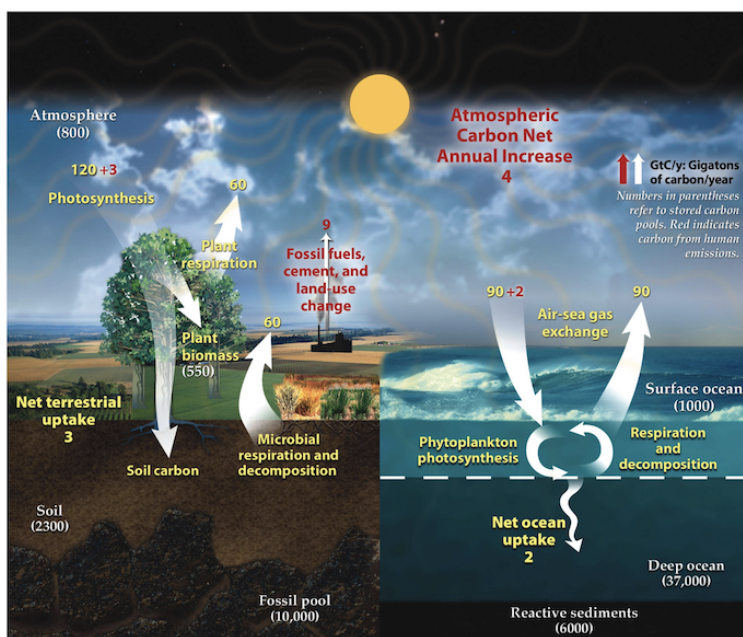


LA GRANDE ACCÉLÉRATION

NOS ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Nous venons de voir que l'espèce humaine¹ émet une quantité de gaz à effet de serre à un rythme élevé. Un rythme déraisonnable puisqu'il faut remonter des dizaines de millions d'années dans le passé pour observer la stabilisation² de tels niveaux de concentration.

Bilan succinct du cycle du carbone. Nous allons voir maintenant que notre Terre n'arrive pas à tout digérer. Bien que la biosphère nous aide en capturant une partie importante de nos émissions, elle ne peut pas tout absorber. De sorte que les gaz à effet de serre en excès restent stockés dans notre atmosphère pour de longues périodes. L'illustration³ suivante schématise le bilan des échanges de carbone dans les années 2010. Les nombres sur cette image sont les quantités d'émission ou d'absorption d'atomes de carbone exprimés en gigatonne par an (GtC/an). Ceux en jaune font référence au bilan à l'équilibre naturel⁴. On voit que, chaque année, du côté terrestre la photosynthèse capture 120 GtC, dont 60 sont relâchées par la végétation et 60 autres par les sols. Alors que du



côté océanique, la photosynthèse due au phytoplankton en capture 90, qui sont ré-émises du fait de la respiration des organismes vivants et de leur décomposition. On parle d'équilibre car $120 = 60 + 60$ et $90 = 90$. La quantité d'atomes de carbone dans l'atmosphère serait stationnaire sans l'activité humaine. Les nombres en rouge font référence

Date: Novembre 2024.

1. Seuls les pays riches sont responsables de ces émissions en excès. À ce sujet, voir la fin de cette leçon.

2. Il nous reste à espérer que nous allons réagir à temps pour que le niveau de concentration actuel ne se stabilise pas, et diminue.

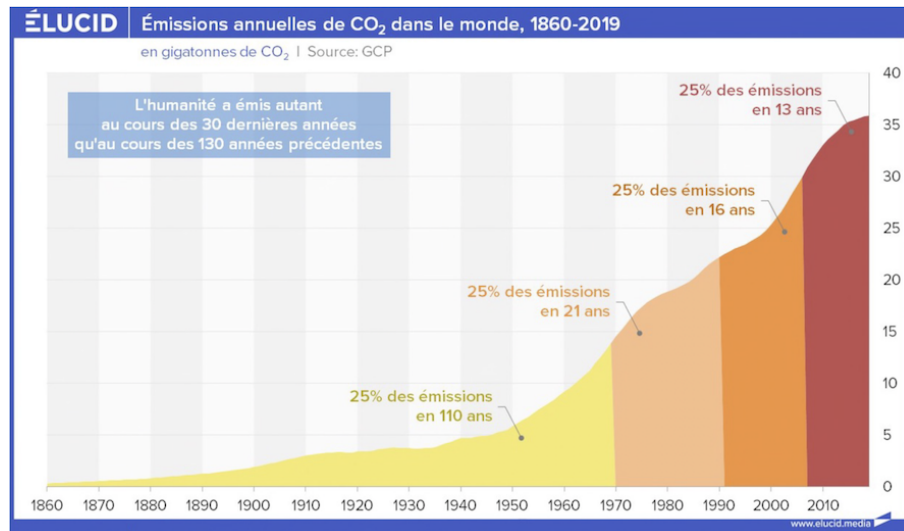
3. Image courtesy of the Department of Energy Office of Science (USA) and Georgia State University. <https://sites.gsu.edu/geog1112/lab-5-the-carbon-cycle-2/>

4. Cet équilibre prévalait pendant la période pré-industrielle, mais le bilan différait légèrement du fait de la modification de la couverture végétale.

à cette activité. On voit que **9 GtC** par an sont émises principalement à cause des combustibles fossiles, mais aussi à cause de la fabrication du ciment (un composant essentiel du béton), du changement de l'usage des sols et de l'agriculture⁵ (émettrice de méthane principalement). Nous reviendrons là-dessus un peu plus tard. La végétation et les sols digèrent 3 GtC, et les océans 2 GtC. Donc, puisque $9 - (3 + 2) = 4$, il reste **4 GtC** en excès qui s'accumulent chaque année dans l'atmosphère. Cette estimation de l'excès de carbone date de 2010. Elle n'a cessé d'augmenter depuis. C'est ce *déséquilibre*, autrement dit ce *forçage* créé par les humains (anthropique⁶), qui provoque l'augmentation de la température moyenne globale⁷.

Les points rapidement abordés dans le reste de cette leçon seront développés ultérieurement. Nous les présentons dès à présent, d'une part parce qu'ils s'intègrent logiquement à cet emplacement dans le cadre de notre présentation du dérèglement climatique, mais aussi pour vous aider à saisir plus clairement la cohérence de l'ensemble du programme du cours.

Consommations de fossiles. Regardons de plus près les évolutions de nos consommations émettrices de CO₂. Le graphique suivant collecte de façon synthétique la totalité de nos émissions depuis le début de l'ère industrielle. Son axe vertical est gradué en gigatonne de CO₂ par an (GtCO₂/an). Attention, ici on compte en poids de la *molécule* de CO₂, et non en poids de l'*atome* de carbone (C) comme précédemment. Puisque la molécule est 3,67 fois plus lourde que l'atome⁸, l'émission de 9 GtC/an de la figure précédente correspond à $3,67 \times 9 \approx 33$ GtCO₂/an sur cette figure. La hauteur de la courbe représente



la vitesse instantanée d'émission de CO₂, de sorte que la quantité d'émission cumulée est proportionnelle à l'aire⁹ coloriée sous la courbe¹⁰. En particulier, les 4 aires de différentes

5. L'indication de l'agriculture comme émettrice de carbone est malencontreusement manquante sur le schéma. L'erreur provient de l'enseignant.e de Georgia State University qui a actualisé les données numériques sur le schéma, et non du Department of Energy. Nous avons toutefois fait le choix de vous présenter ce graphique du fait de ses autres qualités.

6. **anthropique** : d'origine humaine.

7. Ce schéma ne prend en compte que le bilan du cycle du carbone (C). Il ne concerne donc que le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), qui sont les principaux gaz à effet de serre.

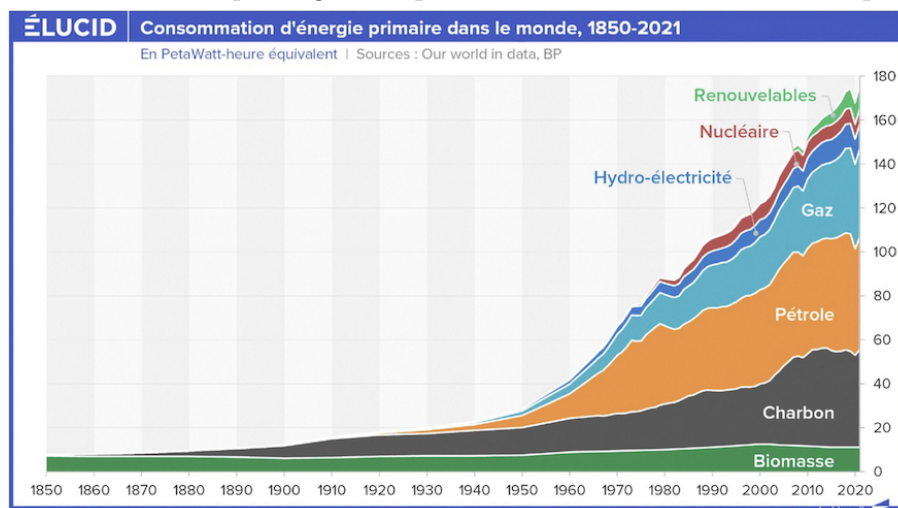
8. Du fait de la présence des deux atomes d'oxygène.

9. Communément appelée "surface".

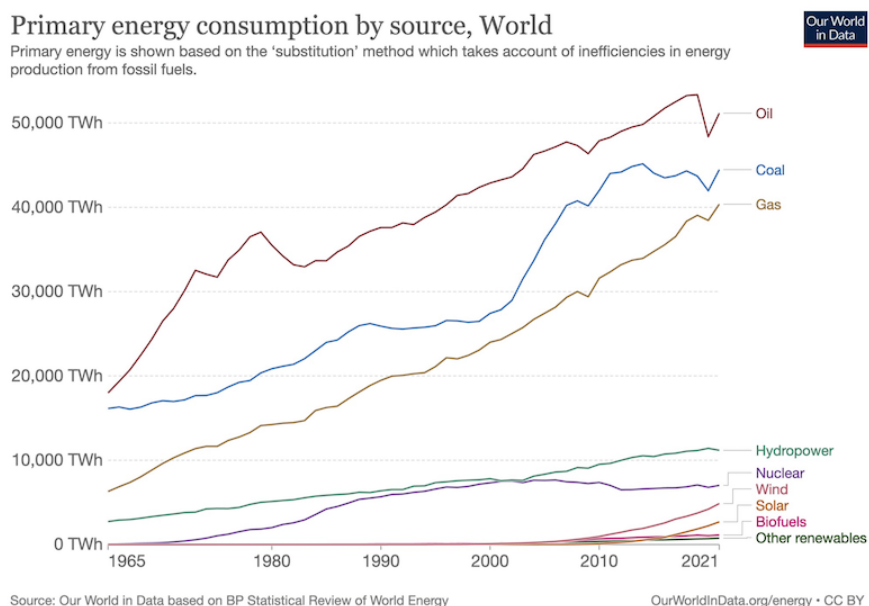
10. Il ne vous est pas demandé de comprendre cette assertion, mais si vous avez fait des mathématiques un peu sophistiquées, vous reconnaîtrez qu'il s'agit d'un calcul d'intégrale.

couleurs sont égales. On constate par conséquent que durant les 13 dernières années, nous avons émis le quart de la totalité de nos émissions de CO₂. Nous sommes en pleine *accélération*.

Intéressons-nous maintenant à l'évolution de la consommation d'énergie primaire¹¹ dans le monde. Le graphique suivant représente en fonction du temps la quantité annuelle d'énergie consommée. À nouveau, la hauteur de la courbe la plus élevée représente une vitesse instantanée (lissée sur un an) et les aires sous les courbes sont proportionnelles à l'énergie consommée cumulée. Contrairement aux idées reçues, on constate que le charbon n'a pas remplacé le bois (prépondérant dans la biomasse consommée), que le pétrole n'a pas remplacé le charbon et que le gaz n'a pas diminué la consommation de pétrole. Toutes



ces consommations se sont cumulées, sans aucune substitution. En outre, la part des énergies non émettrices de CO₂ est faible ; en particulier celle du renouvelable est infime. Il est intéressant de visualiser les mêmes évolutions à l'aide d'un autre graphique qui révèle

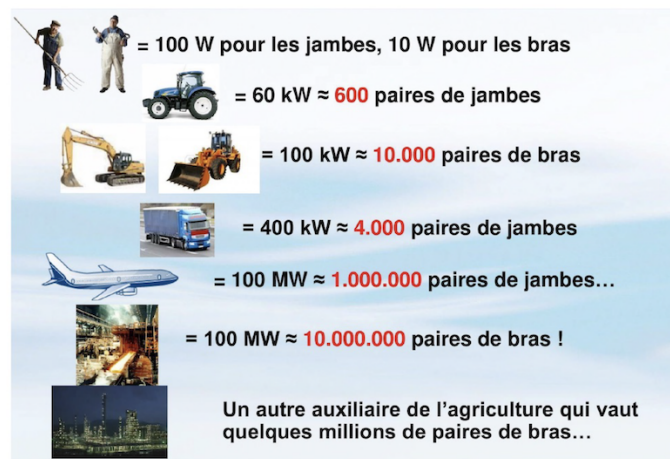


d'autres informations. Notons la forte consommation de charbon (coal) : presque autant que de pétrole (oil). On remarquera aussi que la consommation de combustibles fossiles a

11. énergie primaire : énergie brute, n'ayant subi aucune conversion (exemple de source : pétrole non raffiné). énergie secondaire : énergie primaire transformée avant son transport à l'utilisateur final.

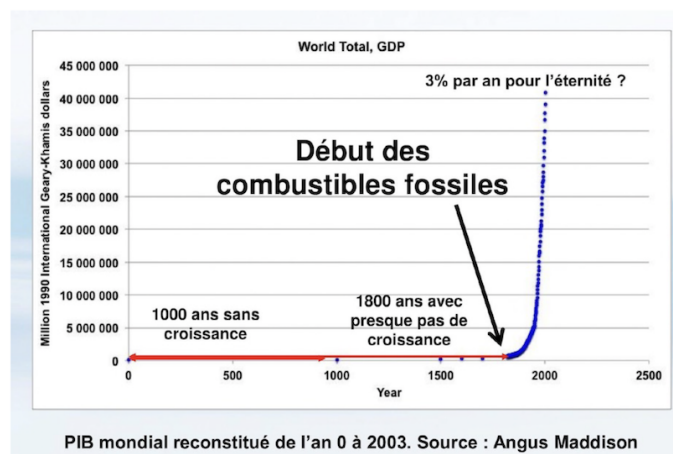
diminué pendant la période de confinement en 2020, pour nous ramener momentanément au niveau de celle de 2010. Pas tant que ça, finalement.

De quelle manière ces combustibles sont-ils utilisés ? Nous allons pour cela nous appuyer sur le cours intitulé "[Éléments de base sur l'énergie du 21^e siècle](#)" que Jean-Marc Jancovici a donné pendant quelques années à l'École des Mines. Nous lui emprunterons quelques-uns des graphiques qui s'y trouvent. La première constatation, essentielle, est que grâce aux machines qui s'alimentent en combustibles fossiles, nous accédons à une capacité gigantesque de transformation de la matière. Un être humain effectuant un travail physique génère environ une puissance de 100 watts avec ses jambes et de 10 watts avec ses bras. Le graphique suivant parle de lui-même ¹².



Graphique emprunté à J.-M. Jancovici

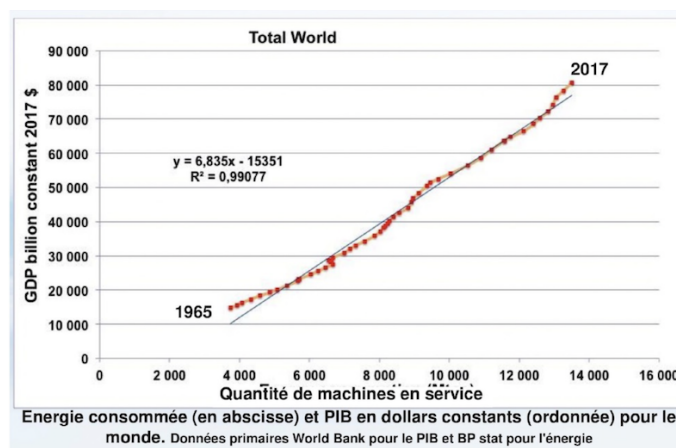
La grande accélération est indissociable de la consommation des combustibles fossiles.



Graphique emprunté à J.-M. Jancovici

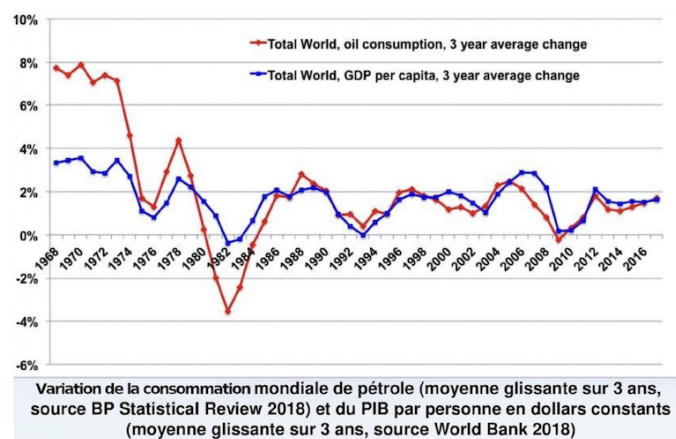
D'ailleurs le PIB mondial augmente proportionnellement à la quantité de machines en service, laquelle augmente au cours du temps. Il convient tout de même de faire attention. Ce n'est pas parce que deux quantités augmentent simultanément qu'elles sont en lien causal. Après tout, votre âge, tout comme le PIB mondial, a augmenté chaque année depuis votre naissance, mais il ne serait pas raisonnable de déduire quoi que ce soit de ce

12. La photographie tout en bas est celle d'une usine d'engrais. Ce procédé de fabrication est vorace en pétrole.



Graphique emprunté à J.-M. Jancovici

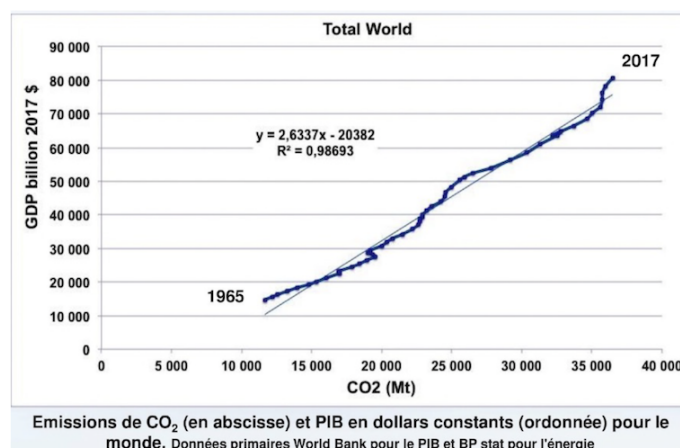
fait indéniable. Une investigation un peu plus poussée est donc nécessaire. Le graphique suivant va nous permettre de conclure.



Graphique emprunté à J.-M. Jancovici

Les deux courbes représentent des taux de variation. L'axe vertical est par conséquent gradué en pourcentages : 0% pour une absence de changement, les pourcentages négatifs pour les baisses et les positifs pour les hausses. Constaté une similarité de taux d'évolution est beaucoup plus significatif qu'une similarité des évolutions. Dans ce cas cette similarité est suffisamment forte¹³ pour que nous puissions faire l'hypothèse d'une relation causale. Les deux courbes représentent respectivement les taux de variations de la consommation mondiale de pétrole et du PIB mondial. Il y a par conséquent une quasi-équivalence entre notre consommation de pétrole et le PIB. Ce sont les combustibles fossiles, et les machines qu'ils alimentent, qui génèrent la richesse matérielle que le PIB comptabilise. On en arrive par conséquent à cette autre équivalence, illustrée par le graphique suivant : *la richesse matérielle de notre monde est entièrement corrélée à nos émissions de CO₂*. On peut affir-

13. Pour ceux d'entre vous qui ont fait un peu de mathématiques, un taux de variation est une dérivée, la variation d'un taux est donc une dérivée seconde et la concavité/concavité du taux correspond au signe de la dérivée troisième. Dans le cas qui nous intéresse ici, nous observons une concordance des signes des dérivées troisièmes, ce qui nous permet d'évoquer avec une forte fiabilité une relation de causalité.

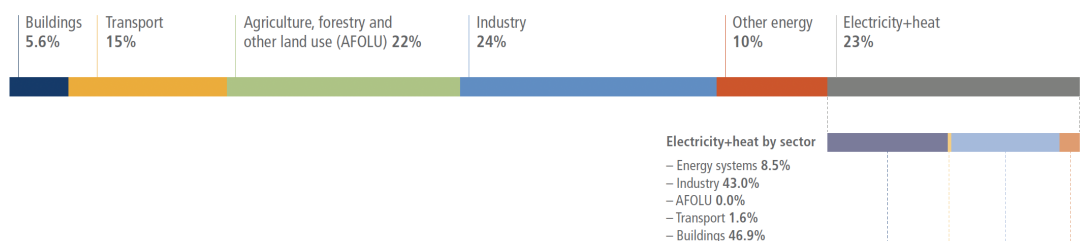


Graphique emprunté à J.-M. Jancovici

mer, du fait de la linéarité de cette dernière courbe, que la relation entre dollar et tonne de CO₂ émis est un simple taux de change monétaire.

La quasi-totalité de ce que nous utilisons émet des GES. Il est important de comprendre à quoi nous servent toutes ces combustions émettrices de gaz à effet de serre. Le graphique suivant, qui est extrait du dernier rapport du GIEC, décrit cette répartition.

Direct emissions by sector (59 GtCO₂-eq)



Direct+indirect emissions by sector (59 GtCO₂-eq)

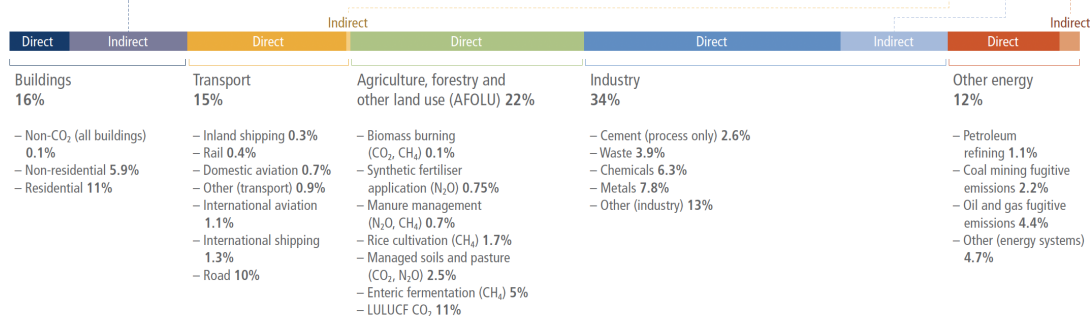
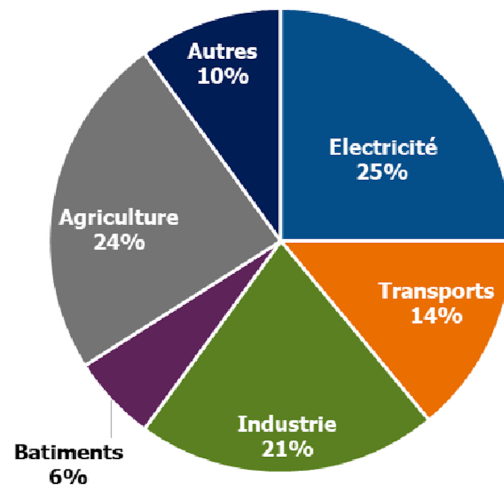


Figure TS.6 | Total anthropogenic direct and indirect GHG emissions for the year 2019 (in GtCO₂-eq) by sector and subsector. Direct emissions estimates assign emissions to the sector in which they arise (scope 1 reporting). Indirect emissions – as used here – refer to the reallocation of emissions from electricity and heat to the sector of final use (scope 2 reporting). Note that cement refers to process emissions only, as a lack of data prevents the full reallocation of indirect emissions to this sector. More comprehensive conceptualisations of indirect emissions including all products and services (scope 3 reporting) are discussed in Section 2.3. Emissions are converted into CO₂-equivalents based on global warming potentials with a 100-year time horizon (GWP100) from the IPCC Sixth Assessment Report. Percentages may not add up to 100 across categories due to rounding at the second significant digit. (Figure 2.12, 2.3)

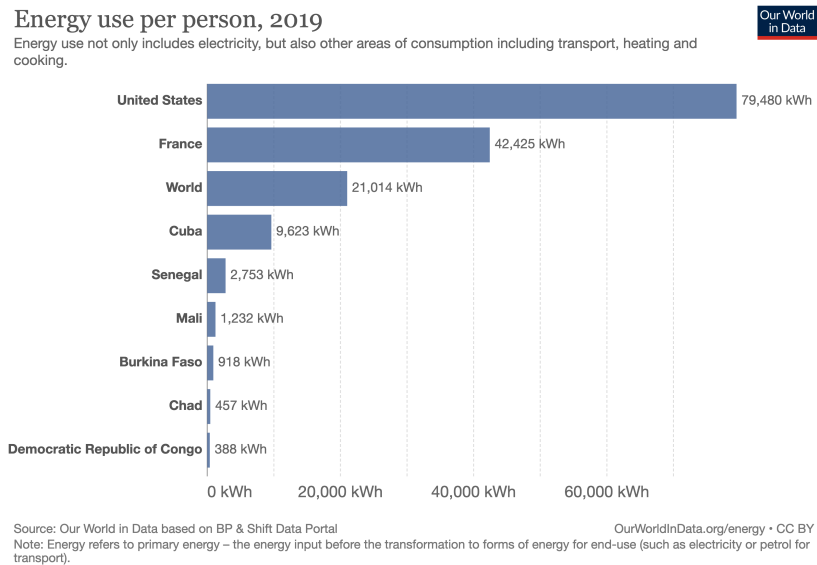
IPCC-AR6-WGIII_TS.6

Pour se rendre compte en un coup d'œil des différents secteurs, le camembert ci-dessous peut nous donner une bonne idée. Les pourcentages ne concordent pas tout à fait entre les deux graphiques car le second est plus ancien, mais l'idée générale est la même.



Données : GIEC, 2010. Graphique : Shift Project

Inégalités. Nous concluons cette leçon en remarquant à l'aide du graphique ci-dessous



que la consommation moyenne de combustibles fossiles par individu dépend de façon spectaculaire de la richesse du pays.

Après cette plongée dans les combustibles fossiles, un peu d'air frais des Alpes.



Image : Gabriel Haute Maurienne. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40545260>