

Bilan carbone de l'Institut Néel

Collectif “labo en transition”

Institut Néel, CNRS, Grenoble

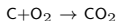
“Combien y a-t-il d'accordeurs de piano à Chicago?” E. Fermi.

Combien de CO₂ émet un accordeur de piano à Chicago par an (hors respiration 1 kgCO₂/jour) ?



Gaz à effet de serre, CO₂ et énergie. D'où vient le CO₂ ?

La combustion de composés carbonés avec de l'oxygène suit la réaction,



Ex. combustion d'1 kg de *graphite* (C pur) avec de l'oxygène donne 3.67 kg de CO₂ et 9.1 kWh de chaleur¹ (valeur caractéristique des liaisons chimiques). Masses atomiques : carbone 12, oxygène 16 (×2).

En général, on ne brûle pas du graphite, mais charbon, pétrole, gaz naturel, bois...

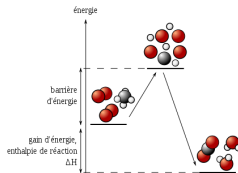
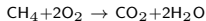


Fig. de droite, enthalpie de combustion du méthane (gaz naturel),



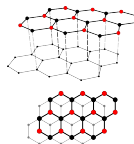
1 kg de méthane (75% de carbone en masse) brûlé donne 2.75 kg de CO₂ et 13.9 kWh de chaleur. 200 gCO₂/kWh.

1. Permet de chauffer ≈40 litres de thé !

Combustion de composés carbonés

On brûle des combustibles "fossiles", "non-renouvelables" :

- ▶ Gaz naturel : méthane (CH_4) ; butane (C_4H_{10}), propane (C_3H_8).
- ▶ Pétrole : "fioul" 86% de carbone ; essence=alcènes C_nH_{2n} +alcanes $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, ≈ 10 kWh/litre.
- ▶ Charbons (millions d'années), cf. mines d'anthracite de la Mure : 95 % de carbone (Fig. milieu).
Tourbe : 50% de carbone (1 mm/an, Fig. gauche), lignite, houille, anthracite. 4-9 kWh/kg.



Combustibles "renouvelables" :

- ▶ bois (en replantant) 50% de carbone (bois sec), donne $1.8 \text{ kgCO}_2 + 3.9 \text{ kWh/kg}$. $470 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$.

Gaz à effet de serre (GES) : CO_2 , méthane (fermentation, fuite de gaz naturel, élevage, déchets), protoxyde d'azote (engrais), réfrigérants...

→ CO_2 "eq." ou "e" = "équivalent" du point de vue du pouvoir de réchauffement global.

Emissions

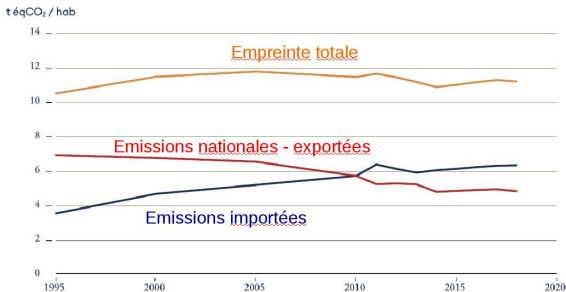
Monde : 50 milliards de tonnes de CO₂ eq. par an. soit

6.4 tonnes par terrien (en moyenne)

redistribuées atmosphère, océan, sols, forêts. Total atmosphère : 416 ppm ([NASA](#) Fév. 2021).

France : 750 millions de tonnes de CO₂ eq. par an = *empreinte* = *émissions directes* + *importées* - *exportées*

11.2 tonnes par habitant (2018, stable)



Source : Haut conseil pour le climat. Rapport: Maîtriser l'empreinte carbone (2020).
CITEPA. Rapport National d'Inventaire secten (2020). Bilan des émissions de 1990 à 2018.

Rapports, objectifs, lois

Rapport Charney 1979 (MIT) :

"Nous avons la preuve irréfutable que l'atmosphère change et que nous contribuons à ce changement."

-Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), créé en 1988.

-Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

-Conférence des Parties (COP) signataires de la Convention Cadre (Berlin 1995, COP 1, Kyoto 1997, COP 3).

Accords de Paris 2015 (COP 21) : "Neutralité carbone"

France, [Stratégie nationale bas-carbone](#) (ministère). [Loi énergie-climat \(2019\)](#) :

*"Le projet de loi fixe l'objectif de la **neutralité carbone à l'horizon 2050**. Cet objectif [...] sera atteint par une **division des émissions** de gaz à effet de serre par un **facteur supérieur à 6** par rapport à 1990. Il renforcera aussi les puits de carbone."*

Réduire d'un facteur 6 les émissions en France d'ici à 2050 :

11.2 tonnes par habitant → 2 tonnes par habitant (horizon 2050)

Renforcer les puits de carbone :

→ -2 tonnes par habitant (horizon 2050)

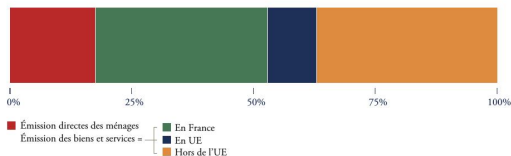
- (Océan.) Forêts et sols : arbres (50% de carbone) fixent le carbone de l'air via la photosynthèse. France (source : CITEPA) : -26 millions de tonnes CO₂ fixées par an (2018). Ingénierie.

Empreinte stable (±10% sur les 30 dernières années).

Puits ↘ (bois, artificialisation des sols). Monde : déforestation (pâturages + cultures pour l'élevage, agrocarburants).

Sommes-nous concernés au laboratoire ?

Décomposition de l'empreinte carbone (750 millions de tonnes de CO₂ eq., exemple de l'année 2011).



Source : Haut conseil pour le climat. *ibid.* Ici "émissions directes des ménages" = transport + chauffage.

- ▶ Empreinte des services publics (éducation, santé, armée, recherche...) = 10% de l'empreinte*
Pas d'exemption : **réduction d'un facteur 6 des émissions (horizon 2050)**.
- ▶ Services publics écoresponsables. [Circulaire du Premier ministre \(25 février 2020\)](#).
20 mesures obligatoires (impact très limité dans le cas de Néel).

* d'après Stratégie Nationale Bas Carbone (ministère), rapport de synthèse, mars 2020, page 12.

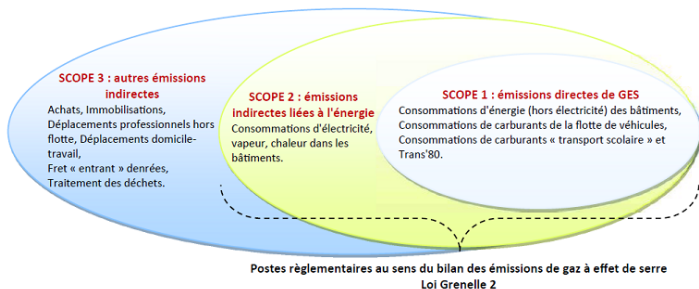
Se faire une idée de l'empreinte du laboratoire → bilan carbone.

Qu'est-ce qu'un bilan carbone ?

► Bilan carbone "réglementaire", loi du 12 juillet 2010 (Grenelle II)

"Réaliser un diagnostic des émissions de gaz à effet de serre des acteurs publics et privés, en vue d'identifier et de mobiliser les gisements de réduction de ces émissions."

Obligation pour les entreprises de plus de 500 employés (tous les 4 ans), établissements publics de plus de 250 agents (tous les 3 ans). Bilan à rendre public.



Source : **ADEME (Agence de la transition écologique)**.

Rubriques ("scopes") 1, 2 et 3. Méthodologie : Base Carbone[®] de l'ADEME.

- Bilan carbone : outil GES Labo 1.5 <https://labos1point5.org/ges-1point5> (recommandé par le CNRS)
- Bilan carbone personnel, par exemple <https://nosgestesclimat.fr/simulateur/bilan>, Micmac.
- Bilan carbone du labo : essayer de couvrir un périmètre large en suivant la Base Carbone

La Base Carbone[®] de l'ADEME : taux de CO₂eq.

Combustion du gaz naturel : 200 gCO₂/kWh de chaleur.

Combustion d'un litre d'essence : 10 kWh,

2.3 kg CO₂

Exercice. Une voiture moyenne consomme 6.3 litres d'essence pour 100 km, elle parcourt 1 km, combien de CO₂ émet-elle ? Réponse : 145 gCO₂/km.

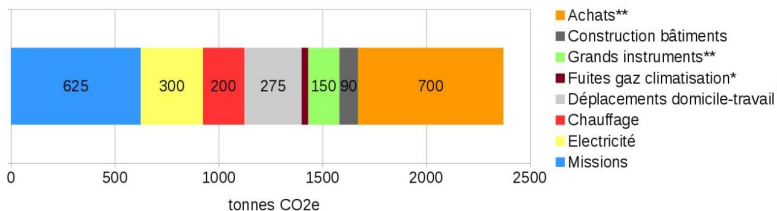
- ▶ Voiture : thermique 241 gCO₂eq./km, électrique 103 gCO₂eq./km (1-5 personnes)
- ▶ Avion passagers - Court courrier, 2018 - AVEC trainées 258 gCO₂eq./passager.km
- ▶ Avion passagers - Long courrier, 2018 - AVEC trainées 152 gCO₂eq./passager.km
- ▶ Electricité France : 57 gCO₂eq./kWh
- ▶ Ordinateur portable : 250 kgCO₂eq./unité (fabrication), DELL, ecoinfo.cnrs.fr
- ▶ Ordinateur fixe : 500 kgCO₂eq./unité (fabrication)
- ▶ Béton armé : 155 kgCO₂eq./tonne
- ▶ 150 g steak de boeuf : 5.4 kgCO₂eq.
- ▶ 150 g de pois-chiches : 120 gCO₂eq.
- ▶ "Une tourniquette pour faire la vinaigrette
Un bel aérateur pour bouffer les odeurs" Boris Vian.

Source : Base Carbone ADEME, <https://www.bilans-ges.ademe.fr/>.
Informatique : ecoinfo du CNRS <https://ecoinfo.cnrs.fr/>.

Bilan carbone Institut Néel

2 400 tonnes de CO₂eq. (2018), 5 tonnes par agent (450 personnes).

► à diviser par 6 (objectif loi énergie-climat horizon 2050)



* et ** = grandes incertitudes.

Electricité

Consommation 2018 (Néel, liquéfacteur, SERAS, magasin) : 4 890 000 kWh = 4.89 GWh (donnée STL)

- *Méthodologie.* Taux ADEME : 57 gCO₂/kWh
- *Valeur retenue (arrondie) :* **300 tonnes de CO₂eq.**

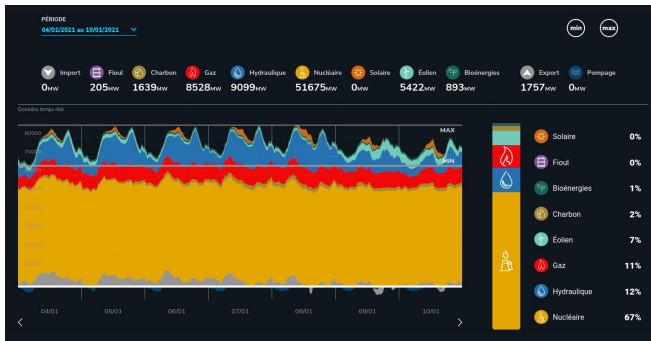


Fig. : Mix énergétique, ex. d'une semaine. *Source* : : [Réseau transport d'électricité](#).

Repères : Néel : 11 MWh/pers. $\neq$ 1.1 MWh/pers. conso. résidentielle (hors chauffage, hors cuisson), Insee.

Expériences, liquéf. (20%), informatique ($\sim$ 10% ?), clim., ascenseurs, éclairage (quelques % ?)...

ISTerre : 0.6 GWh (2.4 MWh/pers.), LNCMI : 15 GWh, ESRF : 60 GWh, ILL : 200 GWh, CERN : 1.3 TWh

Production France : 500 TWh. (1 MWh=1000 kWh, 1 GWh=1 million kWh, 1 TWh=1 milliard kWh).

Chauffage

Consommation 2018 : 1 350 000 kWh=1.35 GWh (donnée STL). Chauffage urbain de Grenoble.

- ▶ *Méthodologie.* Taux ADEME (arrêté du 11 avril 2018 au journal officiel) : 141 gCO₂eq./kWh
- ▶ *Valeur retenue (arrondie) :* **200 tonnes de CO₂eq.**

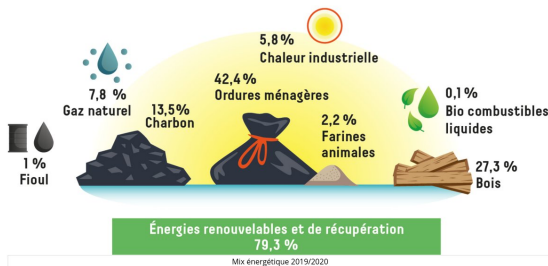


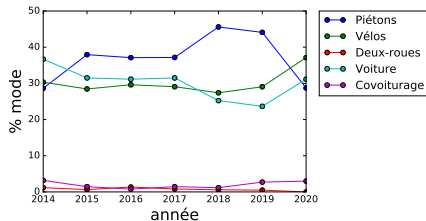
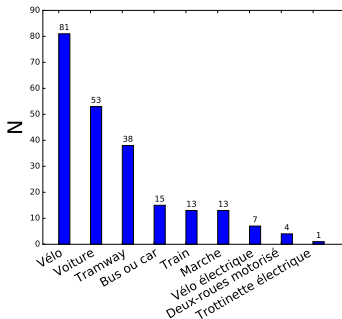
Fig. : Mix énergétique. Source : <https://www.chauffage-urbain-grenoble.fr/>

Quelques repères

- ▶ Née : 20 000 m², soit 68 kWh/m². Moyenne tertiaire et résidentielle : 100 kWh/m² (Insee).
- ▶ Logement : 91 m² en moyenne, 9 000 kWh/an, 65% de la consommation d'énergie du résidentiel (Insee).

Déplacements domicile-travail (enquête 2020)

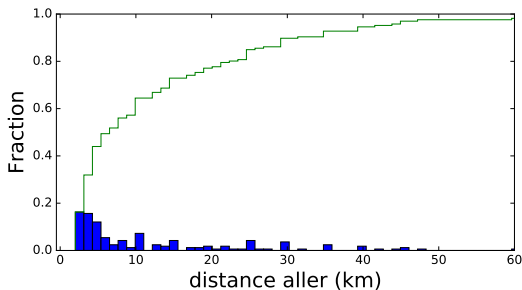
► *Méthodologie.* Enquête 2020 sur 2019 : 166 réponses (anonymes) / 450 personnes



- Gauche : nombre de réponses pour chaque mode : vélos légèrement surestimés (cf. comptage)
- Droite : comptage journées "challenge mobilité" (donnée PDE, DR11)

Déplacements domicile-travail (enquête 2020)

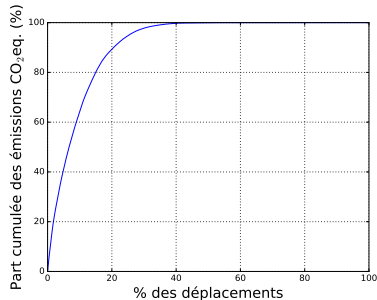
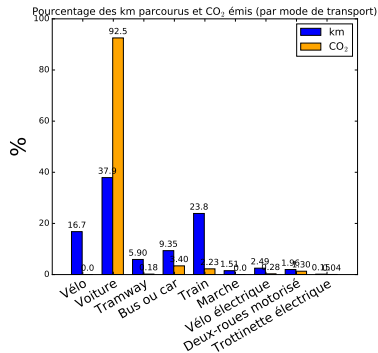
Total Née (2019) : 3 millions de km



► Distribution des distances domicile-travail : 50% < 7 km (médiane), moyenne 14 km. 7% > 40 km.

Déplacements domicile-travail (enquête 2020)

- **Méthodologie.** Enquête + taux ADEME selon mode de transport. Covoiturage : diviser par le nb. d'occupants. Nombre d'AR dans la journée, dans la semaine (temps partiels).
- **Valeur retenue (arrondie) :** **275 tonnes de CO₂eq.** (11% du bilan)



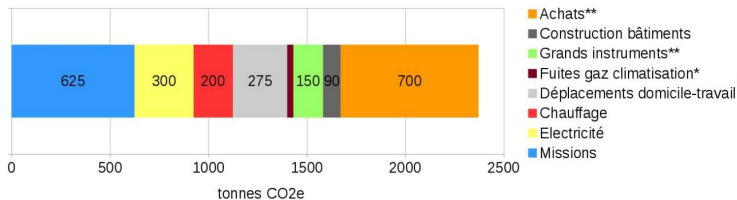
- Voitures : 38% des km, 93% du CO₂
- Droite : % des émissions en fonction du % de déplacements classés du plus au moins émissif.

La **moitié de l'empreinte** carbone des déplacements domicile travail est émise par **7% des déplacements**.

Divers

- ▶ Repas du midi pour 450 personnes sur un an, **non pris en compte**
 - ▶ Repas moyens : 200 tonnes CO₂eq. ADEME : 2.04 kgCO₂e/repas
 - ▶ Repas végétariens : 50 tonnes CO₂eq. ADEME : 0.51 kgCO₂e/repas

Gaspiillage alimentaire rest. coll. : 13 à 23% du poids d'un repas soit 20-40 tonnes de CO₂ par an.
- ▶ Construction des bâtiments (1960, surélévations 1997, Bât. Z, 2013...) : durée de vie supposée 100 ans.
Taux ADEME : 440 kgCO₂e/m². **90 tonnes CO₂eq.** par an (entretien non compris).
Ex. Bât Z+surélévations : 2000-3000 tCO₂eq.
- ▶ Fuite des gaz réfrigérants (pas de données, au prorata d'ISTerre). **30 tonnes CO₂eq.**



Grands instruments et énergie “externalisée” **

ILL, LNCMI, ESRF, GANIL, SOLEIL, DIAMOND, CERN, IDRIS (calculs intensifs), data centers...

- ▶ *Méthodologie.* Part de l'activité des centres (peu de données). Importation des émissions (selon bilan carbone). ** sous-estimation, très incertain.
- ▶ *Valeur retenue (minimum) :* **150 tonnes de CO₂eq.**

Exemples :

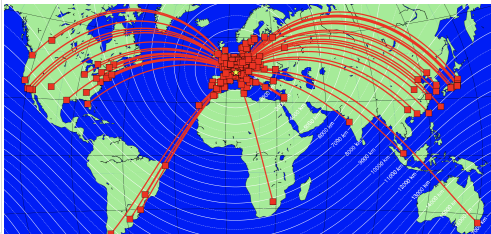
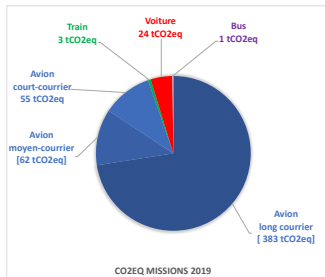
- ▶ ILL (réacteur nucléaire 200 GWh/an). Part de l'activité Néel (transmise par l'ILL) : **1.7%**
 - ▶ 3.5 GWh
 - ▶ 40 tonnes (d'après bilan carbone réglementaire de l'ILL)
- ▶ LNCMI (aimants puissants, 12, 24 MW, 15 GWh/an). Part Néel **7%** (transmise par LNCMI après accords)
 - ▶ 1.12 GWh
 - ▶ 64 tonnes (électricité)
- ▶ ESRF (courant faible mais aimants de guidage puissants, 60 GWh/an). Part Néel : **1%**
 - ▶ 0.6 GWh
 - ▶ 40-120 tonnes (selon bilans carbone réglementaires)
- ▶ Air Liquide : azote liquide (1.5 millions de litres)
 - ▶ 0.6 GWh
 - ▶ 35 tonnes (électricité)

Total a minima 6 GWh

Missions

- *Méthodologie.* Extraction GESLAB anonyme. Corrections erreurs. Identification lieux, distances, anonymisation (métropole, arrondi), taux km $\rightarrow$ gCO₂eq. : divers protocoles testés : **ADEME**, DEFRA, ICAO, KLM, MyClimate, Atmosfair, Labos1.5. (2019 : de 156 à 679 tonnes CO₂ eq., ADEME : 528 tonnes.)
- *Valeur retenue (2018, arrondie) :* **625 tonnes de CO₂eq.**

Moyenne (2016-2019) : 550 tonnes/an ; 2020 : 115 tonnes.
1344 missions en 2018 : **France, 901, Europe (hors France), 302.**



- 1 aller-retour Grenoble-Tokyo (première destination des missions hors France) : 3.1 tonnes CO₂eq
- 1 aller-retour Grenoble-Boston (première destination transatlantique) : 2.1 tonnes CO₂eq

Missions

Partie Europe : avion (rouge), train (jaune).

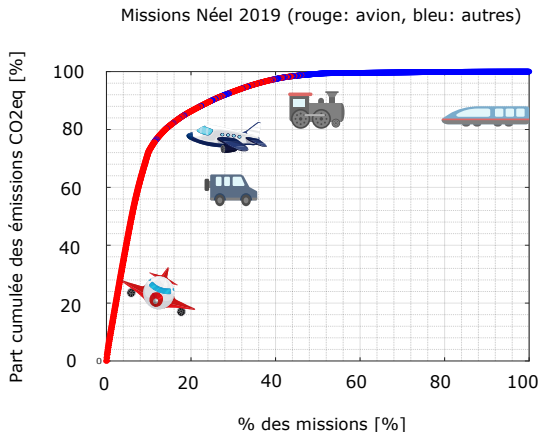


► Exemple : Une mission aller-retour Grenoble-Bordeaux (majoritairement avion)

Grenoble-Bordeaux en	temps (aller)	distance (aller)	CO ₂ eq. (aller-retour)
TGV (via Paris)	6h43	1100 km	4 kg
Autocar	10h	660 km	46 kg
Voiture électrique	7h + recharge	660 km	136 kg
Moto	7h	660 km	225 kg
Avion + autocar Satolas	4h	435 km + 92 km	225 kg + 6 kg
Voiture	7h	660 km	320 kg

Des (é)missions très variables

La moyenne reflète mal la distribution.



La moitié de l'empreinte carbone des missions est due à 6% des missions (longs courriers).

Achats**

Budget achats 2018 : 3.4 millions € (hors salaires, missions, électricité, chauffage, hélium, azote...)

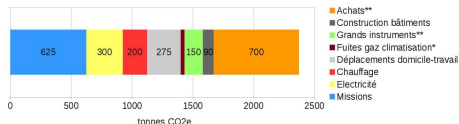
- **Méthodologie.** ** grande incertitude, hypothèse : **200 kgCO₂/k€***. Expérience sur équipe expérimentateurs HELFA, extraction GESLAB 2019, 1020 entrées avec montants. Correspondance : code NACRES → catégorie ADEME (voir tableau). Moyenne HELFA **650 kgCO₂/k€**.

- **Valeur retenue :** **700 tonnes de CO₂eq.**

- **Machines et équipements**

- **Informatique :** 200 ordinateurs/an (250 kgCO₂/portable) + écrans + ...
→ **100 tonnes.**

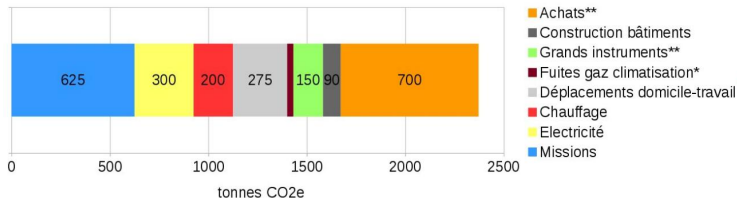
- **Hélium.** Achat de 100 000 litres à 4 K : 26 tonnes. Néel (hors budget achats) : **5 tonnes**



Service	taux (kgCO ₂ e/k€)
Machines et équipements	700
Produits informatiques, électroniques et optiques	400
Réparation et installation de machines et d'équipements	390
Meubles et autres biens manufacturés	600
Produit agro-alimentaires transformés	1000
Édition (livres, journaux, revues, etc.)	280
Papier et carton	900
Produits chimiques	1600
Métaux (aluminium, cuivre, acier, etc.)	1700
Imprimerie, maintenance des bâtiments, gardiennage, nettoyage	170

Conclusion

2 400 tonnes de CO₂eq. (2018), 5 tonnes par agent (450 personnes).



- Essentiel : missions en avion, achats équipements et consommations d'énergie (localement ou "externalisée").
- Recherche coûteuse en énergie > 12 GWh (neutrons, forts champs magnétiques, rayonnement synchrotron, basses températures...) et en équipements.
- Répartition inégale des émissions de CO₂ : les moyennes reflètent mal les distributions.

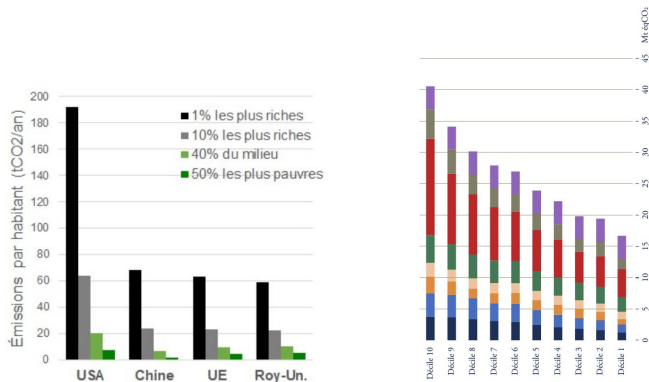
Objectif loi énergie-climat **facteur 6 horizon 2050** ou **facteur 20** (secteur). Facteur 2 horizon 2030.



Réponse à la question (par une pirouette)

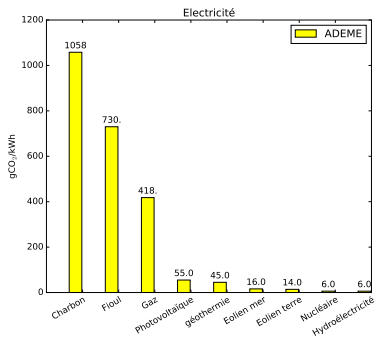
Question : Combien de CO₂ émet un accordeur de piano à Chicago par an ?

Réponse : étudier ses revenus : colonne "40% du milieu", USA, donc ≈ 20 tonnes !

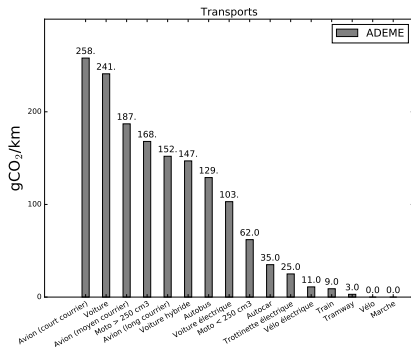


Source : Gauche : Rapport Oxfam. 8 Déc. 2020. Droite : Haut conseil pour le climat : émissions par décile (France)

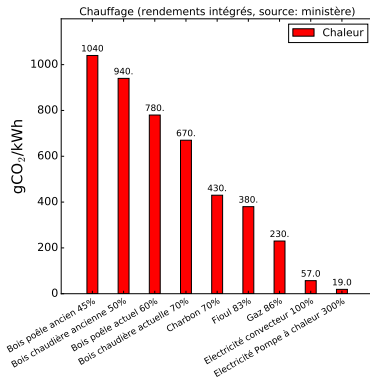
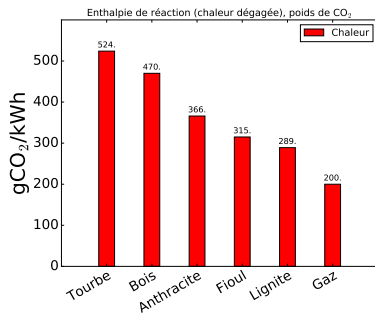
Support (hors présentation) : électricité, transports



Source : Taux ADEME.



Support (hors présentation) : chauffage



Source : Enthalpies (théoriques) de réaction (voir wikipedia, ou "pouvoir calorifique") ; Taux chauffage : enthalpies + rendements (ministère).