en 2050 pour atteindre 550 TWh de production.
- Augmentation principalement obtenue par ajout **d'énergie éolienne**.
- Très difficile de concevoir comment obtenir ce surplus d'énergie. Les infrastructures à mettre en place sont énormes et le temps manque, il ne reste que **28 ans**.

## COMPARAISON DE 2 FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES

**Tout électrique pour le chauffage :**



**Électrique avec pompe à chaleur pour le chauffage et climatisation :**  
Pour un appareil dont le COP = 3



## DE MULTIPLES DANGERS



Source : Journal Le Devoir 2022-03-05

QUESTIONS



# ANNEXES

# A QUOI PEUT SERVIR L'HYDROGÈNE

## **Fabrication :**

- Engrais chimiques par la transformation en ammoniacque ( $\text{NH}_3$ )
- Nombreux matériaux plastiques -- En a-t-on vraiment besoin ?
- Industrie métallurgique : décarbonation de certains procédés
- Combustibles de synthèse (e-fuel) -- Pertes d'énergie importantes

## **Stockage énergie :** Pertes d'énergie importantes

- Sous forme gazeuse à haute pression ( $\sim 700$  bars)
- Sous forme liquide ( $-252^\circ\text{C}$ ) -----> Très énergivore !

## **Vecteur d'énergie :**

- Injection dans réseau de gaz naturel ou à l'état pur

## **Transport :**

- Véhicules lourds : train, camions de marchandise, bateaux fort tonnage

**Certains usages peuvent être considérés comme pertinents  
Mais la majorité est fortement contestable !!**

# SOURCES D'HYDROGÈNE

**Actuellement il y a deux sources principales de H<sub>2</sub> :**

- 95% proviennent actuellement d'hydrocarbures : méthane ou pétrole
- 5% proviennent d'électrolyse de l'eau

**Autres sources :**

- Décomposition thermochimique de l'eau (800 à 1000°C)
- Action bactérienne : se passe en continu dans la nature
- Autres types de réactions chimiques
- Hydrogène naturel : très faible quantité dans la croûte terrestre

Lorsque du H<sub>2</sub> se forme par des **actions bactériennes** ou des réactions chimiques faisant intervenir des minéraux et de l'eau, il est soit :

- Évaporé dans la haute atmosphère
- Réutilisé dans une nouvelle réaction chimique

Il faut considérer le H<sub>2</sub> comme un **produit manufacturé** comme :

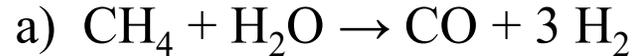
Une brosse à dents ou un masque anti-Covid

**Énergie secondaire**



# PRODUCTION DU H<sub>2</sub> BLEU À PARTIR DU MÉTHANE

**Deux étapes : (vaporeformage)**



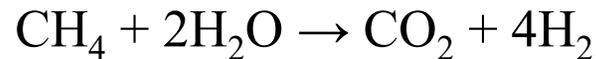
Réaction à haute température : 840 à 950°C -----> Combustion de méthane

Réaction endothermique, absorbe : 191,7 kJ / kmol



Réaction exothermique, dégage : 40,4 kJ / kmol

Bilan de la réaction :



Réaction endothermique

Les produits de la réaction contiennent : **1 kg de H<sub>2</sub> et 10 kg de CO<sub>2</sub>**

Pour obtenir de l'hydrogène bleu, il faut :

- Séparer le H<sub>2</sub> du CO<sub>2</sub>
- Comprimer le CO<sub>2</sub> et l'injecter en sous-sol

**➡** Toutes ces étapes demandent beaucoup d'énergie (TRE très faible)

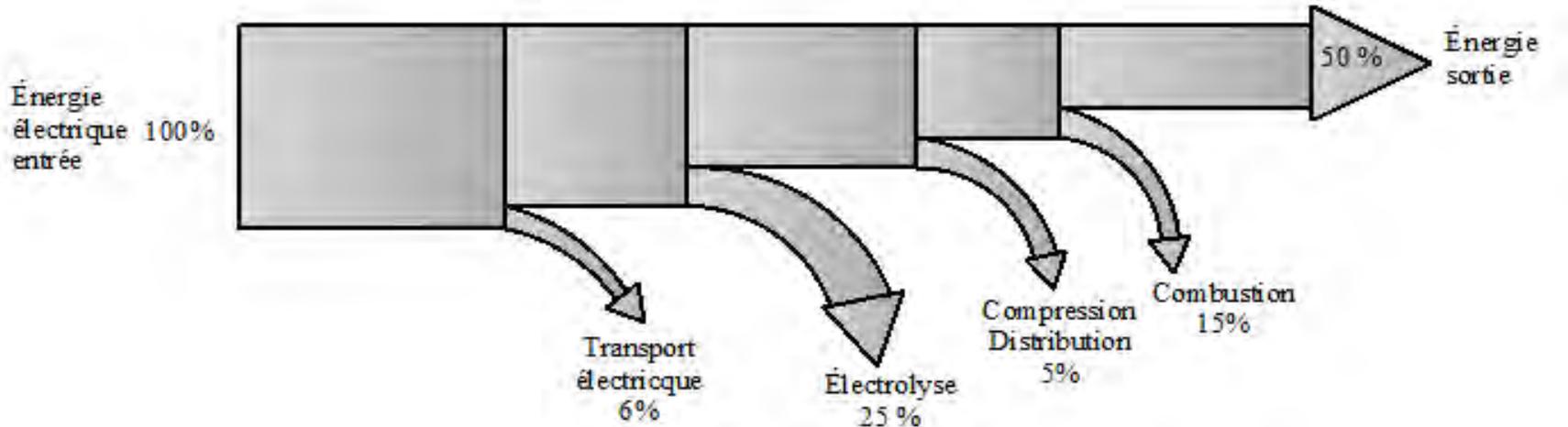
**Le gouvernement du Canada et les pétrolières voient dans ce procédé la façon de continuer d'extraire des hydrocarbures et de rentabiliser les investissements**

## PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ÉLECTROLYSE

- Énergir (Gaz Métro) a déposé en 2021 une demande à la Régie de l'Énergie la permission d'effectuer des tests de compatibilité pour l'injection de H<sub>2</sub> dans le réseau de gaz naturel.
- Les tests se feront en circuit fermé avec des concentrations de H<sub>2</sub> : 2 à 50%
- La Régie a donné son approbation.
- J'ai effectué un petit calcul des impacts pour une concentration de :
  - 10% de H<sub>2</sub> calculé en concentration énergétique.**
  - Débit annuel de GN distribué au Québec par Énergie et Gazifère en 2020 :  
Débit énergétique = 360 PJoules/an = 360 \* 10<sup>15</sup> Joules/an  
Débit volumétrique = 9,3 \* 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/an (à TPN)
  - La puissance spécifique réelle pour électrolyse de l'eau en considérant 25% de pertes est de : 44,667 kWh/kg de H<sub>2</sub> produit = 160 800 kJ/kg H<sub>2</sub>
  - Énergie électrique pour produire le H<sub>2</sub> par électrolyse : **11,1 TWh/an**
  - Pourcentage de l'énergie produite par Hydro-Québec nécessaire à produire le H<sub>2</sub> par électrolyse : **5,5 %**

# PROBLÉMATIQUE DE L'HYDROGÈNE DANS GN

**Conséquences énergétiques d'injection du H<sub>2</sub> dans le réseau de gaz naturel :**  
**Perte d'énergie inacceptable dans des conditions de diminution des excédents !**



## Conséquences financières :

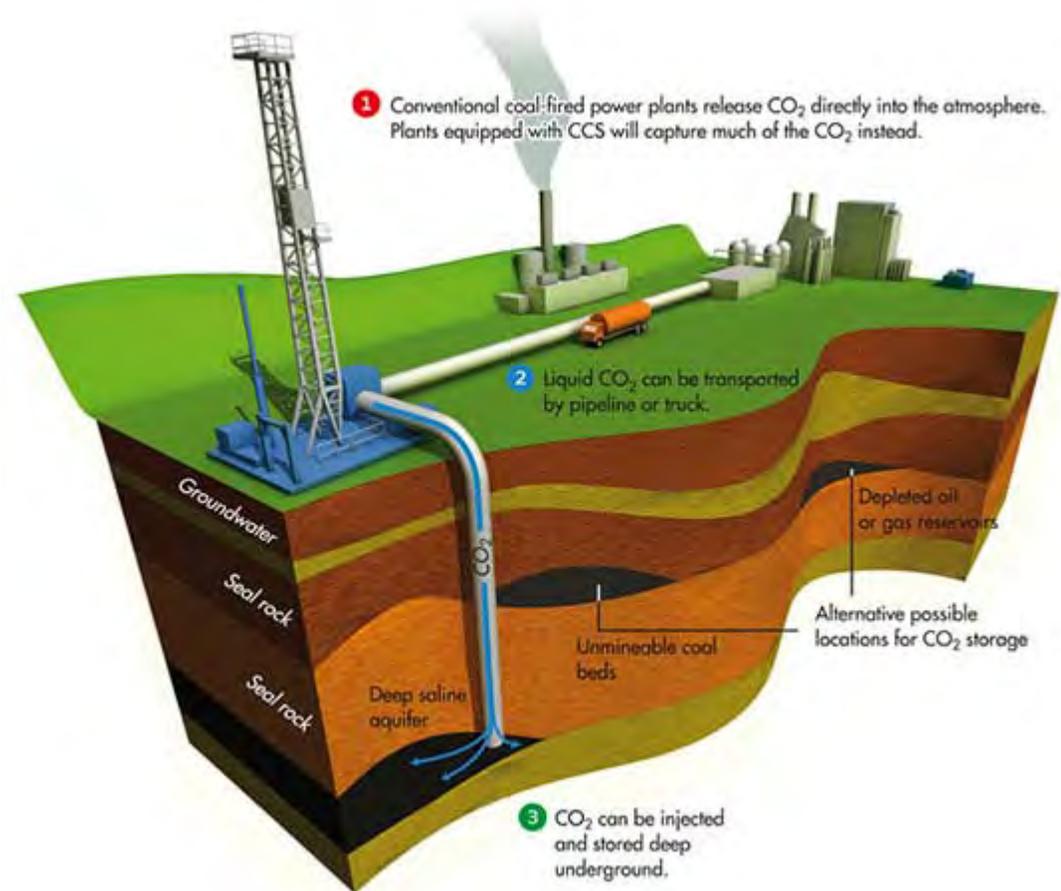
- Tarif d'électricité :  
Industriel Tarif L = 0,033 \$/kWh  
Domestique Tarif D = 0,07 \$/kWh
- Perte de vente pour Hydro-Québec entre tarif D et tarif L : **411 millions \$/an**
- Émissions de CO<sub>2</sub> évités :  $1,71 * 10^6$  tonnes CO<sub>2</sub>/an
- Rapport entre pertes de revenus pour Hydro-Québec Vs Émissions de CO<sub>2</sub> évités : **240 \$ la tonne de CO<sub>2</sub> évitée**

# CAPTURE ET SÉQUESTRATION DU CO<sub>2</sub>

## CSC : Image bucolique de l'enfouissement du CO<sub>2</sub>

Actuellement 85 % des études mondiales de CSC portent sur l'augmentation de la production de pétrole de puits vieillissants.

**Très peu d'études sur les conséquences à long terme :  
500 à 1000 ans**



**Analyse des risques NON faite : Principe de précaution ??**

Enfouir du CO<sub>2</sub> découle de la même mentalité que l'enfouissement sous terre des déchets nucléaires. **Loin des yeux loin de la peur.**

Mais les générations futures vont devoir gérer des dépotoirs.

## RÉSEAU ÉLECTRIQUE AU QUÉBEC en 2020

### **Puissance installée : 37 231 MW**

61 centrales hydroélectriques : 36 687 MW

24 centrales thermiques : 544 MW ----- Bécancour : 411 MW

Autres sources : 10 731 MW

Centrale des Churchill Falls (Labrador) : 5 428 MW

Fin du contrat en 2041

42 parcs éoliens (producteurs indépendants) : 3 880 MW

10 centrales de cogénération à la biomasse et 4 au biogaz (producteurs indépendants) :  
343 MW

Puissance à la pointe en 2020 au Québec : 36 576 MW

### **Installations futures : 255 MW**

Romaine-4 : 245 MW

Centrales photovoltaïques en construction : 10 MW

Le réseau de distribution au Québec se fait en courant AC, mais le réseau de transport vers les États-Unis est en courant DC, (450 kV) ce qui permet d'éliminer les problèmes de synchronisation.

# MENACES POUR LA PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE DU QUÉBEC

## **Le passé n'est pas garant de l'avenir :**

- Les changements climatiques risquent de modifier les précipitations (pluie et neige) au Québec dans le futur, principalement au Centre et au Nord, qui se réchauffe plus rapidement que le Sud.
- Plus de pluie et de fonte de neige en hiver au niveau du centre du Québec feront en sorte de réduire les réserves d'eau (sous forme de neige) pour produire l'électricité du Sud.

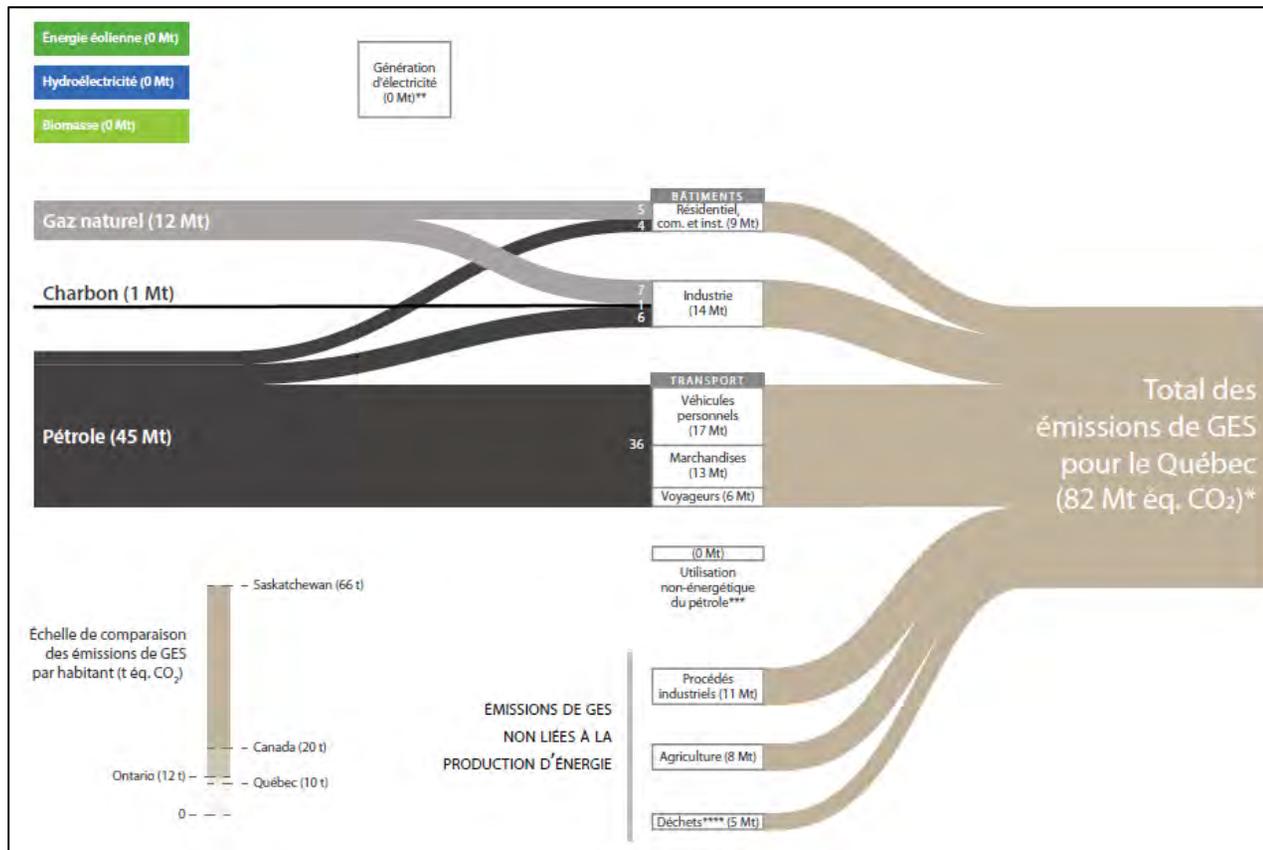
## **L'électricité du Labrador n'est pas une garantie pour le Québec à partir de 2042 :**

- 15% de la consommation actuelle du Québec
- Puissance installée : 5 428 MW
- Énergie produite annuellement : 35 TWh
- Incertitude sur la capacité d'achat d'une portion de cette électricité

## **Acceptabilité sociale de nouvelles installations :**

- La résistance à harnacher de nouvelles rivières peut être très forte.
  - Un refus d'implantation d'éoliennes sur le territoire de différentes communautés peut limiter la capacité de production d'électricité.
- La capacité d'électrification au Québec dépendra de la capacité de produire une énergie pour tous les nouveaux besoins et une puissance suffisante pour la pointe hivernale.

# ÉMISSIONS DE GES AU QUÉBEC en 2018



## Production de CO<sub>2</sub> par secteur et combustible

**Pétrole total : 45 Mt**

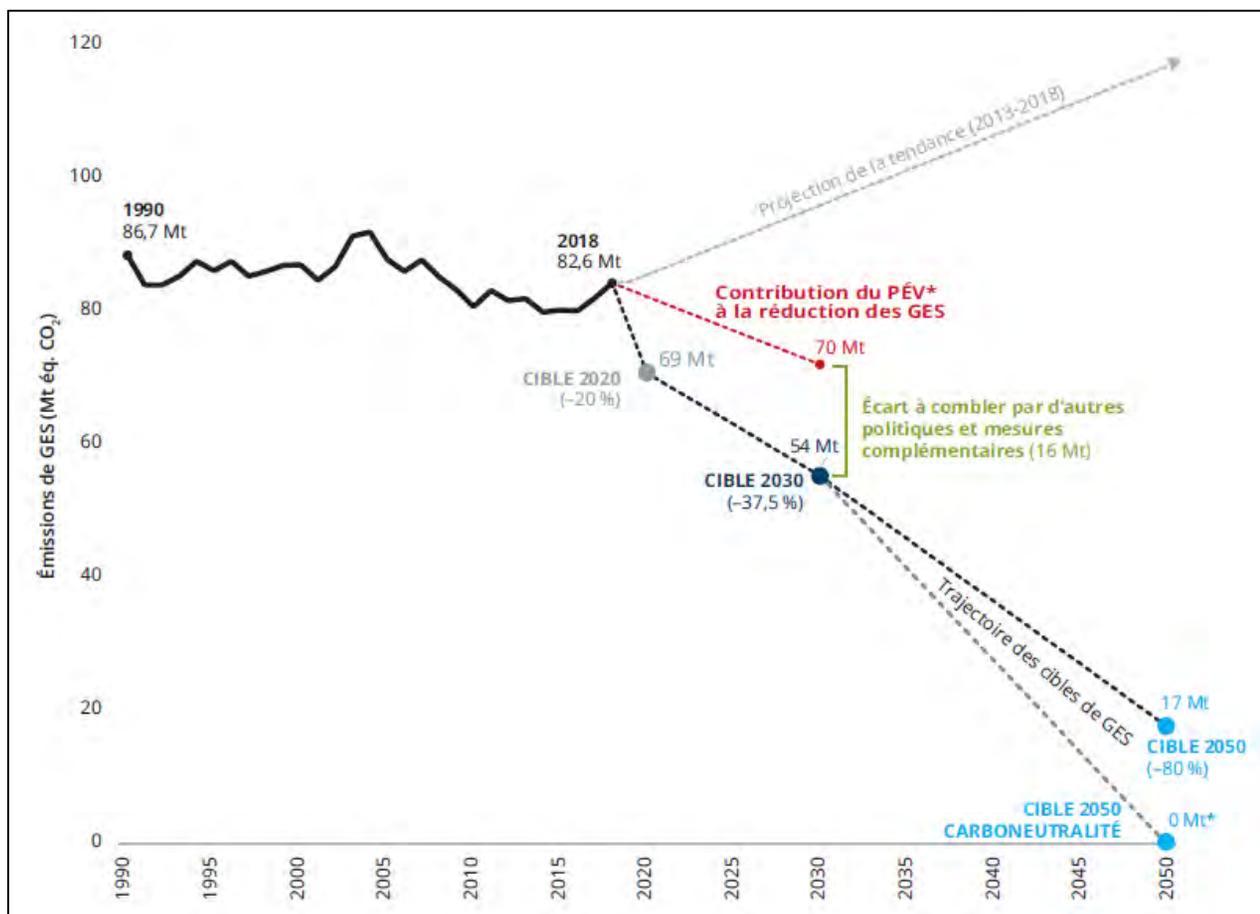
- Transport : 36 Mt
- Industrie : 6 Mt
- Bâtiment : 4 Mt

**Gaz naturel total : 12 Mt**

- Industrie : 7 Mt
- Bâtiment : 5 Mt

Ces chiffres excluent les émissions de GES lors de l'extraction, transport et stockage des combustibles.

# ÉMISSIONS DE GES AU QUÉBEC 1990 à 2018



## Émissions de GES au Québec :

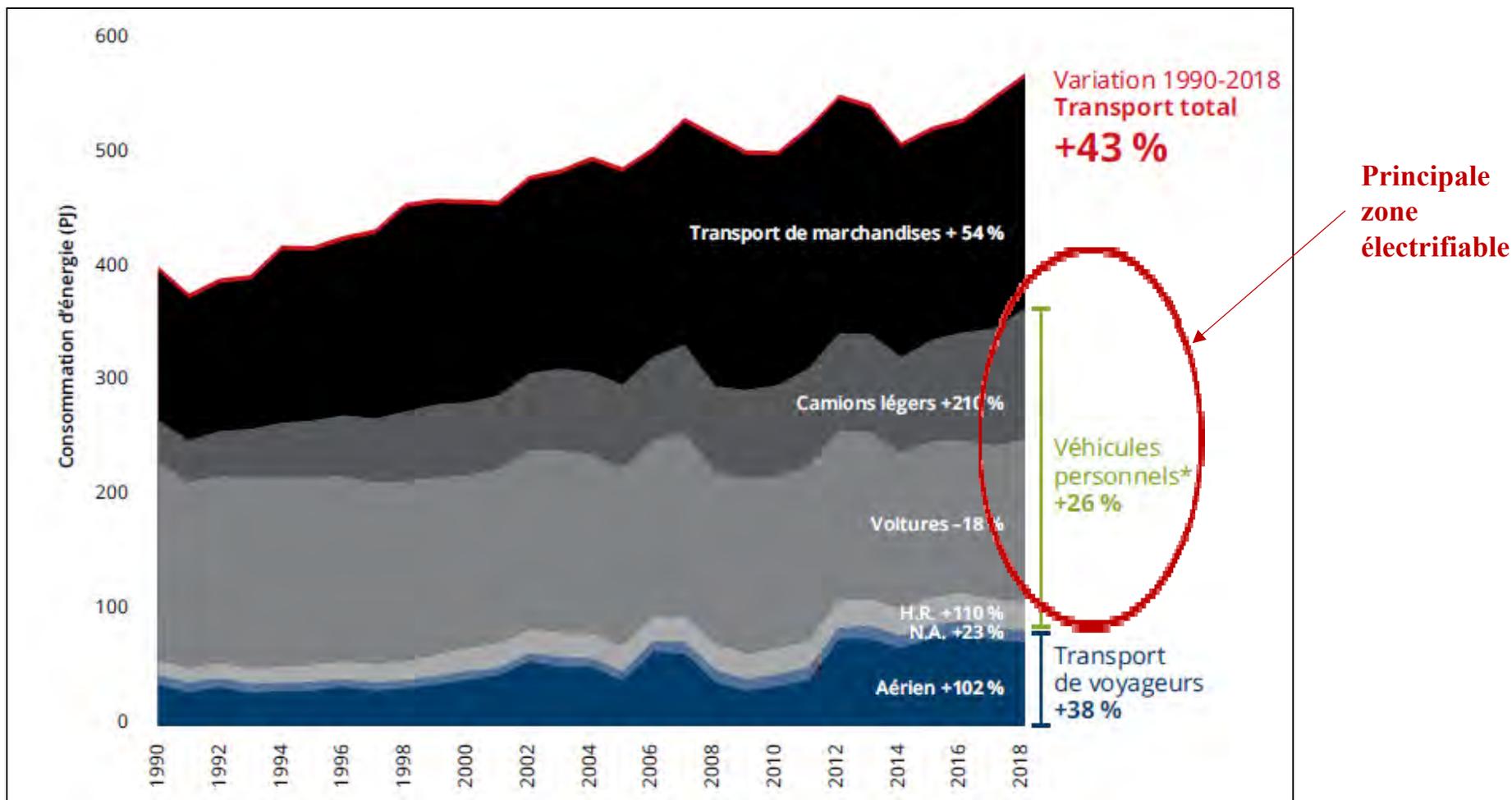
- 1990 : 86,7 MtCO<sub>2</sub> eq.
- 2019 : 83,7 Mt CO<sub>2</sub> eq.

Baisse de : 3,5 %

Baisse dans les secteurs :  
Industrie & Bâtiment

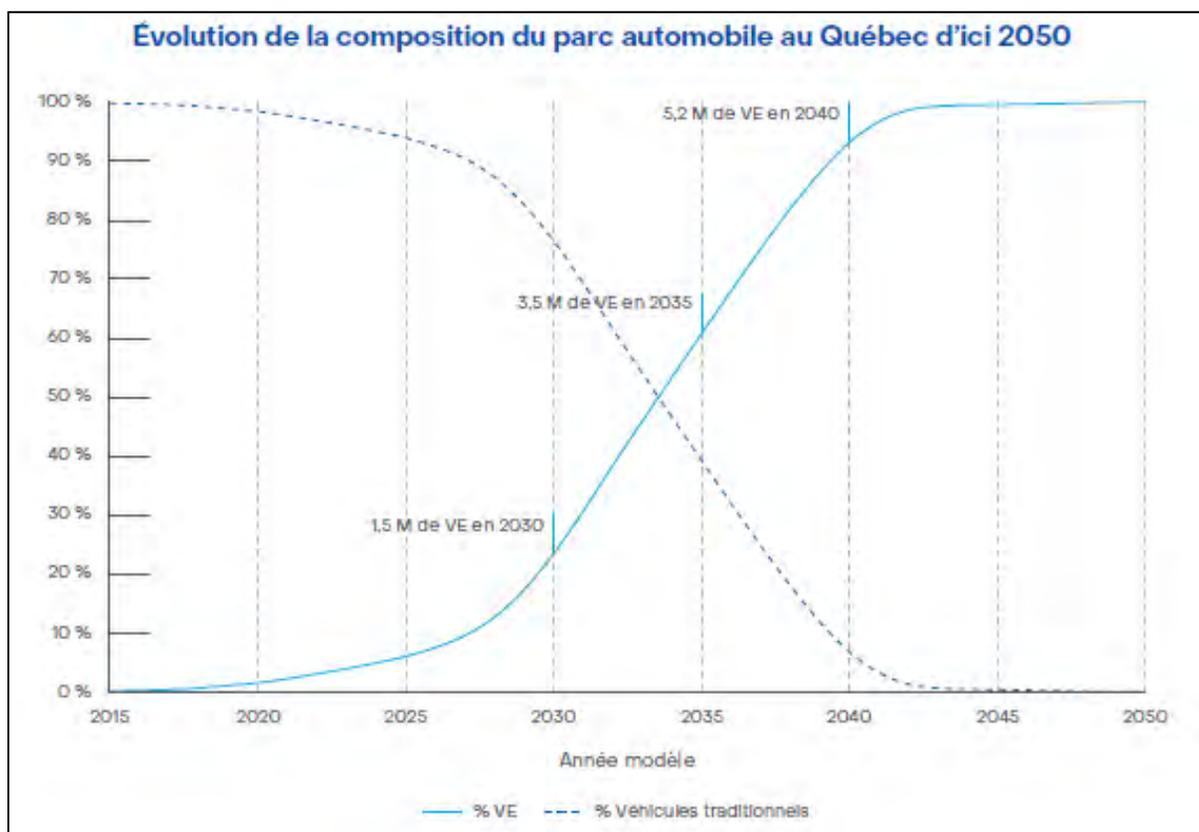
Hausse importante en :  
Transport

# CONSOMMATION D'ÉNERGIE AU QUÉBEC : TRANSPORT



# CONSOMMATION D'ÉNERGIE AU QUÉBEC : TRANSPORT

Transition de la voiture à essence à la voiture électrique :  
cible du gouvernement du Québec



Source : Ministère de l'Environnement  
et des changements climatiques

Document présenté à la COP26  
Émissions de GES par le transport :  
45% des émissions au Québec

Dont 80% de ce pourcentage par le  
transport routier

5,2 millions de véhicules  
électriques en 2050 au Québec,  
est-ce une cible raisonnable ?

# CONSOMMATION D'ÉNERGIE AU QUÉBEC : TRANSPORT

**Hypothèse :** Toutes les voitures individuelles sont électriques.

**Calculs :** Calculs préliminaires en utilisant les données de Ressources Naturelles Canada

- Consommation moyenne pour une voiture électrique : **21 kWh / 100 km (\*)**
- Distance moyenne parcourue par automobiliste au Québec : **15 000 km / année**
- Énergie consommée par les 5,2 millions de voitures électriques : **59 PJ / année**
- Rendement de conversion énergétique depuis la source jusqu'aux roues : **~ 60% (\*\*)**
- Énergie électrique à produire par Hydro-Québec pour le parc d'auto électrique :  
**98 PJ/année = 27,3 TWh**
- Pourcentage de la puissance électrique installée d'Hydro-Québec actuelle nécessaire pour satisfaire les besoins d'électrification complète du parc automobile : **environ 14 %**
- La recharge devrait se faire principalement dans les périodes hors pointe, autrement problème.

\* Valeur obtenue par une moyenne de véhicules électriques au Canada en prenant en compte les variations de rendement selon le régime moteur et le poids moyen des nouveaux modèles.

\*\* Ce rendement prend en compte les pertes d'énergie dans le transport haute tension, dans le transport basse tension, dans la conversion AC à DC, dans la transformation de l'énergie électrique en chimique des batteries, ainsi que le besoin de chauffage de l'habitacle en hiver.

# CONSOMMATION D'ÉNERGIE AU QUÉBEC : INDUSTRIE

## Données :

- Pourcentage des émissions de GES en 2018 (2<sup>e</sup> secteur émetteur) : 31 %
  - 52,6 % provenant des procédés industriels
  - 46,8 % provenant de l'usage de combustibles fossiles à des fins énergétiques
- Gains d'efficacité en passant de combustibles fossiles à l'électricité : de 30% à 45 %
- Énergie totale utilisée par l'industrie en 2018, excluant l'agriculture : 622 PJ = 175,8 TWh
- Énergie provenant de la combustion en industrie :
  - Pétrole : 9%
  - Gaz naturel : 24%
  - Biocombustibles : 14%
  - Charbon : 2%
  - LNG : 0,4%

On ne prend pas en compte les biocombustibles
- Pourcentage de l'énergie utilisée en industrie provenant de combustibles fossiles = 35,4%
  - Énergie fournie par les combustibles fossiles : 62,2 TWh

# CONSOMMATION D'ÉNERGIE AU QUÉBEC : INDUSTRIE

## Hypothèse :

- Environ 65 % de l'énergie de source fossile utilisée en industrie peut être électrifiée.
- La majorité des équipements de chauffage utilisant des combustibles fossiles ont des rendements énergétiques variant entre 60% et 95% ; tout dépend de la capacité de récupération de la chaleur.
- En contexte industriel une valeur raisonnable de rendement est : 70%
- Les équipements de chauffage électrique ont des rendements entre 90% et 100% selon les pertes de chaleur.

## Calculs :

- Énergie fournie par les combustibles fossiles : 62,2 TWh
- Pour 65% des usages électrifiables :  $62,2 * 0,65 = 40,45 \text{ TWh}$   
Le reste devrait utiliser une autre source d'énergie, type biocombustibles ou hydrogène
- Le calcul ne prend pas en compte les gains d'efficacités en passant à l'électricité. Trop de variables sont en jeu selon les secteurs d'activités.
- Pourcentage de l'électricité vendue par Hydro-Québec en 2020 et qui serait utilisé par le secteur industriel s'il est électrifié à son maximum :  $40,45 / 202,7 = 20 \%$

# CONSOMMATION D'ÉNERGIE AU QUÉBEC : BÂTIMENT

## Données :

### Émissions de GES

10,3 % ..... des émissions totales du Québec en 2017 proviennent de ce secteur (3e émetteur)

59,5 % ..... provenant des secteurs commercial et institutionnel

Combustibles fossiles sont la principale source d'énergie

40,5 % ..... provenant du secteur résidentiel

Plus de 80 % des ménages se chauffaient à l'électricité

-52,9 % ..... de diminution dans le secteur résidentiel entre 1990 et 2017

Abandon du mazout pour l'électricité

+13,9 % ..... d'augmentation dans le secteur commercial institutionnel

Augmentation marquée des superficies et de la consommation de gaz naturel

Énergie consommée par le bâtiment : 31% de 1881 PJ = 583 PJ = 162 TWh

Résidentiel : 18 % --- Commercial & Institutionnel : 14 %

Énergie du gaz naturel : Résidentiel 27,09 PJ -- Commercial 81,64 PJ -- Total = 108,73 PJ

Énergie du mazout : Résidentiel 16,93 PJ -- Commercial 39,5 PJ -- Total = 56,43 PJ

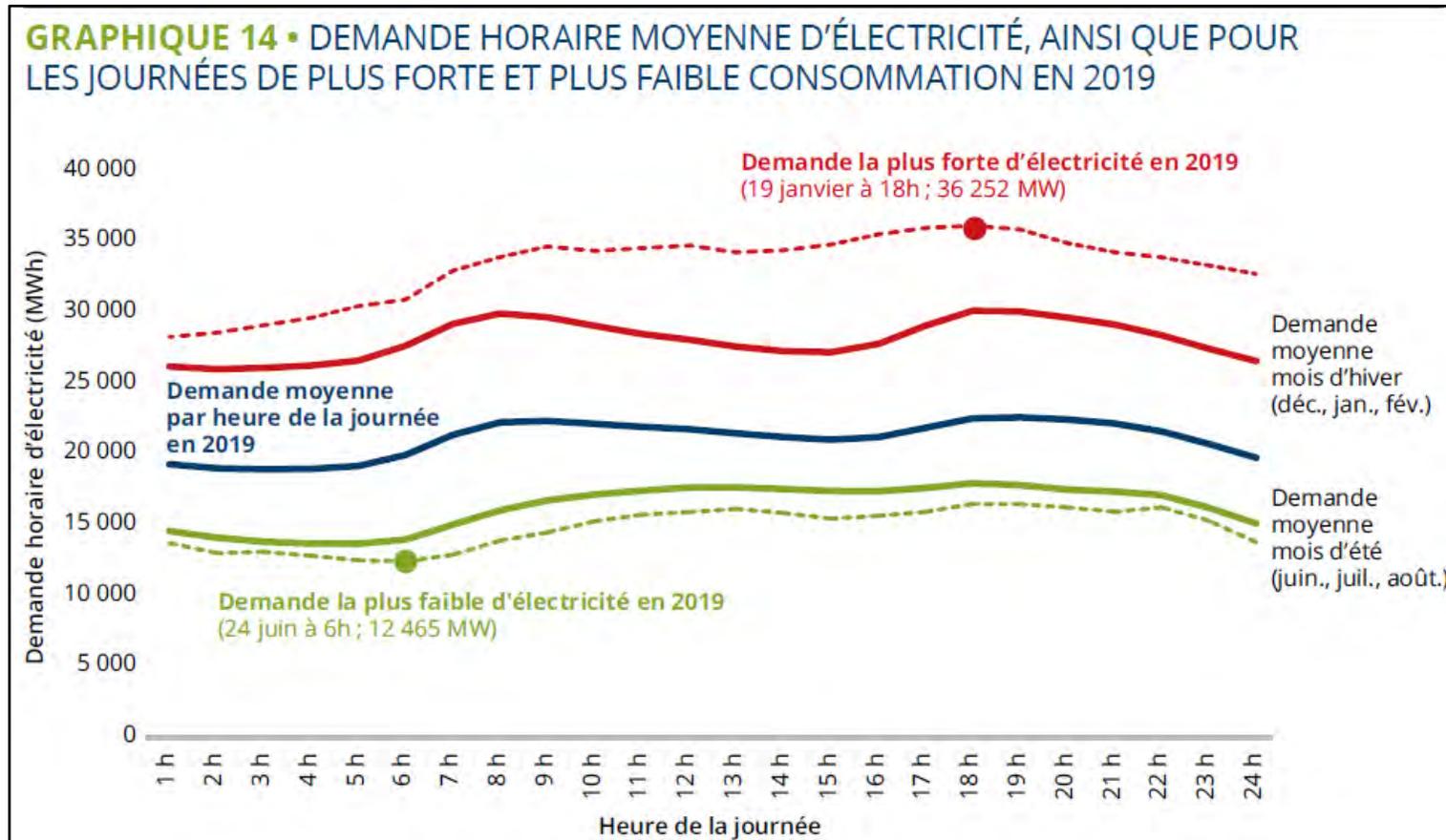
Énergie totale fournie par les combustibles fossiles = 165,16 PJ

## Hypothèse :

- Toute l'énergie des combustibles fossiles peut être convertie à l'électricité
- Gain d'efficacité en passant à l'électricité : ~20%
- Énergie électrique à fournir en remplacement : **132 PJ = 36,7 TWh**

Source (1)

# POTENTIEL D'ÉLECTRIFICATION AU QUÉBEC



Grande différence dans la demande électrique horaire en été et en hiver.

- En **été** en moyenne : environ la moitié de la capacité de production d'Hydro-Québec
- En **hiver** en moyenne : près de la capacité maximale de production, peu de marge de manœuvre par rapport à la demande en pointe
- L'électrification de nouveaux secteurs doit passer par la baisse de demande dans les secteurs traditionnels.

# PROBLÉMATIQUE DE L'HYDROGÈNE

## **Filière à développer pour :**

- Stockage d'énergie pour courte et moyenne période de temps  
Pour rencontrer les pointes de la demande en hiver
- Décarboner les industries qui peuvent l'être
- Décarboner une partie du transport lourd : camions, trains, bateaux  
Soit par l'hydrogène gazeux : piles à combustible ou combustion directe  
Soit par la transformation en ammoniac liquide

## **Filière à éviter :**

- Ajouter au gaz naturel, ce qui fait en sorte de continuer à alimenter les conduites en gaz de fracturation. Énergir a l'intention d'aller dans cette voie.
- Injecter du H<sub>2</sub> dans le GN implique qu'il sera utilisé comme combustible, donc il y aura des pertes supplémentaires entre 5% (dans les meilleurs cas) jusqu'à 20% (standard) lors de la combustion.
- Cet ajout crée un risque supplémentaire pour les utilisateurs, principalement au niveau résidentiel, en plus d'imposer des modifications importantes des équipements pour assurer un niveau minimal de sécurité.
- Vendre de l'hydrogène à l'extérieur c'est vendre de l'électricité à perte.

## **Conclusion :**

Utiliser de l'hydroélectricité pour produire du H<sub>2</sub> qui sera utilisé comme ajout au GN, ce qui implique des pertes énergétiques importantes au niveau de l'électrolyse, puis au niveau de la combustion, est une absurdité.

# PROBLÉMATIQUE DE L'HYDROGÈNE DANS GN

**Autres conséquences : Fuites possibles à tous les niveaux du réseau**

Caractéristiques du H<sub>2</sub> :

- Vitesse de flamme laminaire aux conditions stœchiométriques  
Hydrogène : environ 300 cm/s  
Méthane : environ 35 cm/s
- Énergie requise pour l'enflammer 10 fois plus faible que pour le méthane
- Plage d'inflammabilité : (en proportions volumiques)  
Méthane : entre 5 % et 15 %  
Hydrogène : entre 5 % et 75 %



Risques pour les utilisateurs résidentiels :

- Problèmes de sécurité en cas de fuite ou arrêt de flamme pilote et de réallumage pour les appareils domestiques.
- Aucun appareil domestique n'est fait pour être alimenté par un mélange contenant de l'hydrogène, modifications importantes à faire.

Risques pour les utilisateurs industriels :

- Changements importants dans la forme et la dynamique des flammes ainsi que sur le transfert de chaleur entre la flamme et la charge à chauffer.

# PROBLÉMATIQUE DE L'HYDROGÈNE DANS GN

## Calculs pour déterminer l'impact d'ajouter 10% de H<sub>2</sub> dans le gaz naturel :

- Débit annuel de GN distribué au Québec par Énergie et Gazifère en 2020 :  
Débit énergétique = 360 PJoules/an =  $360 * 10^{15}$  Joules/an  
Débit volumétrique =  $9,3 * 10^9$  m<sup>3</sup>/an (à TPN)
- Pouvoir Calorifique Supérieur base volumique du GN : PCS = 37,89 MJ/m<sup>3</sup>  
Pouvoir Calorifique Supérieur base massique du H<sub>2</sub> : PCS = 141,86 MJ/kg
- Énergie du GN correspondant à 10% du débit annuel :  $3,52 * 10^{16}$  GJ
- La puissance spécifique réelle pour électrolyse de l'eau en considérant 25% de pertes est de : 44,667 kWh/kg de H<sub>2</sub> produit = 160 800 kJ/kg H<sub>2</sub>
- Débit massique de H<sub>2</sub> correspondant à 10% du GN base énergétique :  $2,48 * 10^8$  kg/an
- Énergie électrique pour produire le H<sub>2</sub> par électrolyse : **11,1 TWh/an**
- Pourcentage de l'énergie produite par Hydro-Québec nécessaire à produire le H<sub>2</sub> par électrolyse : 5,5 %
- Tarif électricité : Industriel Tarif L = 0,033 \$/kWh --- Domestique Tarif D = 0,07 \$/kWh
- Perte de vente pour Hydro-Québec entre tarif D et tarif L :  $4,11 * 10^8$  \$/an
- Émissions de CO<sub>2</sub> évités :  $1,71 * 10^6$  tonnes CO<sub>2</sub>/an
- Rapport entre pertes de revenus pour Hydro-Québec Vs Émissions de CO<sub>2</sub> évités :  
240 \$ la tonne de CO<sub>2</sub> évitée

# PROBLÉMATIQUE DES BIOCARBURANTS

## **Biocarburants : provenance**

Biomasse agricole primaire - Biomasse agricole résiduelle  
Déchets municipaux - Résidus forestiers

## **Contraintes :**

- La biomasse forestière prend beaucoup de temps à pousser au Québec et n'est pas un puits de carbone pouvant se renouveler rapidement.
- Dans l'avenir l'étalement urbain et les changements climatiques (sécheresses ou inondations) peuvent avoir des impacts importants sur la production agricole.
- Favoriser la production de biocarburants de source agricole, c'est diminuer la production alimentaire pour les humains.

## **Volonté du gouvernement du Québec :**

- Le projet de règlement publié par le gouvernement le 12 mai 2021 impose une augmentation de la proportion de bioéthanol dans l'essence à 10% en 2023, pour atteindre 15% en 2030.
- Du côté du biodiesel, la proportion actuelle est de 0,2% et doit passer à 3% en 2023 et à 10% en 2030.

# PROBLÉMATIQUE DES BIOCARBURANTS (suite)

## Capacité de production de biocarburants au Québec :

- Au Québec, la zone agricole, au sens de la Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles, est d'une superficie de 6,3 millions d'hectares (M ha), ce qui représente près de 4 % du territoire québécois.
- Les terres fertiles ne représentent qu'environ 1% du territoire.

## Production éthanol de 1<sup>e</sup> génération : maïs-grain (au Québec)

- La consommation d'essence au Québec en 2019 a été de 9103 millions de litres (Mlitres)
- Production de tout l'éthanol au Québec pour atteindre 15% du mélange en 2030 :  
1365 Mlitres / an -----> en supposant la consommation constante
- Cette production nécessitera 455 000 hectares de terres cultivées, donc 7,2 % des terres cultivées du Québec. Soit la totalité des terres actuellement consacrées au maïs pour les usages humain et animal. Faut-il alimenter les humains ou les véhicules ?
- Important : la molécule d'éthanol contient un atome d'oxygène, ce qui fait que sur une base massique son pouvoir calorifique inférieur (PCI) est de 26 980 kJ/kg, tandis que celui de l'essence est d'environ 42700 kJ/kg, soit une baisse de 37% du PCI de l'éthanol par rapport à l'essence. Par conséquent, pour faire une distance de 100 km il faut plus de carburant contenant de l'éthanol que si on utilisait une essence sans éthanol. Au total il n'y a pas ou peu de réduction de GES émis.
- Ce qui est important, ce n'est pas la production de CO<sub>2</sub> par litre, mais la production de CO<sub>2</sub> par kilomètre parcouru.

# PROBLÉMATIQUE D'ÉNERGIR (Gaz Métro) DANS LE FUTUR

## Données concernant Énergir :

- Énergie vendue au Québec en 2019 : 360 PJ = 100 TWh
- Proportion de l'énergie consommée au Québec : 15%
- Revenus d'Énergir en 2019 pour vente de gaz naturel : 1 562 M\$

## Vouloir tout électrifier menace la survie d'Énergir !

- Énergir déploie beaucoup d'énergie pour justifier son existence à long terme.
- Utilisation du gaz naturel dans de nombreuses nouvelles occasions.
- Agrandissement de son réseau de distribution.
- Ajouter du GNR (gaz manufacturé) dans le gaz naturel.
- Ajout de l'hydrogène dans le gaz naturel, hydrogène provenant du GNR ou d'Hydro-Québec (électrolyse).
- Implantation de la biénergie :
  - Électricité en conditions normales
  - Gaz naturel durant les pointes hivernales

**Note** : si le GN est moins cher au GJ, les consommateurs vont utiliser le GN tout l'hiver, donc produire plus de GES et retarder l'électrification.

 La biénergie est un piège servant à assurer la survie d'Énergir, mais est nuisible pour la planète

# COMPARISON DES DIFFÉRENTES FILIÈRES D'ÉNERGIE

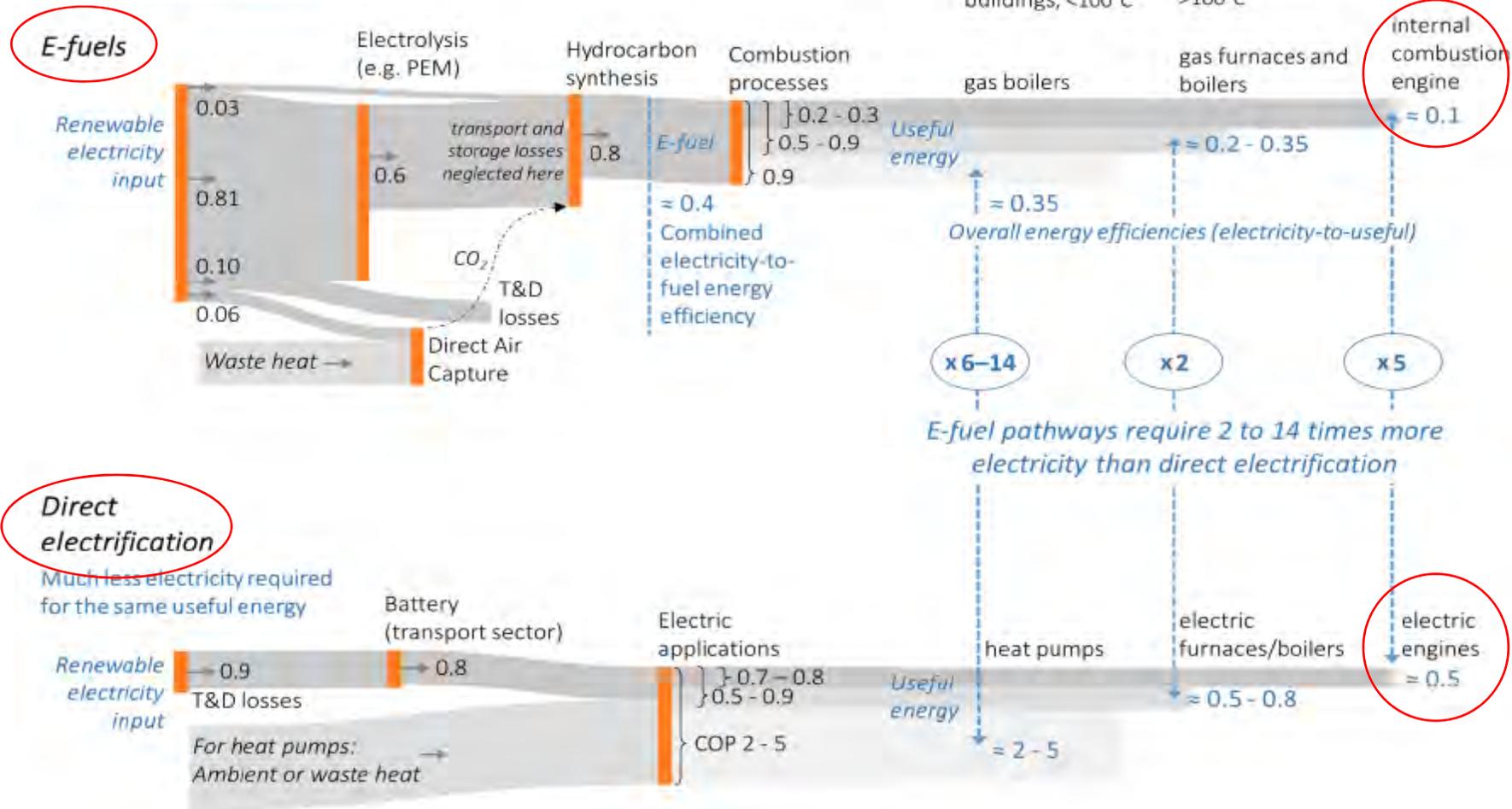
## Production de H<sub>2</sub> pour transport automobile : Production de e-fuel

### Electricity-to-useful energy efficiencies

Black: individual efficiencies  
Blue: combined efficiencies

for different energy services and sectors

Low-temperature heat in industry and buildings, <100°C    High-temperature heat in industry, >100°C    Light-duty vehicles



Source : [https://www.researchgate.net/publication/351376346\\_Potential\\_and\\_risks\\_of\\_hydrogen-based\\_e-fuels\\_in\\_climate\\_change\\_mitigation](https://www.researchgate.net/publication/351376346_Potential_and_risks_of_hydrogen-based_e-fuels_in_climate_change_mitigation)

# SOURCES D'INFORMATIONS

## Liste des sources :

- 1) [https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2021/01/EEQ2021\\_web.pdf](https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2021/01/EEQ2021_web.pdf)
- 2) <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-economie-verte-2030.pdf?1605540555>
- 3) <https://www.connaissancedesenergies.org/quels-sont-les-pays-consommant-le-plus-denergie-par-habitant-211005>
- 4) <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/rerelations-internationales/publications-adm/autres-publications/Brochure-COP26-Octobre-2021-FR-MRIF.pdf?1635519055>
- 5) <https://www.hydroquebec.com/data/documents-donnees/pdf/rapport-annuel-2020-hydro-quebec.pdf>
- 6) [https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2020/01/Rapport-d%C3%A9tude\\_2020-1\\_PARADIS-MICHAUD.pdf](https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2020/01/Rapport-d%C3%A9tude_2020-1_PARADIS-MICHAUD.pdf)
- 7) <https://www.rncan.gc.ca/sites/nrcan/files/oeo/pdf/transports/outils/consommation-carburant/Guide%20de%20consommation%20de%20carburant%202021.pdf#page=43>
- 8) <https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie1.pdf>

## SOURCES D'INFORMATIONS (suite)

### Liste des sources (suite) :

9) <https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/bulletins/valeur-terres-agricoles-2013.pdf>

10)

<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tb11/fr/tv.action?pid=2310006601&pickMembers%5B0%5D=1.6&cubeTimeFrame.startYear=2015&cubeTimeFrame.endYear=2019&referencePeriods=20150101%2C20190101>

11)

<https://www.energir.com/~media/Files/Corporatif/Politiques%20et%20directives/Energir%20-%20Notice%20annuelle%20fr.pdf?la=fr>

12) <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

13) <https://www.dunsky.com/fr/trajectoires-de-reduction-demissions-de-ges-du-quebec-horizons-2030-et-2050-mise-a-jour-2021/>

14) <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>

## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

- Les progrès en matière d'adaptation sont répartis de manière inégale et des écarts importants d'adaptation ont été observés.
- De nombreuses initiatives donnent la priorité à la réduction des risques climatiques immédiats et à court terme, ce qui réduit les possibilités d'adaptation transformationnelle.
- La plupart des adaptations observées sont fragmentées, à petite échelle, progressives, spécifiques à un secteur, conçues pour répondre aux impacts actuels ou aux risques à court terme, et axées davantage sur la planification que sur la mise en œuvre.
- Des progrès dans la planification et la mise en œuvre de l'adaptation ont été observés dans tous les secteurs et toutes les régions, générant de multiples avantages.
- L'adaptation peut générer des avantages tels que l'amélioration de la productivité agricole, l'innovation, la santé et le bien-être, la sécurité alimentaire, les moyens de subsistance et la conservation de la biodiversité, ainsi que la réduction des risques et des dommages.
- Malgré les progrès accomplis, il existe des écarts entre les niveaux actuels d'adaptation et les niveaux nécessaires pour faire face aux impacts et réduire les risques climatiques.

## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

- L'efficacité de l'adaptation pour réduire les risques climatiques est documentée pour des contextes, secteurs et régions spécifiques et diminuera avec l'augmentation du réchauffement.
- L'adaptation aux risques et impacts liés à l'eau représente la majorité de toutes les adaptations documentées.
- Pour les inondations terrestres, la combinaison de mesures non structurelles, comme les systèmes d'alerte précoce, et de mesures structurelles, comme les digues, a permis de réduire les pertes de vies humaines.
- La gestion de l'eau à la ferme, le stockage de l'eau, la conservation de l'humidité du sol et l'irrigation font partie des mesures d'adaptation les plus courantes
- gérée de manière appropriée pour éviter les effets négatifs potentiels, qui peuvent inclure un épuisement accéléré des eaux souterraines et d'autres sources d'eau et une salinisation accrue des sols.
- De plus en plus d'humains vivent en zones urbaines, il faut aménager ces zones pour rendre viable ces espaces.

## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

- L'écrasante majorité du financement mondial du climat a été consacrée à l'atténuation, tandis qu'une faible proportion a été consacrée à l'adaptation.
- Il existe de plus en plus de preuves de maladaptation dans de nombreux secteurs et régions. Les réponses mal adaptées au changement climatique peuvent créer des verrouillages de la vulnérabilité, de l'exposition et des risques qu'il est difficile et coûteux de modifier et qui exacerbent les inégalités existantes.
- Exemples de maladaptation : mur de béton et minéralisation des sols et bords de mer, fleuves, lacs.
- La fenêtre d'opportunité pour permettre un développement résilient au climat se rétrécit rapidement.
- La gouvernance inclusive contribue à des résultats d'adaptation plus efficaces et durables et permet un développement résilient au climat, en diminuant les solutions erronées.
- Environ 11 % de la population mondiale - 896 millions de personnes - vivaient dans la zone côtière de faible élévation en 2020, chiffre qui pourrait dépasser le milliard de personnes d'ici à 2050

## CONCLUSIONS DU 6<sup>e</sup> RAPPORT DU GIEC

- Les preuves scientifiques cumulées sont sans équivoque : Le changement climatique est une menace pour le bien-être humain et la santé planétaire.
- Tout retard supplémentaire dans l'action mondiale concertée et anticipée sur l'adaptation et l'atténuation manquera une brève occasion, qui se referme rapidement, de garantir un avenir vivable et durable pour tous.