

# Température Terrestre

## Rapport Final

**Projet :** Température Terrestre

**Cursus :** Data Analyst — Bootcamp Mars 2025

**Auteur :** Nicolas Quéquet

**Groupe :** Arthur Roger, Solen Billot, Yann Dumeur, Nicolas Quequet

**Niveau de difficulté :** 06/10

### **Objectif du projet :**

Constatier le réchauffement et le dérèglement climatique global à l'échelle de la planète sur les derniers siècles et dernières décennies.

- Analyse au niveau mondial
- Analyse par zone géographique
- Comparaison avec des phases d'évolution de température antérieure à notre époque

### **Données utilisées :**

NASA GISTEMP — <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

OWID Energy — <https://github.com/owid/energy-data>

OWID CO<sub>2</sub> — <https://github.com/owid/co2-data>

### **Dossier partagé du groupe (Google Drive) :**

[https://drive.google.com/drive/folders/1wfae\\_AZAEwtWBaZWHDhvzw1XYdq\\_0D5EJ](https://drive.google.com/drive/folders/1wfae_AZAEwtWBaZWHDhvzw1XYdq_0D5EJ)

# Sommaire

<b>Sommaire.....</b>	<b>1</b>
<b>Contextualisation.....</b>	<b>2</b>
<b>Rapport d'exploration, de data visualisation et de pre-processing des données.....</b>	<b>4</b>
Compréhension du jeu de données.....	4
Nettoyage du jeu de données.....	13
Répartition des valeurs manquantes (NaN).....	13
Séparation des dataframe par country et iso_code.....	18
Nettoyage du jeu de données 'owid-co2-world'.....	19
Nettoyage du jeu de données 'owid-co2-continent'.....	23
Analyse et visualisation du jeu de données.....	25
A partir du dataset owid-co2-world.....	25
A partir du dataset owid-ghg-world.....	26
Conclusion de la première étape.....	34
<b>Rapport de visualisation avancée des données.....</b>	<b>35</b>
Préparation du Power BI.....	36
Import des données.....	36
Nettoyage dans Power Query.....	38
Modélisation et relations entre les tables.....	40
Création de Mesures.....	42
Exploration du rapport Power BI.....	43
Accueil et sommaire du rapport Power BI.....	43
Comment évoluent les émissions de Gaz à Effet de Serre, au regard de la population et du PIB, à l'échelle mondiale ?.....	44
Quelles sont les proportions des trois principaux gaz à effet de serre étudiés, et leurs effets sur la température mondiale ?.....	50
Quelles sont les répartitions des sources d'émissions de CO2 ?.....	56
Quel lien existe-t-il entre la consommation d'énergie et les émissions de CO2 ?.....	60
Quels continents produisent le plus de gaz à effet de serre ?.....	64
Comment évoluent les émissions de GES en fonction de la population pour chaque continent ?.....	71
Quelles sont les sources d'émissions de CO2 par continent ?.....	79
Quelles sont les contributions des continents au réchauffement climatique ?.....	80
A qui attribuer la responsabilité des émissions de CO2 ?.....	86
Conclusion de la deuxième étape.....	91
<b>Conclusion.....</b>	<b>92</b>
Difficultés rencontrées.....	92
Bilan de l'analyse.....	94
Pour aller plus loin.....	95
Qui aurait pu prédire...?.....	96
<b>Sources.....</b>	<b>98</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>101</b>

# Contextualisation

*“Notre maison brûle, et nous regardons ailleurs.”*

*Jacques Chirac, 2002*

Cette célèbre citation de Jacques Chirac faisant référence au réchauffement climatique, enjeu majeur de notre siècle, fut prononcée il y a plus de 20 ans, en 2002. Déjà à l'époque, la majorité des experts scientifiques interpellaient les politiciens sur le dérèglement climatique et l'urgence de mettre en place des solutions pour sauver l'environnement et la biodiversité, face au réchauffement climatique provoqué par les activités humaines.

*“The biggest threat is not global warming, where the ocean is going to rise one-eighth of an inch over the next 400 years. You'll have more oceanfront property, right?”*

*Donald Trump, 2024*

**Traduction française :**

*“La plus grande menace n'est pas le réchauffement climatique, où l'océan va monter d'un huitième de pouce au cours des 400 prochaines années. Vous aurez plus de propriétés en bord de mer, n'est-ce pas ?”*

Cette citation provient d'un message de Donald Trump, actuel président des Etats-Unis et donc l'un des hommes les plus puissants du monde, posté sur la plateforme X en 2024.

Plus de vingt années de recherches scientifiques à propos du dérèglement climatique séparent ces deux citations, toutes deux issues de chefs d'État. Si la première est alarmiste et prend le parti des experts scientifiques, la deuxième, pourtant, est ironique, proche du climato-scepticisme. Doit-on en déduire que le dérèglement climatique est de l'histoire ancienne, que tout s'est arrangé en vingt ans ? Pas vraiment, si l'on en croit la citation suivante.

*“Qui aurait pu prédire la vague d'inflation, ainsi déclenchée ? Ou la crise climatique aux effets spectaculaires encore cet été dans notre pays ?”*

*Emmanuel Macron, 2022*

Cette dernière citation fut prononcée par Emmanuel Macron, actuel président de la République française, lors de son allocution télévisée du 31 Décembre 2022. “Qui aurait pu prédire la crise climatique ?” est un questionnement qui peut surprendre, puisque dès la fin

du XXème siècle, des politiciens en étaient alertés, et que les experts travaillent sur ce sujet et en informent les politiciens depuis des décennies. Mais dans le cadre de notre projet, ce questionnement est intéressant : au regard des données passées, et des tendances, pouvons-nous faire une prédition large sur le futur proche ?

À l'heure où la désinformation est partout, il est de bon ton de tout remettre à plat, et de vérifier nous-mêmes les données. L'objectif de ce projet est donc de constater, par nous-mêmes, **l'évolution des températures et le dérèglement climatique** à l'échelle mondiale. Si nous n'allons pas avoir recours à l'intelligence artificielle pour faire de la prédition dans le cadre de ce projet (nous laissons cela à nos confrères Data Scientist), nous pourrons tout de même nous essayer à une prédition intuitive de l'avenir proche à partir des tendances observées.

Nous allons également étudier l'une de ses principales causes selon les experts : les **émissions de gaz à effet de serre**, et plus particulièrement celles d'origine anthropique, c'est-à-dire provoquées par les activités humaines. Ainsi, la vapeur d'eau, qui est l'un des principaux gaz à effet de serre, ne sera pas étudiée, car ses sources anthropiques sont négligeables.

**Ma contribution à ce travail** porte spécifiquement sur l'étude des émissions de gaz à effet de serre, en m'appuyant sur des données provenant de l'organisme Ou World in Data. L'objectif est de mettre en lumière les tendances globales et régionales en matière d'émissions, afin d'enrichir la compréhension des dynamiques climatiques actuelles, et d'établir un lien entre activités humaines et dérèglement climatique. Puisque cette étude ne représente qu'un quart du projet global portant sur le dérèglement climatique, je me suis fixé un périmètre : l'étude se fera sur deux échelles, l'échelle mondiale, et l'échelle continentale. Nous n'étudierons pas ici les émissions pays par pays. Cela serait tout-à-fait intéressant, mais pourrait faire l'objet d'une étude à elle-même, tant il y aurait des choses à dire.

Ce rapport final est constitué de **deux parties principales**, chacune ayant constitué un compte-rendu intermédiaire à chaque étape du projet.

La première partie sera consacrée au **rapport d'exploration, de data visualisation et de pre-processing des données**, où sera présenté le jeu de données sur lequel je me suis focalisé, ainsi que les différentes étapes de nettoyage qui ont été appliquées dessus, directement en Python. A la fin de cette première partie, vous trouverez une première analyse à l'échelle mondiale, sur les émissions de gaz à effet de serre et les changements de température qui y sont associés.

La deuxième partie sera consacrée au **rapport de visualisation avancée des données**. Ici, j'expliquerai mon travail sur Power BI. Dans un premier temps, nous verrons l'importation et le nettoyage des données dans Power BI. Puis nous expliquerons en détail chacune des slides du rapport Power BI, en y interprétant les résultats.

Enfin, nous apporterons une **conclusion** portée sur l'ensemble du projet.

# Rapport d'exploration, de data visualisation et de pre-processing des données

Pour cette première partie de projet, mon travail a été de me focaliser sur le jeu de données **owid-co2-data**. Il s'agit de données sur l'évolution des émissions de gaz à effet de serre à travers le temps. Ces données proviennent de l'organisation **Our World in Data**.

Ma mission était de comprendre, nettoyer et analyser le fichier intitulé `owid-co2-data.csv`, contenant de nombreuses informations sur les émissions de différents gaz à effet de serre.

## Compréhension du jeu de données

La première étape fut de comprendre ce jeu de données.

Il s'agit d'un fichier CSV contenant 50191 entrées et 79 colonnes.

Chaque entrée correspond à l'observation des différentes données pour une année et une zone spécifique.

Vous trouverez des informations sur les sources des données dans la partie Sources à la fin du rapport.

Dans la partie suivante, nous décrirons les colonnes du jeu de données. Certaines colonnes sont très similaires, elles suivent la même logique ; nous ne les détaillerons pas forcément toutes individuellement mais nous expliquerons les logiques identiques.

### Colonne 'country'

Il s'agit de la première colonne. C'est une colonne qui ne contient aucune valeur manquante, et qui est de type 'object' (chaîne de caractères).

Contrairement à ce que son nom indique, `country` n'est pas forcément un nom de pays. Il peut aussi s'agir d'une zone plus large.

Outre les noms de **pays**, parmi ces zones, nous pouvons également trouver :

- le **monde entier** : `World`
- des **continents** : Africa, Asia, Europe, North America, South America, Oceania
- les mêmes continents avec le suffixe (GCP) : cela signifie que l'on prend les données de l'organisation scientifique Global Carbon Project qui peuvent inclure des sources

de données différentes et des ajustements méthodologiques, par exemple en incluant des sources d'émissions supplémentaires.

- **des unions de plusieurs pays** : European Union (de différentes tailles selon l'époque, par exemple Europe des 27, Europe des 28), les pays de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) ou non-OCDE, afin de voir la différence des tendances entre les pays développés et pays émergents.
- Dans la même idée, des zones correspondant à des taux de développement ou de richesses des pays : 'High-income countries', 'Low-income countries'...
- **des sources particulières d'émissions** : International aviation / International shipping (transport maritime) / International transport (tout type de transport), ou encore Kuwaiti Oil Fires qui est un événement exceptionnel (incendies de puits de pétrole au Koweït) ayant eu un impact climatique significatif.

Vous trouverez en annexe les différentes valeurs qu'il peut y avoir dans cette colonne, il y a 255 valeurs distinctes.

L'une des difficultés sera de distinguer les zones que nous voulons réellement étudier.

Le 'country' correspondant au monde entier sera étudié en premier ; nous voulons avant tout étudier l'impact des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale sur le réchauffement climatique.

Si besoin, nous pourrons aller un peu plus dans le détail, en faisant une analyse par continents par exemple, ou par richesses de pays.

En revanche, pour les événements exceptionnels, il ne nous paraît pas pertinent de les étudier dans le cadre de ce projet. En effet, il ne faut pas oublier que le projet porte essentiellement sur l'étude des évolutions des températures et du dérèglement climatique, et non pas sur les émissions de gaz à effet de serre dans le détail. Les données sur les émissions de gaz nous serviront à expliquer l'un des facteurs du dérèglement, mais il ne sera pas nécessaire d'aller à ce point dans le détail.

### Colonne 'year'

Cette colonne correspond à l'année de l'observation. Elle est de type 'int64' et ne possède aucune valeur manquante.

Elle s'étend sur une large période allant de **1750 à 2023**.

Compte tenu de l'étendue de la période observée, nous manquons de données pour un grand nombre de colonnes sur une large période.

Par exemple, nous verrons plus loin que certaines colonnes n'ont des données qu'à partir de 1850, d'autres à partir de 1965.

### Colonne 'iso\_code'

Il s'agit du code iso 3166-1 d'un pays, composé de 3 lettres. Cette colonne est de type 'object' et possède 15,8% de valeurs manquantes.

Cela est logique par rapport au fait que la colonne ‘country’ ne contient pas que des noms de pays. En effet, la colonne ‘ico\_code’ n’est remplie que lorsque ‘country’ correspond véritablement à un pays, puisqu’elle sert à identifier le pays. Ainsi, il nous sera facile d’identifier et de séparer les lignes pour lesquelles le ‘country’ n’est pas un pays : ces lignes auront un iso\_code manquant (valeur ‘nan’).

**A partir de maintenant, toutes les colonnes qui suivront seront de type ‘float64’ et contiendront des valeurs manquantes (NaN).**

### Colonne ‘population’

Il s’agit du **nombre d’habitants** pour la zone observée, à la date correspondante. Il peut paraître surprenant au premier abord que cette colonne soit de type float64. En effet, il s’agit d’un nombre d’habitants ; nous ne pouvons pas compter une partie décimale d’un habitant (il ne peut pas y avoir 0.3 habitant, ce serait très étrange). Cela s’explique par le fait que cette colonne contient des NaN, et que NaN est de type float.

Nous expliquerons le traitement des NaN plus tard dans le rapport ; nous convertirons la colonne ‘population’ en ‘int’ après avoir remplacé les NaN. Cela a peu d’importance puisque dans tous les cas, la colonne reste numérique, mais c’est surtout pour une question de logique.

Pour le country ‘world’, nous n’avons des données que tous les 10 ans entre 1750 et 1950. Pour d’autres valeurs de country comme les continents, nous avons des données tous les 10 ans jusqu’en 1800.

### Colonne ‘gdp’

Il s’agit du **Produit Intérieur Brut (PIB)** basé sur la valeur de 2011 du dollar international.

### Colonnes liées aux valeurs absolues des émissions de co2

Nous allons ici décrire un ensemble de colonnes suivant la même logique.

Il s’agit de la **quantité annuelle d’émissions de CO2** selon certains critères, exprimée en million de tonnes. Voici les colonnes concernées :

**co2** : émission totale de CO2, excluant les émissions causées par les activités humaines liées à l’utilisation des terres (land-use change). Nous pouvons établir la relation mathématique suivante, basée sur les colonnes décrites ci-dessous :

$$co2 = cement\_co2 + coal\_co2 + flaring\_co2 + gas\_co2 + oil\_co2 + other\_industry\_co2$$

**land\_use\_change\_co2** : émissions causées par l’utilisation des terres (changement d’affectation des terres, UTCATF en français et LUC en anglais). Les modifications de terres

liées aux activités humaines sont par exemple causées par : l'agriculture, la déforestation, la reforestation. Cela peut être négatif si, par exemple, grâce à la reforestation, la zone a absorbé plus de CO2 qu'elle n'en a émis.

**co2\_including\_luc** : émission totale de CO2 incluant les émissions causées par les activités humaines liées au changement d'affectation des terres. Concrètement, cette colonne peut être calculée comme suit :  $co2\_including\_luc = co2 + land\_use\_change\_co2$

**cement\_co2** : émission de CO2 liée à la fabrication du ciment.

**coal\_co2** : émission de CO2 causé par l'exploitation du charbon.

**flaring\_co2** : émission de CO2 causée par le torchage de gaz naturel. Il s'agit de la combustion volontaire de gaz qu'une société ne veut pas stocker ni transporter (pour des réductions de coût), ce qui crée un gaspillage de gaz et émet du CO2. Cela arrive fréquemment avec le gaz naturel qui s'échappe lors de l'extraction du pétrole par exemple.

**gas\_co2** : émission de CO2 causée par la combustion de gaz naturel (pour la production d'électricité, l'industrie, le chauffage domestique, certains transports).

**oil\_co2** : émission de CO2 causée par l'exploitation du pétrole.

**other\_industry\_co2** : émission de CO2 causée par les autres industries non mentionnées dans les autres colonnes. Elle inclut la métallurgie, la chimie, le verre, le textile et d'autres secteurs industriels.

**consumption\_co2** : émission de CO2 relative à la consommation de la zone étudiée. Contrairement aux émissions de production, qui comptabilisent ce qu'un pays émet en produisant de l'énergie et des biens, **consumption\_co2** attribue les émissions aux consommateurs finaux. Par exemple, un pays A produit (et émet du CO2 en produisant) un produit qui sera exporté et consommé dans un pays B ; les émissions de production sont réattribuées au pays consommateur. Nous n'avons des valeurs que de 1990 à 2014 pour cette colonne.

**trade\_co2** : émission de co2 relative aux échanges internationaux (import export). Comme vu précédemment, un pays peut être consommateur de nombreux produits provenant d'un autre pays qui a émis du co2 en le produisant. **trade\_co2** est la différence entre **consumption\_co2** (la quantité de CO2 émise par la consommation du pays) et **co2** (la quantité de co2 produite par le pays).

Une valeur positive signifie que le pays consomme davantage de produits générant des émissions de co2 venant d'autres pays, qu'il n'en produit lui-même. Une valeur négative signifie que le pays consomme moins de produits générant des émissions de co2, que ce qu'il produit lui-même.

On peut établir la relation suivante :

$$trade\_co2 = consumption\_co2 - co2$$

Nous n'avons des valeurs que de 1990 à 2014 pour cette colonne.

Colonnes liées aux valeurs absolues des émissions d'autres gaz à effet de serre

**methane** : émission de méthane (CH<sub>4</sub>), incluant celles issues de l'utilisation des terres, exprimée en million de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> sur une période de 100 années. On considère que sur une période de 100 ans, une tonne de méthane correspond à entre 27 et 30 tonnes de CO<sub>2</sub>, selon le rapport AR6 du GIEC.

**nitrous\_oxide** : émission de protoxyde d'azote (oxyde nitreux, N<sub>2</sub>O), incluant les émissions issues de l'utilisation des terres, exprimée en million de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> sur une période de 100 années. Sur 100 ans, on estime qu'une tonne de protoxyde d'azote équivaut environ à 265 tonnes de CO<sub>2</sub>, concernant l'impact sur le réchauffement climatique.

**total\_ghg** : émission totale de gaz à effet de serre incluant celles issues des utilisations de terres, ce qui inclut le CO<sub>2</sub>, le méthane, le protoxyde d'azote, et d'autres gaz non détaillés dans le jeu de données. Exprimée en million de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> sur 100 ans.

**total\_ghg\_excluding\_lucf** : même chose que total\_ghg mais en excluant cette fois les émissions issues des modifications de terres liées aux activités humaines.

## Émissions des gaz par habitants

Les colonnes suivantes suivent la même logique de calcul : elles se basent sur une colonne correspondant à une émission de gaz, divisée par la colonne 'population'. Ainsi, il s'agit de la quantité d'émissions de gaz par habitant pour la zone observée, mesurée cette fois en tonnes par habitant.

Voici ci-dessous les colonnes concernées, leur nom étant pour la plupart clair, nous ne détaillerons que la première ou celles dont le nom est moins clair.

**co2\_per\_capita** : quantité totale de co2, excluant les modifications de terres (land-use change), par habitant, exprimée en tonnes par habitant. Correspond à la formule :  
$$co2\_per\_capita = co2 / population * 1\ 000\ 000$$

**cement\_co2\_per\_capita**  
**co2\_including\_luc\_per\_capita**  
**coal\_co2\_per\_capita**  
**consumption\_co2\_per\_capita**  
**flaring\_co2\_per\_capita**  
**gas\_co2\_per\_capita**  
**ghg\_per\_capita** =  $total\_ghg / population * 1\ 000\ 000$   
**ghg\_excluding\_lucf\_per\_capita** =  $total\_ghg\_excluding\_lucf / population * 1\ 000\ 000$   
**land\_use\_change\_co2\_per\_capita**

**methane\_per\_capita**  
**nitrous\_oxide\_per\_capita**  
**oil\_co2\_per\_capita**  
**other\_co2\_per\_capita** =  $other\_industry\_co2 / population * 1\ 000\ 000$

## Émissions des gaz par PIB

Ces colonnes suivent le même principe que les colonnes ayant le suffixe “per\_capita”, sauf que cette fois, c'est par PIB (gdp).

Ces colonnes sont exprimées en kilogrammes par dollar du PIB (basée sur la valeur dollar international 2011).

Elles sont calculées comme suit :

**co2\_per\_gdp** =  $co2 / gdp * 1\ 000\ 000\ 000$   
**co2\_including\_luc\_per\_gdp** =  $co2\_including\_luc / gdp * 1\ 000\ 000\ 000$   
**consumption\_co2\_per\_gdp** =  $consumption\_co2 / gdp * 1\ 000\ 000\ 000$

## Croissance des émissions de CO2

Concernant les colonnes ‘co2’ et ‘co2\_including\_luc’, nous avons deux autres colonnes qui y sont liées et qui montrent la croissance des émissions.

**co2\_growth\_abs** : croissance absolue des émissions de co2 par rapport à l'année précédente, en million de tonnes. Cela correspond à la différence entre les émissions de cette année et celles de l'année précédente, pour le même ‘country’. Cela se traduit mathématiquement par la formule :

$$co2\_growth\_abs(n) = co2(n) - co2(n-1)$$

où n signifie l'année de l'observation, et n-1 l'année précédente.

**co2\_growth\_prct** : croissance en pourcentage par rapport à l'année précédente.

Cela se traduit mathématiquement par la formule :

$$co2\_growth\_prct(n) = (co2(n) - co2(n-1)) / co2(n-1) * 100$$

Nous retrouvons exactement la même logique avec la colonne co2\_including\_luc pour les colonnes suivantes :

**co2\_including\_luc\_growth\_abs**  
**co2\_including\_luc\_growth\_prct**

## Colonnes d'émissions cumulées

Les colonnes suivantes calculent le cumul des émissions de co2 pour chacune des colonnes d'émission correspondantes. Nous mettrons la formule mathématique pour la première colonne uniquement, la logique est la même pour toutes les autres. Ces colonnes s'expriment en million de tonnes.

**cumulative\_co2** : calculé par la formule suivante :

$$\text{cumulative\_co2}(n) = \text{cumulative\_co2}(n-1) + \text{co2}(n)$$

où n est l'année de l'observation, et n-1 l'année précédente.

La même logique s'applique pour les colonnes ci-dessous :

**cumulative\_cement\_co2**  
**cumulative\_co2\_including\_luc**  
**cumulative\_coal\_co2**  
**cumulative\_flaring\_co2**  
**cumulative\_gas\_co2**  
**cumulative\_luc\_co2**  
**cumulative\_oil\_co2**

**cumulative\_other\_co2** : Pour celle-ci, on se base sur la colonne other\_industry\_co2.

## Colonnes liées à la consommation d'énergie

**primary\_energy\_consumption** : consommation d'**énergie primaire** (énergie extraite de la nature, avant transformation en électricité, essence, chaleur...), mesurée en terawatt-heures.

Les deux colonnes suivantes représentent la consommation d'énergie par habitant et par PIB, en suivant les mêmes logiques de calcul que précédemment.

**energy\_per\_capita** : exprimée en kilowatt-heures par habitant.

**energy\_per\_gdp** : exprimée en kilowatt-heures par dollar international (2011).

Enfin, nous avons également deux colonnes qui représentent les émissions de co2 (et co\_including\_luc) par unité d'énergie, exprimées en kilogrammes par kilowatt-heures.

**co2\_per\_unit\_energy** : la formule mathématique est la suivante :

$$\text{co2_per_unit_energy} = \text{co2} / \text{primary_energy_consumption}$$

**co2\_including\_luc\_per\_unit\_energy** : reprend la même logique en divisant co2\_including\_luc par primary\_energy\_consumption.

## Changements de température par gaz à effet de serre

En plus des émissions de gaz, nous avons quatre colonnes qui représentent, en °C, une estimation mathématique des changements de température attribués à chaque type de gaz à effet de serre.

Nous avons ainsi une colonne pour le dioxyde de carbone (CO2), une colonne pour le méthane (CH4), une colonne pour le protoxyde d'azote (N2O), et enfin, une colonne pour l'ensemble des gaz à effet de serre, incluant les trois précédents :

**temperature\_change\_from\_ch4**  
**temperature\_change\_from\_co2**  
**temperature\_change\_from\_n2o**  
**temperature\_change\_from\_ghg**

Plus concrètement, ces colonnes représentent, pour chaque année, **l'effet des émissions cumulées de gaz à effet de serre sur l'augmentation globale des températures**, défini ci-dessous.

#### Effets des gaz à effet de serre sur l'augmentation globale des températures

Les données de température présentées dans ces colonnes sont une estimation du réchauffement causé par les émissions cumulées de gaz à effet de serre. Cette estimation est basée sur l'approche *TCRE* (*réponse climatique transitoire aux émissions cumulées de carbone*), qui est une **relation linéaire reliant les émissions cumulées de CO<sub>2</sub>** (ou équivalent CO<sub>2</sub> pour les autres gaz à effet de serre) à **l'augmentation de température moyenne mondiale**, et définie par le rapport du *GIEC AR6* (2021). Le réchauffement représente le changement de la température moyenne à la surface du globe (GMST). Il faut bien comprendre qu'il s'agit d'une **estimation à partir d'un modèle mathématique**, et non pas *d'observations réelles*. L'objectif de ce modèle est d'établir la part de responsabilité humaine dans le réchauffement climatique.

#### Colonnes de pourcentage d'émissions de gaz par rapport à l'émission mondiale

Enfin, nous allons expliquer le dernier groupe de colonnes.

Ces colonnes ont toutes le mot “share” (en préfixe de la colonne, sauf pour le trade\_co2 où c'est en suffixe).

Elles s'expriment toutes en pourcentage.

Ces colonnes représentent, pour chacune des valeurs représentées (émissions de gaz, cumul des émissions d'un gaz, ou encore changement de température), la proportion représentée par la zone observée (country) par rapport au reste du monde, pour l'année de l'observation.

Par exemple, si le country est France et l'année est 2020, ces colonnes représentent la proportion des émissions (ou du changement de température causé par les gaz à effet de serre) de la France par rapport au reste du monde sur l'année 2020.

Ces colonnes étant nombreuses, et leurs noms explicites, nous n'allons pas les détailler individuellement puisqu'elles suivent toutes le même principe. Nous allons simplement les lister ci-dessous :

**share\_global\_cement\_co2**  
**share\_global\_co2**  
**share\_global\_co2\_including\_luc**  
**share\_global\_coal\_co2**  
**share\_global\_cumulative\_cement\_co2**  
**share\_global\_cumulative\_co2**  
**share\_global\_cumulative\_co2\_including\_luc**  
**share\_global\_cumulative\_coal\_co2**  
**share\_global\_cumulative\_flaring\_co2**  
**share\_global\_cumulative\_gas\_co2**

**share\_global\_cumulative\_luc\_co2**  
**share\_global\_cumulative\_oil\_co2**  
**share\_global\_cumulative\_other\_co2**  
**share\_global\_flaring\_co2**  
**share\_global\_gas\_co2**  
**share\_global\_luc\_co2**  
**share\_global\_oil\_co2**  
**share\_global\_other\_co2**  
**trade\_co2\_share**  
**share\_of\_temperature\_change\_from\_ghg**

Etant donné que ces pourcentages se font par rapport aux émissions globales mondiales, notons que lorsque le country est 'world', ces données ne sont pas remplies.

# Nettoyage du jeu de données

Notre nettoyage va essentiellement s'articuler autour de deux principaux objectifs :

- Gérer les valeurs manquantes (NaN) qui sont très nombreuses
- Diviser le csv en plusieurs csv plus concis, plus ciblés et donc plus simples à analyser.

En effet, à travers l'étude des colonnes, nous avons pu voir que le csv originel est un peu un "fourre-tout". Nous avons énormément de données sur énormément de choses différentes qui ne peuvent pas être toujours comparées entre elles. A cause de la longue période étudiée, du grand nombre de données diverses, et de la multitude de zones (country) différentes (pays, alliance de pays, autres...), nous avons aussi une très grande proportion de valeurs manquantes.

Il sera donc très intéressant de diviser ce csv en plusieurs jeux de données plus ciblés qui ne contiendront plus de valeurs manquantes, quitte à réduire la période de temps étudiée.

## Répartition des valeurs manquantes (NaN)

Voici une première analyse des valeurs manquantes, qui indique la proportion de valeurs manquantes pour chaque colonne, triée par ordre décroissant.

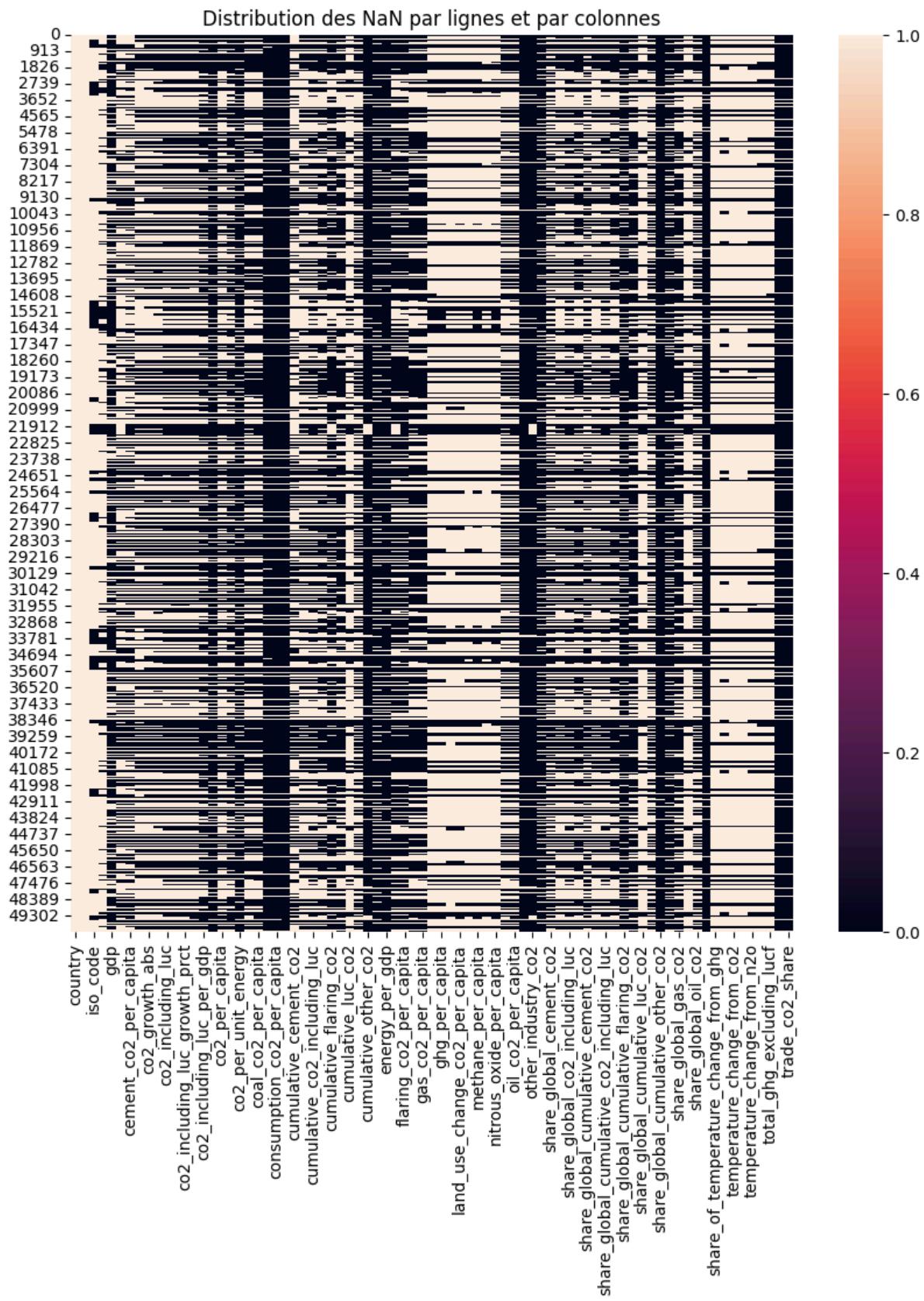
Par souci de clarté du rapport, nous n'allons présenter que les 10 colonnes ayant la plus grande proportion de NaN, mais l'intégralité de l'analyse est trouvable en annexe.

```
share_global_cumulative_other_co2 : 95.8%
share_global_other_co2 : 95.8%
other_co2_per_capita : 95.07%
cumulative_other_co2 : 93.62%
other_industry_co2 : 93.62%
consumption_co2_per_gdp : 91.15%
consumption_co2_per_capita : 91.03%
trade_co2 : 90.96%
trade_co2_share : 90.96%
consumption_co2 : 90.31%
```

Nous constatons que les 10 colonnes ayant le plus de valeurs manquantes ont plus de 90% de valeurs manquantes, ce qui est énorme.

Nous pouvons visualiser la répartition des valeurs manquantes par colonnes au travers de la heatmap ci-dessous. Les parties noires indiquent les valeurs manquantes. Sur l'axe des

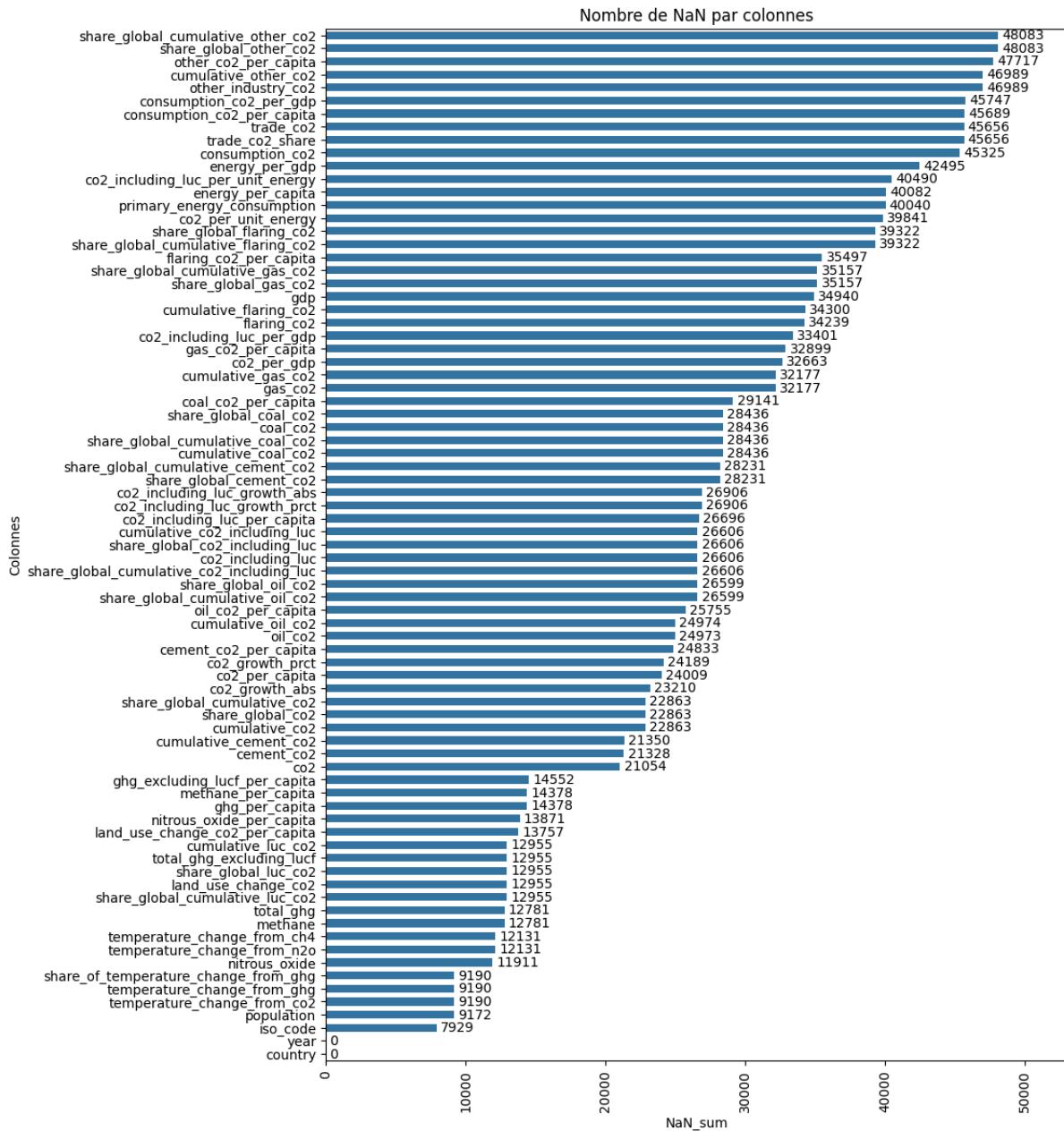
abscisses nous avons nos 79 colonnes, et sur l'axe des ordonnées, toutes les lignes du dataset.



Il y a plusieurs choses intéressantes à retirer de cette visualisation.

Certaines colonnes semblent être groupées entre elles, dans le sens où si une colonne a une valeur manquante, les autres colonnes du même groupe en ont également, et vice-versa. Autrement dit, ces colonnes suivent la même logique de remplissage ; les données proviennent certainement des mêmes sources.

Nous pouvons également visualiser le nombre de valeurs manquantes au travers d'un diagramme à barres.



Ce diagramme nous montre, de façon plus visuelle, la répartition des NaN. Surtout, nous avons ici la valeur exacte du nombre de valeurs manquantes par colonnes, ce qui nous permet une analyse plus précise : certaines colonnes ont exactement le même nombre de valeurs manquantes. Ce fait, couplé à la visualisation de la heatmap, nous conforte dans l'idée que certaines colonnes sont étroitement liées.

Afin de faciliter le découpage du dataframe en plusieurs autres dataframe, ainsi que le nettoyage des valeurs manquantes, il serait intéressant d'identifier ces groupes de colonnes.

Nous définirons ici “groupe de colonnes” de la sorte : un groupe de colonnes est constitué de plusieurs colonnes qui, pour chaque ligne, ont toutes des NaN, ou bien n’ont aucun NaN. Ainsi, ces colonnes sont liées entre elles par le fait qu’elles sont toutes renseignées pour les mêmes lignes.

De par leur définition, les colonnes d’un même groupe ont forcément le même nombre de valeurs manquantes. Toutefois, deux colonnes ayant exactement le même nombre de valeurs manquantes ne font pas forcément partie du même groupe : en effet, deux colonnes peuvent avoir le même nombre de NaN, mais répartis sur des lignes différentes.

Pour pouvoir identifier nos groupes de colonnes, nous rassemblons dans un premier temps celles qui ont le même nombre de NaN ; puis nous vérifions, au sein de chacun de ces groupes, si chaque ligne suit la règle établie : n’avoir que des NaN, ou n’avoir aucun NaN.

Ce travail nous permet d’établir les groupes de colonnes suivants :

Voici donc les groupes ayant des colonnes cohérentes entre elles, à savoir que si l’une est remplie, les autres du même groupe le sont également :

```
['year', 'country'] : aucun NaN  
['share_of_temperature_change_from_ghg', 'temperature_change_from_ghg',  
'temperature_change_from_co2'] : 9190 NaN  
['temperature_change_from_ch4', 'temperature_change_from_n2o'] : 12131 NaN  
['total_ghg', 'methane'] : 12781 NaN  
['cumulative_luc_co2', 'share_global_luc_co2', 'land_use_change_co2',  
'share_global_cumulative_luc_co2'] : 12955 NaN  
['methane_per_capita', 'ghg_per_capita'] : 14383 NaN  
['share_global_cumulative_co2', 'share_global_co2', 'cumulative_co2'] : 22863 NaN  
['share_global_oil_co2', 'share_global_cumulative_oil_co2'] : 26599 NaN  
['cumulative_co2_including_luc', 'share_global_co2_including_luc',  
'co2_including_luc', 'share_global_cumulative_co2_including_luc'] : 26606 NaN  
['co2_including_luc_growth_abs', 'co2_including_luc_growth_prct'] : 26906 NaN  
['share_global_cumulative_cement_co2', 'share_global_cement_co2'] : 28231 NaN  
['share_global_coal_co2', 'coal_co2', 'share_global_cumulative_coal_co2',  
'cumulative_coal_co2'] : 28436 NaN
```

```
['cumulative_gas_co2', 'gas_co2'] : 32177 NaN  
['share_global_cumulative_gas_co2', 'share_global_gas_co2'] : 35157 NaN  
['share_global_flaring_co2', 'share_global_cumulative_flaring_co2'] : 39322 NaN  
['trade_co2', 'trade_co2_share'] : 45656 NaN  
['cumulative_other_co2', 'other_industry_co2'] : 46989 NaN  
['share_global_cumulative_other_co2', 'share_global_other_co2'] : 48083 NaN
```

Notons que ce travail nous a permis de constater que la colonne ‘total\_ghg\_excluding\_lucf’, qui possède aussi 12955 valeurs manquantes, n'est pas incluse dans le groupe des 12955, car ses valeurs manquantes ne sont pas toujours sur les mêmes lignes que les autres colonnes du groupe.

Ces groupes de colonnes liées entre elles pourraient nous donner un aperçu des différents dataframes que nous pourrions créer à partir du dataframe original. Toutefois, un groupe de colonnes ne correspond pas forcément à un dataframe cohérent.

Voici plusieurs exemples :

- nous avons des colonnes “temperature\_change” dans des groupes de colonnes différents. Pourtant, il serait logique que ces colonnes soient toutes dans le même dataframe (puisque elles montrent toutes un changement de température causé par un GES (gaz à effet de serre) en °C).
- il serait plus logique que des colonnes comme ‘methane’ et ‘methane\_per\_capita’ soient dans le même dataframe, même si elles n'ont pas le même nombre de NaN, parce que ces colonnes sont étroitement liées : la deuxième peut être calculée par rapport à la première et à la colonne ‘population’.

Cela pourra toutefois nous aider à nettoyer les colonnes et à savoir lesquelles conserver pour nos dataframes, nous pourrons nous y référer plus tard, mais nous ne pouvons pas nous baser uniquement là-dessus pour diviser notre dataframe original en plusieurs dataframe plus ciblés. Pour cela, nous allons plutôt privilégier une approche par zone, c'est-à-dire par ‘country’, comme nous allons le voir dans la section suivante.

## Séparation des dataframe par country et iso\_code

Nous l'avions évoqué plus en amont : nous avons 255 valeurs distinctes de country, et 219 valeurs distinctes de iso\_code.

La colonne ‘country’ est composée de nombreuses informations qui ne sont pas forcément des pays.

Une première séparation logique est de séparer le dataframe en deux dataframes : l'un contenant les véritables pays, et l'autre contenant les autres valeurs de ‘country’.

Notre supposition est que les entrées pour lesquelles ‘country’ n'est pas un véritable pays ont un iso\_code null. Pour vérifier cela, nous récupérons toutes les lignes qui ont un iso\_code null, et nous en affichons les valeurs distinctes de ‘country’, ce qui nous donne la liste que vous trouverez en annexe “Valeurs de ‘country’ n'ayant pas d'iso-code”.

A partir de ces valeurs, nous avons décidé de créer plusieurs dataframes :

- **owid-co2-world** : un dataframe contenant toutes les lignes pour lesquelles le country est ‘world’ : en effet, notre étude porte sur les températures terrestres, à l'échelle mondiale. Le monde sera donc notre premier et principal axe d'analyse avant d'aller plus dans le détail. Nous verrons par la suite que ce dataframe sera lui-même subdivisé en plusieurs dataframes plus ciblés et plus proches de certains groupes de colonnes vus précédemment.
- **owid-co2-continent** : un dataframe contenant les lignes liées à des continents. Nous avons constaté que les continents apparaissent plusieurs fois, parfois avec la mention (GCP). Nous verrons plus tard comment nous avons traité cela.

Nous pourrions également créer au moins deux autres dataframes plus ciblés :

- **owid-co2-international-shipping-aviation** : contient toutes les lignes dont country vaut “international shipping” ou “international aviation”, afin de voir la part d'émissions de GES dus à l'aviation et au transport maritime. A vrai dire, nous l'avons créé par acquis de conscience, mais nous ne pensons pas qu'il nous sera utile.
- **owid-co2-international-transport** : même chose que précédemment mais pour tout type de transport. A noter que les données ne sont pas remplies sur les mêmes périodes que pour shipping et aviation, d'où le fait d'en faire un à part. Il est peu probable que nous l'utilisions.
- **owid-co2-per-development** : contient toutes les lignes où la valeur de country correspond à un ensemble de pays par richesse ('high-income countries', 'low-income countries', etc...). Cela pourra nous être utile si nous souhaitons faire une analyse des émissions de GES pour voir la responsabilité des pays causant le plus le dérèglement climatique par rapport aux régions du monde qui en souffrent le plus.

Enfin, nous avons le **owid-co2-iso-code**, qui contient les données du dataframe original pour lesquelles la colonne iso-code est remplie, ce qui correspond donc à de vrais pays.

Nous ne l'utiliserons que si nous voulons réellement cibler certains pays pour voir leur empreinte carbone.

**Note** : essentiellement par manque de temps, nous n'avons pas pu nettoyer tous les jeux de données présentés ci-dessus. Nous nous sommes focalisés sur les dataset correspondant au monde entier et à celui des continents, pour le moment, mais n'avons pas terminé le nettoyage de celui sur les continents au moment de la rédaction du rapport, il nous restera à appliquer les mêmes transformations que pour celui concernant le monde entier en ce qui concerne le traitement des valeurs manquantes.

## Nettoyage du jeu de données ‘owid-co2-world’

Dans cette partie, nous allons parler des transformations appliquées au jeu de données ‘World’, créé à partir des lignes pour lesquelles la valeur de la colonne ‘country’ vaut ‘world’.

Nous verrons que nous avons subdivisé ce dataset par plusieurs autres dataset plus ciblés au niveau des données mesurées.

Puisque cela ne concerne que le country ‘world’, les colonnes iso\_code (toujours vide) et country (une seule valeur) ne sont plus pertinentes, nous les avons donc supprimées.

Nous avons ensuite repris l'étude des valeurs manquantes pour ce dataset.

## Nettoyage de la population

Nous avons constaté qu'entre 1750 et 1950, la population n'avait des valeurs que tous les 10 ans, et nous avions des NaN entre ces années.

	year	population	
0	1750	753279296.0	
1	1751	NaN	
2	1752	NaN	
3	1753	NaN	
4	1754	NaN	
5	1755	NaN	
6	1756	NaN	
7	1757	NaN	
8	1758	NaN	
9	1759	NaN	
10	1760	788254976.0	
11	1761	NaN	

Afin de remplacer ces NaN par des valeurs cohérentes, nous avons décidé d'utiliser une interpolation quadratique, avec la méthode interpolate en utilisant la méthode ‘spline’ d'ordre 2.

Cette interpolation permet de remplir les valeurs manquantes avec des valeurs situées entre deux intervalles remplis, en suivant une progression en forme de courbe très proche de la réalité (plus proche qu'une interpolation linéaire qui ferait simplement une augmentation proportionnelle). Nous avons ensuite converti la colonne ‘population’ en int, puisqu'il n'y a pas de raisons que ce soit un float, maintenant qu'il n'y a plus de NaN.

Voici un exemple du remplissage pour les premières valeurs :

	year	population
0	1750	753279296
1	1751	756867523
2	1752	760435604
3	1753	763983539
4	1754	767511327
5	1755	771018968
6	1756	774506463
7	1757	777973811
8	1758	781421012
9	1759	784848067
10	1760	788254976
11	1761	791641737

On constate bien que les lignes qui étaient remplies sur l'image précédente (1750 et 1760) ont toujours les mêmes valeurs, et que les NaN ont été remplis par des valeurs qui suivent une progression cohérente entre les deux intervalles.

## Nettoyage des colonnes ‘per\_capita’

Puisque les colonnes ayant pour suffixe ‘per\_capita’ se basent sur la population, il y avait également des NaN pour toutes les lignes où la population était vide.

Etant donné que nous connaissons la formule mathématique permettant de calculer ces colonnes à partir de la colonne de base et la population, nous avons pu facilement remplacer les valeurs manquantes en refaisant les calculs (qui sont présentés dans la partie précédente sur l'explication des colonnes).

## Nettoyage de la colonne ‘gdp’

La colonne ‘gdp’ suivait le même principe que ‘population’, à savoir, des valeurs manquantes entre des intervalles. La différence était que les valeurs remplies n’étaient pas forcément tous les 10 ans. La première valeur apparaît pour l’année 1820, puis nous avons des données tous les 20 ou 30 ans jusqu’à 1940, puis tous les 10 ans jusqu’à 2010. A partir de 2015, nous avons des données chaque année.

	year	population	gdp
70	1820	1065623616	1.175114e+12
100	1850	1287033856	1.546684e+12
120	1870	1346763136	1.963043e+12
150	1900	1670635648	3.503708e+12
170	1920	1927857152	4.824949e+12
190	1940	2328460032	7.646890e+12
200	1950	2493092843	8.461552e+12
210	1960	3015470890	1.333808e+13
220	1970	3694683801	2.194193e+13
230	1980	4447606208	3.198261e+13
240	1990	5327803075	4.303361e+13
250	2000	6171703018	5.989767e+13
260	2010	7021732131	8.980771e+13
265	2015	7470491904	1.068718e+14
266	2016	7558554580	1.104072e+14

Pour combler les trous, nous avons utilisé la même méthode d’interpolation quadratique que pour la population, afin d’avoir des valeurs cohérentes et une courbe lisse.

Nous avons rempli les valeurs manquantes des premières années par des 0. Notons que cela ne concerne que les années avant 1820. Nous n’avons pas vraiment d’intérêt à faire des analyses poussées sur la période allant de 1750 à 1820, voilà pourquoi nous remplaçons les NaN par des 0 sans chercher à faire quelque chose de plus cohérent.

**Note :** de la même manière que nous avons nettoyé les colonnes ‘per\_capita’ en refaisant nous-même le calcul, nous avons pu le faire pour les colonnes ‘per\_gdp’ en effectuant une division par la colonne ‘gdp’. Vous retrouverez les formules de calcul correspondantes dans la partie précédente sur la description des colonnes.

## Division par années d'apparition des données

Pour les autres colonnes qui avaient des valeurs manquantes, nous avons regardé à partir de quelle année nous avions des données. Ces informations, couplées aux groupes de colonnes présentés plus tôt dans le rapport, nous ont permis de faire une subdivision du jeu de données `owid-co2-world` en plusieurs autres jeux de données.

Ainsi, nous avons constaté que les colonnes liées aux énergies avaient des informations à partir de 1965 uniquement. Il nous a donc semblé pertinent de créer un csv concernant uniquement ces données pour la période 1965-2023, et regroupant ainsi les colonnes suivantes : `['year', 'population', 'gdp', 'co2', 'co2_including_luc', 'co2_including_luc_per_unit_energy', 'co2_per_unit_energy', 'energy_per_capita', 'energy_per_gdp', 'primary_energy_consumption']`

Nous avons appelé ce jeu de données nettoyé : **owid\_co2\_per\_energy\_world.csv**

Il sera sans doute intéressant de le comparer avec le dataset relatif aux énergies également fourni par l'organisme OWID, dont nous avons parlé en introduction et qui est nettoyé et analysé par une autre personne de l'équipe.

Nous avons également remarqué que beaucoup de colonnes liées aux émissions de gaz et aux changements de température avaient des données à partir de 1850. Nous avons décidé de les regrouper dans un même csv.

Pour de rares colonnes parmi celles-ci, il y avait encore des NaN après 1850, sur une période allant jusqu'à 30 ans. Nous avons décidé de remplacer ces NaN par des 0, parce que c'était déjà ce qui avait été fait de base dans le dataframe pour certaines colonnes telles que `cement_co2`.

Une fois nettoyé, nous avons pu créer le csv correspondant intitulé : **owid\_ghg\_world.csv**. Ce CSV contient toutes les informations sur les différentes émissions de gaz à effet de serre (avec sources d'émissions de co2 telles que vues dans la partie sur l'explication des colonnes), ainsi que les changements de température liés à ces émissions, sur une période allant de 1850 à 2023.

Les colonnes de ce dataset sont les suivantes :

```
['year', 'population', 'gdp', 'cement_co2', 'cement_co2_per_capita',  
 'co2', 'co2_growth_abs', 'co2_growth_prct', 'co2_including_luc',  
 'co2_including_luc_growth_abs', 'co2_including_luc_growth_prct',  
 'co2_including_luc_per_capita', 'co2_including_luc_per_gdp',  
 'co2_per_capita', 'co2_per_gdp', 'coal_co2', 'coal_co2_per_capita',  
 'cumulative_cement_co2', 'cumulative_co2',  
 'cumulative_co2_including_luc', 'cumulative_coal_co2',  
 'cumulative_gas_co2', 'cumulative_luc_co2', 'cumulative_oil_co2',  
 'cumulative_other_co2', 'gas_co2', 'gas_co2_per_capita',  
 'ghg_excluding_lucf_per_capita', 'ghg_per_capita',  
 'land_use_change_co2', 'land_use_change_co2_per_capita', 'methane',  
 'methane_per_capita', 'nitrous_oxide', 'nitrous_oxide_per_capita',  
 'oil_co2', 'oil_co2_per_capita', 'other_co2_per_capita',  
 'other_industry_co2', 'temperature_change_from_ch4',
```

```
'temperature_change_from_co2', 'temperature_change_from_ghg',
'temperature_change_from_n2o', 'total_ghg', 'total_ghg_excluding_lucf']
```

## Nettoyage final du owid-co2-world

Maintenant que nous avons nettoyé et divisé owid-co2-world en d'autres dataset plus ciblés, nous avons choisi de ne garder que les colonnes ayant des informations pertinentes sur la période de base (1750 à 2023).

Ainsi, le jeu de données **owid-co2-world** ne contiendra que les informations d'émission de co2, par rapport à la population et au PIB, sur la période 1750 à 2023.

Les colonnes de ce dataset sont donc : ['year', 'population', 'gdp', 'co2', 'co2\_growth\_abs', 'co2\_growth\_prct', 'cumulative\_co2', 'co2\_per\_capita', 'co2\_per\_gdp']

## Nettoyage du jeu de données ‘owid-co2-continent’

### Merge des données GCP

Comme vu lors des parties précédentes traitant de la colonne ‘country’, pour les continents, nous avons plusieurs valeurs possibles.

Par exemple, il y a des lignes ayant la valeur “Africa” et d’autres “Africa (GCP)”.

GCP est le sigle de Global Carbon Project, une organisation scientifique qui collecte et analyse les données sur les émissions de carbone à l'échelle mondiale. Leurs données sont observées et calculées différemment et peuvent donc différer par rapport aux autres observations.

Le ‘country’ “Africa (GCP)” n'est donc pas une zone en soi, mais une manière différente d'obtenir les données pour la zone “Africa”.

En explorant les données pour lesquelles ‘country’ contient le sigle (GCP), nous constatons que ces données n'ont que la colonne co2 qui est remplie (en plus de ‘country’ et ‘year’ qui servent d'identification d'observations), et la colonne consumption\_co2 pour la période 1990-2022 uniquement.

Il nous paraît alors pertinent de faire en sorte que ces données ne soient, non pas des lignes supplémentaires dans le dataset, mais des colonnes supplémentaires pour la zone concernée.

Ainsi, nous n'aurons pas une ligne “Africa” et une ligne “Africa (GCP)”, mais plutôt une seule ligne “Africa” avec une colonne “co2” et une colonne “co2 (GCP)”, et l'équivalent pour consumption\_co2.

Nous avons donc, dans un premier temps, créé deux dataframes (un contenant les entrées ayant le sigle “(GCP)” et l'autre non), puis après avoir renommé les country “(GCP)” en leur penchant sans (GCP) et après avoir renommé les colonnes, nous avons mergé ces dataframes.

Notons que la plupart du temps, les valeurs de co2 et de co2 (GCP) sont identiques, mais peuvent différer pour les continents Asie, Amérique du Nord et Océanie.

#### Différences des moyennes de ‘co2’ et ‘co2 (GCP)’ par ‘country’

	co2	co2 (GCP)	diff
country			
<b>Asia</b>	2195.718529	1912.027588	283.690942
<b>North America</b>	2077.141954	2044.512590	32.629364
<b>Oceania</b>	80.858496	80.127157	0.731339
<b>Africa</b>	302.276845	302.274460	0.002385
<b>Europe</b>	2000.723000	2000.722982	0.000018
<b>South America</b>	257.489578	257.489567	0.000011

#### Différences des sommes de ‘co2’ et ‘co2 (GCP)’ par ‘country’

	co2	co2 (GCP)	diff
country			
<b>Asia</b>	601626.877	523895.559	77731.318
<b>North America</b>	496436.927	488638.509	7798.418
<b>Oceania</b>	22155.228	21954.841	200.387
<b>Africa</b>	52596.171	52595.756	0.415
<b>Europe</b>	548198.102	548198.097	0.005
<b>South America</b>	46348.124	46348.122	0.002
<b>Asia (excl. China and India)</b>	266225.323	266225.323	0.000
<b>Europe (excl. EU-27)</b>	249747.627	249747.627	0.000
<b>European Union (28)</b>	378228.177	378228.177	0.000
<b>European Union (27)</b>	298450.476	298450.476	0.000
<b>Europe (excl. EU-28)</b>	169969.916	169969.916	0.000
<b>North America (excl. USA)</b>	64584.216	64584.216	0.000

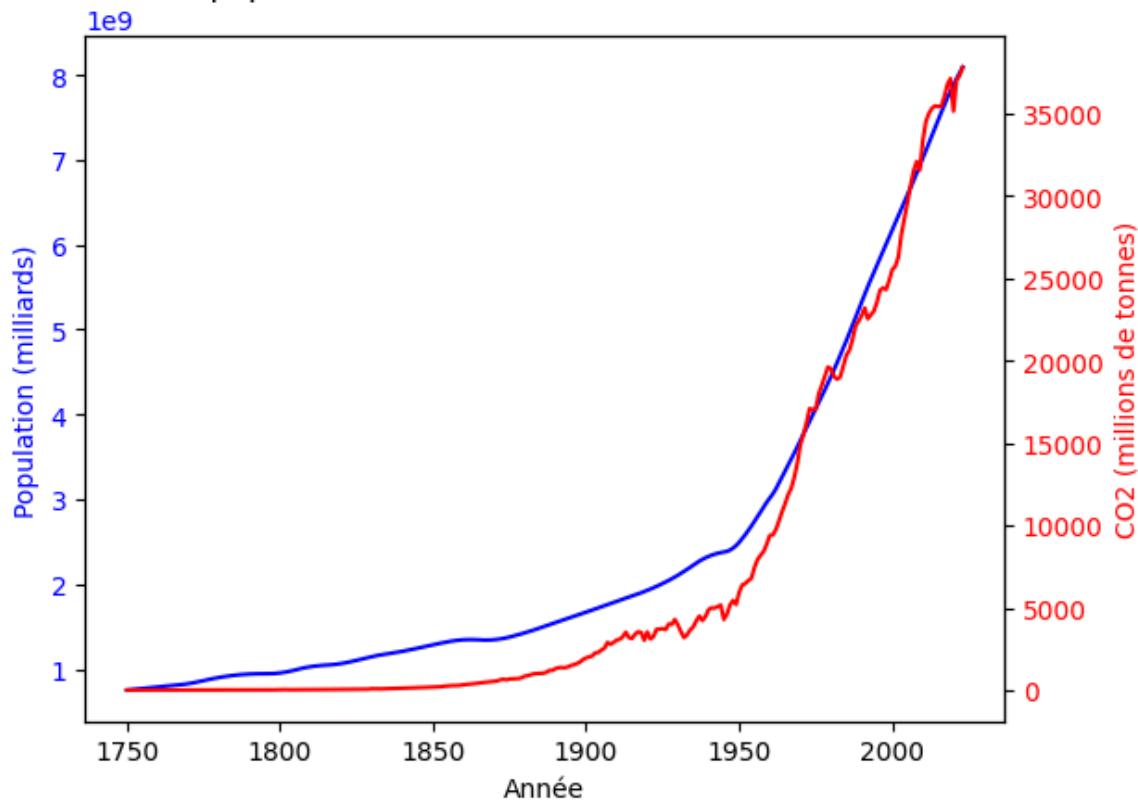
La différence est très notable pour l'Asie, qui est le continent émettant le plus de co2. Cette différence peut s'expliquer par le fait que l'Asie contient des pays très fermés, comme la Chine par exemple, dont nous ne sommes pas sûr de la fiabilité des données.

# Analyse et visualisation du jeu de données

A partir du dataset owid-co2-world

Evolution de la population et des émissions de CO2 mondiales

Évolution de la population mondiale et des émissions de CO2 (1750-2023)



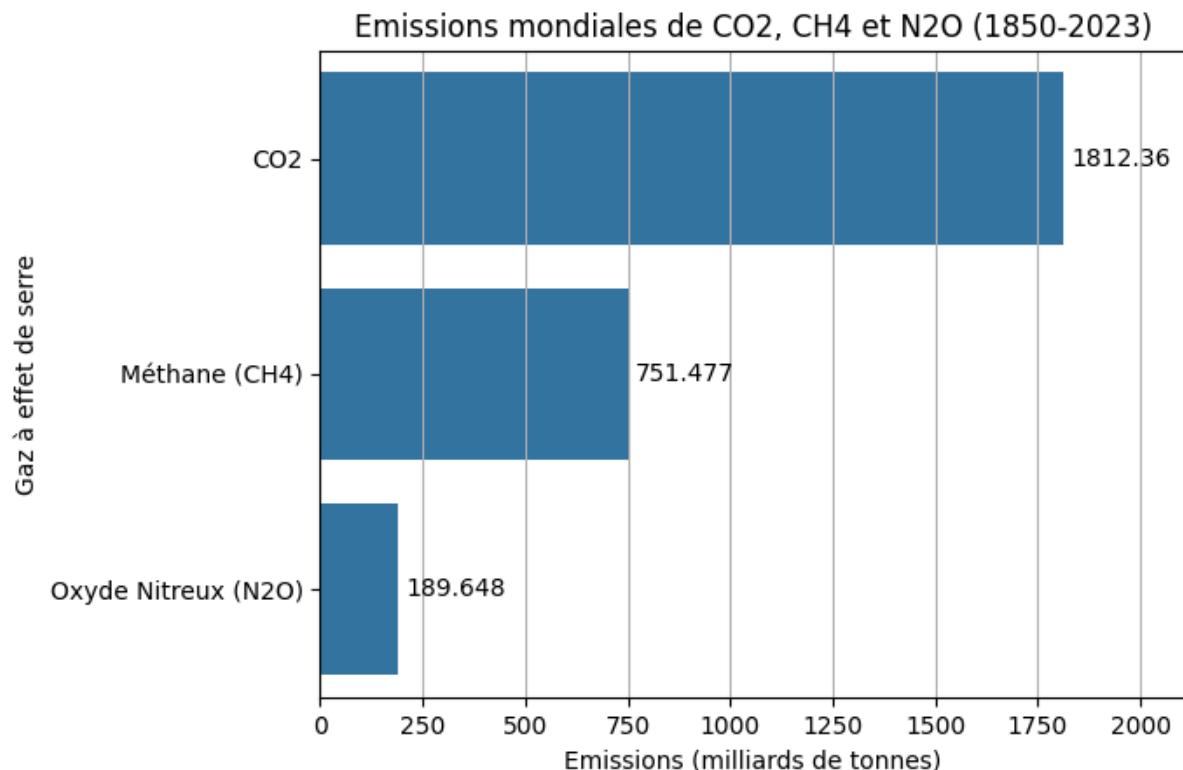
Ce graphique, créé à partir de notre dataset owid-co2-world, montre l'évolution des émissions de CO2 en million de tonnes (en rouge) ainsi que l'évolution de la population en milliards d'habitants (en bleu).

On remarque une certaine corrélation entre les courbes, qui augmentent toutes deux de façon presque exponentielle.

L'augmentation de la population et la quantité d'émissions de CO2 explosent à partir de 1950, connaissant une hausse extrêmement importante.

## A partir du dataset owid-ghg-world

Cumul des émissions de gaz à effet de serre



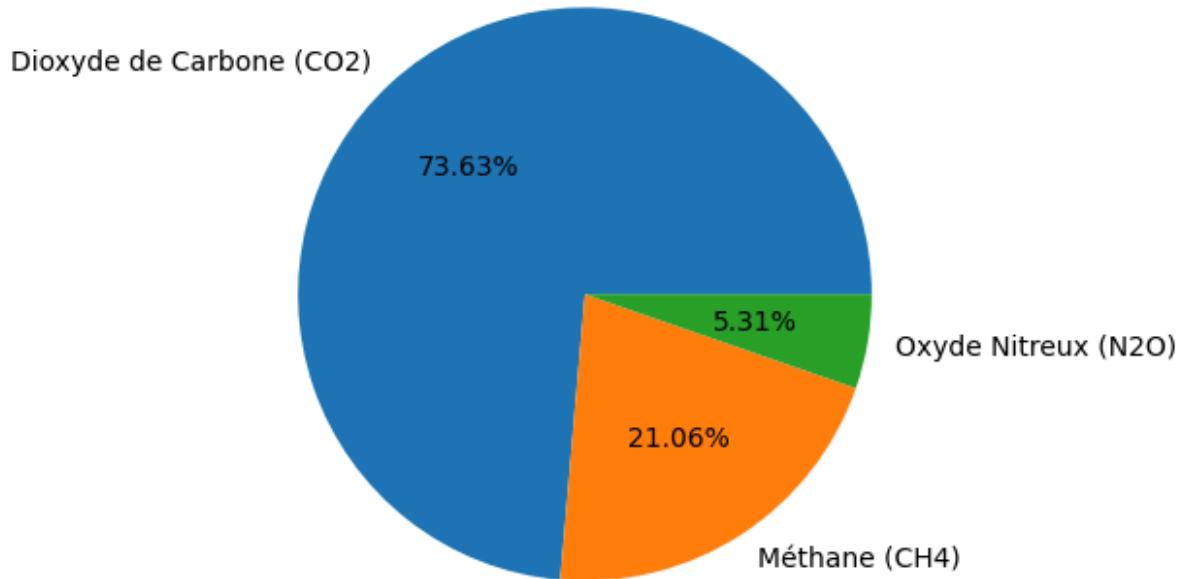
Notre dataset owid-ghg-world contient des informations détaillées sur les émissions de différents gaz à effet de serre sur la période 1850-2023.

Ce graphique représente le cumul des principaux gaz à effet de serre : dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>) et oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O, aussi appelé protoxyde d'azote), dans le monde, de 1850 à 2023. L'unité est en milliards de tonnes.

Les valeurs d'émissions du méthane et de l'oxyde nitreux sont exprimées en équivalent CO<sub>2</sub> sur une période de 100 ans.

L'on constate que les émissions de CO<sub>2</sub> sont très largement supérieures aux émissions des deux autres gaz (plus du double des émissions de méthane). Il est donc pertinent de s'intéresser en premier lieu à comment réduire les émissions de ce gaz, puisque c'est là qu'on a le plus à gagner en matière de réduction d'émissions de gaz à effet de serre.

## Proportion des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O (1850-2023)



Ce graphique nous montre la proportion des émissions des gaz à effet de serre disponibles dans les données, à savoir : dioxyde de carbone, méthane et oxyde nitreux.

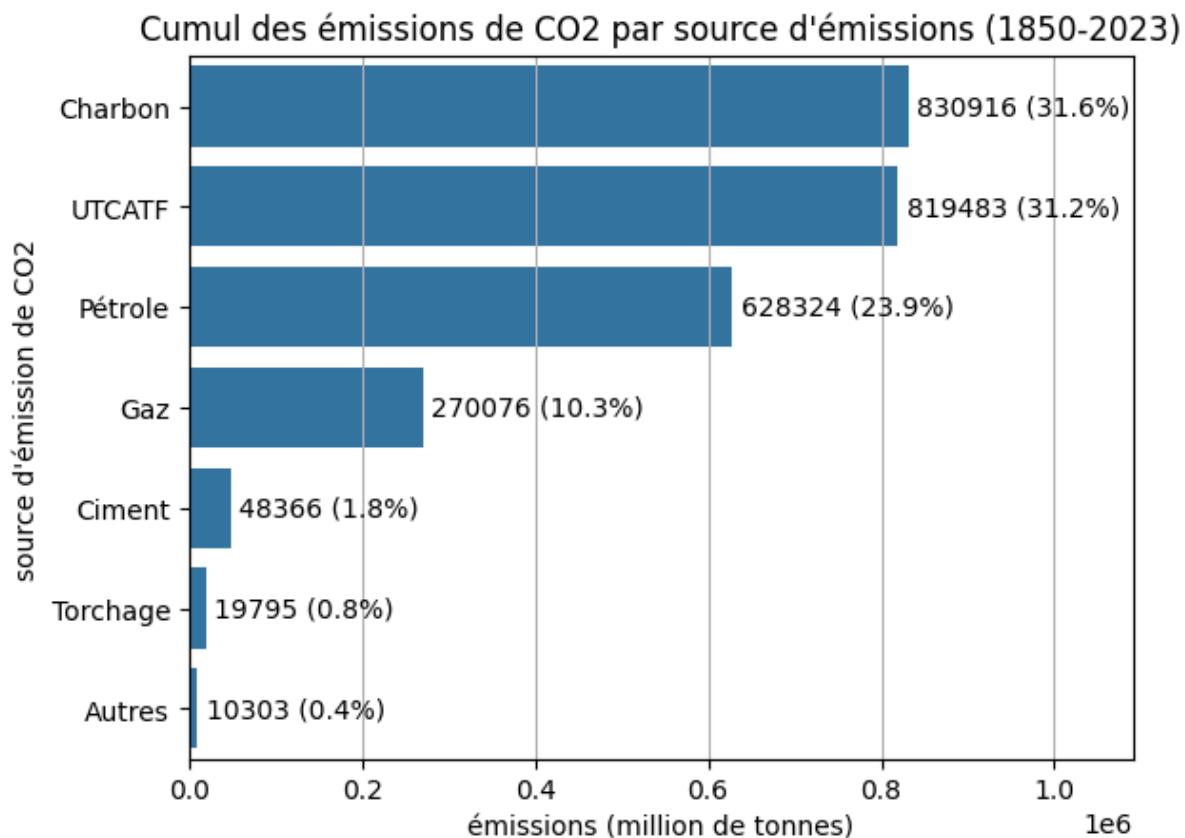
Il reprend les mêmes données que le graphique précédent, en faisant une représentation par pourcentage pour mieux visualiser la part d'émissions de chaque gaz.

Nous pouvons constater que les émissions de CO<sub>2</sub> représentent à elles-seules près de trois quart des émissions, tandis que celles de méthane sont de plus d'un cinquième.

Nous aurions aimé voir également la proportion des autres gaz à effet de serre, pour lesquels les données ne sont pas présentes dans notre jeu de données. Nous pensions pouvoir récupérer ces données grâce à la colonne "total\_ghg", en faisant la différence entre cette colonne et les trois gaz présentés ci-dessus. Hélas, cela n'est pas possible compte tenu d'une erreur que nous avons détectée et qui est détaillée un peu plus loin dans le rapport.

Puisque les émissions de CO<sub>2</sub> sont très majoritaires par rapport aux émissions des autres GES, il est intéressant d'analyser les différentes sources d'émissions de CO<sub>2</sub>, ce que nous allons faire dans le prochain graphique.

## Cumul des émissions de CO2 par source d'émissions



Ce graphique représente le cumul des émissions de CO2 depuis 1850 jusqu'à 2023, par source d'émissions, en million de tonnes.

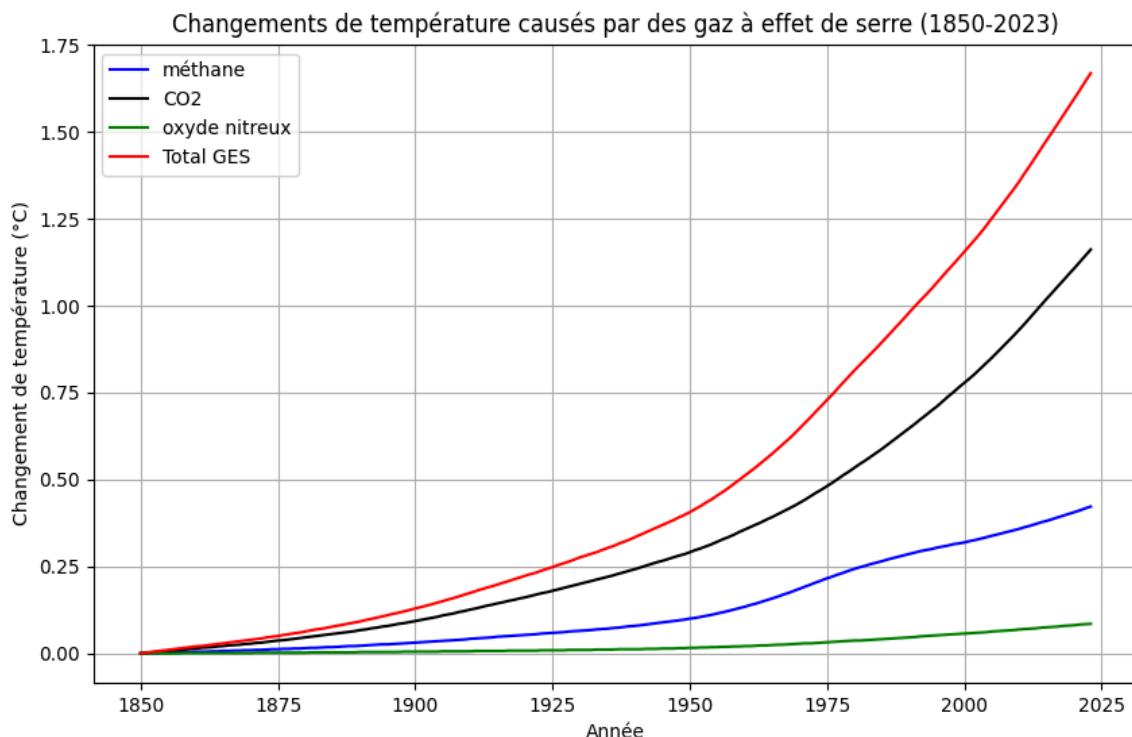
Les principales sources d'émissions de CO2 sont l'exploitation du charbon (notamment dans les centrales thermiques à charbon pour produire de l'électricité), et l'UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) correspondant au secteur agricole et à la déforestation. Ces deux sources ont émis plus de 800 milliards de tonnes de CO2, soit près d'un tiers des émissions de CO2 pour chacune.

Ensuite, nous avons l'exploitation du pétrole (utilisé comme carburant pour les transports terrestres, maritimes et aériens, par exemple), qui a émis 628 milliards de tonnes, ce qui représente presque un quart des émissions totales de CO2.

Dans une moindre mesure, nous retrouvons l'émission de CO2 dû à la combustion de gaz naturel (pour le chauffage domestique par exemple), avec une valeur de 270 milliards de tonnes, ce qui représente 10% des émissions de CO2.

Enfin, la fabrication du ciment, le torchage de gaz naturel et les autres industries représentent une petite proportion par rapport aux autres sources d'émission (3% à eux trois).

## Evolution des changements de température causés par les différents gaz à effet de serre



Ce graphique montre l'évolution des changements de température (en °C) causés par divers gaz à effet de serre, sur la période 1850 à 2023, à l'échelle mondiale.

La courbe rouge montre les changements de température causés par l'ensemble des gaz à effet de serre. La courbe noire représente les changements de température causés par les émissions de CO<sub>2</sub>. La bleue, par les émissions de méthane. Et enfin, la verte par les émissions d'oxyde nitreux (ou protoxyde d'azote).

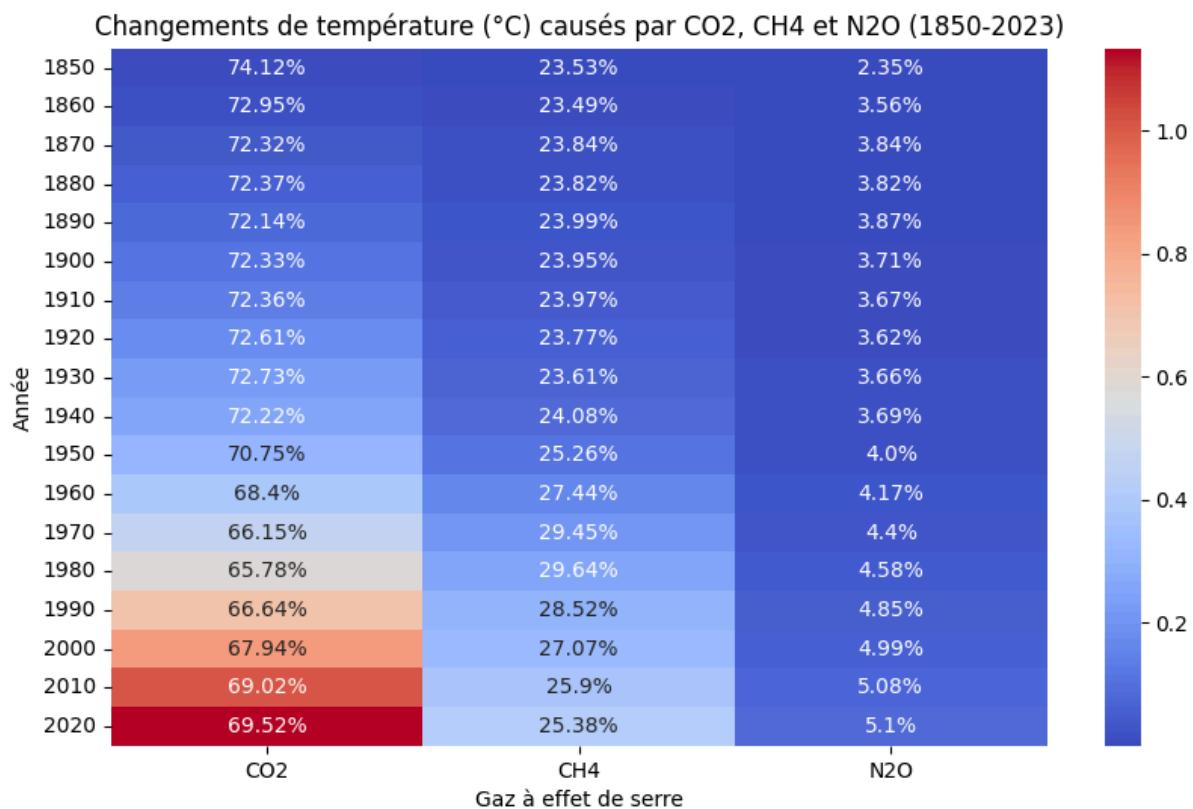
On remarque que la modification de température, à l'échelle mondiale, causée par l'ensemble des GES est en croissance exponentielle depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Avant 1950, les GES étaient responsables d'une hausse des températures de 0.5 °C. Environ 75 ans plus tard, ils sont responsables d'une hausse de près de 1.7 °C.

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le principal responsable de la hausse des températures. A lui seul, il représente aujourd'hui une hausse de 1.25 °C, ce qui est plus du double du changement de températures causé par le méthane (CH<sub>4</sub>), qui est le deuxième GES ayant le plus d'impact sur le climat.

Enfin, le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) est celui générant le moins de hausse de température. Les modifications de température causées par le N<sub>2</sub>O sont toutefois en légère hausse depuis les années 70.

L'évolution des changements de température provoquée par ces trois types de gaz est cohérente avec la répartition des émissions étudiée plus tôt ; à savoir que le CO<sub>2</sub>, gaz le plus émis, est aussi celui qui est le plus responsable du réchauffement climatique.

## Proportion des gaz à effet de serre dans les changements de température par décennies



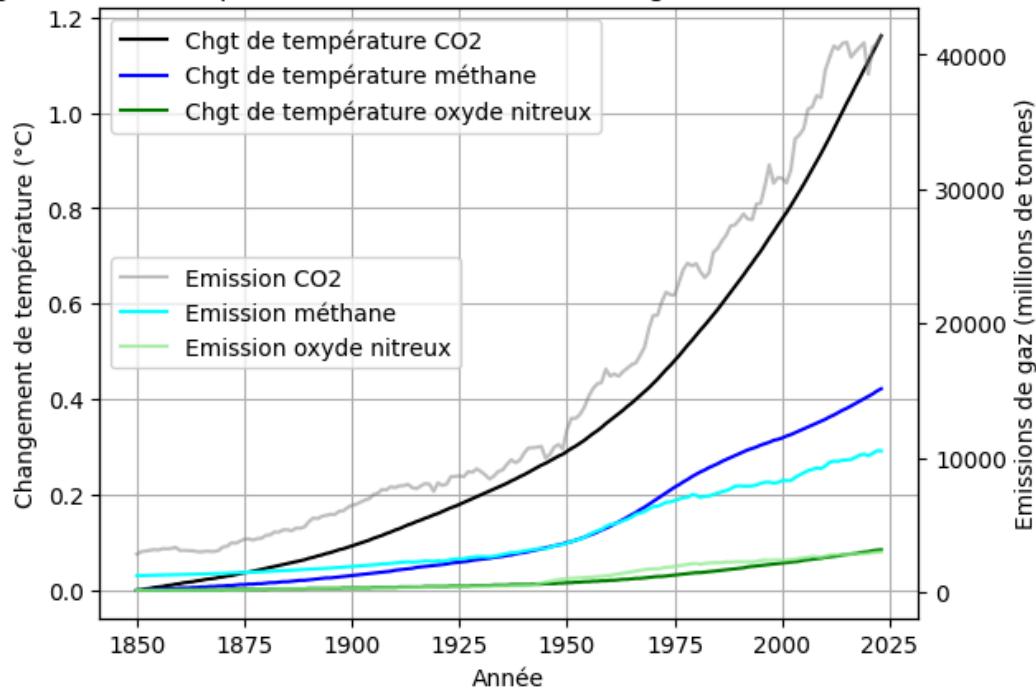
Ce graphique montre l'évolution des changements de température (en  $^{\circ}\text{C}$ ) sur la période 1850-2023, causés par chacun des trois gaz à effet de serre étudiés, avec la part de chacun pour chaque décennie.

Nous constatons plusieurs choses : les changements de température causés par les émissions de CO<sub>2</sub> se sont grandement accentués depuis 1950 (inférieur à 0.5  $^{\circ}\text{C}$  avant 1950, supérieur à 1  $^{\circ}\text{C}$  à partir de 2020). Cela est cohérent avec le fait que les quantités d'émission de CO<sub>2</sub> augmentent de façon exponentielle depuis les années 1950, comme vus lors de nos précédents graphiques.

En revanche, la part du CO<sub>2</sub> dans le réchauffement des températures diminue par rapport aux autres gaz, alors que la part de méthane (CH<sub>4</sub>) et de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) ne fait qu'augmenter. Cela ne signifie pas pour autant que les émissions de CO<sub>2</sub> se réduisent ou ont moins d'impact sur le réchauffement, notre premier graphique a clairement montré que les émissions de CO<sub>2</sub> étaient toujours en hausse. Au contraire, cela signifie que les émissions de méthane et de protoxyde d'azote sont en hausse à tel point qu'elles ont de plus en plus d'impact sur le réchauffement. Notons également que ces deux gaz ont un impact plus important sur le réchauffement climatique (raison pour laquelle leurs émissions sont converties en équivalent CO<sub>2</sub> afin d'avoir une base de comparaison cohérente).

## Evolution des changements de température relatifs aux émissions de gaz à effet de serre

**Changements de température liés aux émissions de gaz à effet de serre (1850-2023)**



Ce dernier graphique met en relation les changements de température causés par les trois principaux gaz à effet de serre étudiés, et les émissions de ces derniers, sur la période allant de 1850 à 2023.

Nous constatons un lien très fort entre l'augmentation des émissions de ces gaz, et l'augmentation des températures causée par ces gaz, à tel point que les deux courbes liées à l'oxyde nitreux sont quasiment superposées, tandis que les deux courbes liées au CO<sub>2</sub> sont presque parallèles (la courbe des changements de température est beaucoup plus lisse, probablement qu'un traitement effectué en amont a permis de lisser les données).

Les courbes liées au méthane ont une évolution étonnante puisqu'elles s'inversent dans le temps. On remarque que l'augmentation des températures dues au méthane croît plus rapidement que les émissions de ce gaz.

Notons par ailleurs que, bien que ces données proviennent du même csv, les sources mêmes de ces données peuvent différer. Ainsi, les émissions de CO<sub>2</sub> ne proviennent pas de la même source que les émissions des deux autres gaz et que les changements de température associés.

Ce dernier graphique est un récapitulatif de ce que nous avons pu observer lors des graphiques précédents, et met en lien la corrélation entre l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, et l'augmentation des températures.

## Erreur dans les données d'émissions de gaz à effet de serre

Nous avons détecté une erreur à propos des colonnes `total_ghg` et `total_ghg_excluding_lucf`.

Normalement, on devrait s'attendre à ce que ces colonnes qui représentent le total d'émissions de gaz à effet de serre soient supérieures à la somme des colonnes des principaux gaz (dioxyde de carbone, méthane et oxyde nitreux).

On devrait ainsi avoir les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \text{total\_ghg} &> \text{co2\_including\_luc} + \text{methane} + \text{nitrous\_oxide} \\ \text{total\_ghg\_excluding\_lucf} &> \text{co2} + \text{methane} + \text{nitrous\_oxide} \end{aligned}$$

Pourtant, nous nous sommes rendus compte que c'était l'inverse que nous observions.

	gaz	cumul
0	CO2_luc	2627266.546
1	CO2	1807783.284
2	methane	751477.115
3	nitrous_oxide	189648.129
4	total_ghg_luc	3522160.094
5	total_ghg	2210784.774
6	other_ghg_including_luc	-46231.696
7	other_ghg	-538123.754

Dans ce tableau, nous avons calculé la somme des émissions de chaque gaz de 1850 à 2023, pour les quatre premières lignes.

La ligne d'index 4 'total\_ghg\_luc' correspond à la somme des valeurs de la colonne 'total\_ghg' pour la même période. L'index 5, 'total\_ghg', correspond à la somme des valeurs de 'total\_ghg\_excluding\_lucf', pour garder une nomenclature cohérente avec les colonnes 'co2' et 'co2\_including\_luc' (ici renommé en 'CO2\_luc').

Les deux dernières lignes correspondent aux formules suivantes :

$$\begin{aligned} \text{other\_ghg\_including\_luc} &= \text{total\_ghg\_luc} - \text{CO2\_luc} - \text{methane} - \text{nitrous\_oxide} \\ \text{other\_ghg} &= \text{total\_ghg} - \text{CO2} - \text{methane} - \text{nitrous\_oxide} \end{aligned}$$

Le tout est exprimé en million de tonnes.

On constate une très grande différence, alors que ces valeurs devraient être positives. En effet, les colonnes liées à “total\_ghg” sont supposées contenir non seulement les trois gaz principaux, mais également d’autres GES aux proportions plus petites et qui ne sont pas présentées dans le jeu de données.

Une explication probable se trouve au niveau des sources des données. Les colonnes relatives à “total\_ghg” trouvent leurs sources du rapport “Jones et al. - National contributions to climate change (2024)”, tandis que les autres données d’émissions proviennent du Global Carbon Budget (2024).

Il est probable que ces deux sources n’utilisent pas les mêmes méthodologies pour récupérer les données.

Nous ne pourrons donc malheureusement pas comparer ces données entre elles.

# Conclusion de la première étape

Le fichier csv owid-co2-data offre une mine d'informations pour comprendre le principal facteur du réchauffement climatique, à savoir les émissions de gaz à effet de serre.

De par son volume de données, il est complexe et long à analyser. Constraint par le temps, j'ai dû cibler ce que je voulais exactement faire ressortir de ce jeu de données.

J'ai donc décidé de me focaliser dans un premier temps sur les données à l'échelle mondiale, pour observer les émissions de gaz dans le monde entier et constater leur impact sur les changements de température.

Nous avons pu ainsi remarquer la croissance exponentielle des émissions de CO2 depuis ces deux derniers siècle, ainsi que la terrifiante augmentation des températures qui en est la conséquence directe. En outre, nous avons constaté également une augmentation des émissions de méthane et de protoxyde d'azote, au pouvoir réchauffant supérieur à celui du CO2, si bien que la part de CO2 sur l'impact climatique diminue par rapport aux deux autres malgré la hausse des émissions globales.

Dans la suite du projet, j'ai pu faire des analyses par zones géographiques, en finalisant le nettoyage de notre csv par continents, ce que nous verrons dans la deuxième partie de ce compte-rendu, qui concerne le travail effectué sur Power BI.

Ces données sur les émissions de gaz à effet de serre expliquent les augmentations des anomalies de température observées dans les travaux d'Arthur et de Yann au cours de ce projet. En outre, il est intéressant de croiser cela avec les données liées à la consommation et production d'énergie, sur lesquelles a travaillé Solen, afin de constater en quoi tout cela est étroitement lié.

Dans la deuxième partie de ce compte-rendu, je vais présenter mon travail sur l'outil Power BI, toujours relatif à l'étude des émissions de gaz à effet de serre.

# Rapport de visualisation avancée des données

Au cours de la première étape, nous avons récupéré, exploré, et nettoyé les jeux de données, puis nous avons créé des premières visualisations des données via les librairies Python.

Pour cette deuxième partie, nous nous focaliserons sur la visualisation et l'interprétation des données, en suivant un rapport Power BI que vous pouvez télécharger ici:

[https://drive.google.com/file/d/1dJY\\_mW34FTe468BIDAxtn80WdmDttSS/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1dJY_mW34FTe468BIDAxtn80WdmDttSS/view?usp=drive_link)

Ici, nous allons toujours rester focalisé sur les données d'émissions de gaz à effet de serre, à l'échelle du monde et des continents.

Dans un premier temps, nous verrons la préparation du rapport Power BI (import des données, transformations...).

Ensuite, nous parcourrons les différentes slides du rapport Power BI, en fournissant pour chaque slide, une explication générale de la slide, tout en suivant une narration.

Enfin, nous conclurons quant à nos interprétations des visualisations.

# Préparation du Power BI

## Import des données

La première étape fut d'importer les fichiers CSV créés à la suite du nettoyage expliqué dans le premier rapport.

J'ai choisi de continuer de me focaliser sur l'échelle mondiale et l'échelle continentale.

Après le nettoyage de la première partie, nous avions les fichiers CSV suivants :

- **owid\_co2\_world** : émissions de CO2 de 1750 à 2023 (avec également des infos sur population, PIB, et émissions de CO2 causées par l'exploitation du charbon (coal\_co2) qui est l'unique source pour laquelle nous avons des données avant 1850).
- **owid\_ghg\_world** : émissions de 3 principaux gaz à effet de serre (CO2, méthane, protoxyde d'azote), détail des sources d'émissions de CO2, changements de température associés aux émissions des 3 gaz à effet de serre précités. Possède également les colonnes population et PIB. Période étudiée de 1850 à 2023.  
**Remarque** : tout ce qui est dans owid\_co2\_world à partir de 1850 est également dans owid\_ghg\_world ; le premier ne sert qu'à avoir une plage de temps plus étendue remontant jusqu'à 1750 mais pour des données beaucoup moins détaillées.
- **owid\_co2\_per\_energy\_world** : émissions de CO2 liées à la consommation d'énergie primaire, de 1965 à 2023
- **owid\_co2\_continents\_1880** : équivalent de owid\_ghg\_world, mais par continent, pour la période 1880-2023 (nous n'avions pas suffisamment de données de 1850 à 1880 pour tous les continents).
- **owid\_co2\_continents\_1990** : en plus de contenir toutes les données de owid\_co2\_continents\_1880 sur la période 1990-2023, contient également des données d'émissions relatives à la consommation des continents, et la part d'émissions de CO2 représentée par les échanges commerciaux (colonnes *trade\_co2*, *consumption\_co2*, expliquées dans le premier rapport). Ces données sur les échanges et la consommation n'existent pas avant 1990.
- **owid\_co2\_per\_energy\_continents** : identique à owid\_co2\_per\_energy\_world mais par continents, sur la même période 1965-2023.

Il y a plusieurs remarques à faire sur ces fichiers.

Certains contiennent des données en doublons (par exemple, les colonnes population et pib sont dans plusieurs CSV, on retrouve aussi d'autres colonnes identiques sur les émissions de CO2 à différentes périodes). Les périodes sont également différentes selon les fichiers. Nous devons donc faire un choix sur la période à étudier, sur les fichiers à importer, puis faire un nettoyage dans Power Query pour éviter les doublons de colonnes tout en liant les tables entre elles.

Nous ne possédons pas d'informations sur le PIB pour les continents.

## Choix de la période étudiée

En anticipation du rendu global du projet, j'ai choisi de n'étudier que la période de 1880 à 2023. En effet, nous n'avons des détails sur les émissions de gaz à effet de serre qu'à partir de 1850 voire 1880 pour certains continents. En outre, les données d'anomalies de température LOTI fournies par la NASA et étudiées par un autre membre du groupe ne commencent qu'à partir de 1880. Enfin, c'est aussi autour de cette période qu'il y a eu un bond de l'ère industrielle, mais les émissions de gaz à effet de serre ont commencé à exploser réellement autour des années 1940-1950 comme nous avons pu le voir dans notre rapport précédent. Par conséquent, il ne me semble pas nécessaire de remonter jusqu'à 1750 pour étudier l'impact des émissions de gaz sur le réchauffement climatique, la période 1880-2023 est suffisante et bien parlante. Notons également que l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre entre 1750 et 1880 est négligeable par rapport à la période 1950-2023 (nous avons pu le constater grâce aux graphiques du précédent rapport).

Nous étudierons donc dans ce rapport Power BI la période **1880-2023**.

## Choix des CSV

La période de temps étant choisie, l'on se rend compte que le fichier `owid_co2_world` qui contient les données d'émissions de co2 uniquement (et sans le détail des sources) à partir de 1750 ne nous sert à rien. En effet, le fichier `owid_ghg_world` contient les mêmes données à partir de 1850.

J'ai donc importé dans Power BI tous les autres CSV listés plus tôt. Nous avons une requête par CSV, renommées de la sorte :

- `owid_ghg_world` → GES - 1850 - world
- `owid_co2_per_energy_world` → co2 et energie - 1965 - world
- `owid_co2_continents_1880` → GES - 1880 - continents
- `owid_co2_per_energy_continents` → co2 et energie - 1966 - continents
- `owid_co2_continents_1990` → co2 par conso intérieures - 1990 - continents

# Nettoyage dans Power Query

La première étape fut de renommer les colonnes pour avoir des noms plus explicites en français.

Voici des exemples :

The screenshot shows the Power Query Editor interface. At the top, there is a formula bar with the text: `= Table.RenameColumns(#"Removed Columns", {"total incluant UTCATF", "1.2 co2 sans UTCATF", "1.2 cumul co2 sans UTCATF", "1.2 co2 incluant UTCATF par unité d'énergie (kg/kWh)", "1.2 conso. énergie primaire (TWh)"})`. Below the formula bar, there is a list of columns with their new names: "année", "1.2 co2 sans UTCATF", "1.2 cumul co2 sans UTCATF", "1.2 co2 incluant UTCATF par unité d'énergie (kg/kWh)", and "1.2 conso. énergie primaire (TWh)". The last two columns are highlighted with a blue background.

J'ai également dû changer les types de certaines colonnes, notamment la plupart des colonnes numériques décimales en utilisant la locale “en-US” (puisque les nombres sont au format 1.2 mais qu'en français, il ne comprend pas le . et attend un format 1,2).

## Suppression des colonnes en doublons

Certaines colonnes comme “année”, “population” ou “continent” sont en doublon parmi toutes les requêtes.

L'objectif est de supprimer les colonnes en doublons pour réduire le volume de données, et essayer de suivre le schéma en étoile de la modélisation avec table de faits et table de dimensions.

Nous n'avons quasiment que des tables de faits, puisque nos CSV sont des observations, des évènements, pour une année et une zone.

Toutefois, nous pouvons considérer que les colonnes en doublons qui servent à décrire des choses peuvent être considérées comme des tables de dimensions.

Ainsi, j'ai décidé de créer deux nouvelles tables : **world** et **continents**.

La table **world** ne contient que trois colonnes : année (qui servira d'identifiant pour lier les données avec les autres tables), population mondiale et PIB.

La table **continent** contient quatre colonnes : année, continent, population par continent, et ID.

La colonne ID est une colonne créée par concaténation de la colonne année et de la colonne continent. Cela nous permet d'avoir un identifiant unique par ligne qui nous permettra de lier toutes nos tables liées à un continent.

A <sup>B</sup> <sub>C</sub> ID	1 <sup>2</sup> <sub>3</sub> année	A <sup>B</sup> <sub>C</sub> continent
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valid 100 %</li> <li>● Error 0 %</li> <li>● Empty 0 %</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valid 100 %</li> <li>● Error 0 %</li> <li>● Empty 0 %</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Valid 100 %</li> <li>● Error 0 %</li> <li>● Empty 0 %</li> </ul> 
864 distinct, 864 unique	144 distinct, 0 unique	6 distinct, 0 unique
1880-Africa	1880	Africa
1881-Africa	1881	Africa
1882-Africa	1882	Africa
1883-Africa	1883	Africa
1884-Africa	1884	Africa
1885-Africa	1885	Africa

J'ai alors supprimé les colonnes année, population, et PIB (quand elle existait) sur les autres requêtes.

Sur toutes les requêtes liées aux continents, j'ai créé la colonne ID concaténant année et continent.

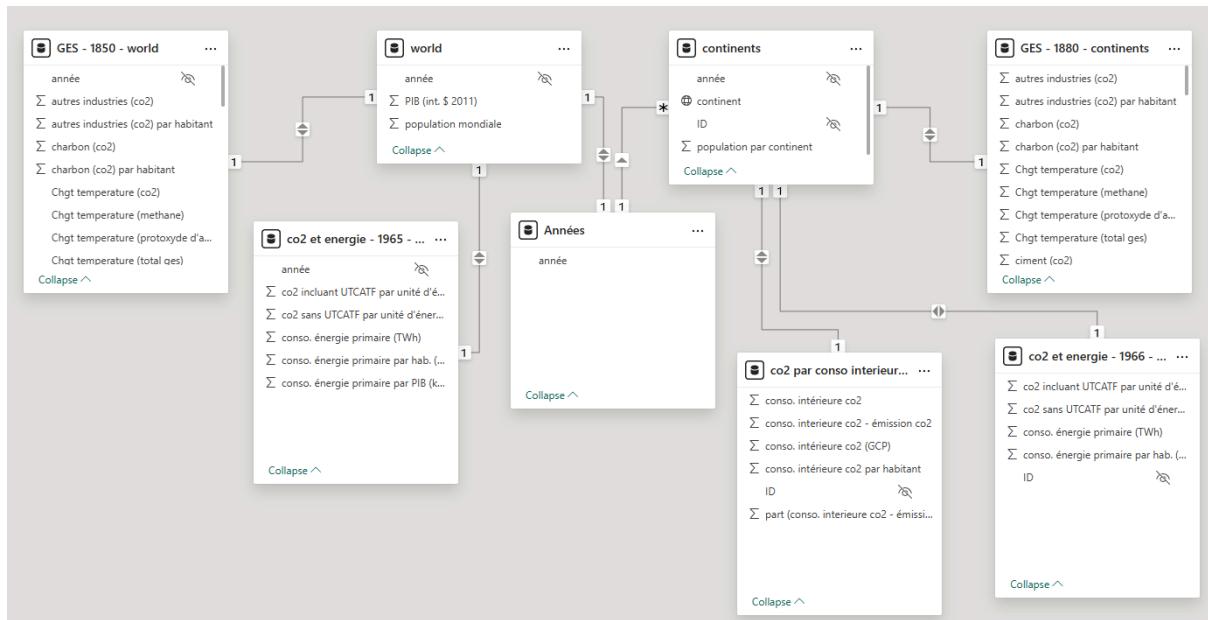
Ensuite, sur la requête "co2 par conso intérieures - 1990 - continents", j'ai supprimé toutes les colonnes à l'exception de celles liées à trade\_co2 et consumption\_co2, en appliquant les renommages suivants :

- consumption\_co2 → conso. intérieure co2
- trade\_co2 → conso. interieure co2 - émission co2

Pour les requêtes liées à l'énergie, j'ai également supprimé toutes les colonnes qui n'étaient pas directement liées à l'énergie (telles que émissions de co2 globales). Je n'ai gardé que les colonnes de consommation d'énergie primaire et d'émissions de co2 (avec et sans UTCATF) par unité d'énergie.

# Modélisation et relations entre les tables

Voici le schéma obtenu suite à la modélisation :



J'ai créé une table Années allant de 1880 à 2023. Elle fait un peu office de table Calendar (puisque nous n'avons aucune information allant plus dans le détail que l'année, il n'était pas nécessaire de faire un véritable calendrier).

```
Années = GENERATESERIES(1880, 2023, 1)
```

Notre jeu de données ne se prête pas vraiment au schéma en étoile avec une table de faits entourée de tables de dimensions. Mais j'ai tenté de faire quelque chose qui s'en rapproche. Nous avons 2 parties bien distinctes : les données à l'échelle mondiale, et les données par continents.

Ces deux parties sont liées ensemble par l'année.

La partie liée au monde possède 3 tables :

- **world** : contient les informations générales : année, PIB et population mondiale
- **GES - 1850 - world** : contient les détails des émissions de GES de 1850 à 2023 dans le monde (même si nous ne visualiserons les données qu'à partir de 1880).
- **co2 et énergie - 1965 - world** : contient les données de consommation d'énergie primaire et émissions de co2 par unité d'énergie, de 1965 à 2023.

La partie liée aux continents est composée de 4 tables, liées par un ID concaténant l'année et le continent.

- **continents** : informations générales (année, continent, population)
- **GES - 1880 - continents** : détail des émissions de GES par continents de 1880 à 2023
- **co2 et énergie - 1966 - continent** : données de consommation d'énergie primaire et émissions de co2 par unité d'énergie, pour chaque continent, de 1966 à 2023.

- co2 par conso intérieures - 1990 : données sur les émissions de co2 liées à la consommation interne des continents ainsi que les différences avec les émissions globales du continent.

J'aurais pu regrouper toutes ces données en deux tables uniques : une table world contenant toutes les données du monde, et une table continents contenant toutes les données par continents.

Mais nous aurions eu des valeurs manquantes (que nous aurions remplacé par des 0) sur la majeure partie des colonnes liées à l'énergie et aux consommations internes. C'est pourquoi cela ne m'a pas semblé intéressant. J'ai plutôt préféré ce découpage, à la fois par périodes de temps mais surtout par types de données, chaque table permettant d'étudier des choses différentes.

## Création de Mesures

Afin de respecter les bonnes pratiques, un certain nombre de mesures ont été créées. Toutefois, la plupart de ces mesures ne sont que des calculs simples (SUM, MAX ou AVG) de données que nous possédions déjà. Je ne l'ai fait que pour les données que je voulais afficher dans les graphiques.

En effet, notre jeu de données est déjà très détaillé, avec des colonnes contenant les cumuls d'une année sur l'autre, ou la croissance des émissions d'une année sur l'autre. Créer une mesure pour chacune de ces données m'aurait pris trop de temps si la mesure n'est finalement pas utilisée.

J'ai tout de même créé les mesures d'émissions de gaz à effet de serre par PIB puisque ces données n'existaient pas. Pour cela, j'ai appliqué le calcul suivant :

$$\text{Emissions par PIB} = \text{Emissions de gaz} / \text{PIB} * 1\,000\,000\,000$$

Exemple :

```
Total GES mondial par PIB = 1000000000 * DIVIDE(
    SUM('GES - 1850 - world'[total GES incluant UTCATF (world)]),
    SUM('world'[PIB (int. $ 2011)])
)
```

Elles s'expriment en kg d'émissions (équivalent CO2) par \$ international 2011.

J'ai également créé des mesures liées aux changements de température.

- somme des changements de température pour l'année max (ou min) d'une période :

```
Sum Chgt Temp Année MAX =
CALCULATE(
    SUM('GES - 1880 - continents'[Chgt temperature (total ges)]),
    continents[année] = MAX('Années'[année])
)
```

- différence de changements de température entre l'année max et l'année min :

```
Diff Sum Chgt Temp = [Sum Chgt Temp Année MAX] - [Sum Chgt Temp Année MIN]
```

# Exploration du rapport Power BI

## Accueil et sommaire du rapport Power BI

**Etude sur les émissions de gaz à effet de serre et leurs effets sur le réchauffement climatique**

L'objectif de ce rapport est de visualiser l'évolution des **émissions de gaz à effet de serre** à l'échelle mondiale et par continents, et leur impact sur le **réchauffement climatique**.

**Définitions :**

**GES : Gaz à Effet de Serre** ; acronyme utilisé ici pour parler de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique observées : *dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>) et protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)*

**UTCATF : Utilisation des terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie.** Utilisé pour parler des émissions (et absorption) de CO<sub>2</sub> liées à l'agriculture, à la déforestation / reforestation et aux zones humides. Ces données sont plus difficiles à mesurer que les émissions industrielles et donc moins fiables, raison pour laquelle elles sont souvent séparées des émissions industrielles. En outre, ces émissions peuvent être négatives lorsque l'absorption de CO<sub>2</sub> naturelle (par les arbres) est plus élevée que l'émission de CO<sub>2</sub> relative à ce domaine. **CO<sub>2</sub> via UTCATF** signifie donc "*émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'UTCATF*". **CO<sub>2</sub> industriel** ou **GES industriel** signifie *sans UTCATF*.

**Sommaire :**  
(ctrl + click sur un bouton ci-dessous pour accéder à la slide correspondante)

Analyse Mondiale	Analyse Continentale
Comment évoluent les émissions de GES, au regard de la population et du PIB, à l'échelle mondiale ?	Quels continents produisent le plus de GES ?
Quelle est la contribution des gaz à effet de serre au réchauffement climatique ?	Comment évoluent les émissions de GES en fonction de la population pour chaque continent ?
Quelles sont les répartitions des sources d'émissions de CO <sub>2</sub> ?	Quelles sont les sources d'émissions de CO <sub>2</sub> par continent ?
Quel lien existe-t-il entre la consommation d'énergie et les émissions de CO <sub>2</sub> ?	Quelles sont les contributions des continents au réchauffement climatique ?
Contrôlez sur chaque slide la période à analyser grâce au slider chronologique ci-dessous :	A qui attribuer la responsabilité des émissions de CO <sub>2</sub> ?

Contrôlez sur chaque slide la période à analyser grâce au slider chronologique ci-dessous :

année  
2000 2023

Ceci est la page d'accueil du rapport Power BI. Son rôle est de présenter brièvement l'objectif du rapport, à savoir : *visualiser l'évolution des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale et par continents, et leur impact sur le réchauffement climatique*.

Je propose ici deux définitions qui seront utiles à la compréhension des prochains slides :

- **GES, pour Gaz à Effet de Serre**, qui me permet également de donner le nom français littéral des trois principaux gaz étudiés ainsi que leur formule chimique :
  - Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>)
  - Méthane (CH<sub>4</sub>)
  - Protoxyde d'Azote, aussi appelé Oxyde Nitreux, (N<sub>2</sub>O)
- **UTCATF : Utilisation des terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie.** Cette notion est importante dans l'étude des émissions de CO<sub>2</sub>, comme expliquées dans la définition présentée dans le rapport. C'est un terme qui ne parle pas forcément à tout le monde, d'où l'intérêt de le définir ici. J'en profite pour préciser que dans la suite du rapport, toutes les mentions de *CO<sub>2</sub> industriel* ou de *GES industriel* signifient qu'il s'agit d'émissions *sans tenir compte de l'UTCATF*, tandis que les émissions totales incluent l'UTCATF.

Nous avons ensuite un sommaire présentant les huit slides de visualisations : quatre relatives à une analyse mondiale, et quatre relatives à une analyse par continents.

Enfin, le slider chronologique situé en bas, que l'on retrouvera sur la plupart des slides, permet de zoomer sur une période de notre choix en choisissant la date de départ et la date de fin de l'analyse, entre 1880 et 2023.

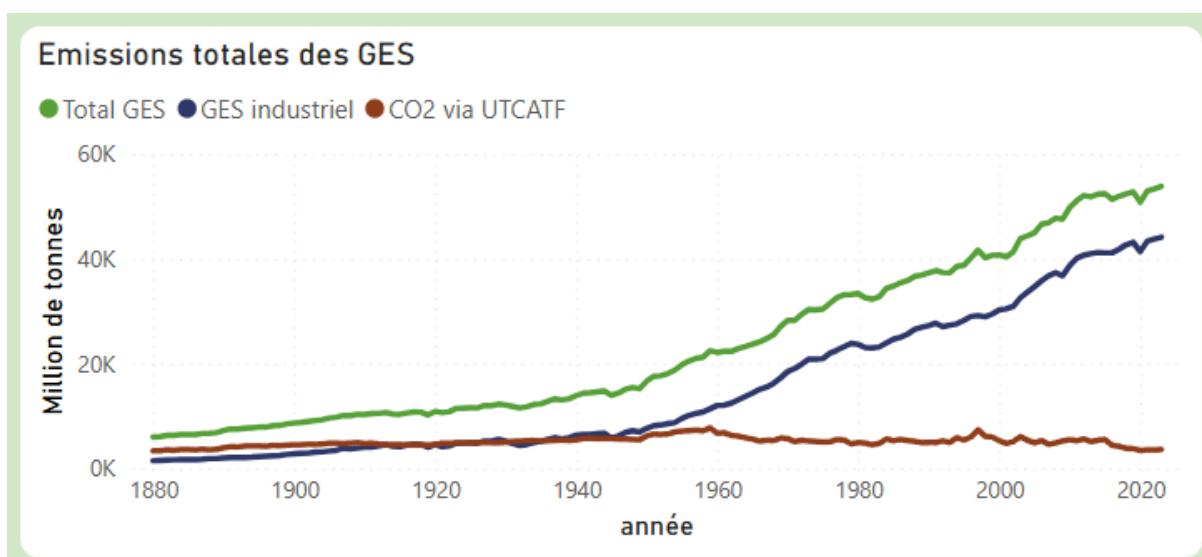
Pour ce compte-rendu, nous allons dérouler les slides dans l'ordre du Power BI.

## Comment évoluent les émissions de Gaz à Effet de Serre, au regard de la population et du PIB, à l'échelle mondiale ?

Pour cette première analyse, nous allons regarder l'évolution d'informations générales à l'échelle du monde.

Cette slide est composée de 4 graphiques de courbes, que nous allons détailler ci-dessous.

### Emissions totales des Gaz à Effet de Serre



Ce premier graphique justifie les définitions de GES et de UTCATF vues ci-dessus.

Comme l'indique son nom, il présente l'évolution des émissions des gaz à effet de serre au cours du temps. Sur la capture d'écran, la période étudiée est de 1880 à 2023, mais dans le Power BI, nous pouvons zoomer sur n'importe quelle période grâce au slider chronologique situé en bas. Cela étant valable pour toutes les visualisations et tous les slides, cette information ne sera plus répétée dans le compte-rendu.

Nous avons trois courbes, qui représentent toutes des quantités d'émissions en million de tonnes (équivalent CO2).

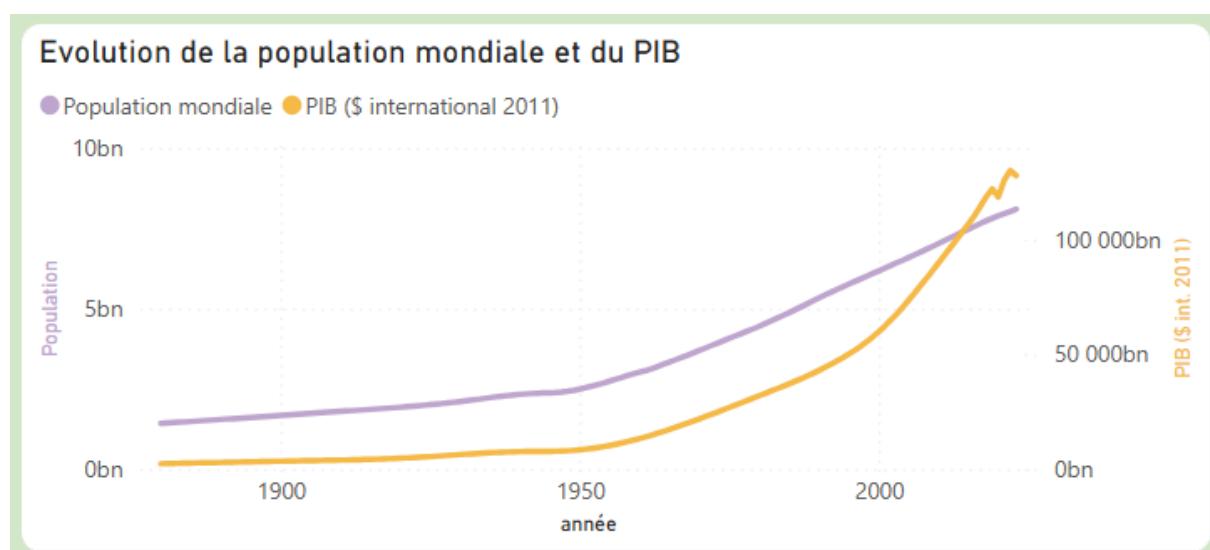
- Total GES, la courbe verte, représente les émissions totales (CO2, CH4, N2O), incluant les émissions de CO2 issues de l'UTCATF. Cette courbe n'est pas tout-à-fait la somme des deux autres courbes. (D'une part, parce qu'il existe d'autres gaz à effet de serre qui ne sont pas étudiés ici tels que les gaz fluorés, par manque de données ; d'autre part, parce que les données Total GES / GES industriels n'ont pas

les mêmes sources que les données de CO<sub>2</sub> via UTCATF, les méthodologies peuvent changer, amenant à des résultats différents.)

- GES industriel : émissions des gaz causés par l'exploitation industrielle (qui représente la grande majorité des émissions depuis les années 50). Par industrie, on entend toute activité humaine non naturelle émettant des gaz à effet de serre, souvent par combustion pour fournir de l'énergie. Cela peut provenir du charbon, du pétrole, etc...
- CO<sub>2</sub> via UTCATF : émission de CO<sub>2</sub> causée par UTCATF (on estime que les émissions des autres gaz dans ce domaine sont négligeables). Lorsque l'on brûle ou coupe des arbres, par exemple, le CO<sub>2</sub> qui y était contenu est relâché, et on réduit les capacités d'absorption naturelles du CO<sub>2</sub> par les arbres (déforestation).

L'on remarque que l'émission de CO<sub>2</sub> liée à l'UTCATF est relativement stable au cours du temps. En revanche, les émissions de gaz industriels explosent à partir des années 1950.

## Evolution de la population mondiale et du PIB



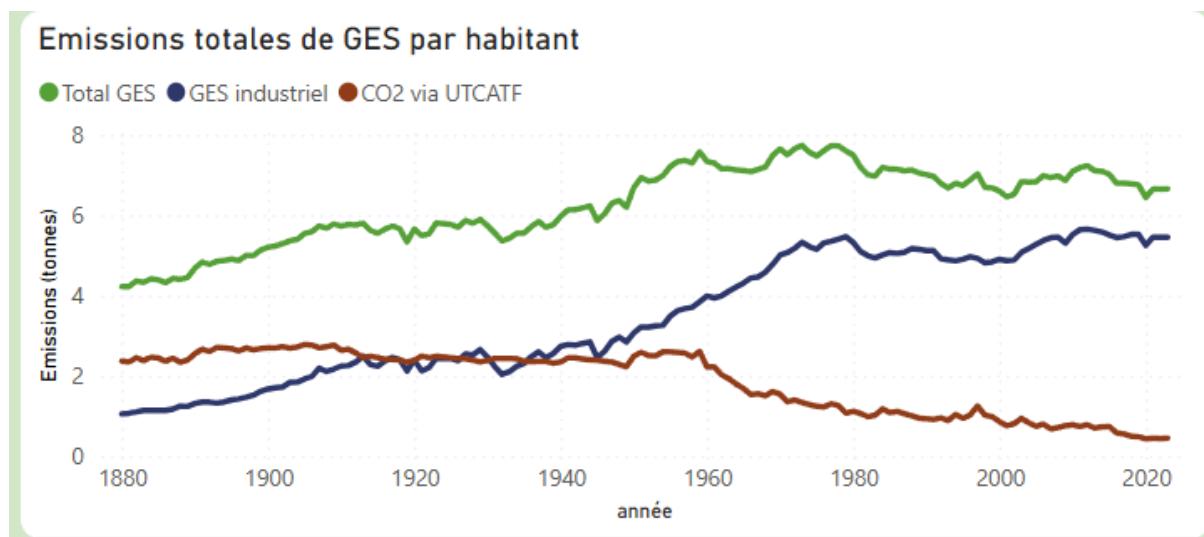
Ce graphique nous montre la croissance de la population mondiale et du PIB (en \$ international 2011).

Il est intéressant de constater que ces courbes suivent une trajectoire semblable à celle des émissions de gaz industriels, avec un boom à partir des années 1950. Le PIB, c'est-à-dire ici la somme des richesses des pays, augmente plus vite que la population.

En effet, une augmentation de la population est également une augmentation de la force de travail, c'est-à-dire de la capacité à produire des richesses. Et cette croissance de la production de richesses se fait par une demande plus élevée en énergie, et donc en une plus forte exploitation de combustibles provoquant des émissions de gaz à effet de serre.

Maintenant que nous avons, d'une part, l'évolution des émissions de GES, et d'autre part, l'évolution de la population et du PIB, il est intéressant de regarder l'évolution des émissions de GES par habitant et par PIB, ce qui est l'objectif des deux prochaines visualisations.

## Émissions totales de GES par habitant



Ce graphique reprend donc les trois courbes du premier graphique avec les mêmes couleurs : émissions totales de GES, émissions de GES industriels, et CO2 par UTCATF. Mais cette fois-ci, ces émissions sont divisées par la population mondiale, et exprimées en tonnes.

Il y a plusieurs choses intéressantes à constater.

Tout d'abord, on remarque que ces courbes ne suivent pas du tout les mêmes tendances que les courbes précédentes. Et c'est assez logique : les émissions de GES (totales et industrielles) ainsi que la population suivent une trajectoire identique, par conséquent, le rapport des premières par la dernière résulte en des courbes plutôt stables.

Là où nous avions deux phases sur les précédentes visualisations (une phase de croissance lente avant 1950 puis une phase de forte croissance après 1950), sur ces trois nouvelles courbes, nous pouvons distinguer quatre phases.

Les périodes des phases données ci-dessous sont à titre indicatif, qu'à quelques années près (2 ou 3 ans).

### Première phase : 1880 à 1914

Dans cette première phase, les émissions de CO2 par UTCATF par habitant sont relativement stables (2.37t à 2.49t), avec une hausse à 2.6-2.8t de 1890 à 1910.

En revanche, les émissions de GES industrielles connaissent déjà une hausse passant de 1.05 à 2.28 tonnes par habitant.

Logiquement, la courbe représentant le total des GES suit la tendance des deux autres courbes cumulées.

### **Deuxième phrase : 1914-1950**

Cette période est caractérisée par deux guerres mondiales (1914-1918 ; 1939-1945) et donc une grande instabilité politique et économique.

On constate ici une stabilisation de toutes les émissions, avec une très légère baisse des émissions de CO<sub>2</sub> par UTCATF, et une légère hausse des émissions industrielles.

C'est durant cette période que les émissions de gaz industriels dépassent celles issues de l'UTCATF.

### **Troisième phase : 1950-1978**

On remarque ici une très forte hausse des émissions de gaz industriels, passant d'environ 3 à plus de 5 tonnes par habitant (presque 5.5t en 1980).

De façon presque symétrique, les émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'UTCATF sont en baisse à partir de 1960, passant d'environ 2.5 à 1.25 tonnes par habitant, soit une division par deux.

Les émissions totales suivent une hausse jusqu'en 1960 (lorsque les émissions de CO<sub>2</sub> ne diminuent pas encore), puis se stabilisent grâce aux diminutions des émissions d'UTCATF qui compensent les augmentations des émissions industrielles.

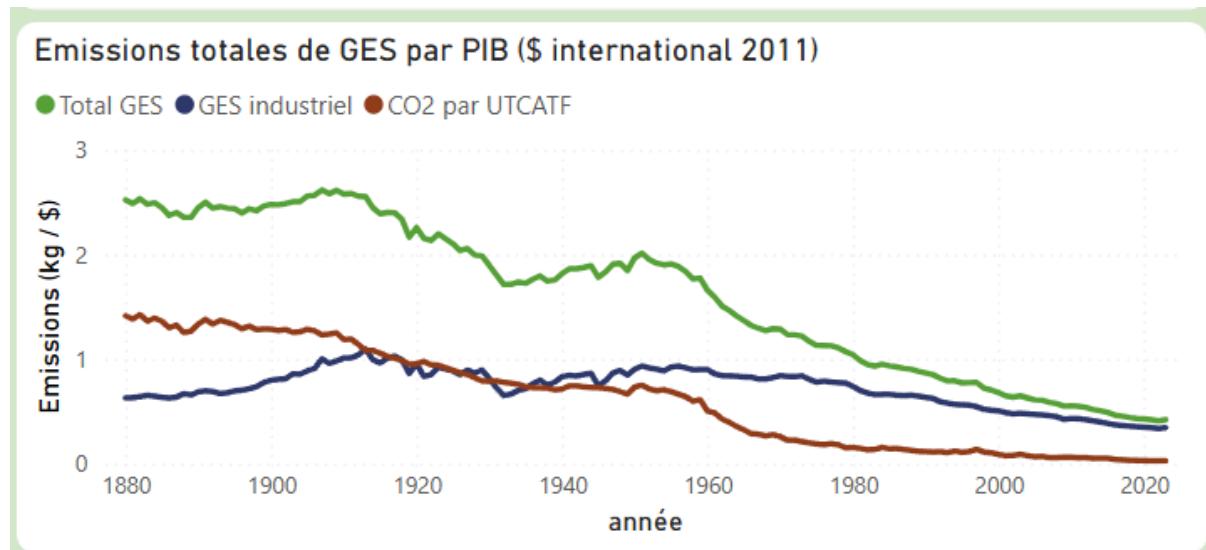
### **Quatrième phase : 1978-2023**

Enfin, sur la dernière phase, nous constatons une stabilisation des émissions industrielles par habitant, avec une légère diminution des émissions globales, et les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant issues d'UTCATF qui continuent de diminuer.

Etant donné que les émissions d'UTCATF mondiales sont restées stables, et que la population a grandement augmenté à partir de 1950, il est logique que ces dernières, rapportées aux habitants, aient diminué.

Cette stabilisation depuis le début des années 80 semble indiquer que la consommation moyenne d'un habitant de la planète Terre émet approximativement la même quantité de gaz à effet de serre.

## Emissions des GES par PIB



Ce dernier graphique de notre première slide nous montre l'évolution des émissions de gaz à effet de serre rapportées au PIB.

Nous pouvons, là-aussi, distinguer plusieurs phases.

### Première phase : 1880-1913

Cette première phase coïncide avec celle du précédent graphique dans le sens où elle s'étale sur la même période.

Il est intéressant de constater que les émissions de GES industriels suivent la même tendance, rapportées au PIB, que lorsqu'on les rapporte à la population.

En revanche, les émissions de CO2 d'UTCATF par PIB suivent une trajectoire symétriquement opposée, connaissant une légère baisse.

Au final, ces deux courbes se compensent, et la courbe des émissions totales de GES par PIB est donc plutôt stable sur cette période d'avant-guerre.

### Deuxième phase : 1913-1932

Cette fois, cette deuxième phase ne suit pas la même période que la deuxième phase du graphique précédent, puisqu'elle s'étend jusqu'en 1932 et non 1950.

On constate une grande réduction des émissions de GES par PIB sur cette période, ce qui est assez surprenant. Cela signifie que durant cette période, le PIB a une croissance plus élevée que les émissions totales de GES, puisque la conséquence du rapport du deuxième sur le premier résulte en une décroissance.

### **Troisième phase : 1932-1951**

Durant cette troisième phase, qui correspond finalement à la deuxième moitié de notre deuxième phase du graphique précédent, l'on constate une stabilisation avec une très légère hausse des émissions de GES par PIB. Les émissions de CO2 UTCATF par PIB continuent de descendre, mais les émissions industrielles par PIB ont une très légère hausse.

### **Quatrième phase : 1951 - 2023**

La dernière phase peut être en réalité décomposée en deux sous-phases.

D'abord, nous constatons une diminution rapide des émissions totales de GES par PIB jusqu'en 1975 environ, principalement marquée par une réduction des émissions de CO2 via UTCATF par PIB tandis que les émissions industrielles sont stables.

Ensuite, nous voyons une diminution plus faible des émissions (totales, industrielles et CO2 UTCATF) jusqu'à nos jours.

Cela indique que, pour un même taux de richesse, nous avons besoin d'émettre moins de gaz à effet de serre. Cela est probablement dû au fait que nous utilisons de plus en plus d'énergie propre.

### **Conclusion du premier slide**

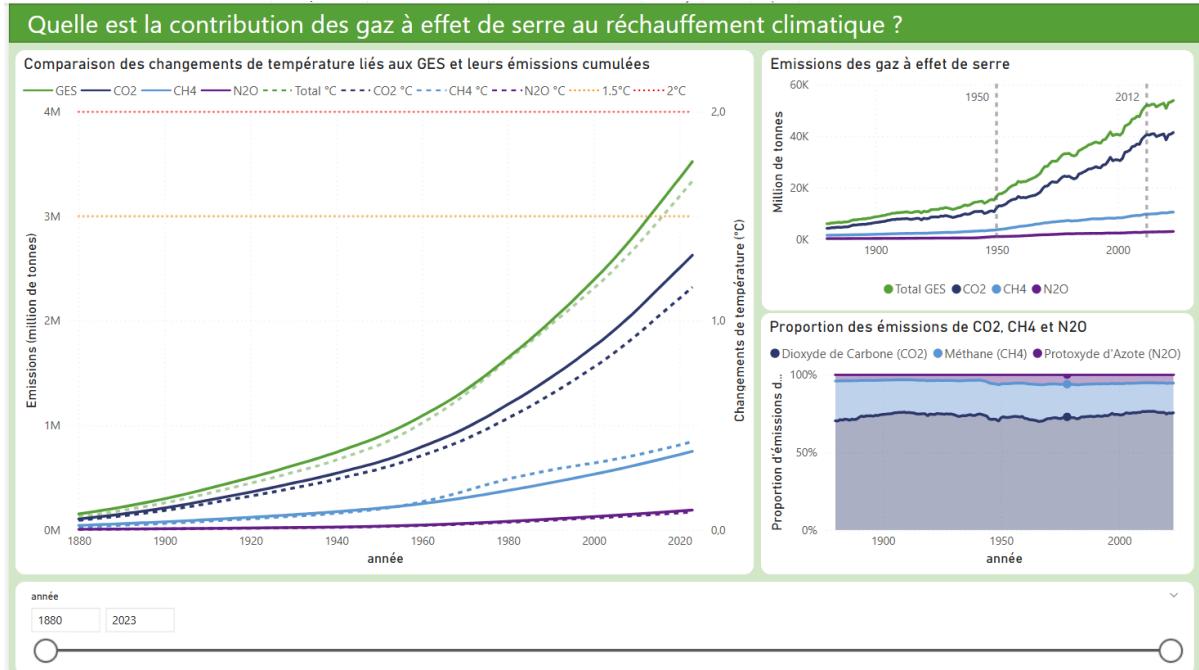
Ce premier slide qui nous offre une analyse globale de nos données nous permet de faire des observations très intéressantes, et pas forcément intuitives de prime abord.

En effet, le fait que la production de richesses nécessite moins d'émissions de GES n'est pas forcément une conclusion à laquelle nous pourrions nous attendre de prime abord.

Cela nous montre aussi l'importance d'avoir des graphiques clairs et impartiaux, et la facilité avec laquelle nous pourrions manipuler des données pour arriver aux conclusions voulues. En effet, si nous ne présentions que le graphique d'évolution du PIB et le graphique des émissions selon le PIB, nous pourrions tout-à-fait en arriver à la conclusion : "les émissions de GES sont en diminution, donc il n'y a aucun problème". Ce que dément le premier graphique qui montre toujours une forte augmentation des émissions de GES lorsqu'on ne les rapporte pas au PIB.

Après cette analyse globale des émissions de gaz à effet de serre, nous allons observer la proportion des trois principaux gaz à effet de serre étudiés.

# Quelles sont les proportions des trois principaux gaz à effet de serre étudiés, et leurs effets sur la température mondiale ?

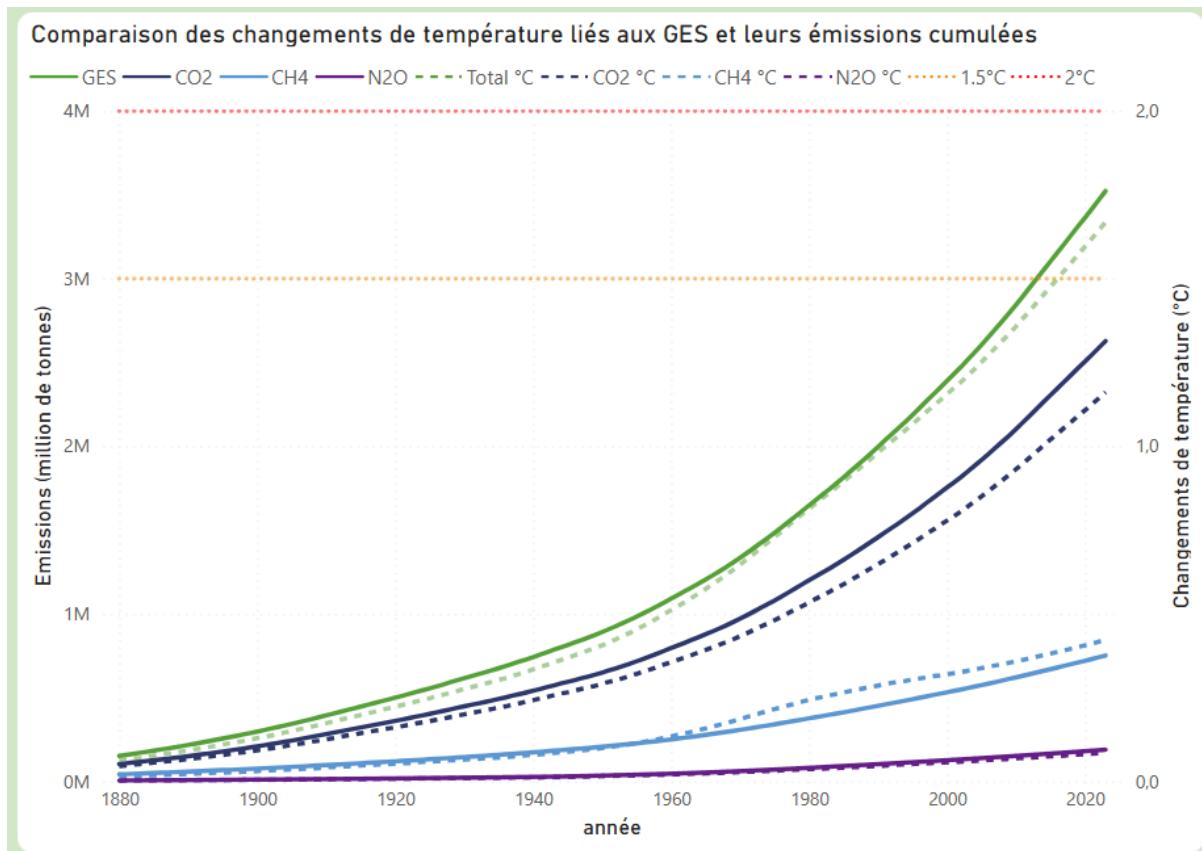


Les trois principaux gaz à effet de serre anthropiques, c'est-à-dire liés aux activités humaines, sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Il y a également les gaz fluorés, pour lesquels nous n'avons pas de données ici, et qui représentent une proportion moindre.

L'objectif de cette slide est de présenter les proportions des trois premiers gaz à effet de serre, et de voir leurs effets sur l'augmentation de la température.

En ce qui concerne le **méthane** et le **protoxyde d'azote**, les données sont exprimées en **équivalent CO<sub>2</sub>** (elles correspondent à un calcul de conversion qui permet de prendre en compte la puissance de réchauffement de ces deux gaz par rapport au CO<sub>2</sub> qui sert de référence). Le méthane a un pouvoir de réchauffement de 28 à 36 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub> sur une période de 100 ans mais est moins durable dans l'atmosphère (environ 12 ans, tandis que le CO<sub>2</sub> reste plusieurs siècles). Le protoxyde d'azote a un pouvoir de réchauffement d'environ 265 à 298 fois plus élevé que le CO<sub>2</sub> sur 100 ans, et peut rester dans l'atmosphère plus de 100 ans.

## Comparaison des changements de température liés aux GES et leurs émissions



Ce graphique présente deux évolutions distinctes au cours du temps : l'évolution des émissions des trois gaz à effet de serre cumulées (courbes continues), et les effets sur l'augmentation globale des températures de chacun de ces gaz (courbes en tiret). Des seuils de température (ligne droite en pointillés) ont également été placés.

### Evolution des émissions cumulées de gaz à effet de serre :

Les quatre courbes continues représentent, pour chaque année, le cumul de toutes les années précédentes des émissions de gaz à effet de serre.

- La courbe verte représente l'ensemble des gaz à effet de serre cumulés.
- La courbe bleue foncée représente le cumul des émissions de CO<sub>2</sub>.
- La courbe bleue claire représente le cumul des émissions de méthane.
- La courbe mauve représente le cumul des émissions de protoxyde d'azote.

Puisque les estimations de changements de température causés par les gaz sont calculés à partir d'une relation linéaire basée sur le cumul des émissions de ces gaz, il me semblait intéressant de mettre ces courbes en parallèle. Puisqu'il s'agit d'un cumul, elles ne font qu'augmenter : on prend en compte les émissions de toutes les années précédentes, elles ne peuvent donc pas décroître. En revanche, elles peuvent augmenter plus ou moins

rapidement en fonction de l'augmentation ou de la baisse des émissions d'une année sur l'autre.

Ainsi, on constate que le cumul des émissions de CO<sub>2</sub> augmente de façon exponentielle. Le cumul des émissions de méthane croît davantage après 1950, tout comme le cumul des émissions de protoxyde d'azote bien que ces dernières restent faibles en comparaison des deux autres.

### **Evolution des changements de température :**

De par le calcul mathématique issu d'une relation linéaire, il est logique que ces courbes en tirets suivent une trajectoire presque parallèle aux émissions de GES. Ces courbes ont les mêmes couleurs que les émissions utilisées pour l'estimation.

Ainsi :

- La courbe verte en tirets représente l'estimation des changements de température globaux moyens causés par l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre.
- La courbe bleue foncée représente les changements de température provoqués par émissions de CO<sub>2</sub>.
- La courbe bleue claire se rapporte au méthane.
- Et la courbe mauve en tirets se rapporte au protoxyde d'azote.

On peut remarquer que les courbes des changements de température sont bien plus proches des courbes d'émissions pour le méthane et le protoxyde d'azote que pour le CO<sub>2</sub>, ce qui peut s'expliquer par le pouvoir de réchauffement supérieur de ces deux derniers gaz sur une période de 100 ans. Ainsi, la courbe de température du méthane dépasse même la courbe des émissions de celui-ci, alors que la courbe des températures liées au CO<sub>2</sub> reste en-dessous de la courbe d'émissions de CO<sub>2</sub> tout en suivant une trajectoire parallèle.

A partir de 1960, la courbe de changement de température dû au méthane dépasse celle des émissions cumulées de celui-ci, ce qui peut s'expliquer par son pouvoir de réchauffement plus élevé que pour le CO<sub>2</sub>.

En revanche, on peut s'étonner que la courbe de changements de température dus aux émissions de N<sub>2</sub>O ne soit pas plus élevée compte tenu du pouvoir de réchauffement extrêmement plus fort du N<sub>2</sub>O par rapport aux deux autres. En effet, ces deux courbes liées au N<sub>2</sub>O sont quasiment superposées. Cela pourrait s'expliquer, d'une part, par le fait que le N<sub>2</sub>O est émis en quantité beaucoup moins grande, d'autre part par le fait que le pouvoir de réchauffement est calculé sur une période de 100 ans, et qu'il faudrait peut-être attendre plus de temps pour voir exploser les effets du N<sub>2</sub>O sur le réchauffement.

### **Seuils de +1.5°C et +2°C**

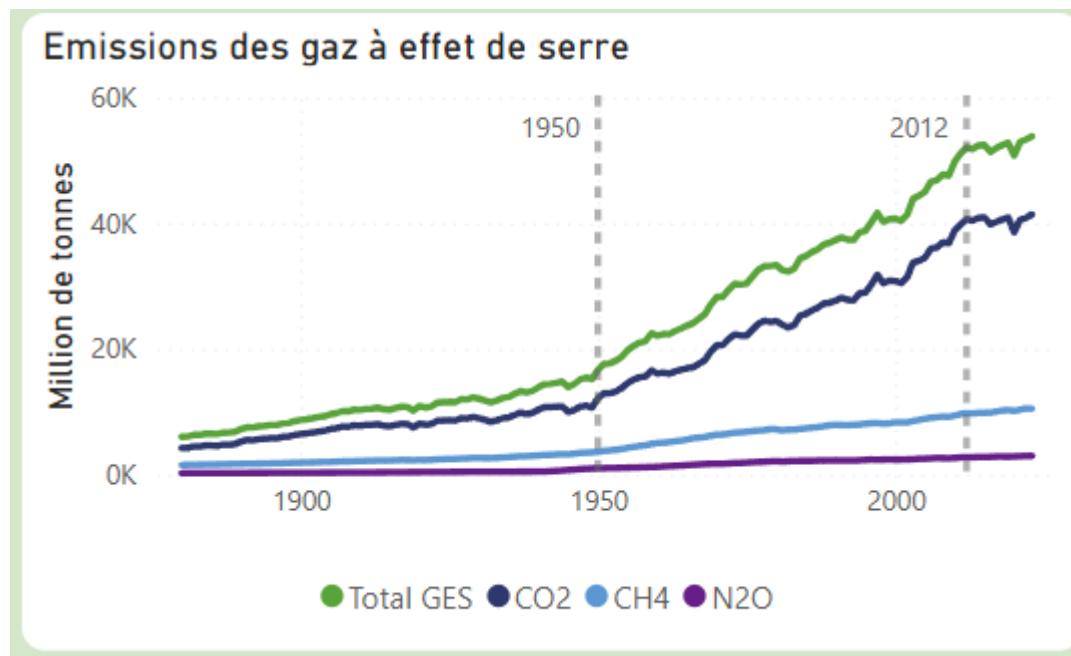
La ligne droite en pointillée orange représente le seuil de 1.5°C. Il s'agit d'un seuil d'augmentation de température par rapport à la période préindustrielle (moyenne des températures sur les années 1850-1900) utilisée par le GIEC et l'Accord de Paris de 2015 sur le climat. Les experts scientifiques estiment que le seuil de +1.5°C de hausse de température est associé à des impacts climatiques moins graves que ceux attendus à +2°C et est un objectif à ne pas dépasser d'après l'Accord de Paris. En effet, au-delà de 1.5°C, les

experts affirment que les risques de **boucles de rétroactions**, de **points de bascule** climatiques et de **conséquences graves sur les écosystèmes et les sociétés humaines** augmentent fortement.

J'ai également tracé le seuil de 2°C à ne surtout pas dépasser, en ligne pointillée rouge.

On remarque que le seuil de 1.5°C est dépassé par les changements de température globaux à partir de 2016. Toutefois, il faut nuancer cette observation, car l'on ne compare pas les mêmes choses. Les seuils de 1.5° et 2° ne devraient pas être dépassés sur une moyenne glissante d'une période de 10 ans et basées sur des observations réelles. Or, ce qui est calculé ici à propos des courbes de température, c'est une estimation mathématique sur ce qu'a provoqué l'humanité en termes de réchauffement, mais pas la température constatée. Cela ne veut donc pas dire que nous avons réellement dépassé ce seuil de 1.5°C en 2016. En revanche, il est certain que nous nous en approchons, et que la tendance des changements de température est à la hausse. Ainsi, si l'on continue sur cette trajectoire, nous atteindrons le seuil critique de +2°C d'ici quelques années.

## Evolution des émissions des gaz à effet de serre



Les quatre courbes représentent les émissions de GES.

Pour toutes ces courbes, nous observons deux phases : croissance modérée de 1880 à 1950, puis croissance très rapide après 1950, ce qui correspond à nos observations dans le slide précédent.

La courbe verte, la plus haute, représente les émissions totales de GES ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O} + \text{autres}$  dont nous n'avons pas le détail).

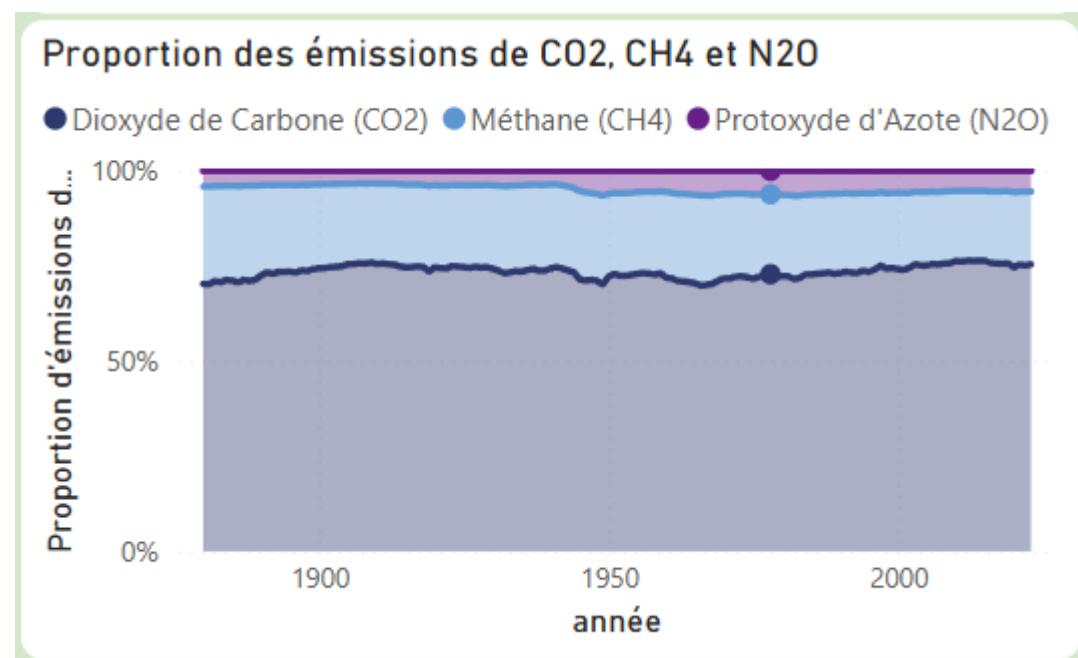
Cette courbe est identique à celle du premier graphique de la première slide puisqu'elle représente la même chose, mais il était intéressant de la remettre ici pour recontextualiser.

La courbe bleu foncé représente l'évolution des émissions de  $\text{CO}_2$ . On voit qu'elle suit de façon presque parallèle la courbe d'émissions totales, bien qu'elle ait tendance à s'éloigner légèrement de celle-ci au cours du temps. Cela signifie que l'augmentation des émissions de l'ensemble des GES est plus rapide que l'augmentation des émissions de  $\text{CO}_2$ . On constate toutefois une stabilisation des deux courbes à partir de 2012, avec un creux en 2020 qui correspond à la période du COVID et des confinements, et donc un ralentissement économique dans le monde entier.

En bleu clair, nous avons l'évolution des émissions de méthane. L'augmentation de ces émissions est plus modérée par rapport au  $\text{CO}_2$ , mais continue de croître après 2010 contrairement aux émissions de  $\text{CO}_2$  qui se stabilisent. On peut en déduire qu'à l'échelle mondiale, l'humanité fait plus d'efforts pour réduire les émissions de  $\text{CO}_2$  que pour réduire les émissions de méthane.

En mauve, nous avons l'évolution des émissions de protoxyde d'azote. Ces émissions sont très faibles avant 1950, et commencent réellement à croître dans la deuxième moitié du XXème siècle, de façon moins élevée que les deux autres.

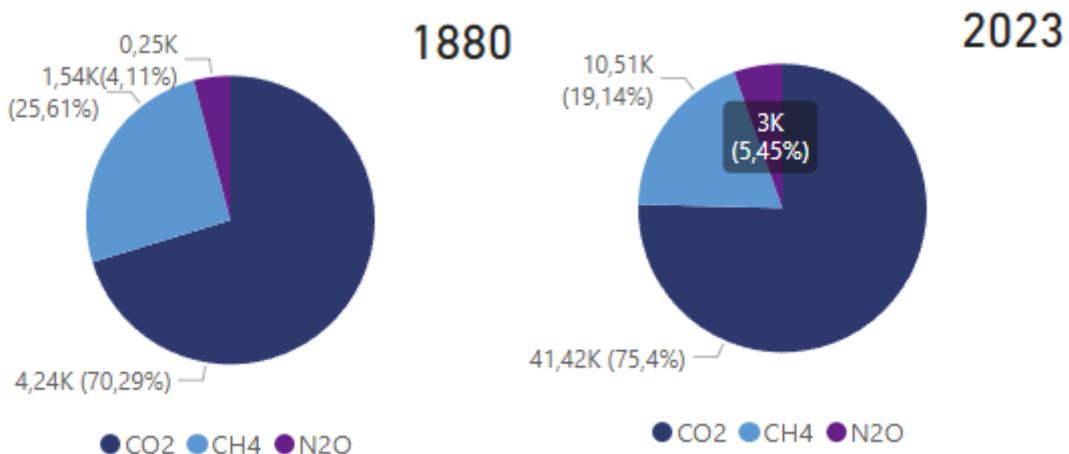
### Proportion des émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O



Ce dernier visuel nous montre l'évolution de la proportion des trois gaz à effet de serre observés, au cours du temps.

On remarque que les proportions sont plutôt stables, avec le CO<sub>2</sub> représentant environ 75%, le CH<sub>4</sub> environ 20%, et le N<sub>2</sub>O environ 5%.

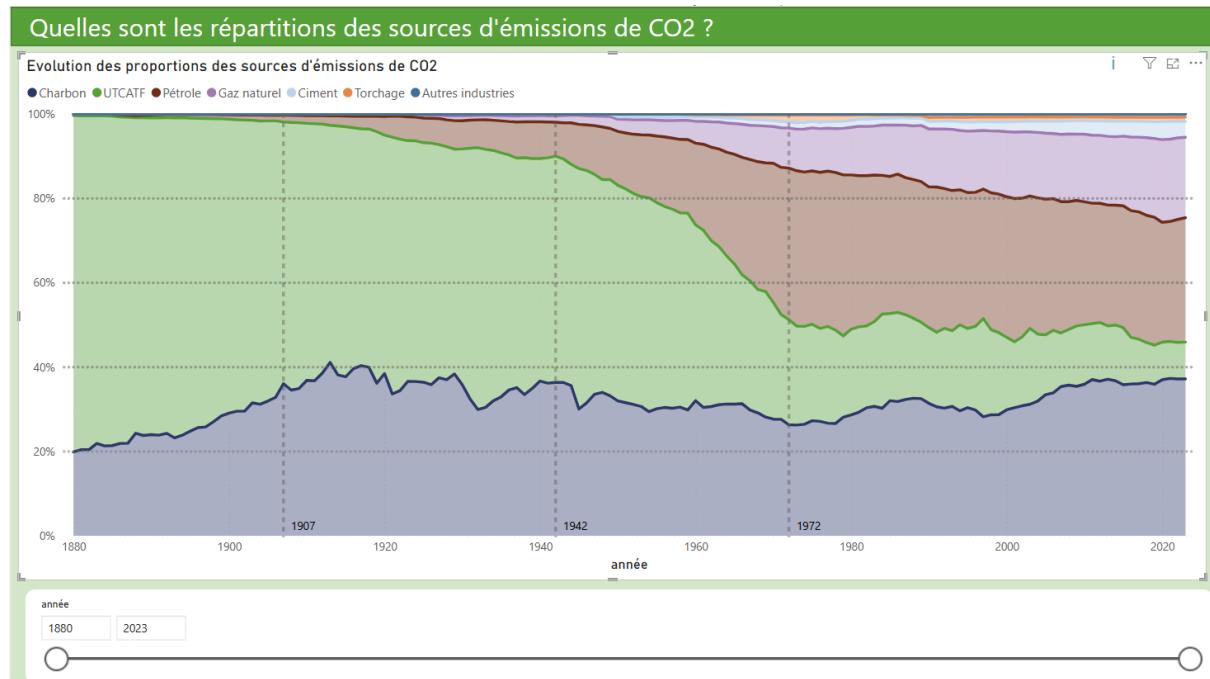
Notons qu'un tooltip personnalisé sur ce graphique permet de voir les proportions exactes de chaque gaz pour une année précise. Ainsi, en survolant les extrémités (1880 et 2023), on peut voir que les proportions n'ont pas drastiquement changé au cours du temps : le CO<sub>2</sub> est passé de 70 à 75%, et le méthane de 25 à 20% environ.



Cela signifie que les émissions de ces différents GES ont évolué en même temps, et ont donc toutes suivi la même forte augmentation comparativement à leurs valeurs de 1880.

Puisque le CO<sub>2</sub> est le gaz à effet de serre d'origine anthropique le plus répandu, nous allons, dans la prochaine slide, observer les répartitions des différentes sources d'émissions de CO<sub>2</sub>.

## Quelles sont les répartitions des sources d'émissions de CO<sub>2</sub> ?



### Description du graphique

Ce graphique nous montre l'évolution des proportions des différentes sources d'émissions de CO<sub>2</sub> au cours du temps, toujours à l'échelle mondiale.

Un tooltip personnalisé permet d'avoir le détail des pourcentages de chaque catégorie pour l'année survolée sous forme de camembert, comme nous allons le voir ci-dessous.

Des lignes horizontales situées tous les 20% permettent de simplifier la lecture du graphique et de mieux se rendre compte des proportions.

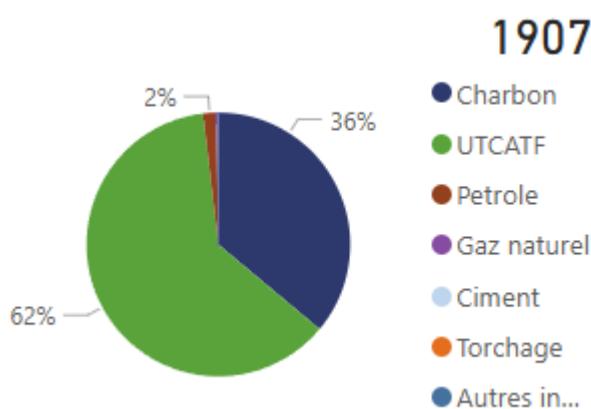
J'ai également tracé trois lignes verticales sur ce graphique, afin de représenter quatre phases distinctes.

### Etude des différentes périodes

## Première phase : 1880-1907

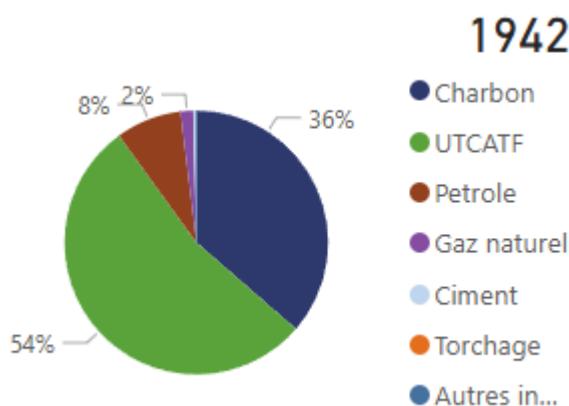
La révolution industrielle s'est étendue à travers le monde au cours du XIXème siècle. Cette première phase marque la fin de ce siècle et le début du XXème. A cette époque, les émissions de CO<sub>2</sub> étaient dues en grande majorité à l'utilisation des terres, l'exploitation des sols (UTCATF, 62 à 80%). Le reste était principalement dû à l'exploitation du charbon comme sources d'énergie (20-36%). Au cours de ces trois décennies, nous voyons que la proportion d'émissions dues au charbon augmente, prenant plus de place par rapport aux émissions liées à l'UTCATF qui reste majoritaire.

Bien que le pétrole commence à être exploité durant cette période, il ne représente qu'une infime quantité des émissions de CO<sub>2</sub> (2%).



## Deuxième phase : 1907-1942

Cette sombre période de l'histoire, marquée par les deux guerres mondiales, voit une stabilisation de la proportion d'émissions de CO<sub>2</sub> dues à l'exploitation du charbon, tandis que la proportion liée à l'exploitation du pétrole prend de plus en plus de place. De ce fait, la proportion des émissions liées à l'UTCATF diminue. Aussi, nous commençons à exploiter les gaz naturels pour produire de l'énergie, mais cela reste négligeable (moins de 2%).



Notons que cela ne signifie pas que les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'UTCATF diminuent sur cette période. Même si c'est effectivement le cas comme vu sur de précédents graphiques, ce n'est pas ce qui est mesuré dans ce graphique-ci. Ici, on ne regarde que l'évolution des proportions des sources d'émissions entre elles. La proportion représentée par l'UTCATF

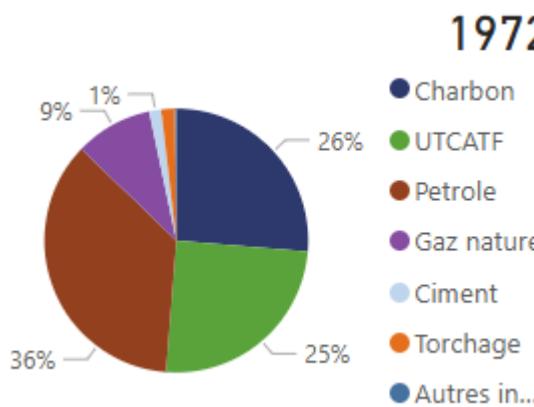
pourrait diminuer quand bien même ses émissions de CO<sub>2</sub> augmenteraient, si les augmentations des autres sources de CO<sub>2</sub> étaient plus fortes de sorte à prendre une plus grande proportion. Il faut donc bien faire attention à ne pas mal interpréter ce graphique.

De la même manière, le fait que la proportion d'émissions dues au charbon soit relativement stable sur cette période (dans le sens où les proportions sont identiques entre le point de départ et le point d'arrivée malgré quelques fluctuations) ne veut pas dire que les émissions de CO<sub>2</sub> dues au charbon sont restées stables. Elles ont très bien pu augmenter durant cette période, mais de façon moins forte que les émissions liées à l'exploitation du pétrole.

Cette remarque est valable pour la lecture globale de ce graphique.

### Troisième phase : 1942-1972

Cette phase, essentiellement située après la seconde guerre mondiale, correspond à une période d'essor économique et de boom démographique. On y voit l'exploitation du pétrole exploser et prendre une part bien plus grande des émissions de CO<sub>2</sub>, au détriment de la proportion des émissions liées à l'UTCATF qui chute drastiquement. La proportion d'émissions liées au charbon baisse légèrement, tandis que celle liée au gaz naturel augmente de façon plus modérée que celle liée au pétrole. Nous voyons aussi apparaître à cette période, dans des proportions beaucoup plus petites, les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la fabrication du ciment, et au torchage de gaz (combustion volontaire de gaz inutilisé et gaspillé pour des raisons budgétaires, en particulier lors du forage de puits de pétrole).



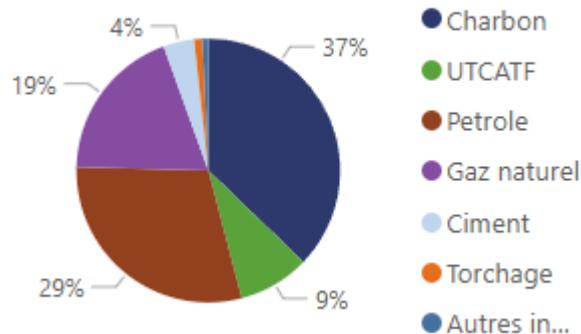
Ainsi, à la fin de cette période, les émissions liées à l'UTCATF et à l'exploitation du charbon représentent chacune un quart des émissions de CO<sub>2</sub>. Celles liées à l'exploitation du pétrole représentent 36%. Celles liées à l'exploitation de gaz naturel représentent moins de 10%, et les autres se partagent moins de 5% des émissions totales.

### Quatrième phase : 1972 à 2023

Cette phase d'un demi-siècle se caractérise par une évolution plus stable des proportions, dans le sens où les augmentations et diminutions sont plus modérées.

La proportion de charbon remonte. Celle des émissions liées à l'UTCATF continuent de diminuer, et les émissions liées au pétrole prennent une place de moins en moins importante. On note une augmentation assez élevée de la proportion d'émissions de CO2 liés à la fabrication du ciment, comparativement à son faible taux.

2023



## Conclusion

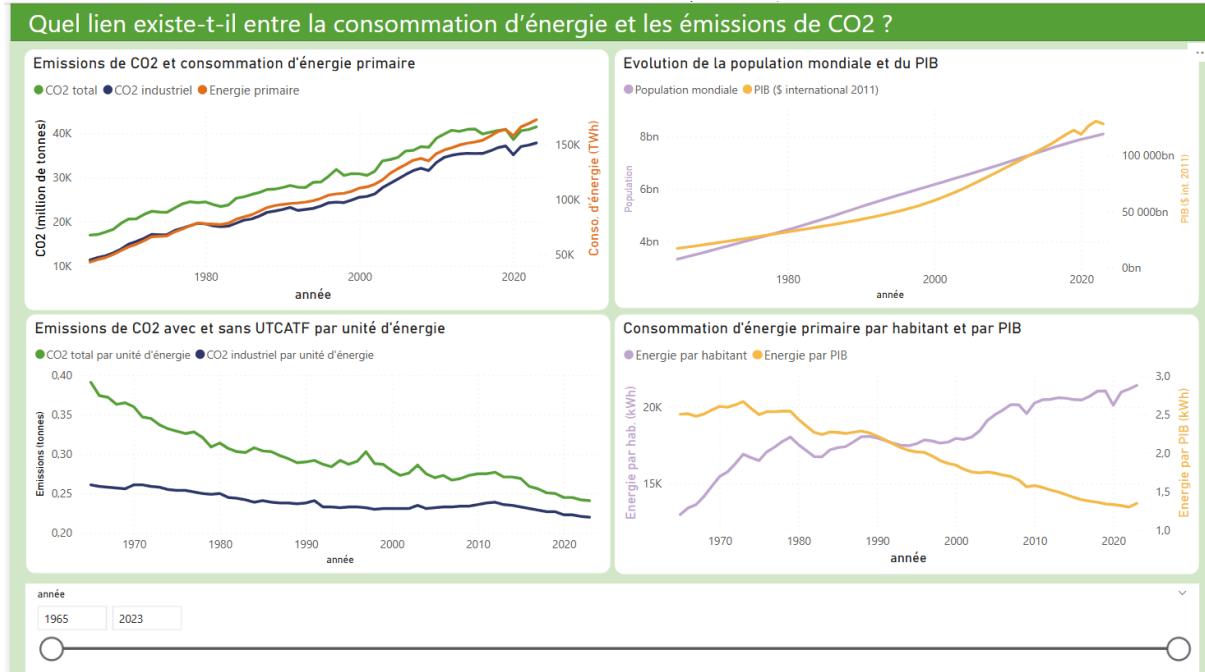
Comprendre l'évolution des sources d'émissions de CO2 au cours du temps nous permet de trouver des explications quant aux augmentations des émissions de CO2, et surtout de trouver où l'on peut faire des efforts pour réduire celles-ci.

Par exemple, le charbon est encore aujourd'hui responsable de plus d'un tiers des émissions de CO2. Or, on sait que certains pays utilisent toujours de nombreuses usines à charbon pour produire de l'énergie ; une solution à mettre en place urgente est de remplacer ces usines à charbon par des sources d'énergie propre, qui n'émettent pas de CO2 (par exemple : nucléaire, éolien, solaire, hydraulique... chacune ayant ses propres avantages et inconvénients, mais cela est encore un autre sujet très vaste !).

De même, l'exploitation du pétrole est la source de 30% des émissions à l'heure actuelle, et on sait qu'elle sert essentiellement aux transports (terrestres, maritimes, aériens). Mettre en place des politiques pour réduire ces transports (limiter les échanges internationaux et le tourisme ? utiliser plus de voitures électriques ?) permettrait de réduire cette exploitation et donc de réduire les émissions de CO2. Mais cela aura bien sûr de forts impacts économiques et sociaux, et dans un monde ultra-mondialisé, où la majorité de nos produits proviennent de l'importation internationale pour des réductions de coûts, et où les voyages semblent être la passion de nombreuses personnes, ces politiques semblent difficiles à mettre en place. En particulier dans un monde où préparer la guerre semble plus important pour les personnes au pouvoir, que d'œuvrer pour la transition énergétique.

Et puisque les sources d'émissions de CO2 (charbon, pétrole, gaz...) nous amène à parler d'énergie, le prochain slide présentera la relation entre les émissions de CO2 et la consommation d'énergie primaire dans le monde.

# Quel lien existe-t-il entre la consommation d'énergie et les émissions de CO2 ?



Nous allons ici observer le lien entre la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO2.

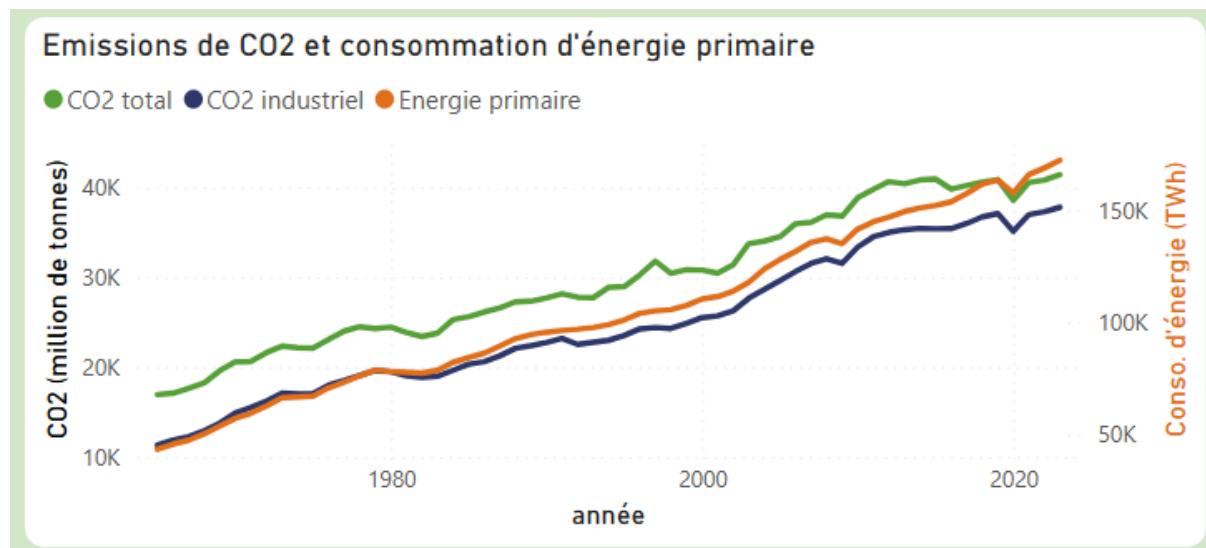
La période étudiée s'étend de 1965 à 2023 ; en effet, nous ne disposons pas des données énergétiques avant 1965.

**Energie primaire :** l'énergie primaire représente l'énergie brute avant toute transformation (ex. : pétrole brut avant raffinage, charbon avant combustion, énergie solaire avant conversion en électricité).

Elle inclut :

- **Énergies fossiles** (pétrole, charbon, gaz naturel)
- **Énergies renouvelables** (solaire, éolien, hydroélectricité, biomasse)
- **Énergie nucléaire**

## Relation entre émissions de CO2 et consommation d'énergie primaire



Ce graphique présente trois courbes à lire sur deux axes différents.

Sur l'axe de gauche, nous avons les émissions de CO2 en million de tonnes. Il correspond aux courbes verte (émissions totales, incluant UTCATF) et bleue foncée (émissions de CO2 industriel, sans UTCATF). Elles suivent une trajectoire parallèle.

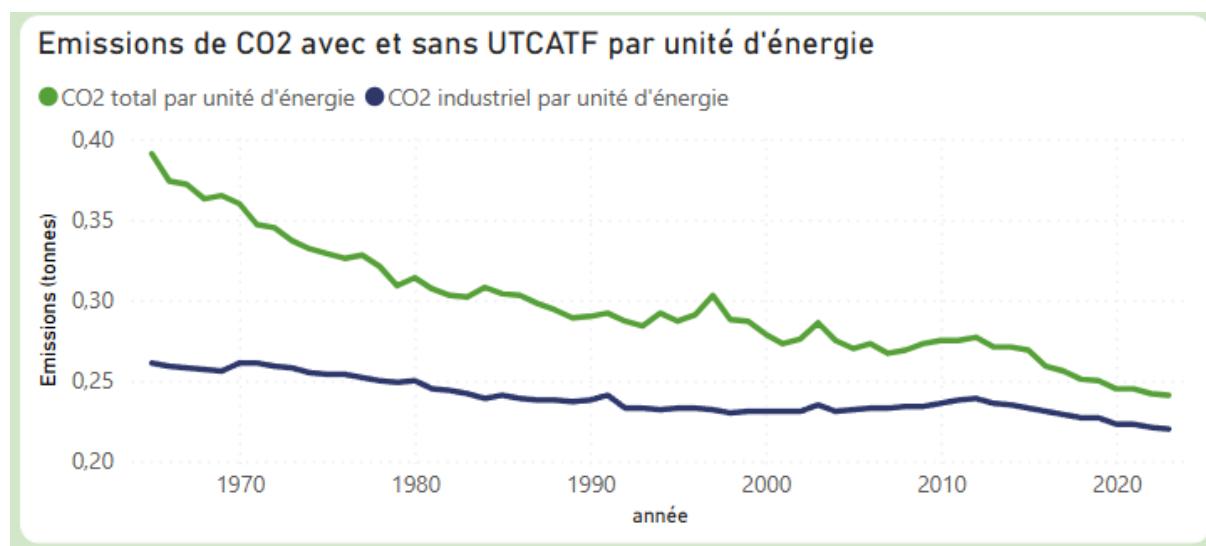
Sur l'axe de droite, nous avons la consommation d'énergie primaire exprimée en TWh (terawatt / heure), qui correspond à la courbe orange.

On constate que cette courbe est très proche de celle des émissions de CO2. Il semble donc y avoir une corrélation entre ces deux courbes, qui peut s'expliquer très simplement : les émissions de CO2 industriel sont en grande partie dues à la consommation d'énergie primaire (exploitation du charbon et du pétrole comme vus précédemment).

Toutefois, plus on avance dans le temps, plus ces deux courbes s'éloignent. En effet, la courbe de consommation d'énergie augmente plus que celle des émissions de CO2. Et bien que l'on voit une stabilisation des émissions après 2010, la courbe de consommation d'énergie continue de croître. Cela peut s'expliquer par le fait que nous utilisons de plus en plus d'énergie propre.

On remarque une pointe vers le bas en 2020 pour toutes les courbes : cela est très certainement dû à la pandémie de covid-19, qui a résulté en une grande baisse de l'économie et de la production.

## Émissions de CO2 par unité d'énergie

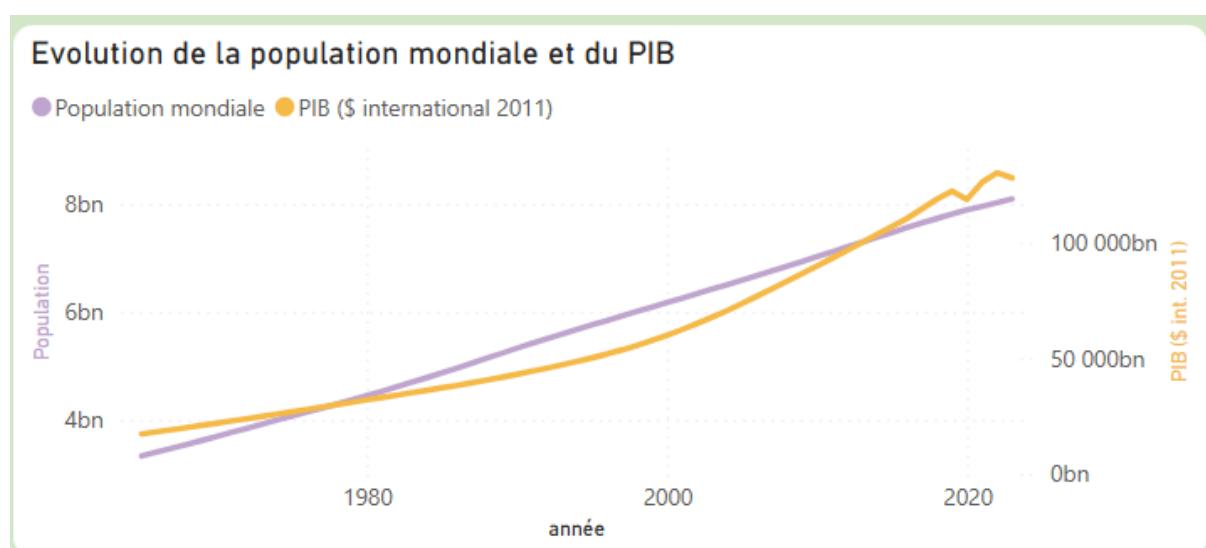


Ce graphique montre l'évolution des émissions de CO2 totales (avec UTCATF) et industrielles (sans UTCATF) par unité d'énergie, exprimées en tonnes.

Ce qui est très intéressant dans ce graphique, c'est qu'on constate une diminution des émissions par unité d'énergie au cours du temps (alors même que les émissions de CO2 en elles-mêmes augmentent, tout comme la consommation d'énergie primaire). Mais cela est logique avec l'observation du graphique précédent : le fait que la courbe de consommation d'énergie grimpe plus vite que celle des émissions de CO2, et donc s'en éloigne, indique que l'on émet moins de CO2 pour une même production énergétique. Ce qui se confirme bien ici.

Ainsi, même si les besoins en énergie sont croissants (notamment du fait de l'augmentation de la population et du PIB), on produit de plus en plus d'énergie proprement, c'est-à-dire sans émettre de CO2, ce qui est plutôt une bonne nouvelle.

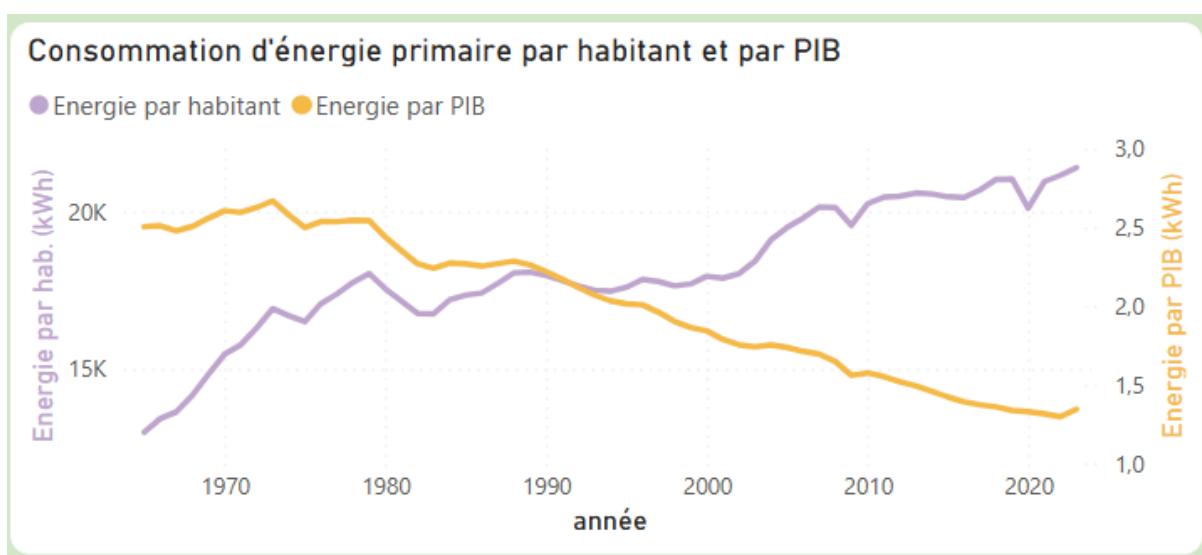
## Evolution de la population mondiale et du PIB (1965-2020)



Il n'y a pas grand chose à dire sur ces deux courbes, puisqu'elles ont déjà été présentées dans la première slide. La seule différence est la période étudiée. Dans le premier slide, il y a la possibilité de faire un zoom sur la période 1965-2023. En revanche, ici, nous ne pouvons remonter avant 1965.

Je trouve tout de même intéressant de remettre cette courbe ici, pour contextualiser la courbe ci-dessous qui montre la consommation d'énergie par habitant et par PIB.

## Consommation d'énergie primaire par habitant et par PIB



Ce graphique nous montre la consommation d'énergie primaire par habitant et par PIB (\$ international 2011). L'unité est la même (kWh), mais les échelles sont différentes puisque les unités d'énergie ne sont pas divisées par la même chose. Ainsi, l'énergie par habitant varie de 13 000 à 21 000 kWh de 1965 à 2023, tandis que par PIB elle varie de 2.5 à 1.35 kWh.

Ce qui est assez flagrant, c'est que ces courbes suivent des tendances opposées.

En effet, la consommation d'énergie par habitant augmente au cours du temps. En moyenne, un habitant dans le monde consomme donc plus d'énergie en 2023 qu'en 1965 (augmentation d'environ 50%). Cela n'est pas très étonnant. Le monde est de plus en plus industrialisé. Les pays autrefois sous-développés sont maintenant en développement et ont davantage d'accès à l'électricité et au chauffage. En outre, même pour les pays qui étaient développés il y a soixante ans comme la France, les progrès technologiques ne cessent d'augmenter, et donc les besoins en électricité également.

Ce qui est plus étonnant en revanche, c'est de voir que la consommation d'énergie primaire par PIB est en baisse depuis le début des années 1970. Cela signifie que nous avons besoin de moins d'énergie pour une même production de richesses. La production de richesses mondiales augmente plus rapidement que notre consommation d'énergie primaire. Cela est pourtant cohérent avec l'étude du premier slide qui montrait l'évolution des émissions de GES par PIB : nous avions déjà constaté que nous émettions moins de GES

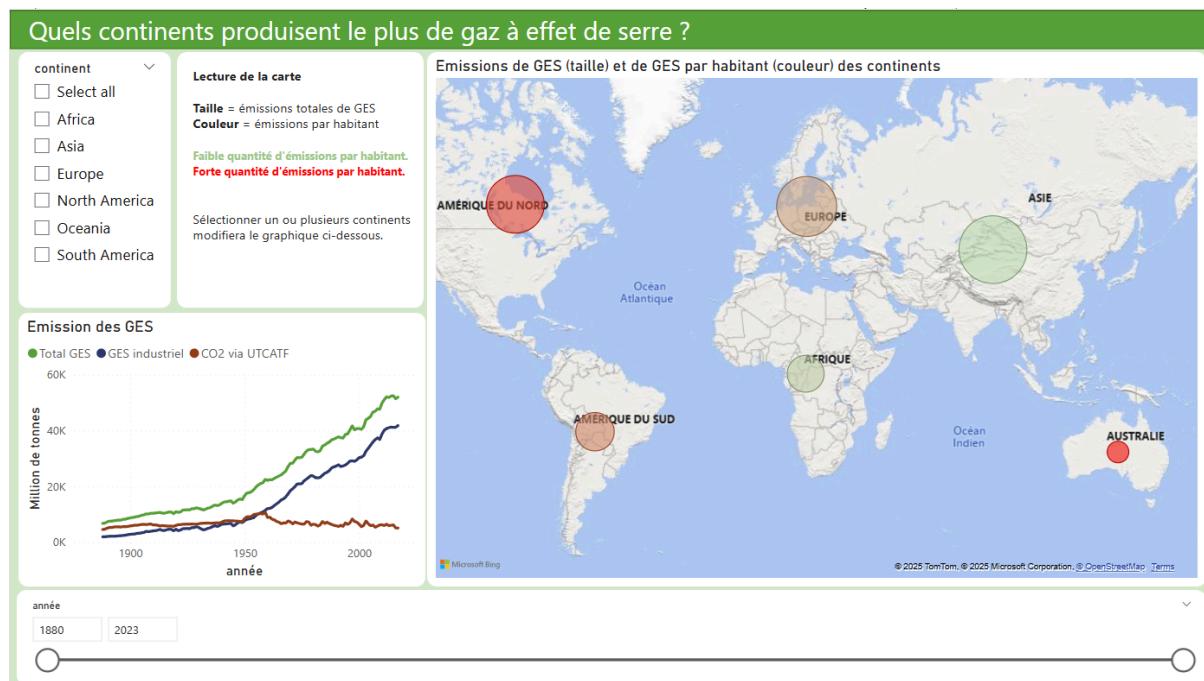
pour une même production de richesse. Une fois encore, nous pouvons supposer que de plus en plus de richesses sont produites à partir d'énergies propres (notamment le nucléaire qui représente une très grande part de la production d'énergie chez certains pays développés comme la France).

## Conclusion

Ce dernier slide de notre analyse mondiale nous permet de terminer sur une note d'espérance. Bien que les besoins en énergie augmentent avec la population, et que la consommation d'énergie primaire soit en hausse, nous produisons de plus en plus d'énergie propre. Nous pourrions donc être capables, en continuant nos efforts, de ne plus être dépendant des énergies fossiles et de cesser l'exploitation du pétrole et du charbon afin de réduire drastiquement les émissions de CO<sub>2</sub>.

Maintenant que nous avons fait une analyse mondiale des émissions de gaz à effet de serre, nous allons zoomer sur les continents, et comparer les continents entre eux.

## Quels continents produisent le plus de gaz à effet de serre ?



Ce slide est composé de deux graphiques : un graphique de courbes, et une carte du monde.

## Explications générales de la carte du monde

Le plus important est la carte du monde, qui montre deux choses :

- la quantité cumulée d'émissions de gaz à effet de serre par continents, sur la période choisie. Cela se traduit par la taille de la bulle. Cela nous permet d'avoir un aperçu très rapide des continents qui émettent le plus de gaz au cours d'une période donnée.
- la quantité cumulée d'émissions de gaz à effet de serre par habitant pour chaque continent, via la couleur. Une couleur proche du vert pâle indique une faible émission de CO<sub>2</sub> par habitant, tandis qu'une couleur chaude et proche du rouge indique une très forte émission de CO<sub>2</sub> par habitant.

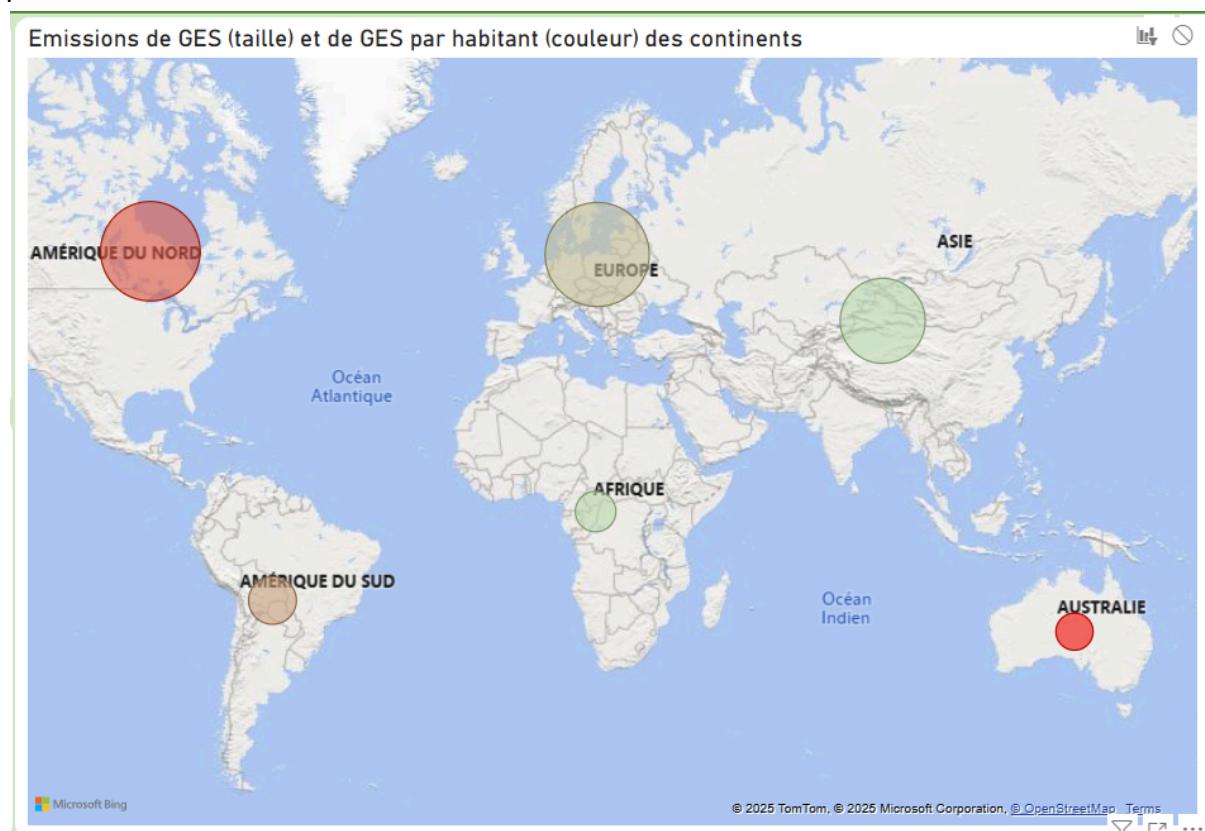
Cette carte est intéressante car elle nous montre les différences qui existent entre les continents en termes d'émissions. Ainsi, les continents qui émettent beaucoup de GES ne sont pas forcément ceux qui en émettent le plus par habitants. Il est logique qu'un territoire contenant plus d'habitants émette plus de GES, d'une part parce que les besoins en énergie seront plus grand : les habitants ont besoin de se chauffer, de se déplacer, de se nourrir, bref, de vivre dans un certain confort, ce qui implique naturellement de produire de l'énergie et donc d'émettre du GES tant que les alternatives propres ne sont pas majoritaires. D'autre part, parce que plus d'habitants signifie aussi plus de travailleurs, donc plus de production de richesses, qui nécessite généralement de l'énergie et par conséquent des émissions de gaz à effet de serre.

En restant sur la période la plus grande, de 1880 à 2023, nous distinguons à la fois deux catégories de continents concernant les émissions globales, et trois catégories concernant les émissions par habitants.

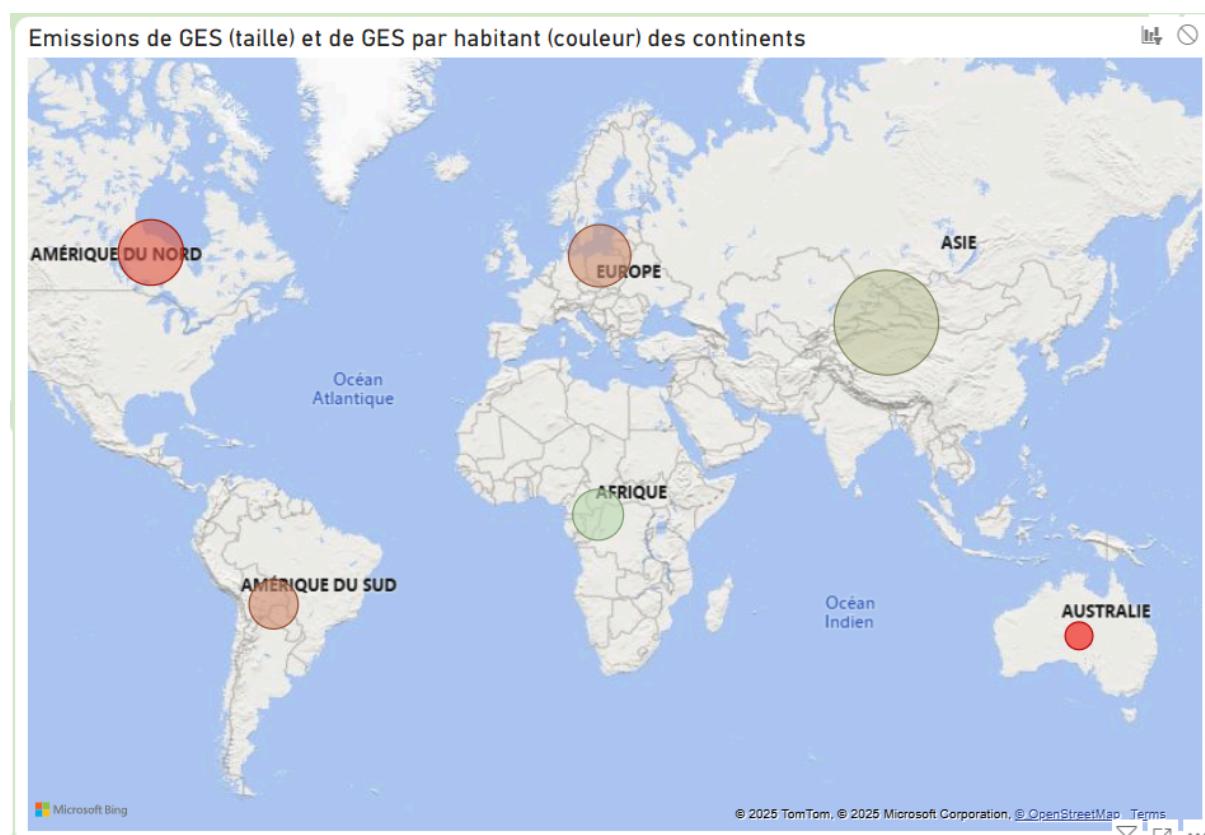
## Hémisphère Nord VS Hémisphère Sud

Il est intéressant de constater que les continents qui ont produit le plus de GES sur cette échelle de temps sont les trois continents de l'hémisphère nord : Asie, Europe et Amérique du Nord.

Cette différence était vraiment flagrante au début de la période étudiée, par exemple, sur la période de **1880 à 1900** :



Cette différence a tendance à se réduire si l'on prend les deux dernières décennies, **de 2003 à 2023** :



L'Asie reste un important contributeur aux émissions de GES, mais on peut constater que l'Amérique du Sud et l'Afrique rattrappent l'Amérique du Nord et l'Europe.

Cela s'explique par le fait qu'au début du XXème siècle, l'Europe et l'Amérique du Nord étaient déjà bien développés, contrairement à l'Amérique du Sud et à l'Afrique. Ces continents sont aujourd'hui bien plus développés et industrialisés, ils émettent donc plus de GES.

## Émissions de GES par habitant

Comme évoqué plus haut, nous pouvons distinguer trois pôles concernant les émissions de GES par habitant, et ces trois pôles, constitués chacun de deux continents, restent toujours les mêmes, quelque soit la période, bien qu'ils soient plus ou moins prononcés.

### **Les “gros consommateurs”**

Cette catégorie que nous appelons “gros consommateurs” est celle pour laquelle les émissions de GES par habitant est la plus élevée. Elle est composée de l'Amérique du Nord et de l'Océanie (principalement Australie).

L'Océanie est un continent ayant très peu d'habitants, par conséquent, les émissions de GES provenant de ce continent sont faibles par rapport aux autres continents ; mais en moyenne, chaque habitant est à l'origine d'une très grande quantité d'émission de GES.

Nous pouvons faire une supposition : plus un pays est riche, plus la vie de ses habitants est confortable (en moyenne), et donc plus elle nécessite d'énergie pour maintenir ce confort (électricité, chaleur, transports, loisirs...). Sans jeter la pierre à qui que ce soit, nous pouvons en déduire que les habitants de l'Amérique du Nord et de l'Océanie, en moyenne, polluent plus que le reste du monde en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre.

Si un pays très peuplé comme la Chine avait le même taux d'émission de GES par habitant, ce serait une catastrophe planétaire en ce qui concerne le dérèglement climatique. Et pourtant, de quel droit pourrions-nous priver les habitants de l'Asie de jouir du même confort que les habitants de l'Océanie ? Ces questions nous montrent qu'au-delà de l'aspect écologique, il y a des enjeux sociaux, en matière d'inégalités, qu'il faut prendre en compte. Il est important que chaque habitant prenne conscience de sa propre responsabilité dans la crise climatique, et que les pays les plus riches fassent preuve de sobriété.

### **Les “consommateurs modérés”**

Cette catégorie regroupe l'Europe et l'Amérique du Sud. Pour ces deux continents, et à toute période étudiée entre 1880 et 2023, les émissions de GES par habitant sont intermédiaires, entre ceux qui émettent le plus et ceux qui émettent le moins.

En tant qu'eurocéens, nous en avons conscience, nous vivons avec un certain confort, et sans doute consommons-nous plus d'énergie et de produits émettant des GES, que

nécessaire. Même si ce n'est pas au niveau de la catégorie précédente, nous devons, nous aussi, faire attention à notre consommation d'énergie et de biens.

### **Les “faibles consommateurs”**

Cette catégorie regroupe les deux derniers continents en matière d'émissions de GES par habitant : l'Asie, et l'Afrique.

Ces continents, très peuplés, ont des pays très pauvres et parfois peu développés, ce qui explique qu'ils produisent et émettent moins de GES.

Cette carte permet de mettre l'accent sur les inégalités qui existent entre les continents eux-mêmes, pour des raisons historiques, climatiques, géopolitiques.

Le confort dans lequel nous sommes habitués à vivre, en tant qu'occidentaux, est directement lié aux émissions de GES. En effet, pour avoir ce confort, nous avons besoin d'une grande production d'énergie et de biens, ce qui génère des GES. Tout être humain devrait pouvoir jouir du même confort, il est injuste qu'il n'y en ait que certains qui puissent en jouir selon la zone géographique où il est né. Et pourtant, nous savons que si toute l'humanité vivait dans le même confort que nous-autres, occidentaux, européens, américains du nord, les émissions de GES seraient nettement plus élevées, et le seuil critique des +2°C serait dépassé depuis longtemps. Nous vivrions d'ores et déjà dans un monde invivable. Mais alors, que faire ? Comment expliquer aux peuples d'Asie et d'Afrique que pour des raisons climatiques, ils n'auront pas le droit au même confort que nous, quand nous avons pu profiter durant des décennies, insouciants, et que nous continuons encore d'en profiter aujourd'hui ? La recherche et la technologie permettront-elles de garder le confort actuel et de l'apporter au reste du monde tout en réduisant nos émissions de gaz à effet de serre ? Ou bien devrions-nous abandonner une partie de notre confort, pour "montrer l'exemple" ? Produire moins, consommer moins de produits non nécessaires, imaginer un autre modèle de société où la consommation de biens n'est plus la principale actrice du bonheur.

Mais gardons ces questions pour le moment, et continuons de parcourir le rapport.

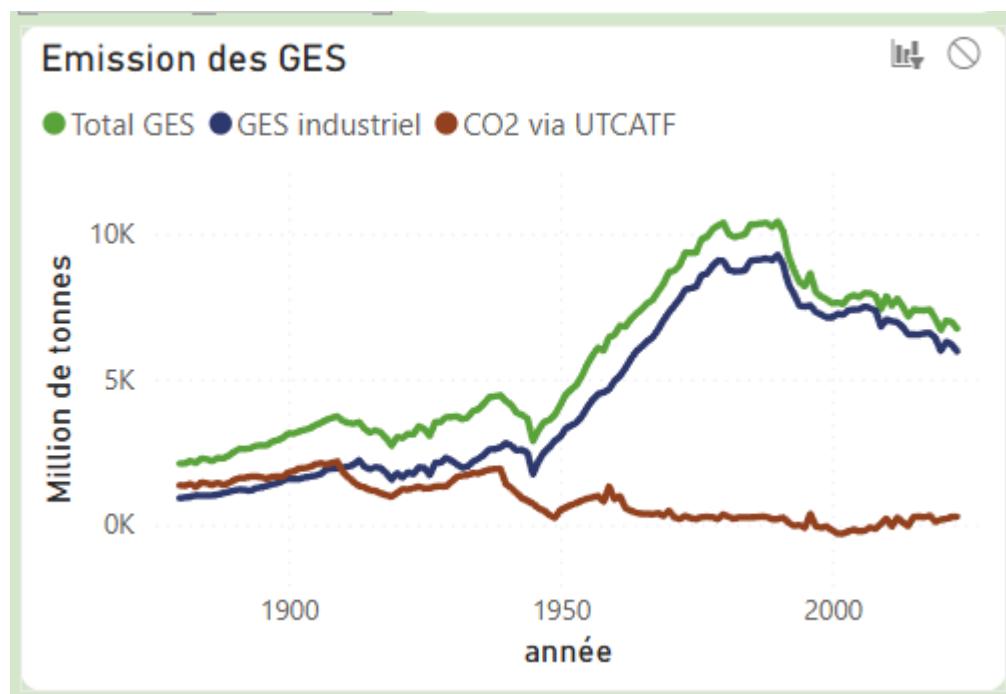
## **Émission des GES des continents**

L'autre graphique, en courbes, est un graphique que nous avions déjà analysé dans la première slide, puisqu'il montre l'évolution, au fil du temps, des émissions de GES totales, industrielles, et des émissions de CO2 liées à l'UTCATF.

Mais ce qui est intéressant ici, c'est que l'on peut filtrer par continent. Nous pouvons sélectionner un ou plusieurs continents, soit via le filtre en haut à gauche, soit en cliquant (ou ctrl + clic) sur les bulles de la carte du monde. Le graphique s'adapte alors pour montrer la somme des émissions pour les continents sélectionnés.

Cela est très intéressant, car nous pouvons observer des tendances globales pour certains continents.

Nous pouvons, par exemple, faire un focus sur l'**Europe** :

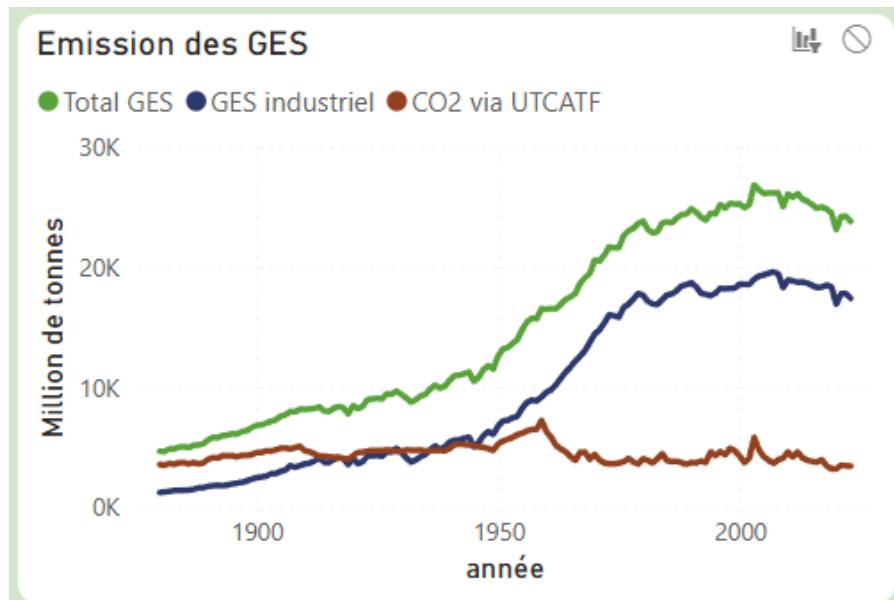


Nous voyons plusieurs périodes distinctes. Augmentation des émissions jusqu'en 1909, puis chute jusqu'en 1919 (la guerre mondiale est passée par là). Nouvelle augmentation jusqu'en 1939. Nouvelle guerre mondiale et donc chute des émissions jusqu'en 1945. Énorme boom des émissions (grande croissance économique, baby-boom, beaucoup de choses à rebâtir après la guerre) jusqu'en 1980.

Période de stagnation des émissions jusqu'en 1990. Prise de conscience du réchauffement climatique lié aux activités humaines. Réduction drastique des émissions jusqu'en l'an 2000. Nouvelle stagnation voire légère hausse pendant une dizaine d'années, puis légère baisse jusqu'à nos jours.

Naturellement, les émissions de GES sont fortement liées à l'histoire géopolitique d'un continent (guerres, croissance économique, crises...) et cela est valable pour tous les continents.

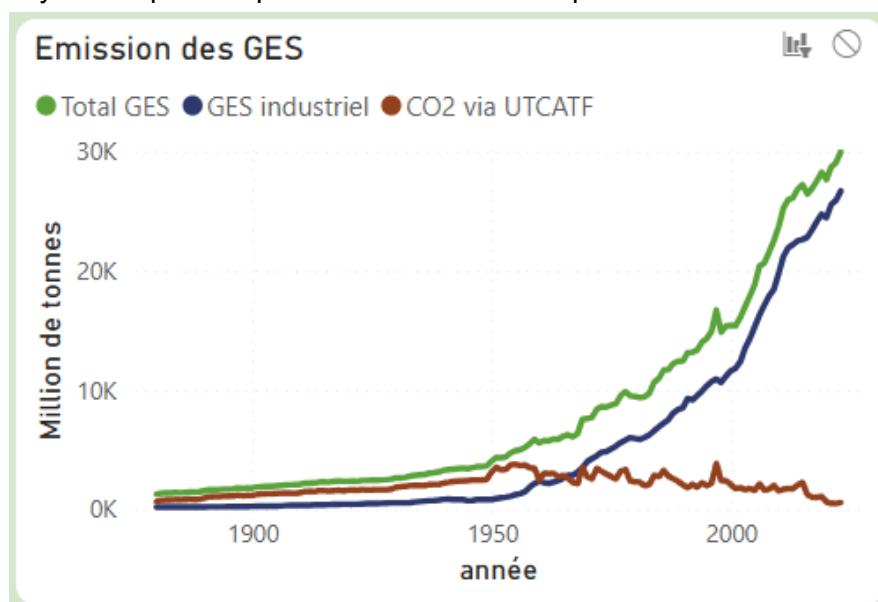
Maintenant, prenons **tous les continents à l'exception de l'Asie**, c'est-à-dire celui qui a la plus faible émission de GES par habitant :



Ces courbes suivent globalement la tendance européenne, avec quelques variations dues aux situations de chacun de ces continents, mais on remarque une prise de conscience dans les années 80, puis une réduction progressive des émissions de GES, ce qui est plutôt bon signe. Cela est certainement dû au développement d'énergie propre dans ces continents.

Mais, n'est-ce pas étrange ? Ces courbes ne suivent pas du tout la tendance mondiale du premier slide, où l'on voyait une augmentation continue, sans stabilisation ni descente... Pourtant, nous avons sélectionné cinq continents sur six.

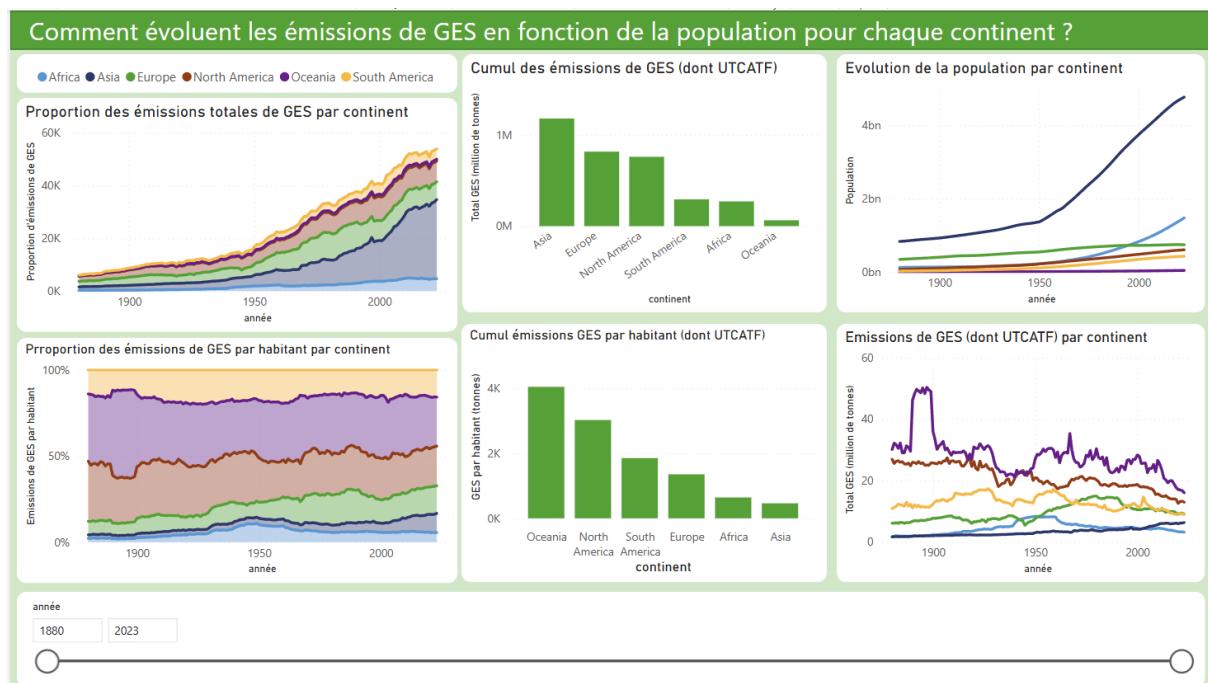
Voyons un peu ce qu'il en est du continent que nous avions délaissé : **l'Asie**.



Les émissions de GES en Asie augmentent de façon exponentielle. Cela confirme que ce continent, qui a la plus faible émission par habitant, est aussi celui avec la plus forte émission absolue (bulle de la plus grande taille sur la carte du monde). Mais surtout, à lui seul, il parvient à changer complètement la tendance mondiale.

Le fait qu'il soit le continent émettant le plus de GES tout en ayant la plus faible émission par habitant nous permet de déduire que c'est aussi le continent avec la plus grande population (ce que nous allons vérifier au prochain slide). Il est donc tout-à-fait logique qu'il émette davantage de GES que les autres continents, et ce, même si les données d'émission sont alarmantes.

## Comment évoluent les émissions de GES en fonction de la population pour chaque continent ?

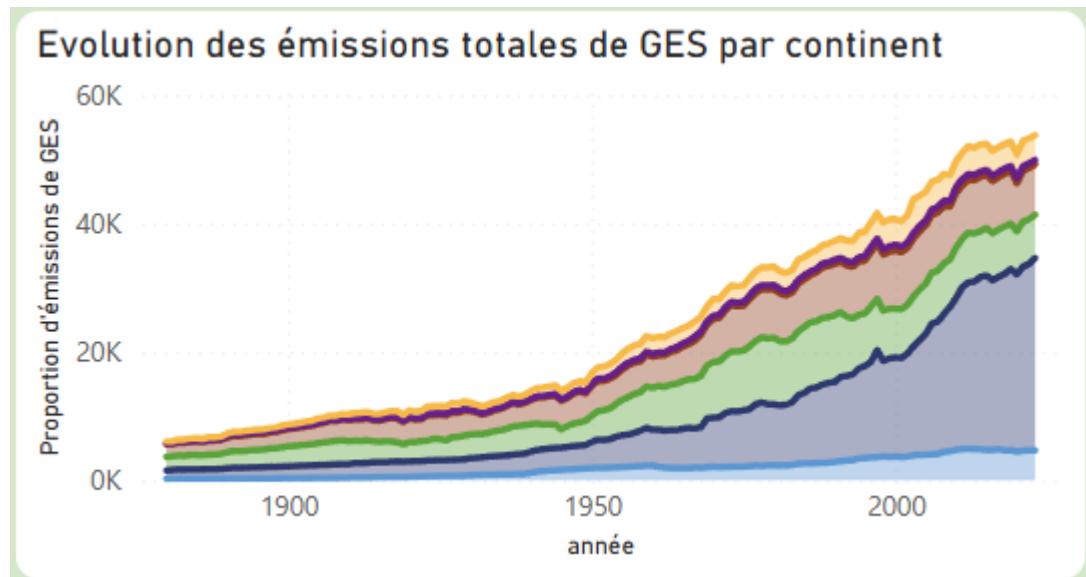


Allons un peu plus dans le détail de l'évolution des émissions de GES en fonction de la population.

Cette slide relativement dense nous montre six graphiques explicités ci-dessous.

## Evolution des émissions totales de GES par continent

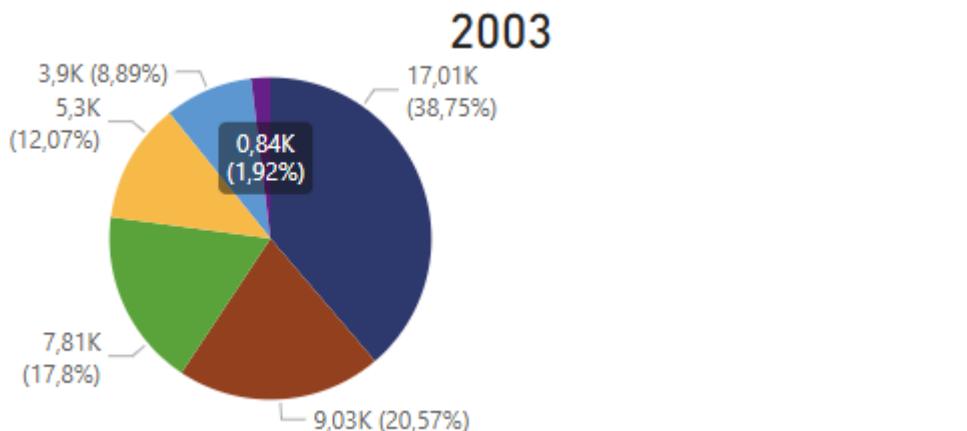
● Africa ● Asia ● Europe ● North America ● Oceania ● South America



Comme son nom l'indique, ce graphique en courbes présente l'évolution des émissions de GES au cours du temps, par continent. Les valeurs sont superposées, ce qui permet de mieux se rendre compte des proportions de chaque, et d'avoir la valeur mondiale sur la couche la plus haute.

Un tooltip personnalisé nous permet d'avoir un focus sur une année particulière, pour voir plus précisément la part de chaque continent et ses émissions sur l'année.

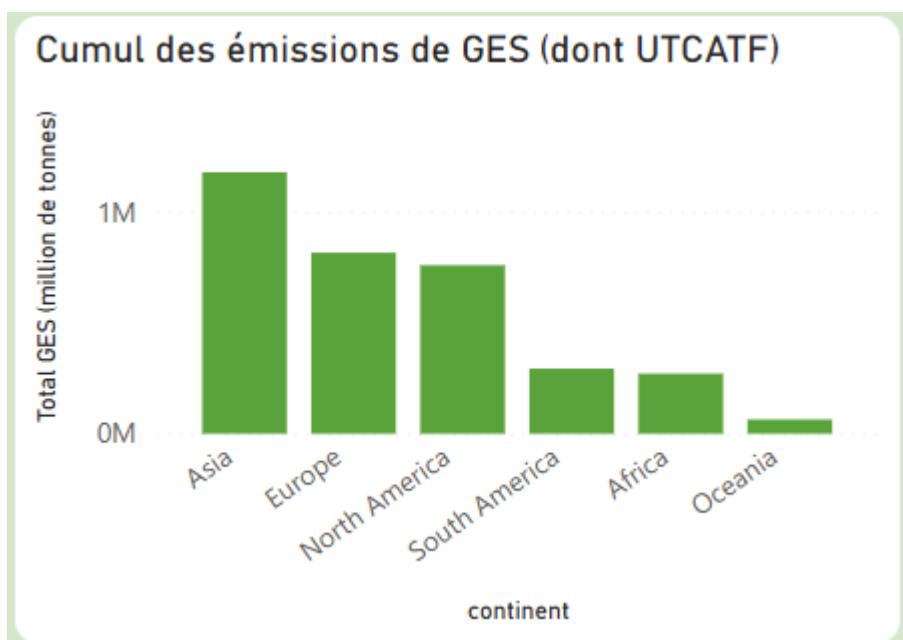
● Africa ● Asia ● Europe ● North America ● Oceania ● South America



Sur ce graphique, on constate surtout une très grande augmentation des émissions de GES sur le continent asiatique, qui représente à lui seul plus de 50% des émissions mondiales à partir de 2013.

Nous constatons une faible réduction des GES du continent européen, une légère augmentation du continent africain, tandis que les émissions des Amériques et de l'Océanie semblent stables depuis plusieurs décennies.

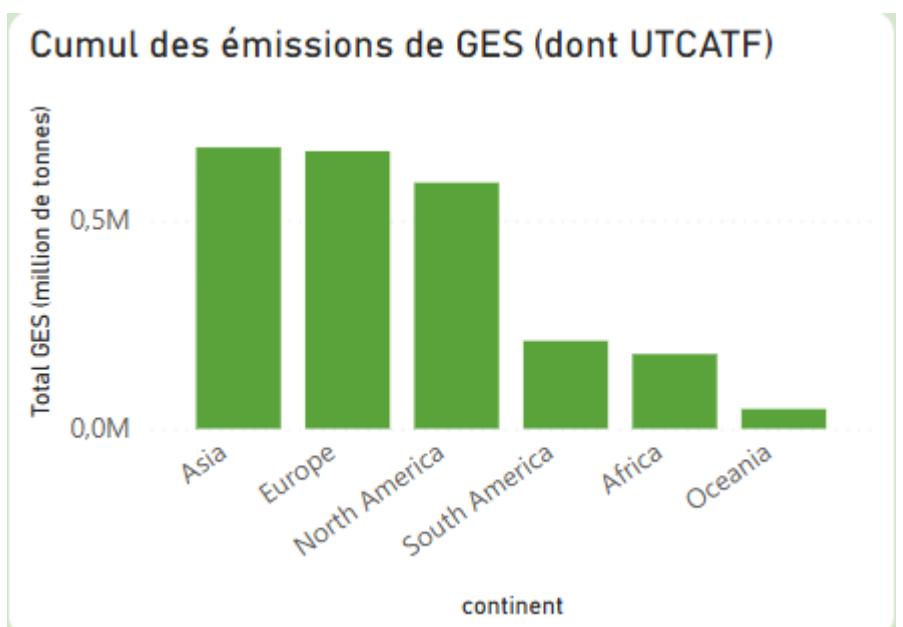
## Cumul des émissions de GES (incluant UTCATF)



Ce diagramme montre le cumul des émissions de GES totales sur la période étudiée, et permet donc de comparer facilement les continents entre eux.

En jouant sur le slider du temps, nous pouvons trouver l'année exacte à partir de laquelle les émissions cumulées de l'Asie ont dépassé celles de l'Europe ou de l'Amérique du Nord.

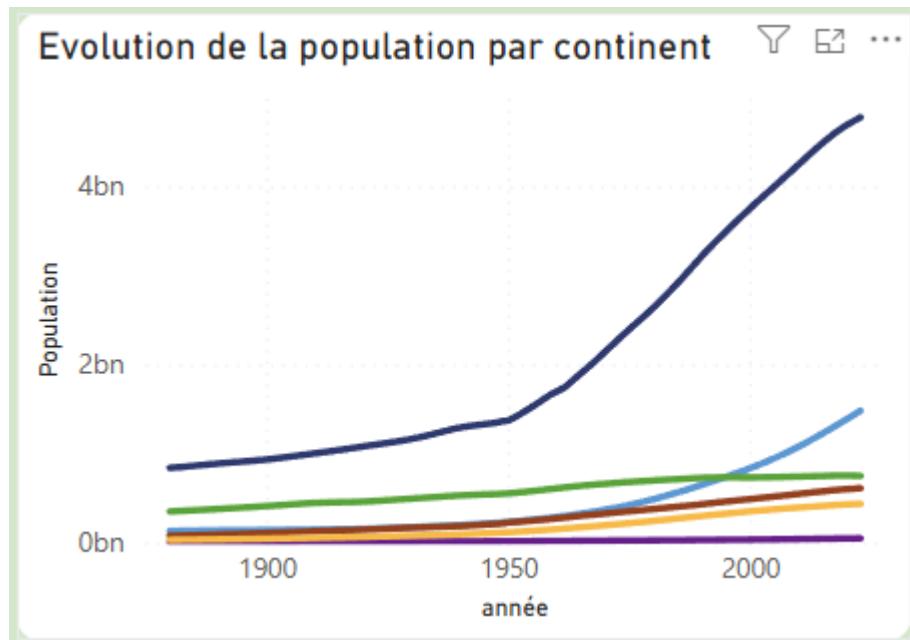
Nous constatons qu'il s'agit de l'année 2003 (si l'on commence le calcul du cumul à partir de 1880) :



**Diagramme pour la période 1880-2003** ; Si l'on s'arrête en 2002, la barre Asia est quasiment identique à celle de l'Europe mais très légèrement plus petite.

## Evolution de la population par continent

● Africa ● Asia ● Europe ● North America ● Oceania ● South America



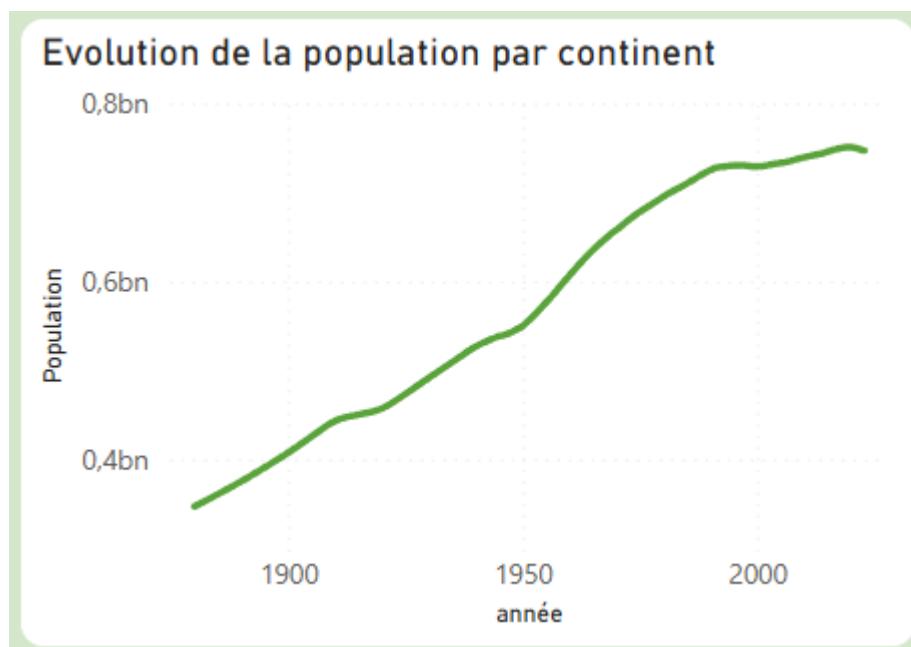
Dans le slide précédent, nous avons vu une nette différence entre les continents en ce qui concerne les émissions globales, et les émissions par habitant. Cela laissait supposer que l'Asie a une population bien plus élevée que les autres continents, puisqu'elle a des quantités d'émissions de GES bien supérieures au reste du monde, mais une émission par habitant plus faible que les autres continents.

Ce graphique nous permet de confirmer cette hypothèse. On remarque surtout qu'à partir de 1950, l'Asie connaît un boom démographique, plus fort encore que celui de l'Afrique. Cette courbe est si largement supérieure à celles des autres continents, qu'elle influence grandement la courbe d'évolution de la population mondiale que nous avions vue plus tôt.

Il n'est donc pas étonnant que l'Asie soit le continent qui émet le plus de CO<sub>2</sub>, au regard de l'évolution de sa population. On peut voir aussi que les populations d'Europe et d'Océanie sont presque en stagnation (depuis les années 90 pour l'Europe). En réalité, la courbe de l'Asie est si élevée qu'elle rend difficile la lecture des autres courbes (en dehors de celle de l'Afrique) et qu'il est impossible de voir de vraies tendances pour les autres continents.

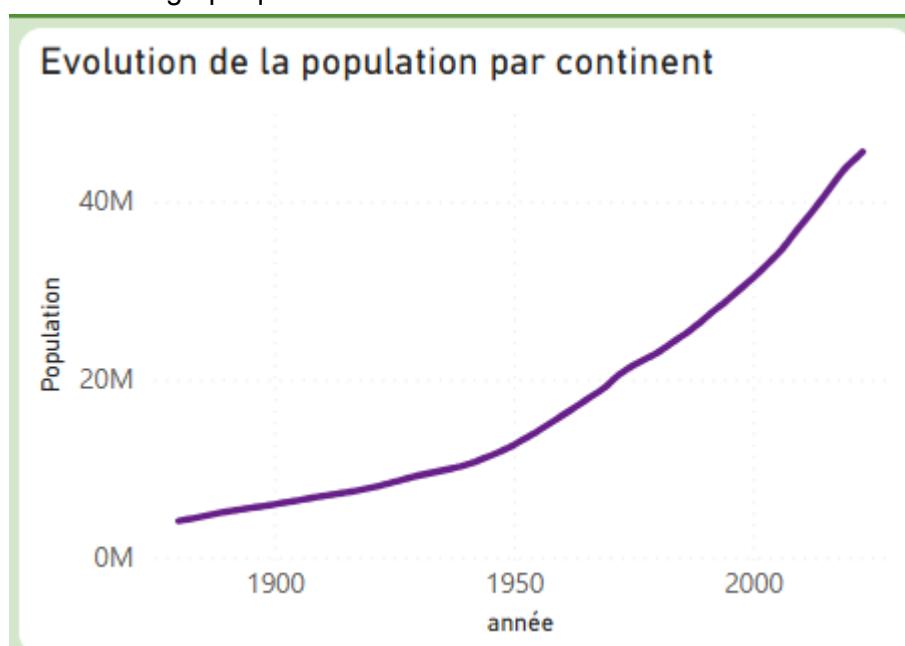
Heureusement, nous pouvons sélectionner un ou plusieurs continents à filtrer en cliquant dessus dans la légende en haut à gauche.

Nous pouvons ainsi faire un zoom sur l'évolution de la **population en Europe** :



On constate qu'il y a tout de même une augmentation de la population presque constante jusqu'en 1990, puis une hausse très légère jusqu'en 2019, et un début de baisse jusqu'en 2023.

Nous pouvons faire la même chose sur l'**Océanie**, pour laquelle la courbe était une ligne droite sur le graphique avec l'ensemble des continents :



Nous voyons ainsi qu'en Océanie, la population augmente, et cette augmentation s'accélère depuis les années 50. Ce genre d'analyses est impossible sur le graphique affichant l'évolution de tous les continents du fait de l'échelle bien plus grande de la population en Asie.

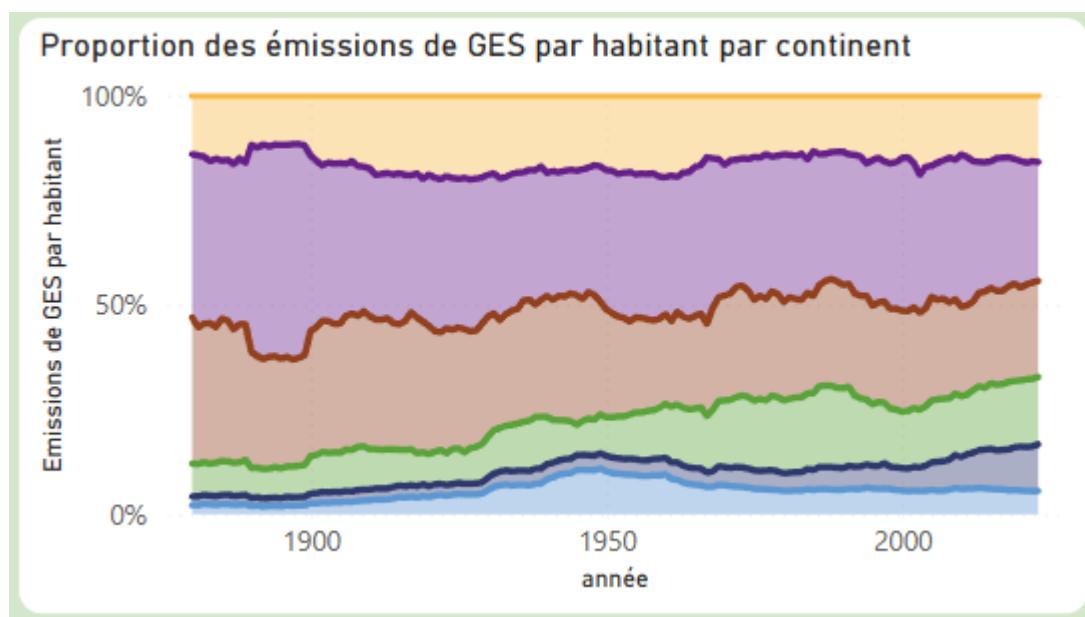
Nous pouvons nous poser une question légitime : **à quel point l'augmentation de la population humaine peut-elle être un problème en ce qui concerne le réchauffement climatique ?**

C'est une question difficile car elle touche aux droits humains, au droit à la reproduction, cela pourrait être presque un sujet philosophique à part entière. Le problème en soi n'est pas tant l'augmentation de la population mondiale en elle-même, ni le fait qu'elle soit plus élevée au sein d'un continent plutôt que d'un autre, mais bel et bien l'émission des gaz à effet de serre impactée par cette augmentation, du fait d'un plus grand besoin en énergie et d'une plus grande production de biens de consommation.

Le sujet de l'augmentation de la population mondiale est un vaste sujet à part entière, qui a bien d'autres impacts sur l'environnement que les émissions de GES et le dérèglement climatique, notamment à propos de la place que l'on prend sur le territoire des autres espèces, de la biodiversité... Ce n'est, là encore, pas le sujet de ce rapport, bien que ce soit aussi un sujet intéressant à explorer, et peut-être y a-t-il des solutions politiques à trouver de ce côté-là également, tout en protégeant les libertés individuelles et les droits humains.

### Proportions des émissions de GES par habitant par continent

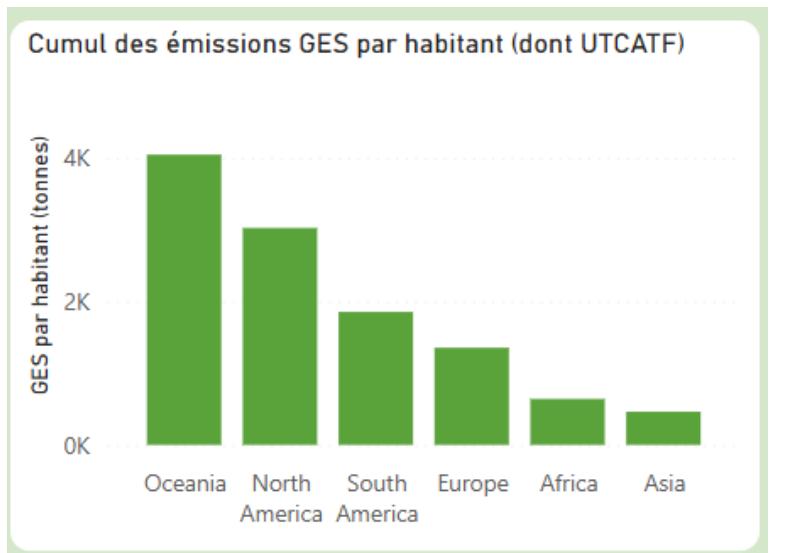
● Africa ● Asia ● Europe ● North America ● Oceania ● South America



Ce graphique nous montre l'évolution, à travers le temps, de la proportion de chaque continent en ce qui concerne les émissions de GES par habitant.

Il confirme ce que nous avions pu voir sur la carte du monde des émissions : l'Océanie (en mauve) est le continent ayant la plus grosse émission de GES par habitant. Notons d'ailleurs une augmentation anormale de ces émissions entre 1890 et 1900 pour l'Océanie, qui correspond à une période d'industrialisation extrêmement rapide durant cette décennie. C'est assez atypique et, là encore, nous pourrions ouvrir un tiroir pour en apprendre plus sur cette période spécifique afin de mieux comprendre ce qu'il s'est passé, mais nous ne le ferons pas pour ne pas davantage nous éloigner du sujet.

## Cumul des émissions de GES par habitant

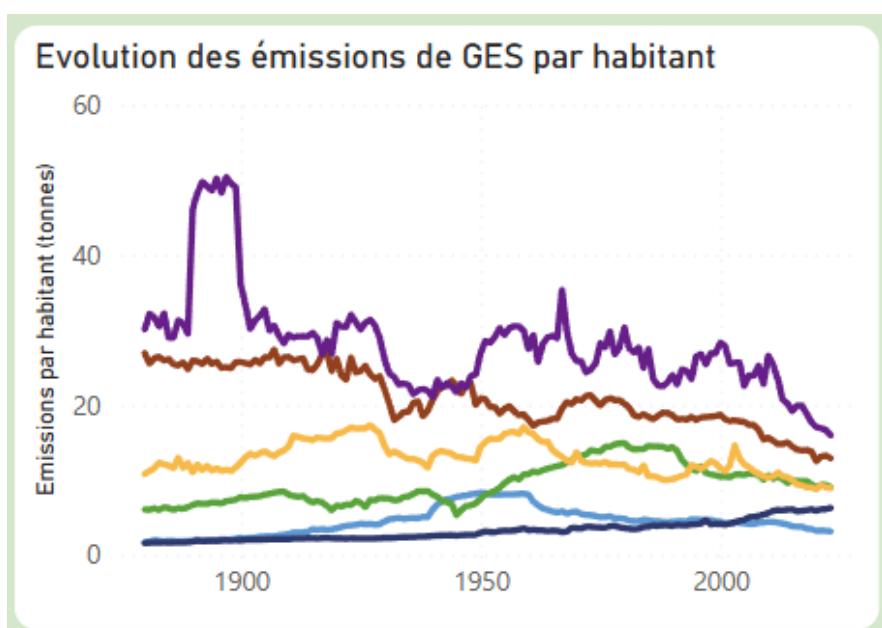


Ce diagramme permet de comparer les continents en termes d'émissions de GES par habitant, en affichant le cumul sur la période définie.

Nous retrouvons les mêmes infos que vues précédemment (sur le diagramme des proportions et sur la carte du monde), à savoir : l'Océanie émet énormément de GES par habitant (c'est aussi le continent avec le moins d'habitants), et l'Asie en est l'exact opposé.

Tout cela ayant déjà été détaillé en amont dans ce compte-rendu, nous ne nous attarderons pas plus sur ce graphique ici.

## Evolution des émissions de GES par habitant par continent



Ce graphique nous permet de voir l'évolution, au cours du temps, des émissions de GES par habitant.

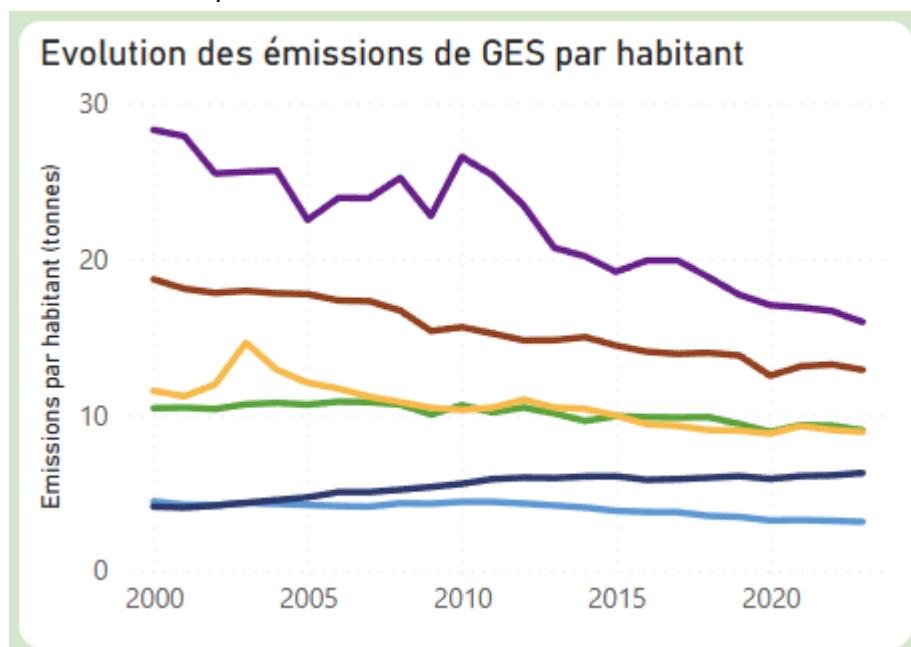
On retrouve la même période atypique de 1890 à 1900 pour l'Océanie correspondant à une forte industrialisation très rapide.

Sur cette longue période de temps, nous voyons une tendance à la baisse pour l'Océanie et l'Amérique du Nord. Au niveau de l'Europe, une augmentation de 1950 à 1990 environ puis une baisse correspondant aux efforts vers la transition énergétique.

Le continent africain présente une courbe atypique en forme de pont : une hausse rapide au début des années 40, une stagnation pendant 20 ans, puis une baisse rapide avant une diminution plus légère jusqu'à nos jours.

Sur les dernières décennies, seul le continent asiatique semble avoir les émissions par habitant qui augmentent.

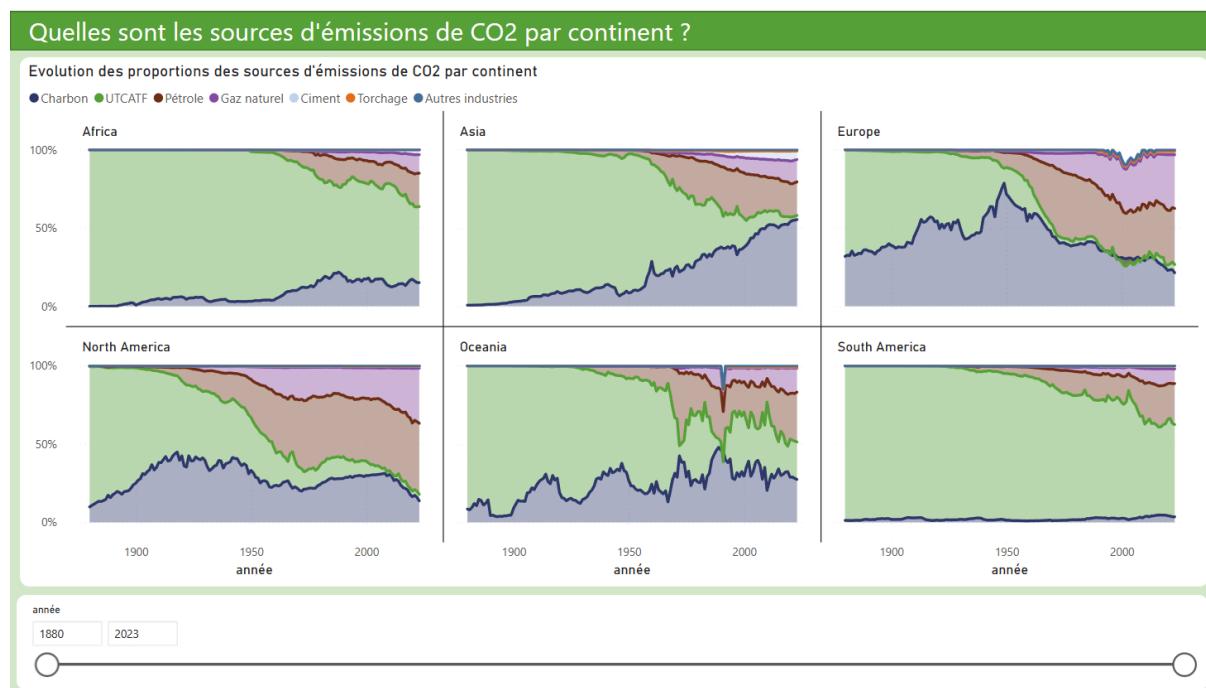
Zoomons sur la période **2000-2023** :



Nous voyons bien que les émissions par habitant baissent dans tous les continents de façon plus ou moins forte, à l'exception de l'Asie, où elles augmentent. Cela est inquiétant compte tenu de l'augmentation de la population asiatique, mais d'un autre côté, c'est également une question de justice et d'égalité entre les continents. Si nous acceptons un taux d'émission par habitant élevé pour nous-mêmes, nous devons bien l'accepter pour les autres continents. D'où l'importance de montrer l'exemple en réduisant nos émissions par habitant.

Dans ce sens, l'Océanie qui est le continent avec la plus forte émission de GES par habitant est aussi celui connaissant la baisse la plus élevée, sans doute font-ils plus d'efforts au niveau de la transition énergétique pour revenir à des niveaux d'émissions par habitants plus raisonnables.

## Quelles sont les sources d'émissions de CO<sub>2</sub> par continent ?



Ce slide présente les mêmes données que nous avions vu sur un slide à l'échelle mondiale, à savoir les sources d'émissions de CO<sub>2</sub>, mais avec une division par continent.

Ce qui est très intéressant ici, c'est de voir comment les continents, du fait de leur histoire géopolitique, de leur climat, de leurs ressources, ont des évolutions très différentes en ce qui concerne les différentes sources d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Par exemple, l'Amérique du Sud a une part très importante d'émissions liées à l'UTCATF. On peut bien sûr penser à la déforestation de la forêt amazonienne qui occupe une part importante ici. De plus, la part d'émissions dues au charbon a toujours été très faible sur ce continent.

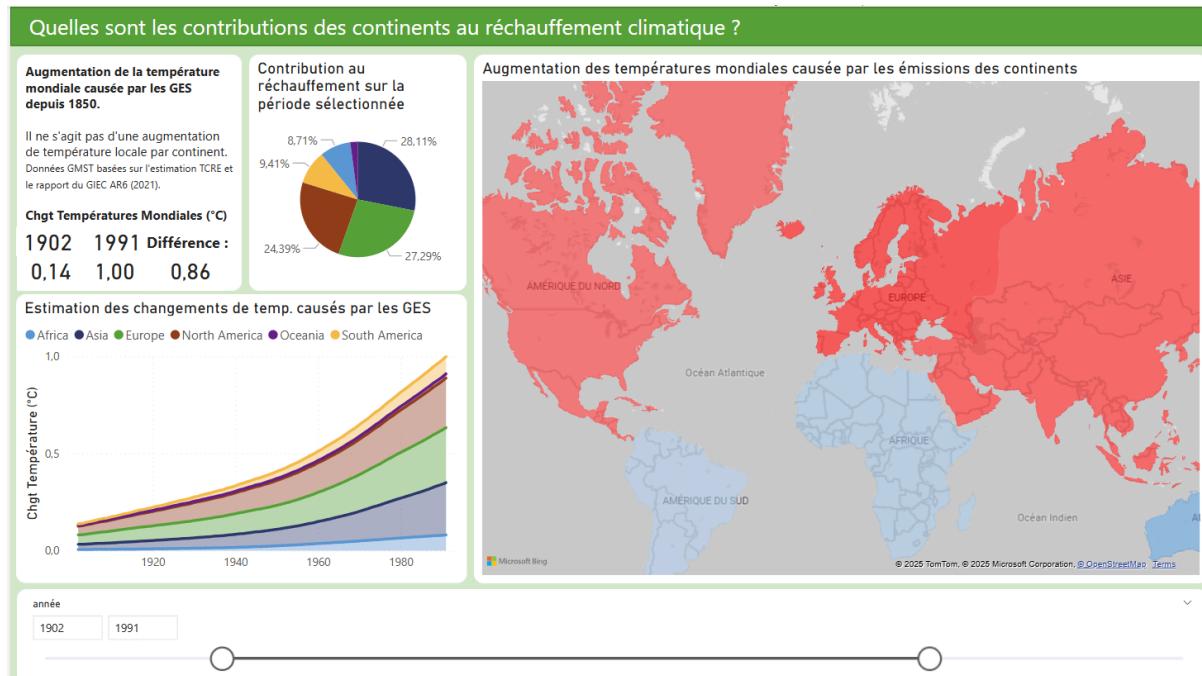
Concernant l'Europe, on voit que la part d'émissions dues au charbon diminue grandement après 1950, tandis que les parts de pétrole et de gaz augmentent fortement. Il est intéressant de constater qu'en Europe, durant les années 1990-2010, la part d'émission liée à l'UTCATF était négative : cela signifie qu'il y avait plus d'absorption de CO<sub>2</sub> (grâce à la reforestation) que d'émission de CO<sub>2</sub>.

En Asie, la part de charbon augmente fortement depuis 1950, suivant une tendance opposée à celle de l'Europe. En sachant que l'Asie est aussi le continent ayant émis le plus de GES ces dernières décennies, on peut en déduire qu'ils utilisent énormément de charbon pour produire de l'énergie, et qu'ils ont donc un gros travail de transition énergétique à faire.

Il est également surprenant de constater qu'au niveau de l'Océanie, le diagramme est très dentelé. Il ne cesse d'y avoir des hausses et des baisses quant à la part du charbon. C'est encore pire entre 1970 et 2000, où l'on voit deux énormes creux de la part des émissions liées à l'UTCATF (1973 et 1991), et il serait très intéressant de plonger plus en détail dans

cette période, pour ce continent, et de corréler cela avec des recherches historiques sur ce qui a pu se passer au sein de ce continent durant cette période. Mais nous ne le ferons pas dans le cadre de ce rapport déjà bien long.

## Quelles sont les contributions des continents au réchauffement climatique ?



De la même manière qu'à l'échelle mondiale, nous avons analysé la responsabilité de chacun des trois gaz à effet de serre étudiés dans le réchauffement climatique, nous allons ici étudier la responsabilité de chaque continent dans l'estimation de l'augmentation des températures causée par les émissions de GES.

L'objectif du slide est de répondre à la question suivante : sur une période étudiée, à quel point les émissions de GES de chaque continent ont augmenté la moyenne des températures mondiales ?

## Introduction

### **Augmentation de la température mondiale causée par les GES depuis 1850.**

Il ne s'agit pas d'une augmentation de température locale par continent.  
Données GMST basées sur l'estimation TCRE et le rapport du GIEC AR6 (2021).

#### **Chgt Températures Mondiales (°C)**

<b>1902</b>	<b>1991</b>	<b>Déférence :</b>
<b>0,14</b>	<b>1,00</b>	<b>0,86</b>

Ce petit encart nous présente l'augmentation mondiale de la température durant la plus petite année et la plus grande années choisies dans notre période de sélection (avec le filtre chronologique tout en bas). Il nous montre également la différence entre les deux valeurs, c'est-à-dire quel a été le changement de température moyen mondial estimé au cours de cette période.

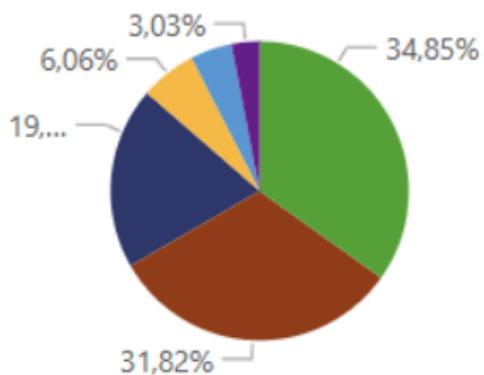
Un petit texte explicatif permet de mieux comprendre le slide. Nous rappelons que les changements de température sont basés sur une estimation. Il est très important de noter que lorsqu'on parle de changement de température ici, on parle de changement à l'échelle mondiale. Ainsi, en 1991, ce n'est pas le continent européen qui se réchauffait de 0.28°C par rapport à la période préindustrielle de référence. Le monde entier se réchauffait de 1°C, et l'Europe y était responsable pour 28%, soit 0.28°C. Ces estimations de changement de température sont directement basées sur les émissions de GES des continents, et n'ont rien à voir avec les températures que l'on peut observer localement sur ces territoires.

## Contribution des continents au réchauffement global sur la période étudiée

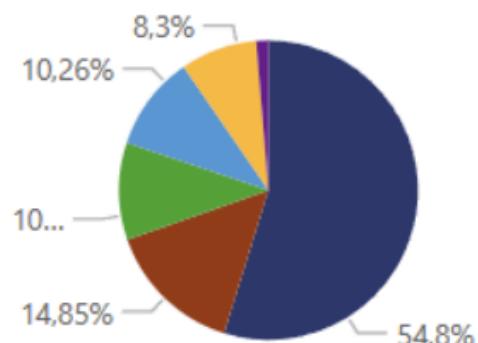
Le camembert permet de voir la proportion de chaque continent quant à sa responsabilité dans l'augmentation des températures sur la période choisie.

Il peut être intéressant de comparer les vingt plus vieilles années avec les vingt plus récentes années, pour voir comment la contribution des continents au réchauffement climatique a évolué.

### Contribution au réchauffement sur la période sélectionnée



### Contribution au réchauffement sur la période sélectionnée



**Chgt Températures Mondiales (°C)**

**1880    1900 Différence :**  
0,06    0,13    0,07

**Chgt Températures Mondiales (°C)**

**2003    2023 Différence :**  
1,21    1,67    0,46

● Africa ● Asia ● Europe ● North America ● Oceania ● South America

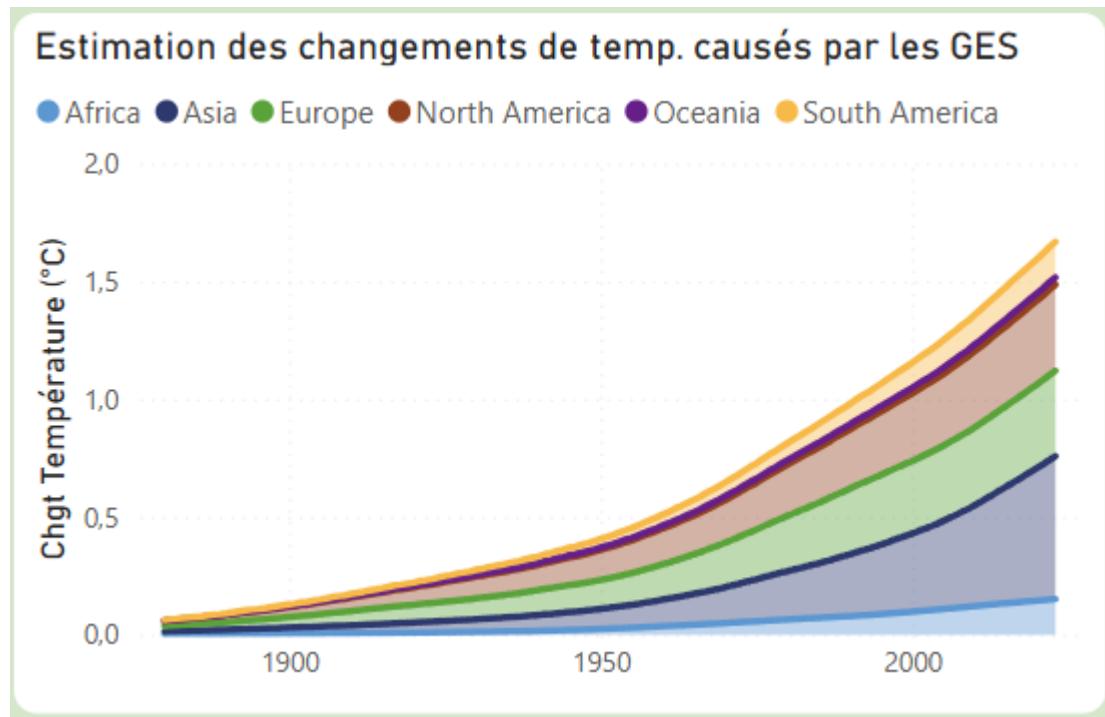
On remarque que la répartition est très différente. De 1880 à 1900, l'Europe était la principale responsable du réchauffement climatique, à près de 35%. Puis nous avons l'Amérique du Nord à 32% et l'Asie à 19%. Notons qu'à cette période, l'augmentation estimée de température durant ces 20 années n'était que de 0.07°C, pour une augmentation depuis 1850 de 0.13°C.

Entre 2003 et 2023, l'Asie est responsable de 55% du réchauffement climatique. L'Amérique du Nord en est responsable de 15%, tandis que l'Europe et l'Afrique sont toutes deux responsables de 10%, suivies de près par l'Amérique du Sud à 8%. Durant ces vingt années, l'estimation de l'augmentation de la température mondiale est de 0.46°C. A titre de comparaison, il a fallu un peu plus de 100 ans pour atteindre un réchauffement global de 0.46°C (seuil atteint en 1956 sur des valeurs basées sur 1850). **En 20 ans, nous avons donc autant réchauffé la planète que sur la période 1850-1956, soit plus d'un siècle !**

Ainsi, l'Asie a pris une part beaucoup plus importante de responsabilité dans l'augmentation des températures mondiales, tandis que les autres continents se sont rééquilibrés, en dehors de l'Océanie du fait de son faible taux d'émission.

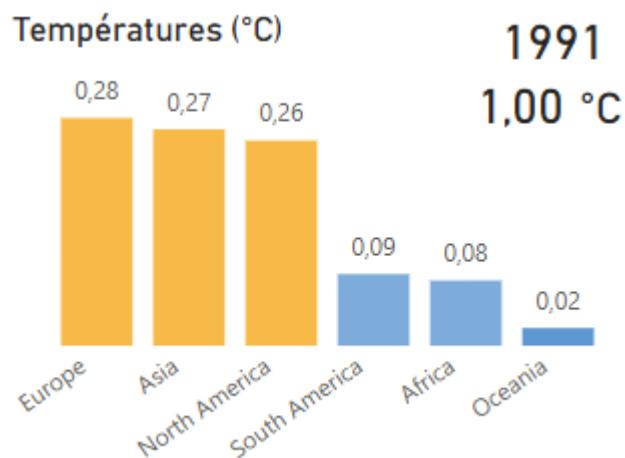
Tout ceci est cohérent avec le fait que l'Asie est le continent avec la plus grande population, de loin, et émet donc beaucoup plus de GES.

Estimation des changements de temp. causés par les GES au cours du temps



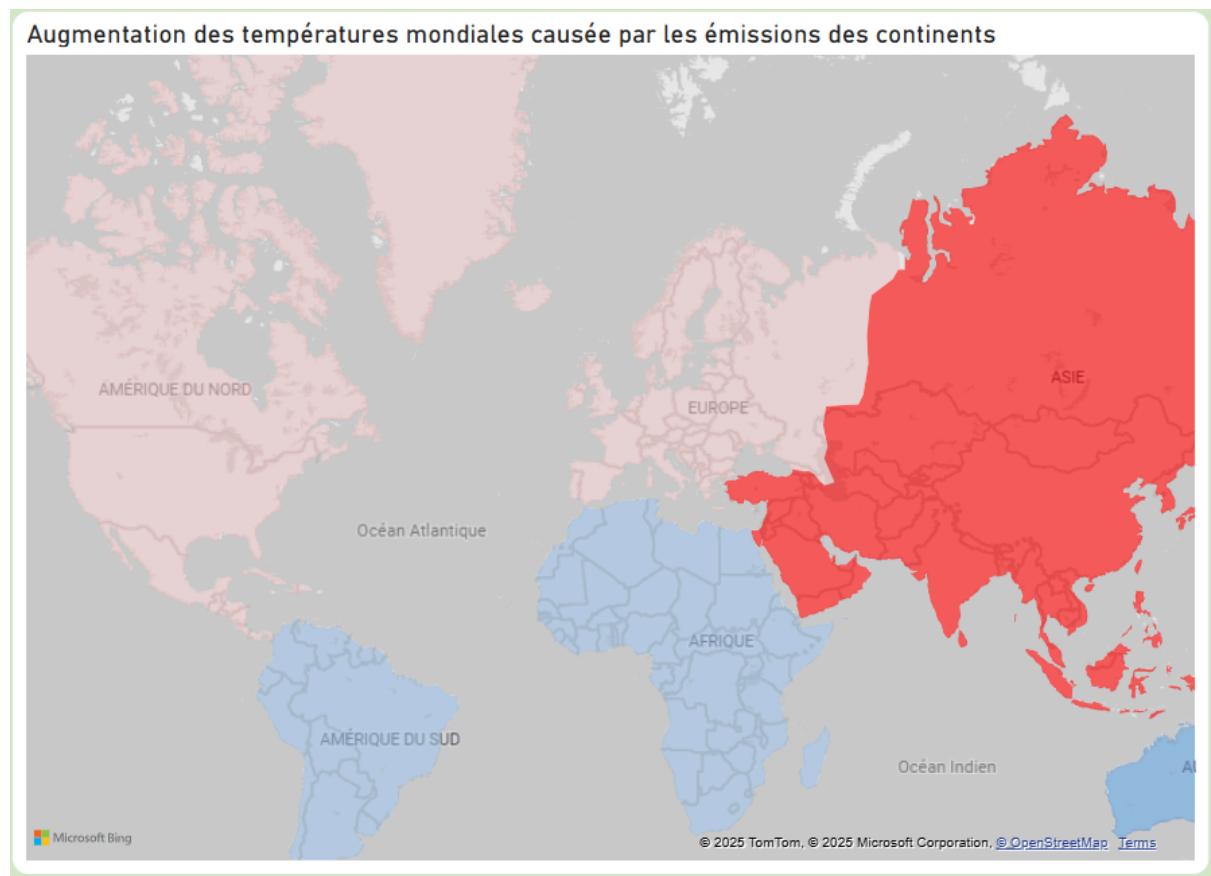
Ce graphique en courbes permet de suivre, au cours du temps, l'évolution de l'augmentation de la température (cumulée) pour chaque continent. Nous pouvons ainsi voir l'augmentation de température provoquée par chaque continent pour chaque année entre 1880 et 2023.

Un tooltip personnalisé permet de voir les valeurs dans le détail pour l'année sélectionnée, ainsi que l'augmentation totale de la température mondiale. Ainsi, en survolant l'année 1991, nous avons le tooltip suivant :



Notons que les données de changement de température sont des données cumulées. Si l'on reprend l'exemple de 1991, l'Europe n'a pas été responsable de 0.28° de réchauffement au cours de cette année-là uniquement, mais a atteint cette valeur entre 1850 (année de référence) et 1991.

## Carte de l'augmentation des températures mondiales par continent



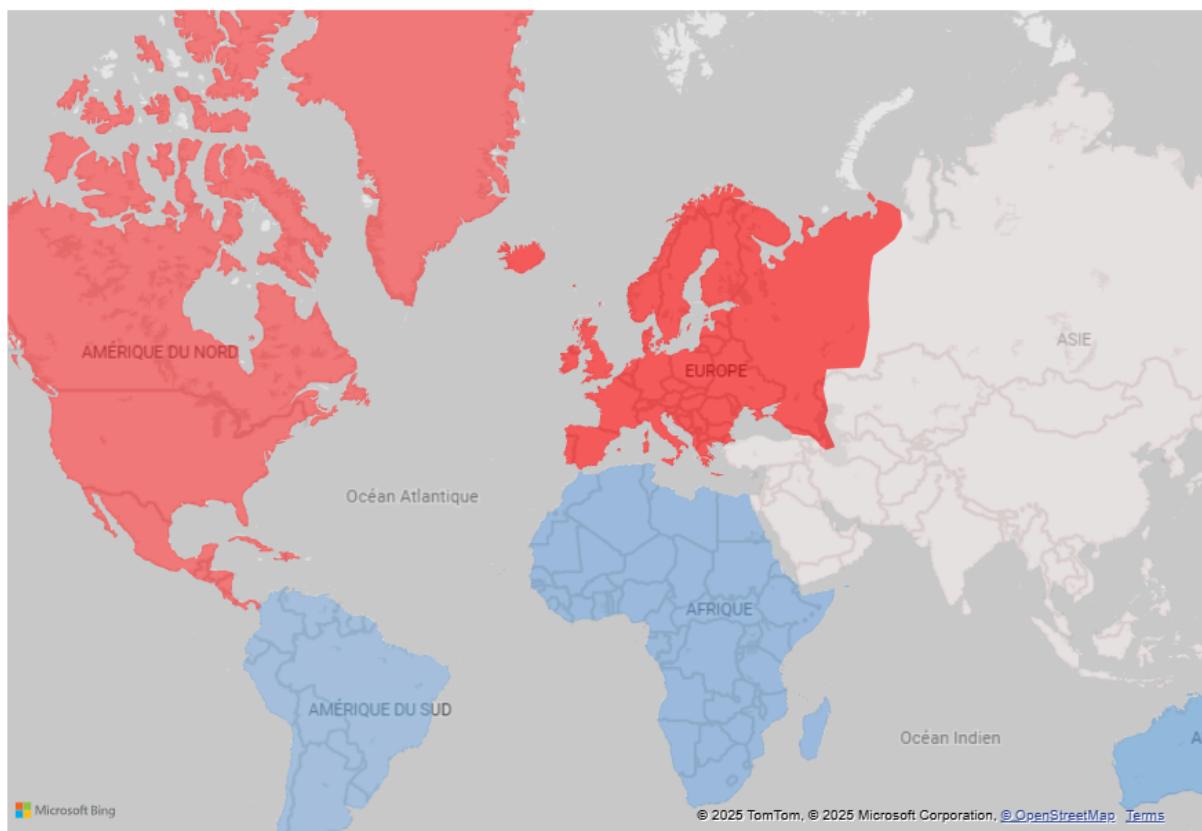
Cette carte du monde nous montre, de façon colorée, la contribution de chaque continent à l'augmentation des températures via ses émissions de GES.

Une couleur bleue indique une faible augmentation de la température moyenne mondiale comparativement au reste du monde, tandis qu'une couleur rouge représente une forte augmentation.

La donnée prise en compte est la différence entre le changement de température de l'année la plus récente de la période, avec le changement de température de l'année la plus ancienne.

Notons que les couleurs ne sont pas associées aux valeurs absolues de changements de température, mais à la comparaison avec les autres continents.

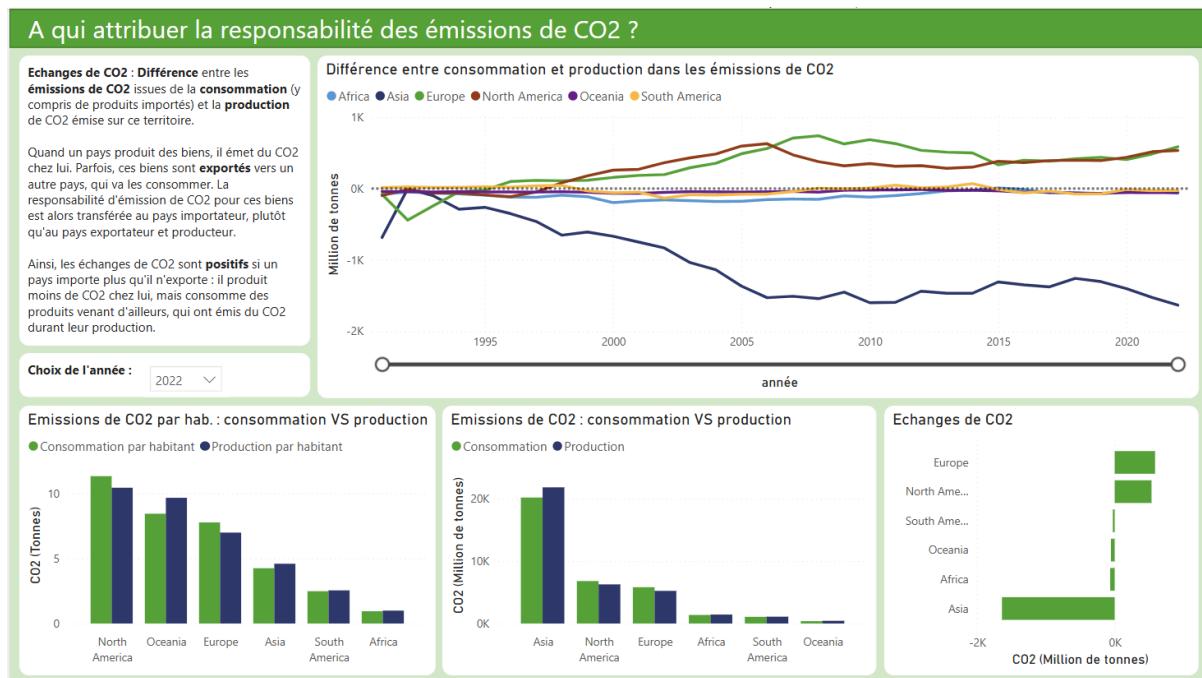
Ainsi, sur la période **1880-1900**, la carte ressemble à cela, quand bien même l'augmentation de température est beaucoup plus faible que sur les vingt dernières années :



Cette carte permet également de cliquer sur un continent (ou d'en sélectionner plusieurs avec ctrl + clic), afin de filtrer ces continents sur les autres graphiques.

Elle permet d'avoir un visuel plus intuitif des responsabilités par continent.

## A qui attribuer la responsabilité des émissions de CO2 ?



Cette dernière slide aborde un concept important lorsque l'on analyse les émissions de CO2 par zones géographiques : à qui attribuer la responsabilité des émissions de CO2 ?

En effet, nous avons vu que certains continents émettent beaucoup plus de CO2 que d'autres. Mais en ont-ils l'entièbre responsabilité ?

C'est là qu'intervient la notion d'**échanges de CO2**.

**Note** : nous n'étudierons ici que les **émissions de CO2 industrielles**, c'est-à-dire toutes celles qui ne sont pas liées à l'UTCATF.

### Explications du principe d'échanges de CO2

Cette notion vise à faire la distinction entre le CO2 émis à cause de la consommation d'une population (consommation en énergie et en biens), et le CO2 émis pour la production de biens qui seront exportés et consommés dans d'autres zones géographiques (smartphone, vêtements, voitures...). Cela est donc lié au commerce international.

Cette valeur est calculée en faisant la **différence** entre les émissions de CO2 relatives à la consommation (d'énergie, de produits internes et de produits importés), et les émissions de CO2 produites sur ce territoire. Il permet d'établir une approche par **consommation** plutôt que par **production** : la responsabilité de l'émission de CO2 va au consommateur final (qui achète un produit importé) plutôt qu'au producteur qui a émis du CO2 pendant la création du produit et qui l'a ensuite exporté.

Un territoire (pays, continent...) qui produit énormément de biens qu'il exporte ensuite, et qui importe peu, aura une valeur d'échanges négative, car il aura émis beaucoup de CO2 pour

la consommation d'autres pays. A l'inverse, un pays qui importe beaucoup de produits aura plutôt une valeur d'échanges positive, puisqu'il prendra la responsabilité des émissions liées au produit consommé.

Cette approche permet de définir la responsabilité des émissions de CO2 de façon plus juste et de responsabiliser les consommateurs.

## Présentation de la slide

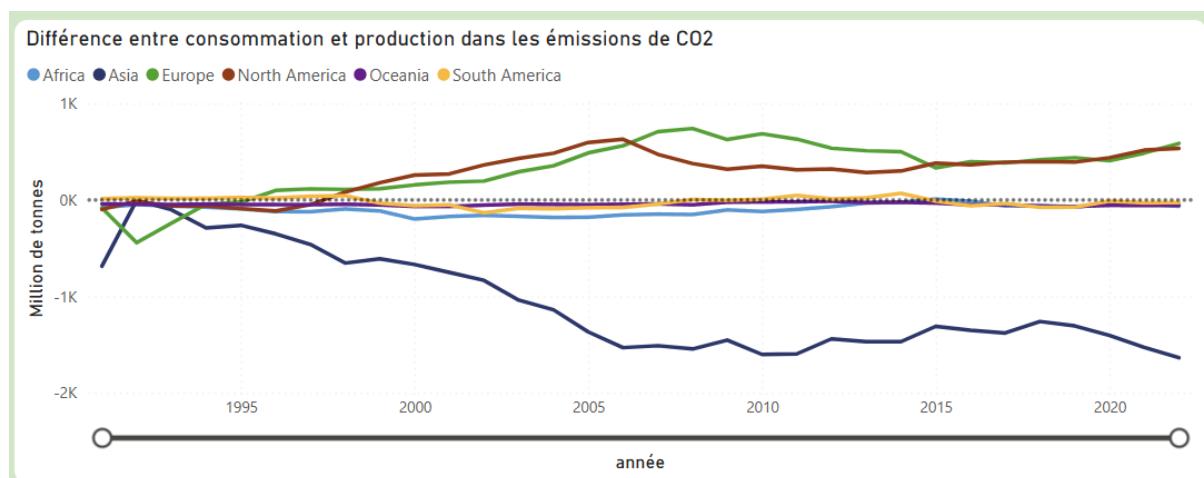
Cette slide est composée de quatre graphiques, et d'une zone explicative qui résume la définition d'échange de CO2 vue plus haut.

Le graphique en courbes montre l'évolution des échanges de CO2 au cours du temps.

Les trois graphiques en-dessous traitent de l'information pour une année précise. En effet, les émissions globales changeant grandement au cours du temps, faire une analyse sur plusieurs années présente peu d'intérêt. L'année peut être changée par le dropdown sur la gauche.

Notons que la période étudiée commence à partir de 1991 et finit en 2022 : nous n'avons des données que pour cette période-là.

## Différence des émissions de CO2 entre consommation et production au cours du temps



Ces courbes permettent de voir, au cours du temps, les échanges de CO2 à l'échelle des continents.

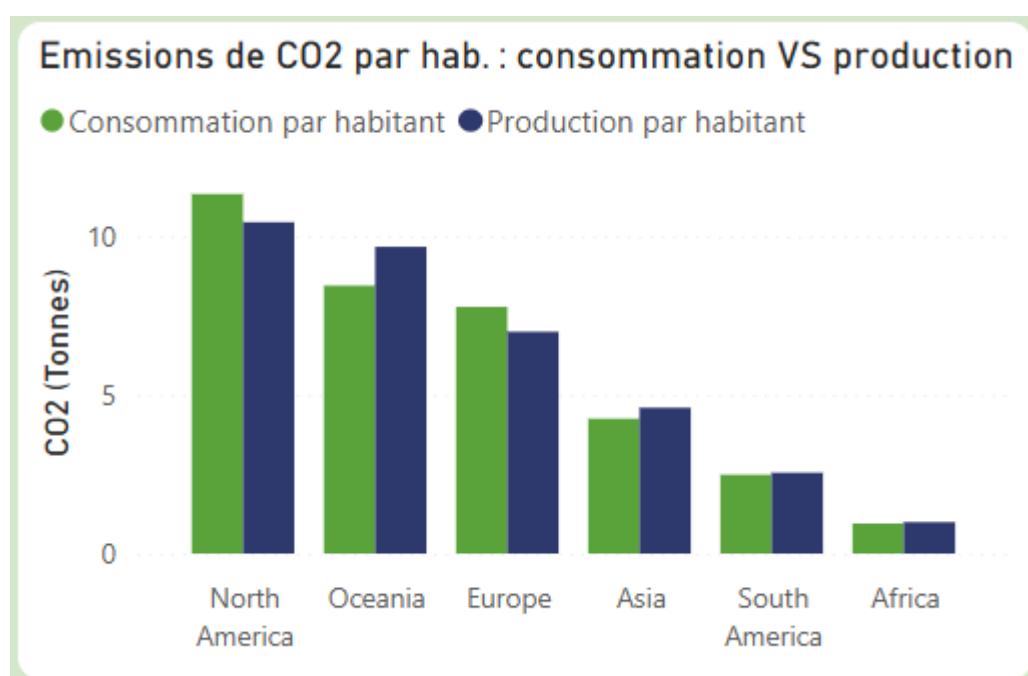
Une droite horizontale en pointillé marque le point 0, c'est-à-dire qu'il y a autant de CO2 consommé par le continent que de CO2 qu'il produit.

L'on peut faire trois constatations rapidement en voyant ce graphique :

- l'Europe et l'Amérique du Nord sont de grands consommateurs (donc de grands importateurs de biens dont la production a émis du CO<sub>2</sub>)
- L'Océanie, l'Amérique du Sud, et dans une moindre mesure, l'Afrique, suivent très bien la ligne du 0. On peut en déduire que l'Océanie et l'Amérique du Sud produisent autant de CO<sub>2</sub> qu'ils en consomment (il y a donc un équilibre au niveau des émissions de CO<sub>2</sub> en termes d'import/export). C'est un peu moins vrai pour l'Afrique, qui produit un peu plus de CO<sub>2</sub> pour les autres pays puisque ce continent est en négatif.
- L'Asie est très loin dans le négatif, avec une grande chute jusqu'en 2006 puis une stabilisation. L'Asie produit énormément de CO<sub>2</sub> comme nous l'avons vu, mais une très grande quantité de ces émissions sont dues à la production de biens qui sont ensuite exportés et consommés dans d'autres continents.

Cela permet de nuancer les observations précédentes, à propos de l'Asie en tant que continent émettant le plus de gaz à effet de serre. Bien que cette observation est réelle, cette nouvelle analyse nous fait prendre conscience que c'est aussi parce que d'autres continents, tels que l'Europe et l'Amérique du Nord, consomment beaucoup de biens produits en Asie, que ce continent génère autant d'émissions de gaz à effet de serre.

Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> par habitant par la consommation et la production



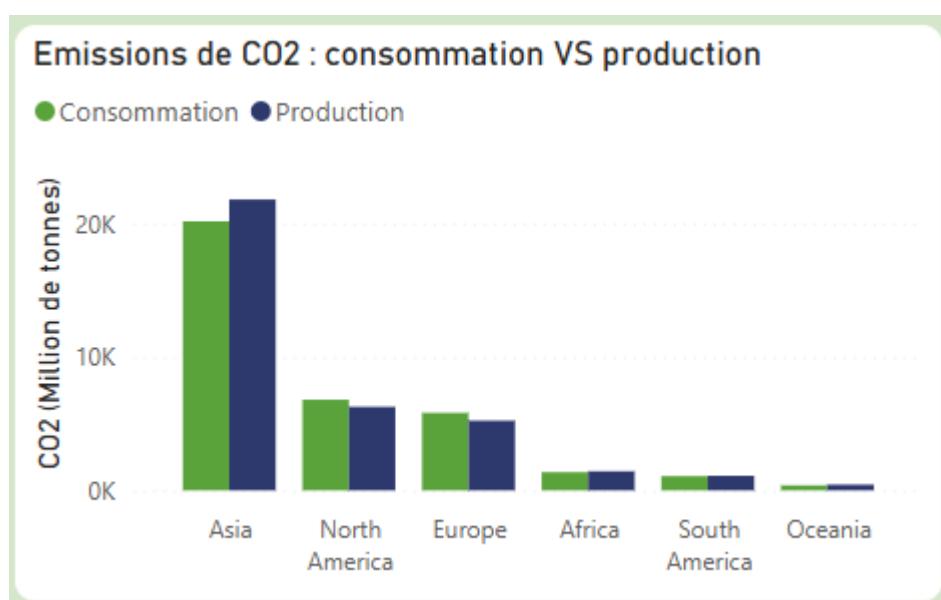
Ce graphique nous montre, pour chaque continent, sur l'année choisie, les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant :

- propres à la consommation du continent (tout ce que le continent consomme, incluant les biens importés), en vert
- produites uniquement sur ce continent, en bleu foncé

Ce graphique permet de constater à nouveau deux choses :

- l'Amérique du Nord, l'Océanie puis l'Europe sont les continents ayant le plus gros taux d'émission de CO<sub>2</sub> par habitant. Nous avions fait des observations similaires à propos des émissions totales de GES, mais ici, nous ne nous focalisons que sur les émissions de CO<sub>2</sub> industrielles.
- L'Amérique du Nord et l'Europe "émettent" plus de CO<sub>2</sub> par habitant, par consommation que par production, ce qui est conforme au graphique précédent. C'est l'inverse pour les autres continents, qui exportent davantage.

Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> par la consommation et la production

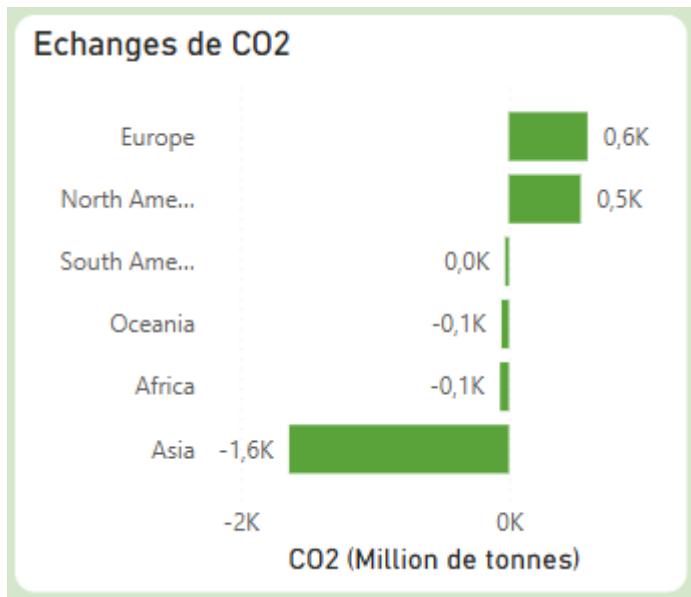


Ce graphique ressemble au précédent mais traite des émissions de CO<sub>2</sub>, sans les diviser par le nombre d'habitants.

Sans surprise, l'Asie est nettement au-dessus des autres continents en matière d'émissions de CO<sub>2</sub>. Mais une partie de ses émissions concerne des produits exportés ailleurs (cette partie correspond à la différence entre la barre bleue et la barre verte). Ainsi, dans une approche d'émissions par consommation, nous devons nous intéresser aux barres vertes.

En soi, cela ne change pas fondamentalement les conclusions. L'Asie reste le continent émettant le plus de CO<sub>2</sub>, et la majeure partie de ces émissions sont imputées à la consommation de l'Asie (qui, rappelons-le, est tout de même très inférieure à la plupart des autres continents d'un point de vue émission par habitant). Seule une petite partie des émissions peut être retirée et imputée à la consommation des autres continents.

## Échanges de CO2



Ce dernier diagramme nous permet de voir la répartition des échanges de CO2 pour l'année sélectionnée. Ainsi, en 2022, on constate que l'Asie a produit sur son territoire 1.6 milliards de tonnes de CO2 de plus que la quantité d'émissions relatives à ce qu'elle a consommé. A l'inverse, la consommation de l'Europe et de l'Amérique du Nord sont responsables de plus de 0.5 milliard de tonnes d'émissions de CO2 de plus que ce que ces continents ont eux-mêmes produits sur leur territoire.

Notons que vous pouvez retrouver le même graphique en tant que tooltip sur le graphique en courbe présentant l'évolution des échanges CO2 au cours du temps.

# Conclusion de la deuxième étape

En travaillant sur le rapport Power BI et en rédigeant ce compte-rendu, je me suis rendu compte des possibilités infinies d'exploration du sujet. Nous en avons évoqué quelques-uns tout au long du compte-rendu. Il y a toujours possibilité d'étudier plus en profondeur certaines parties, en zoomant sur un territoire ou sur une période. La difficulté fut donc de rester focalisé sur mon cadre : analyser les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale et par continents, ainsi que leurs impacts sur le réchauffement climatique.

J'aurais aimé pousser plus loin certaines analyses. Notamment à propos de l'Asie : voir les parts de la Chine et du Japon en matière d'émissions de GES par rapport aux autres pays asiatiques. Il aurait également été intéressant d'analyser les émissions en fonction de groupes de pays par développement économique : les émissions des pays les plus riches, les plus pauvres...

Par manque de temps, et parce qu'il fallait un périmètre suffisamment restreint, j'ai choisi de focaliser mes analyses sur le monde et sur les continents. Les continents forment des zones géographiques très facilement identifiables. Ils partagent souvent des histoires et cultures communes, même s'il y a parfois de grandes disparités au sein d'un même continent. Ils permettent aussi un découpage facile par hémisphère, qui peut s'avérer utile pour mettre cela en commun avec les analyses des températures par zones géographiques effectuées par les autres membres de l'équipe. Voilà pourquoi j'ai choisi ce périmètre d'analyse.

Cette analyse nous montre qu'au-delà de l'aspect écologique, les émissions de gaz à effet de serre et le dérèglement climatique touchent aussi à des réflexions politiques, voire philosophiques. Nous avons évoqué la question de l'augmentation de la population, notamment en Asie, qui conduit à de très fortes émissions de CO<sub>2</sub> sur ce continent, le rendant aujourd'hui responsable de la moitié des émissions de GES qui contribuent au dérèglement climatique. Quelles politiques pourrions-nous mettre en place pour faire face à cela, tout en respectant les libertés, la dignité humaine, les droits humains ? Nous avons aussi pu mettre en avant de fortes inégalités entre les continents. Les émissions de GES, étroitement liées à l'industrialisation, sont un reflet des différences de développement entre les continents.

L'une des premières solutions que nous pourrions envisager serait de faire en sorte que l'exploitation du charbon et du pétrole diminuent drastiquement dans tous les continents, puisque nous avons vu qu'ils étaient en grande partie responsable des émissions de CO<sub>2</sub>. L'UTCATF n'est pas en reste non plus, avec la déforestation et l'exploitation de sols pour l'agriculture. L'agriculture est également un très vaste sujet, notamment si on le rapporte à l'élevage intensif d'animaux pour la production de viande. En effet, l'agriculture est grandement utilisée pour nourrir des animaux en élevage (tels que l'élevage bovin, en partie responsable des émissions de méthane). Ces élevages intensifs sont eux-mêmes la source d'émissions de GES, alors même qu'une très grande quantité de viande produite est jetée, gaspillée, par les pays les plus riches. Voilà encore un exemple de tiroirs que l'on peut ouvrir, une autre exploration à faire, parmi les possibilités infinies offertes par ce sujet.

# Conclusion

Cette conclusion ne va pas seulement porter sur ce compte-rendu final individuel, mais sur l'ensemble du projet en équipe.

Dans un premier temps, j'aborderai les difficultés rencontrées au cours du projet. Ensuite, j'effectuerai un bilan de l'analyse globale en m'appuyant également sur les travaux de mes camarades, qui ne figurent pas dans ce compte-rendu. Enfin, nous verrons comment aller plus loin dans cette étude.

## Difficultés rencontrées

### Les délais et le manque de temps

La première difficulté de ce projet fut les délais très courts des différents rendus, et donc le manque de temps, si l'on tient compte du fait que l'on devait avancer sur les modules de cours et les examens en parallèle du projet.

En effet, nous avons commencé le projet le 26 Mars, pour une soutenance initialement prévue au 22 Avril mais finalement retardée au 30 Avril, nous laissant un peu plus d'un mois pour faire ce projet.

En un mois, nous avons le temps de faire beaucoup de travail, toutefois, la difficulté était de continuer d'avancer sur les modules en même temps, et par conséquent de bien gérer son temps entre le projet, les modules et les examens. En outre, nous avions deux rapports individuels à rendre durant les trois premières semaines du projet.

J'ai conscience que nous serons confronté à la même difficulté dans le monde du travail, et que c'est probablement pour nous préparer à cela que les deadlines étaient serrées. A titre personnel, je pense avoir bien surmonté le challenge du temps, en rendant les rapports à l'heure, et sans prendre de retard sur les sprints, au prix de semaines intensives, et d'une petite dose de stress. Cependant, ce manque de temps a pu nuire à notre organisation globale en tant qu'équipe, comme nous allons l'aborder dans la partie suivante.

### L'organisation de l'équipe et les rendus individuels

Je ne pense pas qu'un manque d'organisation ait réellement nuit à la qualité globale du projet d'équipe. Au contraire, je crois que nous avons, tous les quatre, livré un travail cohérent et de bonne qualité. Toutefois, nous aurions pu mieux nous organiser dès le départ si nous avions eu plus de temps en début de projet.

Par exemple, les quatre jeux de données que nous avons analysés individuellement ne sont pas équivalents en termes de volume de données ou de complexité de nettoyage ou d'analyse. C'est quelque chose que nous avons constaté trop tard au cours du projet. Ainsi, le CSV sur les émissions de gaz à effet de serre, présenté dans ce rapport, est si

volumineux que nous aurions pu le partager entre deux membres de l'équipe, et ainsi, peut-être, pousser les analyses plus loin.

Par ailleurs, le fait que les premiers rendus soient individuels, couplé au manque de temps général, n'a pas favorisé le travail en équipe. Nous avons passé du temps à travailler chacun de notre côté, sur nos propres jeux de données, en gérant au mieux notre temps par rapport aux modules de cours. Nous aurions apprécié pouvoir davantage travailler en équipe, se réunir tous ensemble, pour garantir une cohérence parfaite dans le spectre de notre analyse. Cela a eu pour conséquence, parfois, un manque de communication ou de compréhension, résultant en une perte de temps.

Malgré cela, tout le monde a fait de son mieux, avec ses propres contraintes individuelles, et je suis satisfait du travail que nous avons effectué ensemble.

## Préparation de la soutenance, cohérence globale et narration

Pour rester dans le sujet de l'équipe, l'une des difficultés fut la préparation de la soutenance, et notre capacité à trouver une narration cohérente à partir de nos analyses individuelles.

En effet, plutôt que de partir d'un projet en équipe, où l'on définit d'abord la problématique, les objectifs, le plan, et où l'on répartit les tâches, nous avons plutôt fait l'inverse : après une première réunion de découverte rapide des jeux de données, chacun est parti sur un jeu de données qu'il a analysé au cours de ses deux premiers rendus, puis nous avons tout regroupé à la fin.

Le problème de cette approche plus individuelle, que l'on nous a incité à suivre étant donné le caractère individuel des rendus intermédiaires, c'est que nous ne sommes pas toujours partis dans la même direction, et que nous sommes allés parfois trop loin dans nos analyses.

La soutenance devant tenir sur vingt minutes, il nous a fallu faire des coupes drastiques sur les sujets à aborder. Ainsi, toute mon analyse comparative entre les continents n'apparaît pas dans la soutenance finale, car elle nous aurait pris bien trop de temps. Nous nous sommes donc surtout focalisé sur une analyse mondiale.

## Densité du CSV owid-data-co2

Comme nous avons pu le voir en première partie de ce rapport, le csv owid-data-co2 est volumineux et dense. Surtout, il contient énormément d'informations différentes. Par exemple, il y avait la colonne country qui avait, certes des pays, mais également des zones comme des continents, le monde entier, ou des sources particulières d'émissions comme le transport international.

En outre, les données n'étaient pas toujours relevées à partir des mêmes périodes, causant de nombreuses valeurs manquantes.

Cela a rendu le fichier assez compliqué à traiter, avec beaucoup de cas exceptionnels (valeurs manquantes pour certaines colonnes pour certains pays uniquement, par exemple).

A cause de cela et du manque de temps, je n'ai pas pu faire une analyse détaillée par pays, et ai été contraint de me focaliser sur le monde et les continents. Toutefois, il y avait déjà beaucoup de choses à dire sur ces deux échelles-là.

## Bilan de l'analyse

Je vais désormais revenir sur l'analyse globale effectuée au cours du projet. Ce bilan résume essentiellement ce dont nous avons parlé dans la soutenance, et ne revient pas sur certaines analyses qui ont été effectuées dans ce rapport mais qui ont été exclues de la soutenance, notamment les analyses par continents.

Tout d'abord, les travaux d'Arthur et de Yann sur les données issues de la NASA nous ont permis de mettre en évidence une augmentation globale des anomalies de température depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Ces anomalies témoignent d'un réchauffement global de la surface de la planète, fortement accéléré à partir de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle. En outre, nous avons pu remarquer que les zones les plus touchées étaient les zones les plus froides, notamment l'arctique et l'antarctique. Enfin, nous avons aussi pu remarquer que les mois qui avaient les anomalies de température les plus élevées étaient les mois d'hiver et d'automne. Cette analyse nous montre que ce sont les zones, et les périodes de temps, les plus fraîches, qui sont les plus impactées par le réchauffement climatique.

Nous avons ensuite établi un lien entre ces augmentations d'anomalies de température, et les émissions de gaz à effet de serre, à partir de mon étude sur ces émissions. En effet, les gaz à effet de serre, en s'installant dans l'atmosphère, enveloppent notre planète et emmagasinent la chaleur solaire, causant ainsi un réchauffement global. Le principal gaz à effet de serre est la vapeur d'eau, qui est produite naturellement, avec l'évaporation des mers et des océans. Cependant, les activités humaines de l'ère moderne ont grandement augmenté les émissions de gaz à effet de serre, notamment industrielles. On s'intéresse donc ici aux gaz à effet de serre d'origine anthropique (liée aux activités humaines).

En effet, nous avons constaté une très forte augmentation des gaz à effet de serre d'origine industrielle après 1950. Cette augmentation suit de façon presque linéaire l'augmentation des anomalies de température ainsi que l'augmentation de la population.

En étudiant plus en détail la composition des gaz à effet de serre anthropiques, nous avons constaté que le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) représente environ 70 à 75% de ces émissions, tandis que le méthane en représente 20%. Nous nous sommes alors focalisé sur le CO<sub>2</sub>, en observant l'évolution des différentes sources d'émissions de CO<sub>2</sub> à travers le temps. Ainsi, nous avons remarqué que l'explosion des émissions après 1950 coïncide avec l'exploitation du pétrole et du gaz naturel qui ont pris des proportions de plus en plus grandes, tandis que l'exploitation du charbon continuait. D'autres sources d'émission se sont ajoutées sur les dernières décennies, comme la fabrication du ciment, représentant aujourd'hui 5% des émissions de CO<sub>2</sub>.

La plupart des sources d'émission de CO<sub>2</sub> (charbon, pétrole, gaz) sont en fait liées à la production énergétique. C'est là qu'interviennent les travaux de Solen sur la consommation et la production énergétique mondiale.

Le bilan énergétique mondial nous permet de constater les disparités qui existent entre les différents pays, puisque l'on peut voir de grandes inégalités en matière de consommation d'énergie primaire par habitant. Ces travaux nous rappellent les inégalités que nous avons pu observées dans la deuxième partie de ce compte-rendu, entre les émissions de gaz à effet de serre par habitant dans les différents continents. Ainsi, les pays occidentaux, riches et développés, sont ceux consommant le plus d'énergie par habitant, tandis que les pays qui n'ont pas le même niveau de développement mais qui peuvent avoir une grande population, notamment en Afrique, en Asie ou en Amérique du Sud, ont une consommation plus faible.

Nous avons également pu remarquer que la consommation d'énergie augmente plus rapidement que l'augmentation de la population mondiale, depuis 1965, ce qui signifie qu'en moyenne, chaque habitant sur Terre consomme de plus en plus d'énergie. Cela va de pair avec les logiques de développement économique à l'échelle mondiale.

Toutefois, sur une note plus positive, la part des énergies renouvelables dans la production énergétique augmente au cours du temps, bien qu'elle ne représente encore que 15% de la production énergétique mondiale, contre 80% pour les énergies fossiles dont la combustion émet du CO<sub>2</sub>. Il y a donc encore beaucoup d'efforts à faire à l'échelle mondiale pour réduire la consommation de combustibles fossiles.

Pour conclure, nous voyons clairement une relation de causalité entre activités humaines et réchauffement climatique.

D'une part, la population mondiale augmente, et la consommation d'énergie par habitant augmente également, du fait du développement et de l'industrialisation des pays émergents. Pour améliorer le confort de vie de la population mondiale, nous sommes, dans le système actuel, obligés de produire plus d'énergie, et de biens de consommation. Cela a pour conséquence néfaste d'accroître les émissions de gaz à effet de serre, causant ainsi une augmentation des anomalies de température et un dérèglement climatique, qui lui-même est la cause de nombreuses intempéries et catastrophes climatiques.

## Pour aller plus loin...

Il y a de nombreux sujets annexes que nous aurions pu explorer dans le même thème, en voici une liste non exhaustive.

Tout d'abord, il aurait été intéressant de faire une analyse des émissions de gaz à effet de serre par pays, en plus de l'analyse par continents, afin d'avoir un niveau de détail supplémentaire. Cela aurait permis, par exemple, d'analyser la Chine, l'Inde et le Japon différemment du reste de l'Asie. Avec une analyse par pays, nous aurions également pu faire un comparatif entre les pays émettant le plus de CO<sub>2</sub> ou consommant le plus d'énergie, et les zones géographiques les plus touchées par le réchauffement climatique.

Nous aurions également pu pousser plus loin l'analyse à propos des différences d'émissions de CO<sub>2</sub> par habitant, pour chaque continent ou des pays en particulier. Est-ce que cela signifie simplement qu'il y a trop d'usines par rapport au nombre d'habitants ? Est-ce que cela signifie que les habitants consomment trop d'énergie ? Ou trop de biens de consommation (smartphone, voitures...). Ou qu'ils polluent trop, individuellement ?

Nous aurions également pu davantage entrer dans le détail de l'exploitation du pétrole, et l'impact du transport (terrestre, maritime et aérien) sur cette exploitation. Par exemple, à quel point l'aviation et l'explosion du commerce international interviennent dans ces émissions ?

Une autre analyse intéressante aurait été de faire un zoom sur l'origine des sources de méthane qui représente 20% des émissions de GES anthropiques. D'où viennent ces émissions de méthane et pourquoi une plus forte augmentation à partir de 1950 ? Est-ce dû à l'élevage intensif de bovins pour la production de viande, à d'autres facteurs ? Cela pourrait être croisé avec une analyse des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF), l'agriculture, la déforestation, la création de pâturages...

Enfin, nous pourrions également étudier l'évolution de la démographie. D'où vient le boom démographique en Asie ? Pourquoi semble t-il y avoir une stagnation en Europe ?

Comme nous pouvons le voir, le dérèglement climatique touche à de nombreux sujets, souvent politiques, qui sont tous interconnectés.

## Qui aurait pu prédire...?

J'aimerais conclure en essayant de répondre à la question posée en introduction : "Qui aurait pu prédire le dérèglement climatique ?"

Au vu de l'analyse de nos données, je pense que le dérèglement climatique n'est pas seulement prévu, mais observé et documenté depuis des décennies. Et si les courbes d'émissions de gaz à effet de serre et d'augmentation de la température continuent sur cette même trajectoire, malgré les efforts de transition observés dans certains continents, je me risque à prédire un funeste avenir pour l'humanité toute entière et la biodiversité.

Bien que certains pensent qu'ils puissent y avoir de la croissance verte, c'est-à-dire la possibilité de continuer notre développement économique, et de vivre dans le même système, tout en cessant les émissions de gaz à effet de serre grâce à de l'énergie propre, cela ne fait pas l'unanimité dans la communauté scientifique. En effet, des experts, notamment du GIEC, considèrent qu'il faudrait revoir l'intégralité du système économique pour éviter la catastrophe à venir.

Seuls des changements drastiques de nos sociétés, à l'échelle mondiale, mis en place urgentement, pourraient nous sauver de la catastrophe. Mais sommes-nous prêts à changer nos modes de vie ? A mettre fin au commerce international ? A consommer de façon raisonnable, et uniquement ce que l'on produit localement ? A mettre fin au gaspillage et à la

surproduction ? A ne plus courir derrière la croissance économique et l'enrichissement personnel ? A cesser de prendre l'avion pour le tourisme ? A réduire nos utilisations de smartphone, d'ordinateur, de télévision, de jeux vidéo ? Nous, occidentaux, qui avons baigné dans ce confort de vie, il nous paraît inimaginable d'abandonner ces biens et ce confort que l'on croit acquis. Et pourtant, si nous continuons ainsi, nous pourrions perdre bien plus encore.

Le défi est énorme, mais le jeu en vaut la chandelle : il ne s'agit ni plus ni moins que de la survie de l'humanité et de la majeure partie des espèces vivantes.

# Sources

## Données officielles

**owid-co2-data.csv** provient de <https://github.com/owid/co2-data?tab=readme-ov-file> de l'organisation Our World in Data. <https://ourworldindata.org>

Les données proviennent de ces sources :

- Jones et al. - National contributions to climate change (2024) [<https://zenodo.org/records/7636699/latest>]
- Global Carbon Budget (2024) [<https://globalcarbonbudget.org/>]
- Bolt and van Zanden - Maddison Project Database 2023 [<https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-project-database-2023>]
- U.S. Energy Information Administration - International Energy Data (2023) [<https://www.eia.gov/opendata/bulkfiles.php>]; Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024) [<https://www.energyinst.org/statistical-review/>]
- Population based on various sources (2024) [<https://ourworldindata.org/population-sources> ]

Informations complètes ici :

<https://github.com/owid/co2-data/blob/master/owid-co2-codebook.csv>

## Jupyter Notebooks

Voici le lien pour consulter les Jupyter Notebooks ayant servi à la première partie.

[https://drive.google.com/drive/folders/1fiQfqjKieLbw6Oz1XDWQIRcos7zPap3a?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1fiQfqjKieLbw6Oz1XDWQIRcos7zPap3a?usp=drive_link)

Il y en a cinq, et bien qu'il y ait parfois eu des aller-retours de l'un à l'autre, ils ont été faits dans cet ordre :

**Première analyse de owid-co2-data** : toute première analyse de owid-data-co2.csv pour un premier défrichage.

**Split owid-data-co2** : Division de owid-data-co2 en plusieurs csv plus spécifiques (world, continent...)

**Split & Clean owid-co2-world** : Division de owid-co2-world en plusieurs csv plus spécifiques sur différentes époques (owid\_co2\_per\_energy\_world, owid\_co2\_shipping\_aviation\_transport, owid\_co2\_world, owid\_ghg\_world)

**Analyse de owid-ghg-world** : Analyse et visualisation de owid-ghg-world.csv pour le premier rapport.

**Split & Clean owid-co2-continents** : Nettoyage et division de owid-co2-continents en plusieurs csv plus spécifiques (owid\_co2\_per\_energy\_continents,

owid\_co2\_continents\_1880, owid\_co2\_continents\_1990). A été fait après le premier rapport par manque de temps.

## Fichiers CSV

### CSV bruts

Les CSV bruts issus des sources de données sont rassemblés ici :

[https://drive.google.com/drive/folders/1OAeOhN5MJO6LqC1eVPaSJyOqGIKwV-gc?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1OAeOhN5MJO6LqC1eVPaSJyOqGIKwV-gc?usp=drive_link)

### CSV propres

Les CSV nettoyés sont disponibles ici :

[https://drive.google.com/drive/folders/1hl-umqf5kluTHnCYA6epT3WEfi2fawc4?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1hl-umqf5kluTHnCYA6epT3WEfi2fawc4?usp=drive_link)

### CSV Work-in-progress

Les CSV qui ont servi de transition entre les bruts et les propres, ou dont le nettoyage n'a pas été terminé par manque de temps, sont ici :

[https://drive.google.com/drive/folders/1Q44h\\_fvlejBfZ4NsuYEH6Ztmr9uuvgxf?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1Q44h_fvlejBfZ4NsuYEH6Ztmr9uuvgxf?usp=drive_link)

## Citations

Citation de Jacques Chirac :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Notre\\_maison\\_b%C3%BBle\\_et\\_nous REGARDONS\\_ailleurs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Notre_maison_b%C3%BBle_et_nous REGARDONS_ailleurs)

Citation de Donald Trump :

<https://www.ndtv.com/world-news/donald-trump-elon-musk-interview-on-x-trump-mocks-climate-change-6325520>

Citation d'Emmanuel Macron :

[https://www.lemonde.fr/politique/article/2023/01/03/emmanuel-macron-et-le-climat-un-discours-qui-rate-sa-cible\\_6156389\\_823448.html](https://www.lemonde.fr/politique/article/2023/01/03/emmanuel-macron-et-le-climat-un-discours-qui-rate-sa-cible_6156389_823448.html)

## Informations diverses

équivalences CO2 :

<https://www.connaissancedesenergies.org/questions-et-reponses-energies/gaz-effet-de-serre-quest-ce-que-l-equivalent-co2>

Vapeur d'eau et effet de serre :

<https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/effet-de-serre-vapeur-eau-co2/>

Seuil de 1+5°C dépassé en 2024 :

<https://reporterre.net/Le-seuil-de-1-5-oC-de-rechauffement-officiellement-depassee-en-2024>

Energie primaire :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Bilan\\_%C3%A9nerg%C3%A9tique\\_\(statistique\)#Conventions\\_sur\\_la\\_d%C3%A9finition\\_de\\_l'%C3%A9nergie\\_primaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bilan_%C3%A9nerg%C3%A9tique_(statistique)#Conventions_sur_la_d%C3%A9finition_de_l'%C3%A9nergie_primaire)

# Annexes

## Valeurs possibles pour 'country'

'Afghanistan' 'Africa' 'Africa (GCP)' 'Albania' 'Algeria' 'Andorra'  
'Angola' 'Anguilla' 'Antarctica' 'Antigua and Barbuda' 'Argentina'  
'Armenia' 'Aruba' 'Asia' 'Asia (GCP)' 'Asia (excl. China and India)'  
'Australia' 'Austria' 'Azerbaijan' 'Bahamas' 'Bahrain' 'Bangladesh'  
'Barbados' 'Belarus' 'Belgium' 'Belize' 'Benin' 'Bermuda' 'Bhutan'  
'Bolivia' 'Bonaire Sint Eustatius and Saba' 'Bosnia and Herzegovina'  
'Botswana' 'Brazil' 'British Virgin Islands' 'Brunei' 'Bulgaria'  
'Burkina Faso' 'Burundi' 'Cambodia' 'Cameroon' 'Canada' 'Cape Verde'  
'Central African Republic' 'Central America (GCP)' 'Chad' 'Chile' 'China'  
'Christmas Island' 'Colombia' 'Comoros' 'Congo' 'Cook Islands'  
'Costa Rica' "Cote d'Ivoire" 'Croatia' 'Cuba' 'Curacao' 'Cyprus'  
'Czechia' 'Democratic Republic of Congo' 'Denmark' 'Djibouti' 'Dominica'  
'Dominican Republic' 'East Timor' 'Ecuador' 'Egypt' 'El Salvador'  
'Equatorial Guinea' 'Eritrea' 'Estonia' 'Eswatini' 'Ethiopia' 'Europe'  
'Europe (GCP)' 'Europe (excl. EU-27)' 'Europe (excl. EU-28)'  
'European Union (27)' 'European Union (28)' 'Faroe Islands' 'Fiji'  
'Finland' 'France' 'French Polynesia' 'Gabon' 'Gambia' 'Georgia'  
'Germany' 'Ghana' 'Greece' 'Greenland' 'Grenada' 'Guatemala' 'Guinea'  
'Guinea-Bissau' 'Guyana' 'Haiti' 'High-income countries' 'Honduras'  
'Hong Kong' 'Hungary' 'Iceland' 'India' 'Indonesia'  
'International aviation' 'International shipping'  
'International transport' 'Iran' 'Iraq' 'Ireland' 'Israel' 'Italy'  
'Jamaica' 'Japan' 'Jordan' 'Kazakhstan' 'Kenya' 'Kiribati' 'Kosovo'  
'Kuwait' 'Kuwaiti Oil Fires' 'Kuwaiti Oil Fires (GCP)' 'Kyrgyzstan'  
'Laos' 'Latvia' 'Least developed countries (Jones et al.)' 'Lebanon'  
'Lesotho' 'Liberia' 'Libya' 'Liechtenstein' 'Lithuania'  
'Low-income countries' 'Lower-middle-income countries' 'Luxembourg'  
'Macao' 'Madagascar' 'Malawi' 'Malaysia' 'Maldives' 'Mali' 'Malta'  
'Marshall Islands' 'Mauritania' 'Mauritius' 'Mexico'  
'Micronesia (country)' 'Middle East (GCP)' 'Moldova' 'Monaco' 'Mongolia'  
'Montenegro' 'Montserrat' 'Morocco' 'Mozambique' 'Myanmar' 'Namibia'  
'Nauru' 'Nepal' 'Netherlands' 'New Caledonia' 'New Zealand' 'Nicaragua'  
'Niger' 'Nigeria' 'Niue' 'Non-OECD (GCP)' 'North America'  
'North America (GCP)' 'North America (excl. USA)' 'North Korea'  
'North Macedonia' 'Norway' 'OECD (GCP)' 'OECD (Jones et al.)' 'Oceania'  
'Oceania (GCP)' 'Oman' 'Pakistan' 'Palau' 'Palestine' 'Panama'  
'Papua New Guinea' 'Paraguay' 'Peru' 'Philippines' 'Poland' 'Portugal'  
'Qatar' 'Romania' 'Russia' 'Rwanda' 'Ryukyu Islands'  
'Ryukyu Islands (GCP)' 'Saint Helena' 'Saint Kitts and Nevis'  
'Saint Lucia' 'Saint Pierre and Miquelon'  
'Saint Vincent and the Grenadines' 'Samoa' 'San Marino'  
'Sao Tome and Principe' 'Saudi Arabia' 'Senegal' 'Serbia' 'Seychelles'  
'Sierra Leone' 'Singapore' 'Sint Maarten (Dutch part)' 'Slovakia'

'Slovenia' 'Solomon Islands' 'Somalia' 'South Africa' 'South America'  
'South America (GCP)' 'South Korea' 'South Sudan' 'Spain' 'Sri Lanka'  
'Sudan' 'Suriname' 'Sweden' 'Switzerland' 'Syria' 'Taiwan' 'Tajikistan'  
'Tanzania' 'Thailand' 'Togo' 'Tonga' 'Trinidad and Tobago' 'Tunisia'  
'Turkey' 'Turkmenistan' 'Turks and Caicos Islands' 'Tuvalu' 'Uganda'  
'Ukraine' 'United Arab Emirates' 'United Kingdom' 'United States'  
'Upper-middle-income countries' 'Uruguay' 'Uzbekistan' 'Vanuatu'  
'Vatican' 'Venezuela' 'Vietnam' 'Wallis and Futuna' 'World' 'Yemen'  
'Zambia' 'Zimbabwe'

### Valeurs possibles pour 'iso\_code'

'AFG' 'nan' 'ALB' 'DZA' 'AND' 'AGO' 'AIA' 'ATA' 'ATG' 'ARG' 'ARM' 'ABW'  
'AUS' 'AUT' 'AZE' 'BHS' 'BHR' 'BGD' 'BRB' 'BLR' 'BEL' 'BLZ' 'BEN' 'BMU'  
'BTN' 'BOL' 'BES' 'BIH' 'BWA' 'BRA' 'VGB' 'BRN' 'BGR' 'BFA' 'BDI' 'KHM'  
'CMR' 'CAN' 'CPV' 'CAF' 'TCD' 'CHL' 'CHN' 'CXR' 'COL' 'COM' 'COG' 'COK'  
'CRI' 'CIV' 'HRV' 'CUB' 'CUW' 'CYP' 'CZE' 'COD' 'DNK' 'DJI' 'DMA' 'DOM'  
'TLS' 'ECU' 'EGY' 'SLV' 'GNQ' 'ERI' 'EST' 'SWZ' 'ETH' 'FRO' 'FJI' 'FIN'  
'FRA' 'PYF' 'GAB' 'GMB' 'GEO' 'DEU' 'GHA' 'GRC' 'GRL' 'GRD' 'GTM' 'GIN'  
'GNB' 'GUY' 'HTI' 'HND' 'HKG' 'HUN' 'ISL' 'IND' 'IDN' 'IRN' 'IRQ' 'IRL'  
'ISR' 'ITA' 'JAM' 'JPN' 'JOR' 'KAZ' 'KEN' 'KIR' 'KWT' 'KGZ' 'LAO' 'LVA'  
'LBN' 'LSO' 'LBR' 'LBY' 'LIE' 'LTU' 'LUX' 'MAC' 'MDG' 'MWI' 'MYS' 'MDV'  
'MLI' 'MLT' 'MHL' 'MRT' 'MUS' 'MEX' 'FSM' 'MDA' 'MCO' 'MNG' 'MNE' 'MSR'  
'MAR' 'MOZ' 'MMR' 'NAM' 'NRU' 'NPL' 'NLD' 'NCL' 'NZL' 'NIC' 'NER' 'NGA'  
'NIU' 'PRK' 'MKD' 'NOR' 'OMN' 'PAK' 'PLW' 'PSE' 'PAN' 'PNG' 'PRY' 'PER'  
'PHL' 'POL' 'PRT' 'QAT' 'ROU' 'RUS' 'RWA' 'SHN' 'KNA' 'LCA' 'SPM' 'VCT'  
'WSM' 'SMR' 'STP' 'SAU' 'SEN' 'SRB' 'SYC' 'SLE' 'SGP' 'SXM' 'SVK' 'SVN'  
'SLB' 'SOM' 'ZAF' 'KOR' 'SSD' 'ESP' 'LKA' 'SDN' 'SUR' 'SWE' 'CHE' 'SYR'  
'TWN' 'TJK' 'TZA' 'THA' 'TGO' 'TON' 'TTO' 'TUN' 'TUR' 'TKM' 'TCA' 'TUV'  
'UGA' 'UKR' 'ARE' 'GBR' 'USA' 'URY' 'UZB' 'VUT' 'VAT' 'VEN' 'VNM' 'WLF'  
'YEM' 'ZMB' 'ZWE'

### Valeurs de 'country' n'ayant pas d'iso-code

'Africa' 'Africa (GCP)' 'Asia' 'Asia (GCP)'  
'Asia (excl. China and India)' 'Central America (GCP)' 'Europe'  
'Europe (GCP)' 'Europe (excl. EU-27)' 'Europe (excl. EU-28)'  
'European Union (27)' 'European Union (28)' 'High-income countries'  
'International aviation' 'International shipping'  
'International transport' 'Kosovo' 'Kuwaiti Oil Fires'  
'Kuwaiti Oil Fires (GCP)' 'Least developed countries (Jones et al.)'  
'Low-income countries' 'Lower-middle-income countries'  
'Middle East (GCP)' 'Non-OECD (GCP)' 'North America'  
'North America (GCP)' 'North America (excl. USA)' 'OECD (GCP)'  
'OECD (Jones et al.)' 'Oceania' 'Oceania (GCP)' 'Ryukyu Islands'  
'Ryukyu Islands (GCP)' 'South America' 'South America (GCP)'  
'Upper-middle-income countries' 'World'

## Proportion de valeurs manquantes par colonnes

share\_global\_cumulative\_other\_co2 : 95.8%  
share\_global\_other\_co2 : 95.8%  
other\_co2\_per\_capita : 95.07%  
cumulative\_other\_co2 : 93.62%  
other\_industry\_co2 : 93.62%  
consumption\_co2\_per\_gdp : 91.15%  
consumption\_co2\_per\_capita : 91.03%  
trade\_co2 : 90.96%  
trade\_co2\_share : 90.96%  
consumption\_co2 : 90.31%  
energy\_per\_gdp : 84.67%  
co2\_including\_luc\_per\_unit\_energy : 80.67%  
energy\_per\_capita : 79.86%  
primary\_energy\_consumption : 79.78%  
co2\_per\_unit\_energy : 79.38%  
share\_global\_flaring\_co2 : 78.34%  
share\_global\_cumulative\_flaring\_co2 : 78.34%  
flaring\_co2\_per\_capita : 70.72%  
share\_global\_cumulative\_gas\_co2 : 70.05%  
share\_global\_gas\_co2 : 70.05%  
gdp : 69.61%  
cumulative\_flaring\_co2 : 68.34%  
flaring\_co2 : 68.22%  
co2\_including\_luc\_per\_gdp : 66.55%  
gas\_co2\_per\_capita : 65.55%  
co2\_per\_gdp : 65.08%  
cumulative\_gas\_co2 : 64.11%  
gas\_co2 : 64.11%  
coal\_co2\_per\_capita : 58.06%  
share\_global\_coal\_co2 : 56.66%  
coal\_co2 : 56.66%  
share\_global\_cumulative\_coal\_co2 : 56.66%  
cumulative\_coal\_co2 : 56.66%  
share\_global\_cumulative\_cement\_co2 : 56.25%  
share\_global\_cement\_co2 : 56.25%  
co2\_including\_luc\_growth\_abs : 53.61%  
co2\_including\_luc\_growth\_prct : 53.61%  
co2\_including\_luc\_per\_capita : 53.19%  
cumulative\_co2\_including\_luc : 53.01%  
share\_global\_co2\_including\_luc : 53.01%  
co2\_including\_luc : 53.01%  
share\_global\_cumulative\_co2\_including\_luc : 53.01%  
share\_global\_oil\_co2 : 53.0%

share\_global\_cumulative\_oil\_co2 : 53.0%  
oil\_co2\_per\_capita : 51.31%  
cumulative\_oil\_co2 : 49.76%  
oil\_co2 : 49.76%  
cement\_co2\_per\_capita : 49.48%  
co2\_growth\_prct : 48.19%  
co2\_per\_capita : 47.84%  
co2\_growth\_abs : 46.24%  
share\_global\_cumulative\_co2 : 45.55%  
share\_global\_co2 : 45.55%  
cumulative\_co2 : 45.55%  
cumulative\_cement\_co2 : 42.54%  
cement\_co2 : 42.49%  
co2 : 41.95%  
ghg\_excluding\_lucf\_per\_capita : 28.99%  
methane\_per\_capita : 28.65%  
ghg\_per\_capita : 28.65%  
nitrous\_oxide\_per\_capita : 27.64%  
land\_use\_change\_co2\_per\_capita : 27.41%  
cumulative\_luc\_co2 : 25.81%  
total\_ghg\_excluding\_lucf : 25.81%  
share\_global\_luc\_co2 : 25.81%  
land\_use\_change\_co2 : 25.81%  
share\_global\_cumulative\_luc\_co2 : 25.81%  
total\_ghg : 25.46%  
methane : 25.46%  
temperature\_change\_from\_ch4 : 24.17%  
temperature\_change\_from\_n2o : 24.17%  
nitrous\_oxide : 23.73%  
share\_of\_temperature\_change\_from\_ghg : 18.31%  
temperature\_change\_from\_ghg : 18.31%  
temperature\_change\_from\_co2 : 18.31%  
population : 18.27%  
iso\_code : 15.8%  
year : 0.0%  
country : 0.0%