

OCE – Mon empreinte Carbone

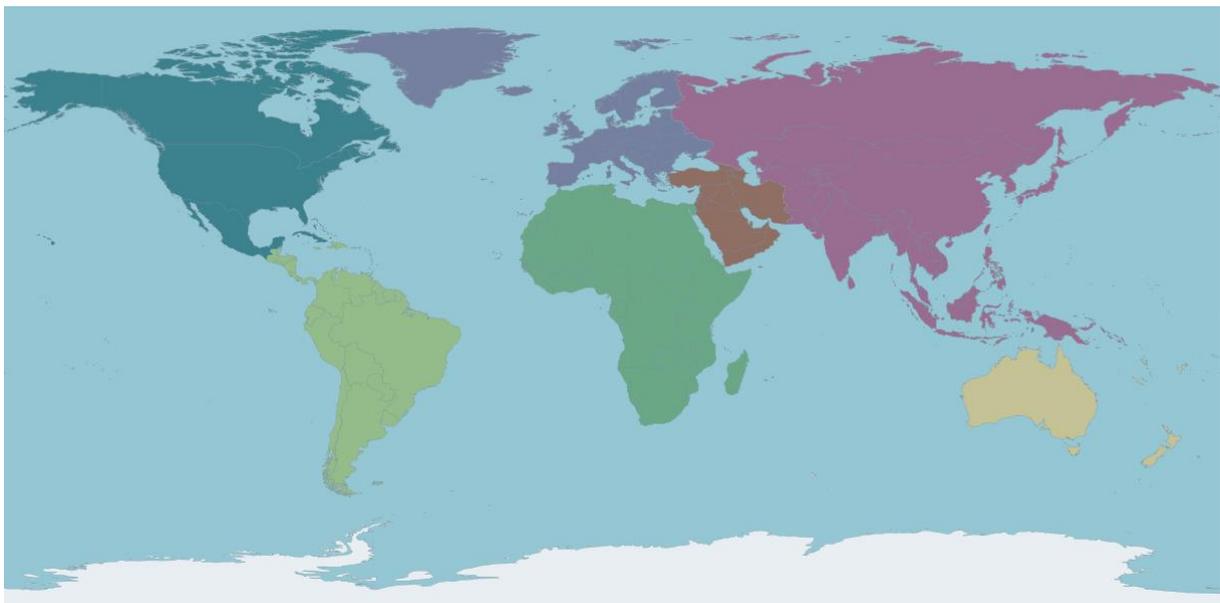
Un calculateur d'empreinte carbone

Cette animation multimédia propose, à partir de 38 questions, d'estimer l'empreinte carbone annuelle personnelle de l'élève. Les émissions ainsi estimées sont données en « kg équivalent-CO₂ » : cela signifie que la totalité des gaz à effet de serre (GES) est prise en compte, ramenée à une échelle de comparaison au forçage radiatif du seul dioxyde de carbone (CO₂). L'unité sera notée ici « kgCO_{2e} ».

Géolocalisation

Nous demandons tout d'abord à l'élève de définir son continent d'appartenance : cela va permettre de proposer des valeurs numériques plus proches de la réalité que si nous avions choisi des valeurs moyennes à l'échelle de la planète, ou opté pour les valeurs d'un seul pays. En effet, autant certaines émissions sont similaires d'un pays à l'autre (empreinte d'un e-mail, empreinte de la fabrication d'un réfrigérateur, etc.), autant quatre domaines sont particulièrement discriminants : le mix énergétique, l'agriculture, le traitement des déchets, le transport. Dans le premier cas, par exemple, le mix énergétique français repose sur 80% d'électricité nucléaire, conduisant à une empreinte carbone de 0,0571 kgCO_{2e}/kWh en 2018 [www.basecarbone.fr] alors que la moyenne européenne se situe plutôt à 0,42 kgCO_{2e}/kWh [www.basecarbone.fr], ce qui peut conduire à une sous-estimation d'un facteur 5 des émissions liées à la consommation électrique !

Voici la carte des « continents » considérés :



Chaque continent est représenté, selon la disponibilité des données, par un ou plusieurs états « médians » : ce sont des pays dont le PIB (indicateur du niveau de vie [factbook CIA 2017]) et l'émission moyenne en GES [factbook CIA 2017] sont dans la médiane de tous les pays du continent considéré. Nous considérons ici que la médiane est plus représentative que la moyenne à cause des immenses disparités par continent.

Continent	Code	Pays médians en PIB	Pays médians en émissions de GES
Afrique	Afrq	Cameroun, Mauritanie, Côte d'Ivoire (~1 000\$/an)	Mozambique, Togo, Soudan, Côte d'Ivoire (~400 kgCO ₂ e/an)
Amérique du Nord*	AmeN	Canada (~45 000\$/an)	Canada (~15 000 kgCO ₂ e/an)
Amérique du Sud	AmeS	Equateur, Brésil, Guyane (~9 000\$/an)	Brésil, Surinam (~3 000 kgCO ₂ e/an)
Asie	Asia	Philippines, Indonésie, Bhoutan, Timor (~3 000\$/an)	Inde, Indonésie, Macao (~2 000 kgCO ₂ e/an)
Europe	Euro	Malte, Espagne, Italie, France (~30 000\$/an)	France, Espagne, Chypre, Ukraine, Italie, Serbie (~5 000 kgCO ₂ e/an)
Moyen-Orient	MOri	Iran, Jordanie (~5 000\$/an)	Irak, Turquie (~4 000 kgCO ₂ e/an)
Océanie	Ocea	Nouvelle Calédonie (~40 000\$/an)	Nouvelle Calédonie (~15 000 kgCO ₂ e/an)

*À noter que le continent « Amérique du Nord » ne compte que 4 pays prédominants (par leur population) : le Canada, les USA, le Mexique et Cuba. À cause de cela, nous préférons parfois utiliser une moyenne entre les données accessibles en lieu et place d'une unique médiane sans réelle représentativité.

MIX ENERGETIQUE

De ces choix découlent les mix énergétiques suivants :

Continent	Pays représentatif	Mix énergétique [Factbook 2017]	Empreinte (kgCO ₂ e/kWh)	Source
Afrq	Côte d'Ivoire	60% fossile 40% hydraulique	0,445	[www.basecarbone.fr]
AmeN	NA		0,492	Moyenne pondérée de Canada 0,186 / Cuba 1,01 / Mexique 0,455 / USA 0,522 [www.basecarbone.fr]
AmeS	Brésil	17% fossile 1% nucléaire 64% hydraulique 18% renouvelable	0,0868	[www.basecarbone.fr]
Asia	Indonésie	85% fossile 9% hydraulique 6% renouvelable	0,709	[www.basecarbone.fr]

Euro	Espagne	47% fossile 7% nucléaire 14% hydraulique 32% renouvelable	0,238	[www.basecarbone.fr]
MOri	Iraq	91% fossile 9% hydraulique	0,67	Le mix « fossile » inclut 0% de charbon [data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.COAL.ZS] Hypothèse retenue : mix à 91% de fioul à 0,73 kgCO ₂ e/kWh [http://www.basecarbone.fr]
Ocea	Nouvelle Calédonie	86% fossile 8% hydraulique 6% renouvelable	0,63	Le mix « fossile » inclut 0% de charbon [data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.COAL.ZS] Hypothèse retenue : mix à 86% de fioul à 0,73 kgCO ₂ e/kWh [http://www.basecarbone.fr]

À chaque fois, le pays considéré propose un mix énergétique proche du mix énergétique moyen à l'échelle du continent (ex : prédominance de l'énergie hydraulique en Amérique du Sud – bien qu'un peu moins marquée en Amérique Centrale – qui se retrouve bien dans le mix du Brésil).

Enfin, ces émissions correspondent à la production brute de l'énergie : nous négligeons les pertes du réseau ou l'efficacité du transport et du stockage.

L'EAU

Il faut distinguer deux usages domestiques majeurs pour l'eau : l'eau potable et l'eau de chauffage.

L'eau potable

Le traitement de l'eau diffère grandement d'un pays à l'autre : réserves disponibles en eau, rigueur des traitements de potabilité, stress hydrique...

L'extraction de l'eau potable peut coûter entre 0 (eau de surface : lacs, rivières...) et 3,6kWh/m³ pour une usine de désalinisation d'eau de mer [données converties de Footprint River Network 2009]. De surcroît, le cycle de vie de l'eau potable (traitement, transport, épuration) peut ajouter de 0,277 à 9,563 kWh/m³ à ce coût.

Nous choisissons ici d'utiliser la notion d'Intensité Hydrique (*Water Intensity Rate*, mesurant le volume d'eau potable consommée par unité de PIB), qui fournit une indication sur le stress hydrique : plus cette valeur est élevée, plus le risque de stress hydrique est élevé.

Notre hypothèse est de considérer que le coût énergétique de l'eau potable évolue linéairement en fonction de l'Intensité de l'Eau. Nous utilisons pour cette extrapolation deux valeurs connues, en gras dans le tableau ci-après :

- En France, l'empreinte de l'eau potable est de 0,132 kgCO₂e/m³ [www.basecarbone.fr], et l'empreinte électrique est de 0,0571 kgCO₂e/kWh [www.basecarbone.fr], d'où un coût de traitement de l'eau de 2,31 kWh/m³
- En Espagne, 5,8% de la facture électrique totale est dédiée au traitement de l'eau [Sustainable Water Management in Urban Environments 2016], soit 14,1 TWh [facture électrique annuelle de 243,1 TWh – Factbook CIA] pour 5,309 Gt d'eau [FAO Aquastat] ; cela conduit à un coût de traitement de l'eau de 2,65 kWh/m³

Consommation d'eau (Gt/an) [FAO Aquastat]	PIB (G\$) [Factbook CIA]	Intensité hydrique (l/\$)	Coût de l'eau (kWh/m ³)
---	--------------------------	---------------------------	-------------------------------------

Australie	19,748	1 241,000	15,91	2,37
Brésil	74,83	1 800,000	41,57	2,86
Cameroun	1,0884	28,520	38,16	2,79
Canada	43,747	1 573,000	27,81	2,60
Côte d'Ivoire	1,5492	31,270	49,54	3,01
Espagne	37,35	1 221,000	30,59	2,65
France	30,234	2 423,000	12,48	2,31
Inde	761	2 183,000	348,60	8,63
Indonésie	131,4	872,600	150,58	4,91
Iran	93,3	396,900	235,07	6,50
Irak	66	165,100	399,76	9,59
N ^{le} Zélande	5,201	170,600	30,49	2,65
Pakistan	183,45	247,800	740,31	15,99
Philippines	81,56	292,000	279,31	7,33
Turquie	44,5	722,200	61,62	3,23
USA	485,59	17 970,000	27,02	2,58

En conclusion, nous utilisons les valeurs suivantes, moyennes pondérées du tableau ci-dessus :

Eau potable	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
kgCO ₂ e/kWh	0,445	0,492	0,0868	0,709	0,238	0,67	0,63
kWh/m ³	3,0	2,6	2,9	5,0	2,6	6	2,6
kgCO ₂ e/m ³	1,335	1,279	0,252	3,545	0,619	4,020	1,638

L'eau chaude

Pour amener de l'eau à 10°C à 60°C, il faut dépenser 58 kWh/m³ (la capacité calorifique de l'eau est de 1,16 kWh/m³K). Par rapport à l'empreinte carbone du cycle de l'eau potable, le simple chauffage est 20 fois plus émetteur. Nous arrondissons donc l'empreinte de l'eau chaude à 60 kWh/m³, indépendamment du continent choisi.

EMPREINTE DES INFRASTRUCTURES

À l'échelle des pays, la consommation totale de l'électricité [data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC] est très révélatrice du niveau de vie des habitants et des infrastructures proposées aux citoyens. La simple sélection d'un continent dès la première question initialise ainsi les émissions individuelles par le simple fait de bénéficier d'infrastructures plus ou moins développées, et plus ou moins émettrices. Nous extrapolons ainsi directement l'empreinte des infrastructures :

	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
pays	Côte d'Ivoire	Canada	Brésil	Indonésie	Espagne	Irak	Nouvelle Zélande
consommation (kWh/pax)	276	15 546	2 601	812	5 356	1 306	9 026
mix énergétique (kgCO ₂ e/kWh)	0,445	0,492	0,0868	0,709	0,238	0,67	0,63
empreinte (kgCO ₂ e/pax)	120	7 300	230	570	1 300	870	800

Habitation

L'empreinte carbone d'une habitation dépend grandement du niveau de vie et du nombre de ses habitants. Cela se traduit par deux paramètres différents : le nombre d'habitants par maisonnée, et le nombre de pièces par logement [United Nations Statistics Division 2011]

	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
pays	Ethiopie	Canada	Chili	Philippines	Espagne	Azerbaïdjan	Nouvelle Calédonie
logements (date)	15,7M (2007)	11,6M (2001)	3,9M (2002)	14,9M (2010)	14,2M (2001)	1,9M (2009)	64k (2004)
Population (date)	73,7M (2007)	31,6M (2006)	15,1M (2002)	88,5M (2007)	40,8M (2001)	8,9M (2009)	231k (2004)
habitants par logement	4,7	2,7	3,8	5,9	2,8	4,7	3,6
nombre de pièces le plus fréquent	1	5	4,5	2	5	4,5	3,5

Ces valeurs sont compatibles avec les données de :

www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/household_size_and_composition_around_the_world_2017_data_booklet.pdf

H1 LES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

Les équipements électriques ont une empreinte double : leur cycle de vie d'une part (production, acheminement, destruction ou recyclage), et leur utilisation d'autre part (consommation électrique annuelle). Leur empreinte est cependant divisée par le nombre de membres de la famille qui partagent cet équipement.

Cycle de vie [www.basecarbone.fr]

L'empreinte carbone du cycle de vie sera divisée en C7 par l'espérance de vie du matériel, pour comptabiliser l'amortissement de celui-ci.

- Réfrigérateur : 257 kgCO_{2e}
 - o « Frigo Américain » : 300 kgCO_{2e}
- Congélateur : 415 kgCO_{2e}
- Four : 217 kgCO_{2e}
- Télévision
 - o tube cathodique : 38 kgCO_{2e}
 - o LCD 24 puces : 61.6 (Asia) ou 431 (reste du monde) kgCO_{2e}
- Box ADSL : 61.3 kgCO_{2e}
- Ordinateur :
 - o tour de PC : de 169 (bureautique) à 296 (gamer) kgCO_{2e}
 - o imprimante: de 88.2 (inkjet) à 197 (laser) kgCO_{2e}
 - o hypothèse : 296 kgCO_{2e} pour inclure d'éventuels périphériques, mais sans compter l'écran (cf TV plus haut) !
- Ordinateur portable : 156 kgCO_{2e}
- Console de jeu : 73.7 kgCO_{2e}
- Chaîne stéréo: 123 kgCO_{2e}
- Machine à laver : 342 kgCO_{2e}
- Sèche-linge : 302 kgCO_{2e}

- Lave-vaisselle : 271 kgCO₂e
- Aspirateur : 47.3 kgCO₂e

Utilisation journalière

Nous étudions ici l'utilisation « apparente », volontaire, des appareils : leur consommation « vampire » en veille sera vue en C9.

- Réfrigérateur : Selon contenance et efficacité énergétique, un réfrigérateur consomme de 100 à 200 kWh/an ; un combi frigo/freezer, de 200 à 522 kWh/an ; un « frigo Américain », 800 kWh/an [particuliers.engie.fr/economies-energie/conseils/les-eco-gestes-au-quotidien/economiser-equipements-electriques.html]

Réfrigérateur	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
kWh/y	200	800	200	200	200	200	200

- Congélateur : Selon contenance et efficacité énergétique, un congélateur consomme de 200 à 500 kWh/an [particuliers.engie.fr/economies-energie/conseils/les-eco-gestes-au-quotidien/economiser-equipements-electriques.html]

Congélateur	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
kWh/y	500	500	200	500	200	500	200

- Four : en supposant une puissance de 1 000 W, 1h de cuisine par jour, nous arrondissons à 400 kWh/an
- Télévision
 - o tube cathodique : 80-100 W en fonctionnement
 - o LCD 24 puces : 90-250 W en fonctionnement
 - o En supposant 4h d'usage par jour, l'énergie requise varie de 100 à 400 kWh/an

Télévision	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
kWh/y	140	400	220	220	400	220	220

- Box ADSL : de 150 à 300 kWh/an, nous prenons une valeur moyenne de 200 kWh/an [www.calculconsommationelectrique.com/consommation_box_adsl.php]
- Ordinateur : de 80 à 300 W selon puissance, et usage très variable (bureautique 1h/j ou jeux 6h/j) pour un total de 36 à 700 kWh ; nous arrondissons à 250 kWh/an
- Ordinateur portable : 91W pour le iMac [How bad are bananas? Mike Bernes-Lee, 2010], en usage 4h/j, donne 133 kWh/an
- Console de jeu : 115 W pour la Sony PS3, en usage 2h/j, donne 84 kWh/an
- Chaîne stéréo: 16,5 W pour la Philips DCD8000, en usage 2h/j, donne 12 kWh/an
- Machine à laver : elle consomme eau et électricité, en supposant...
 - o ... 1,5 lavage par semaine par adulte, et 2 lavages par semaine par enfant,
 - o ... 80l d'eau par lavage [www.activeau.fr/consommation-eau-menage.htm]
 - o ... 900 Wh par lavage [www.calculconsommationelectrique.com/consommation_lave_linge.php]

	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
Habitants par logement	4.7	2.7	3.8	5.9	2.8	4.7	3.6
Lavages par semaine	8.4	4.4	6.6	10.8	4.6	8.4	6.2
Lavages par an	420	220	330	540	230	420	310
Consommation d'eau (m ³)	33.6	17.6	26.4	43.2	18.4	33.6	24.8
Consommation d'électricité (kWh)	380	200	300	490	210	380	280

- Sèche-linge : 800 kWh pour 183 séchages de 8kg [www.calculconsommationelectrique.com/consommation_seche_linge.php]
- Lave-vaisselle : il consomme eau et électricité
 - o 20-40l par lavage, 5 lavages par semaine (soit 240 lavages par semaine) à 1 000-2 000 W [http://www.activeau.fr/consommation-eau-menage.htm]
 - o Nous gardons 200 kWh/an et 7m³ d'eau annuels
- Aspirateur : 650-800 W, 2 usages par semaine, nous arrondissons à 70 kWh/an

H2 LES LUMINAIRES

La consommation d'une ampoule est très variable selon sa nature : LED (~20W), incandescence (~100W), halogène (~300W). Nous proposons les hypothèses suivantes :

	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOr	Ocea
Pièces par logement	1	5	4.5	2	5	4.5	3.5
Ampoules par pièce	1 incand.	5 DEL	1 incand.	1 incand.	4 DEL	1 incand.	1 incand.
Puissance	100 W	500 W	450 W	200 W	400 W	450 W	350 W
« Je laisse allumé » = usage 12h/j pendant 11 mois							
kWh/an	400	2 000	1 800	800	1 600	1 800	1 400
« Je ne fais pas attention » = usage 9h/j pendant 11 mois (éteindre par réflexe 30% du temps)							
kWh/an	300	1 500	1 350	600	1 200	1 350	1 050
« J'éteins » = usage 3h/j pendant 11 mois							
kWh/an	100	500	450	200	400	450	350

H3 LES APPAREILS EN VEILLE

Pour chaque appareil électrique coché en H1 (à l'exception de l'ordinateur qui sera traité en C9), nous ajoutons une consommation « vampire » de 3W sur toute la durée de l'année [How bad are bananas? Mike Bernes-Lee, 2010].

- « J'éteins » : surplus de +0 kWh/an
- « Je laisse en veille » : surplus de +26 kWh/an
- « Je ne fais pas attention » : en supposant une extinction réflexe 30% du temps = +17 kWh/an

H4 & H5 CHAUFFAGE

Un calcul précis nécessiterait de connaître les degrés-jours de chauffage (allant de 0 – climat chaud – à 5 000 – climat continental froid) ainsi que la capacité thermique des bâtiments par continent voire par pays [www.thegreenage.co.uk/how-much-energy-does-my-home-use/].

Par souci de simplification, nous nous contentons d'une unique valeur : 1,5 kW/h pour tout système de chauffage

[https://www.eia.gov/consumption/residential/data/2001/pdf/ce/spaceheat/ce2-4c_housingunits2001.pdf]

Pour chaque pièce du logement, nous utilisons le décompte suivant :

H4 : durée	« 4-6 mois »	« 1-3 mois »	« Pas besoin »
------------	--------------	--------------	----------------

hypothèse	12h/j pendant 150 j/an	8h/j pendant 60 j/an	2h/j, 12 fois par an
H5 : puissance			
« pull et couvertures »	0 kWh/an	0 kWh/an	0 kWh/an
« radiateur électrique »*	3 600 kWh/an	960 kWh/an	48 kWh/an
« cheminée »**	0 kWh/an	0 kWh/an	0 kWh/an
« thermostat »***	2 700 kWh/an	720 kWh/an	36 kWh/an
« jamais froid »	0 kWh/an	0 kWh/an	0 kWh/an

* en considérant une puissance de 2 000 W

** en théorie, la combustion du bois relargue dans l'atmosphère le CO₂ absorbé par photosynthèse : l'empreinte pourrait être nulle si un nouvel arbre est rapidement replanté. Cependant, en fonction de la nature du bois (bois humide, granules...), de l'efficacité de combustion du poêle (gaz et aérosols issus de combustions incomplètes...), de la gestion écologique de la forêt de provenance du bois (renouvelable, plantation de palme...), l'empreinte peut être non nulle, variant de 0,0023 (sciures) à 0,0304 kgCO₂e/kWh PCI (granulés) [www.basecarbone.fr] : une empreinte 3 à 300 fois inférieure à celle de l'énergie électrique. Vue cette différence, et en l'absence de données cohérentes sur l'utilisation domestique du bois de chauffage par continent ou par pays, nous préférons, par simplification, opter pour la valeur 0 du « retour à l'atmosphère »

*** le thermostat lui-même consomme 40-60 W en continu (24h/j) ou à la demande (6h/j) [www.energiesdouce.com/content/12-conseils-faq-consommation-electrique-des-appareils-electromenagers], ce qui est négligeable devant l'énergie du chauffage citée plus haut (1,5 kW/h)

H6 & H7 CLIMATISATION

Ici encore, un calcul précis nécessiterait de connaître les degrés-jours de climatisation (allant de 5 000 – climat chaud – à 0 – climat continental froid) ainsi que la capacité thermique des bâtiments [www.thegreenage.co.uk/how-much-energy-does-my-home-use/]. Par souci de simplification, nous nous contentons d'une unique valeur : 2,5 kW/h pour tout système de climatisation

[https://www.eia.gov/consumption/residential/data/2001/pdf/ce/spaceheat/ce2-4c_housingunits2001.pdf]

Nous utilisons le décompte suivant :

H6 : durée	« 4-6 mois »	« 1-3 mois »	« Pas besoin »
hypothèse	12h/j pendant 150 j/an	8h/j pendant 60 j/an	2h/j, 12 fois par an
H7 : puissance			
« climatiseur »*	4 500 kWh/an	1 200 kWh/an	60 kWh/an
« ventilateur »**	90 kWh/an	24 kWh/an	1,2 kWh/an
« fenêtres »	0 kWh/an	0 kWh/an	0 kWh/an
« jamais chaud »	0 kWh/an	0 kWh/an	0 kWh/an

* en considérant une puissance de 2 500 W, appliquée à tout le logement

** en considérant une puissance de 50 W, appliquée à chaque pièce

H8-H9-H10 L'EAU SANITAIRE

Comme décrit plus haut, nous utilisons les empreintes suivantes pour l'eau potable :

Eau potable	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
kWh/m ³	3,0	2,6	2,9	5,0	2,6	6	2,6

L'eau chaude, en revanche, est uniformément fixée à 60 kWh/m³.

Ici, les questions valent pour l'utilisateur seul : ces valeurs ne seront pas modifiées par la taille de la maisonnée.

H8 & H9 Pour se laver

Les valeurs numériques par usage sont issues de [www.activeau.fr/consommation-eau-menage.htm]

« douche »	« bain »	« seau »	« lac »	« dents »
– « 5 min » : 60 l/douche = 22 m ³ /an	– « fond d'eau » 100 l/bain = 36 m ³ /an	– 5 l/seau = 2 m ³ /an	– 0 m ³ /an	– « laisse couler » : 13 l/3 min = 5 m ³ /an
– « 10 min » : 44 m ³ /an	– « baignoire pleine » 200 l/bain =			– « quand j'ai besoin » :
– « 15 min » : 66 m ³ /an	73 m ³ /an			0,5 l/3 min = 0,2 m ³ /an
– « 20 min » : 88 m ³ /an				– « jamais » : 0 m ³ /an

H9 – Les toilettes

Une chasse d'eau classique utilise 20 l d'eau par utilisation [www.activeau.fr/consommation-eau-menage.htm], tandis qu'une chasse d'eau économique n'utilisera en moyenne que 4,5 l. En supposant 6 usages journaliers par personne [en.wikipedia.org/wiki/Frequent_urination], la consommation annuelle vaut respectivement 44 et 10 m³.

Les toilettes sèches et les défécations à l'air libre n'utilisent quasiment pas d'eau. Les émissions de GES proviennent à l'inverse de la gestion des déchets organiques : un humain élimine en moyenne 128 g de matières fécales par jour [Wikipédia], constituées d'eau et d'environ 20% de matière organique. Cela correspond à la déjection de 9 kg de déchets organiques par an. Dans le cas des toilettes sèches, la matière organique est souvent réutilisée comme compost, ce qui permet de renouveler le carbone dans les sols, un gain de 0,05 kgCO_{2e}/kg [US EPA]. Inversement, les déchets organiques laissés à l'air libre émettent beaucoup de méthane lors de leur décomposition, émettant environ 0,3 kgCO_{2e}/kg [2009 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting, Table 9b].

Pour résumer :

- « chasse d'eau économique » : +10 m³/an
- « toilettes classiques » : +44 m³/an
- « toilettes sèches » : -0,272 kgCO_{2e}/an
- « plein air » : +1,84 kgCO_{2e}/an

Les transports

L'empreinte carbone des transports dépend de nombreux facteurs : la source de l'énergie utilisée pour mouvoir le véhicule, le rendement énergétique de celui-ci (sa consommation d'énergie pour un kilométrage donné), ou son taux d'occupation. [Newman & Kenworthy 2011a] fusionnent ces deux derniers paramètres en une seule valeur (NB : 1kWh = 3,6MJ) :

Country/region	Transport energy use (megajoule per passenger kilometre)								Assumed occupancy rates for public transport in cities (%)
	Private vehicles	Public passenger transport							
		Total	Bus	Tram	Light rail	Metro	Suburban rail	Ferry	
World	2.45	-	1.05	0.52	0.56	0.46	0.61	-	-
US	4.6	2.63	2.85	0.99	0.67	1.65	1.39	5.41	10
Canada	5.0	1.47	1.50	0.31	0.25	0.49	1.31	3.62	15
Australia and New Zealand	3.9	1.49	1.66	0.36	-	-	0.53	2.49	10
Western Europe	3.3	0.86	1.17	0.72	0.69	0.48	0.96	5.66	17
High-income Asia	3.3	0.58	0.84	0.36	0.34	0.19	0.24	3.64	25
Eastern Europe	2.35	0.40	0.56	0.74	1.71	0.21	0.18	4.87	-
Middle East	2.56	0.67	0.74	0.13	0.20	-	0.56	2.32	-
Latin America	2.27	0.76	0.75	-	-	0.19	0.15	-	-
Africa	1.86	0.51	0.57	-	-	-	0.49	-	-
Low-income Asia	1.78	0.64	0.66	-	0.05	0.46	0.25	2.34	-
China	1.69	0.28	0.26	-	-	0.05	-	4.90	-

Notes: The table is based on data from a sample of 84 cities in different regions. '-' implies 'data not available'.

Sources: Newman and Kenworthy, 2011a (citing Kenworthy, 2008).

Nous utilisons comme référence européenne les données françaises [www.basecarbone.fr] :

- Voiture : 0,230 kgCO₂e/km (citadine 0-5 CV)
 - + 1,3 passagers en moyenne
 - + 0,04 kgCO₂e/km (cycle de vie)
 - = 0,164 kgCO₂e/pax.km
- Covoiturage : voiture identique mais avec 5 passagers = 0,046 kgCO₂e/pax.km
- Bus : 0.173 kgCO₂e/km (émission d'un bus en zone urbaine dense > 250 000 habitants)
 - + 10 passagers en moyenne
 - + 0,0122 kgCO₂e/pax.km (cycle de vie d'un bus électrique)
 - = 0,180 kgCO₂e/pax.km
- Métro : 0,126 kWh/pax.km
 - soit 0,030 kgCO₂/pax.km avec le mix énergétique Euro de 0,2380 kgCO₂e/kWh
- Train
 - o TER gasoil : 0,0798 kgCO₂/pax.km
 - o TER électrique : 0,00891 kWh/pax.km (soit 0,00212 kgCO₂e/pax.km avec le mix Euro)
 - o Moyenne Espagne : 0,0514 kgCO₂e/pax.km
- TGV (électrique) : 20 kWh/km
 - + 85 passagers
 - = 0,0702 kWh/pax.km (soit 0,0167 kgCO₂e/pax.km avec le mix Euro)
- Ferry : 0.979 kgCO₂e/pax.km

Ces données sont ensuite linéairement interpolées aux autres continents d'après les coefficients de [Newmann & Kenworthy 2011a] :

		Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
Mix énergie	kgCO ₂ e/kWh	0,4450	0,4920	0,0868	0,7090	0,2380	0,6700	0,6300
voiture	MJ/pax.km	1,86	5	2,27	1,78	3,3	2,56	3,9
	kgCO ₂ e/pax.km	0,09244	0,24848	0,11281	0,08846	0,16400	0,12722	0,19382
bus	MJ/pax.km	0,57	1,5	0,75	0,66	1,17	0,74	1,66
	kgCO ₂ e/pax.km	0,08769	0,23077	0,11538	0,10154	0,18000	0,11385	0,25538
train léger	MJ/pax.km		0,25		0,05	0,69	0,2	
(gasoil)	kgCO ₂ e/pax.km		0,01862		0,00372	0,05140	0,01490	
métro	MJ/pax.km		0,49	0,19	0,46	0,48		
(élec.)	kWh/pax.km		0,12863	0,04988	0,12075	0,12600		
(élec.)	kgCO ₂ e/pax.km		0,06328	0,00433	0,08561	0,02999		
TER	MJ/pax.km	0,49	1,31	0,15	0,25	0,96	0,56	0,53
(gasoil)	kgCO ₂ e/pax.km	0,04073	0,10889	0,01247	0,02078	0,07980	0,04655	0,04406
(élec.)	kWh/pax.km	0,00455	0,01216	0,00139	0,00232	0,00891	0,00520	0,00492
(élec.)	kgCO ₂ e/pax.km	0,00202	0,00598	0,00012	0,00165	0,00212	0,00348	0,00310
TGV	MJ/pax.km*	0,49	1,31	0,15	0,25	0,96	0,56	0,53
(élec.)	kWh/pax.km	0,03582	0,09576	0,01096	0,01827	0,07018	0,04094	0,03874
(élec.)	kgCO ₂ e/pax.km	0,01594	0,04711	0,00095	0,01296	0,01670	0,02743	0,02441
ferry	MJ/pax.km		3,62		2,34	5,66		2,49
	kgCO ₂ e/pax.km		0,62614		0,40475	0,97900		0,43069

* En l'absence de données spécifiques aux trains à grande vitesse, nous utilisons les valeurs du « suburban rail » (train de banlieue).

L'empreinte du covoiturage dépend du nombre de passagers usuels à bord et de la consommation du moteur.

Consommation :

- Afrq : 22,8l/100km au Kenya
[https://www.researchgate.net/publication/332016309_Estimating_On-Road_Vehicle_Fuel_Economy_in_Africa_A_Case_Study_Based_on_an_Urban_Transport_Survey_in_Nairobi_Kenya]
- AmeN : 10,6/100km au Canada
[<http://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistics/cvs07/chapter3.cfm>]
- AmeS : 8,5l/100km au Brésil [<https://www.iea.org/topics/transport/gfei/data> pour les véhicules de 2005*]
- Asia : 7,3l/100km en Indonésie
[<https://asean.org/storage/2019/03/ASEAN-Fuel-Economy-Roadmap-FINAL.pdf>]
- Euro : 5,99l/100km [www.basecarbone.fr]
- MOri : 8,2l/100km en Turquie [<https://www.iea.org/topics/transport/gfei/data> pour les véhicules de 2005*]
- Ocea : 10,5l/100km pour l'Australie [<https://www.iea.org/topics/transport/gfei/data> pour les véhicules de 2005*] mais en l'absence d'autres valeurs pour les pays moins riches de cette région, nous préférons la consommation d'une voiture moyenne (5-10 CV) en Europe, 8,32l/100km [www.basecarbone.fr]

* nous utilisons les valeurs IEA des véhicules de 2005 car elles sont plus proches des moyennes proposées par les autres sources que les valeurs IEA des véhicules de 2017 (ex : 8,9l/100km au Canada en 2017 vs 10,1l/100km en 2005).

Taux d'occupation du véhicule :

- Afrq : 1,4 en Afrique du Sud
[sa2050pathways.environment.gov.za/assets/onepage/za_vehicule_occupancy.pdf]
- AmeN : 1,6 au Canada
[http://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistics/cvs07/chapter3.cfm]
- Euro : 1,4 en moyenne [European Environment Agency]
- Ocea : 1,6 en Australie [https://chartingtransport.com/tag/car-occupancy/] et 1,41 en Nouvelle Zélande [https://www.researchgate.net/figure/Differences-between-drivers-by-gender-ethnicity-age-household-type_tbl2_237112950]

En l'absence de valeurs probantes pour la plupart des régions, nous recalculons le taux d'occupation moyen à partir de l'efficacité énergétique de [Newmann & Kenworthy 2011a] et de la consommation moyenne des véhicules. Notre pivot est, là encore, la valeur européenne.

		Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
voiture	passagers	9,45	1,6*	2,89	3,16	1,4	2,47	1,6*
	consommation l/km	0,228	0,106	0,085	0,073	0,0599	0,082	0,0832
	MJ/pax.km	1,86	5	2,27	1,78	3,3	2,56	3,9
	kgCO ₂ e/pax.km	0,09244	0,24848	0,11281	0,08846	0,16400	0,12722	0,19382
covoiturage	passagers	9,5**	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	kgCO ₂ e/pax.km	0,09244	0,07952	0,06516	0,05596	0,04592	0,06286	0,06202

* L'interpolation donne des valeurs de 1,64 pour AmeN et de 1,65 pour Ocea, très proches des données tabulées.

** La région Afrq est la seule où le taux d'occupation est largement supérieur au nombre nominal de sièges, nous nous contentons donc d'arrondir le taux d'occupation.

Résumé

Les valeurs finales retenues sont ainsi :

(kgCO ₂ e/pax.km)	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
voiture	0,092	0,248	0,113	0,088	0,164	0,127	0,194
covoiturage	0,092	0,079	0,065	0,056	0,046	0,063	0,062
bus	0,088	0,231	0,115	0,101	0,180	0,114	0,255
métro/train*	0,041	0,063	0,012	0,021	0,030	0,015	0,044
TGV	0,016	0,047	0,012	0,013	0,017	0,027	0,024
ferry	0,5	0,626	0,5	0,405	0,980	0,5	0,431

* La valeur considérée pour le rail dans son ensemble est une médiane entre les valeurs disponibles pour les différents transports ferroviaires.

TRAJETS JOURNALIERS ET HEBDOMADAIRES

	Trajets journaliers = 5 aller-retours par semaine, 40 semaines par an = 400 trajets par an					Trajets hebdomadaires = 2 aller-retours par semaine, 40 semaines par an = 160 trajets par an				
	5 min	10 min	15 min	20-30 min	30 min+	15 min	20 min	30 min	30-60 min	60 min+
A pied*	0 kgCO ₂ e/an					0 kgCO ₂ e/an				
Voiture (20 km/h)	600 km /an	1 200 km /an	2 000 km /an	4 000 km /an	6 000 km /an	800 km /an	1 200 km /an	1 600 km /an	2 400 km /an	4 000 km /an
Covoiturage (20 km/h)	600 km /an	1 200 km /an	2 000 km /an	4 000 km /an	6 000 km /an	800 km /an	1 200 km /an	1 600 km /an	2 400 km /an	4 000 km /an
Bus (12 km/h)	400 km /an	800 km /an	1 200 km /an	2 000 km /an	3 200 km /an	480 km /an	640 km /an	960 km /an	1 440 km /an	2 400 km /an
Métro (25 km/h)	800 km /an	1 600 km /an	2 400 km /an	4 800 km /an	7 200 km /an	1 000 km /an	1 350 km /an	2 000 km /an	3 000 km /an	5 000 km /an
Bateau (8 nœuds ~5 km/h)	200 km /an	400 km /an	600 km /an	1 000 km /an	1 800 km /an	200 km /an	275 km /an	400 km /an	600 km /an	1 000 km /an

* Les transports doux : marche à pied, vélo, trottinette, cheval, âne, barque... qui fonctionnent à l'énergie musculaire ont une empreinte carbone négligeable devant la combustion d'essence ou d'électricité de transports plus modernes.

TRAJETS EXCEPTIONNELS

Pour la question T3 « Si je dois faire 500 à 1 000 km... », nous considérons un total annuel de 1 500 km. Dans ce cas précis, nous choisissons comme émission pour l'avion un moyen-courrier de 100-180 sièges sur plusieurs petits trajets inférieurs à 1 000 km : 0,314 kgCO₂e/pax.km [www.basecarbone.fr], soit 472 kgCO₂e.

Pour la question T4 « Si je dois faire plus de 1 000 km... », nous considérons un unique voyage de 3 000 km. Dans ce cas précis, nous choisissons comme émission pour l'avion un long-courrier de 250+ sièges sur un vol de 3000 km : 0,251 kgCO₂e/pax.km [www.basecarbone.fr], soit 753 kgCO₂e.

L'alimentation

L'agriculture mondiale est un gros émetteur de GES pour deux raisons : la fertilisation artificielle des sols, et la combustion de carburant pour ses machineries.

DEPENDANCES GEOGRAPHIQUES

Il existe trois grandes familles d'engrais : engrais azotés (4.795 kgCO₂e / kg N), engrais phosphatés (0.581 kg CO₂e / kg P₂O₅) et potasse (0.451 kgCO₂e/kg K₂O) [www.basecarbone.fr]

FAOstat 2015 fournit les valeurs suivantes :

	kg N/ha	kg P ₂ O ₅ /ha	kg K ₂ O/ha	Emissions (kgCO ₂ e/ha)
Afrq : Côte d'Ivoire	5,75	6,01	8,09	66,7
AmeN : Canada	53,43	20,78	8,49	569,7
AmeS : Brésil	40,11	49,96	58,61	471,2
Asia : Indonésie	61,27	17,11	35,54	661,0
Euro : Espagne	62,14	23,96	22,13	668,0
Mori : Irak	30,37	3,39	0,47	317,0
Ocea : N ^{lle} Calédonie	54,59	38,77	56,84	614,0

D'autre part, la consommation annuelle de carburants dans l'agriculture est la suivante [https://www.nationmaster.com/country-info/stats/Energy/Gas--diesel-oils/Consumption-in-agriculture, d'après Energy Statistics Database | United Nations Statistics Division] :

	Fuel agricole	Surface arable [FAO]	Fuel par hectare	Emissions
Afrq : Côte d'Ivoire	64 kt	45 156 km ²	14,17 kg/ha	41,10 kgCO ₂ e/ha
AmeN : Canada	2,01 Mt	45 468 km ²	442,07 kg/ha	1 282,00 kgCO ₂ e/ha
AmeS : Brésil	4,85 Mt	66 865 km ²	725,34 kg/ha	2 103,49 kgCO ₂ e/ha
Asia : Indonésie	2,18 Mt	219 200 km ²	99,45 kg/ha	288,41 kgCO ₂ e/ha
Euro : Espagne	2,13 Mt	45 407 km ²	469,09 kg/ha	1 360,36 kgCO ₂ e/ha
Mori : Iran	3,34 Mt	18 379 km ²	1 817,29 kg/ha	5 270,15 kgCO ₂ e/ha
Ocea : N ^{lle} Zélande	267 kt	794 km ²	3 362,72 kg/ha	9 751,89 kgCO ₂ e/ha

Avec ces deux valeurs, nous calculons un facteur correcteur multiplicatif aux valeurs européennes qui serviront de référence [www.basecarbone.fr]

kgCO ₂ e/ha	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOr	Ocea
engrais	66,7	569,7	471,2	661,0	668,0	317,0	614,0
fuel	41,1	1 282,0	2 103,5	288,4	1 360,4	5 270,1	9 751,9
total	107,8	1 851,7	2 574,7	949,4	2 028,4	5 587,1	10 365,9
facteur correctif	5,3%	91,3%	126,9%	46,8%	100,0%	275,4%	511,0%

AU MENU

Nous considérons qu'un repas moyen se compose d'une portion de 100g de protéines et d'une portion de 100g de légumes. En supposant deux repas par jour, nous estimons un total de 1 460 portions par an par personne. Les questions F1 à F5 résument le régime alimentaire de l'élève : s'il y a moins de 730 portions de protéines sélectionnées, nous les complétons par autant de portions végétales (une approximation d'un régime végétarien) ; par exemple un régime végétarien ne sélectionnant aucune protéine animale sera constitué de 1 460 portions végétales, pour une empreinte totale de 26 kgCO_{2e} ; inversement, si plus de 730 portions de protéines animales sont sélectionnées, nous ajoutons tout de même 730 portions végétales, mais le total annuel dépassant 1 460 portions trahit une hygiène alimentaire certainement trop riche.

Légumes

La production de légumes hors saison (en serre) impacte largement leur empreinte carbone [www.basecarbone.fr].

Concombre	de saison 0,0669 kgCO _{2e} /kg	serre 2,219 kgCO _{2e} /kg
Salade	de saison 0,326 kgCO _{2e} /kg	serre 11,050 kgCO _{2e} /kg
Tomate	de saison 0,177 kgCO _{2e} /kg	serre 2,23 kgCO _{2e} /kg

Nous considérons donc une moyenne de 0,177 kgCO_{2e}/kg pour les légumes de saison.

Les légumes exotiques ont une empreinte supplémentaire due à leur transport. En considérant une limite maximale d'import de 5 000 km par gros-porteur (2,58 kgCO_{2e}/t.km [www.basecarbone.fr]), nous estimons que l'empreinte supplémentaire ne devrait pas dépasser 12,9 kgCO_{2e}/kg.

Nous choisissons de représenter à la fois les légumes hors-saison et les légumes importés par une empreinte supplémentaire de 6 kgCO_{2e}/kg.

	« aussi souvent que je le veux » = 3 par semaine = 156/an	« je ne fais pas attention »	« de temps en temps » = 1 par semaine = 52/an	« de saison » =0
F8: hors saison		+93 kgCO _{2e}	+31 kgCO _{2e}	+0 kgCO _{2e}

Protéines

Là encore, de grandes variabilités dans les empreintes carbone des différentes protéines (kgCO₂e/kg de poids vif) [www.basecarbone.fr] :

F1 bœuf/mouton	F2 porc/cabri	F3 volaille/œufs	F4 poissons/ fruits de mer	F5 fromages/ laitages
Agneau Roquefort 4,42 Taurillon laitier 5,25 Bovin moyen FR 12,8 Génisse à viande 15,3 Brebis allaitante de réforme 19,3 Vache de réforme 21,7	Porc plein air 2,21 Porc moyen FR 2,42 Chèvre de réforme 6,06 Lapine de réforme 8,52 Truie de réforme alimentation soja 9,78	Œuf moyen FR 1,72 Poulet moyen 2,14 Poulet bio 2,24 Poulet Label Rouge 2,92 Dinde 2,99 Palmipède gras 3,21	Pêche européenne 1,914 Truite 3,08 Pêche tropicale 3,827 Dorade méditerranée 4,43 Crevettes 9,270	Yaourt 2,88 Crème fraîche 4,16 Camembert 4,28 Emmental 5,6 Beurre 9,49
12,8 kgCO₂e/kg	5 kgCO₂e/kg	2,14 kgCO₂e/kg	2 kgCO₂e/kg*	3,5 kgCO₂e/kg**

* Nous gardons une approximation de la valeur moyenne européenne car la variabilité régionale sera intégrée dans le facteur multiplicatif

** Une portion classique de beurre ou de fromage pèse environ 50g tandis qu'un yaourt ou une portion de crème pèse environ 125g. La moyenne ici choisie s'appliquera sur nos portions théoriques de 100g.

Fréquences et portions

Toutes ces valeurs aboutissent enfin au calcul suivant :

	« à chaque repas » = 2 par jour = 730/an	« de temps en temps » = 1 par semaine = 52/an	« exceptionnellement » = 1 par mois = 12/an	« jamais » = 0
F1: bœuf/mouton	+934 kgCO ₂ e	+66 kgCO ₂ e	+15 kgCO ₂ e	+0 kgCO ₂ e
F2: porc/cabri	+365 kgCO ₂ e	+26 kgCO ₂ e	+6 kgCO ₂ e	+0 kgCO ₂ e
F3: volaille/œufs	+156 kgCO ₂ e	+11 kgCO ₂ e	+3 kgCO ₂ e	+0 kgCO ₂ e
F4: poissons/fruits de mer	+146 kgCO ₂ e	+10 kgCO ₂ e	+2 kgCO ₂ e	+0 kgCO ₂ e
F5: fromages/ laitages	+255 kgCO ₂ e	+18 kgCO ₂ e	+4 kgCO ₂ e	+0 kgCO ₂ e

F6 Boissons

Enfin, nous avons fait les choix suivants concernant les boissons, en considérant une consommation de 1,5l par jour soit 548 l/an [www.basecarbone.fr] :

Sodas et jus	Eau en bouteille	Lait	Eau du robinet	Eau de surface
Soda 1,09 Jus d'orange 2,22	Eau en bouteille PET ½l 0,393	Chèvre 0,799 Vache moyen FR 0,937 Brebis Roquefort 1,54	Selon pays	
1,5 kgCO₂e/l 822 kgCO₂e/an	0,393 kgCO₂e/l 215 kgCO₂e/an	1 kgCO₂e/l 548 kgCO₂e/an	Cf p.4*	0 kgCO₂e/l 0 kgCO₂e/an

* la consommation annuelle d'eau du robinet conduit à l'empreinte suivante :

Eau du robinet	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOr	Ocea
kgCO ₂ e/m ³	1.335	1.279	0.252	3.545	0.619	4.020	1.638
kgCO ₂ e/an	0.732	0.701	0.138	1.943	0.340	2.203	0.897

F7 Surgelés et plats préparés

Extraits de [www.basecarbone.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-
element/categorie/469] :

	TOTAL (kgCO ₂ e/portion)	entrées (kgCO ₂ e/portion)	portion (g)	surplus (kgCO ₂ e/kg)
Blanquette de veau	4,520	3,700	473	1,734
Bœuf bourguignon	4,160	3,630	308	1,721
Brandade de morue	1,430	1,050	329	1,155
Cassoulet	2,370	1,680	370	1,865
Chili con carne	3,930	3,350	249	2,329
Choucroute	0,725	0,391	470	0,711
Coquillettes au jambon	1,360	0,942	535	0,781
Côte de bœuf	10,800	9,780	310	3,290
Couscous	4,920	4,210	820	0,866
Crêpes	0,387	0,257	284	0,458
Curry au poulet	1,190	0,836	567	0,624
Endives au jambon	1,010	0,749	295	0,885
Filet mignon de porc	0,965	0,729	193	1,223
Fondant au chocolat	0,342	0,216	86	1,465
Gigot d'agneau	5,550	5,070	156	3,077
Gratin dauphinois	0,648	0,384	461	0,573
Gratin de chou-fleur	0,746	0,521	707	0,318
Hachis Parmentier	6,150	5,420	557	1,311
Hamburger	4,060	3,600	279	1,649
Lapin à la moutarde	2,280	1,590	357	1,933
Lasagnes	2,910	2,370	594	0,909
Lasagnes végan	1,150	0,816	714	0,468
Tajine d'agneau	8,580	7,730	574	1,481
			médiane	1,223
			moyenne	1,340

Au total, nous supposons une empreinte additionnelle de +1,5 kgCO₂e/kg pour chaque plat préparé ou surgelé, pour représenter leur transformation, leur transport, leur packaging, leur stockage, etc. Cela s'applique à la fois aux portions de 100g de protéines et aux portions végétales de 100g.

	« à chaque repas » = 2 par jour = 730/an	« de temps en temps » = 1 par semaine = 52/an	« exceptionnellement » = 1 par mois = 12/an	« jamais » =0
F7: surgelés	+219 kgCO ₂ e	+16 kgCO ₂ e	+4 kgCO ₂ e	+0 kgCO ₂ e

F9 Bio et réseau local

Nous reprenons ici la valeur de [www.manicore.fr] sur la viande bovine : un gain de -30% sur les émissions liées à l'alimentation.

F10 Gaspillage alimentaire

Quelle que soit la région, la FAO estime qu'un tiers de la nourriture est perdu ou gâché, soit pendant la production et le transport, soit par le consommateur lui-même. [<http://www.fao.org/save-food/resources/keyfindings/en/>]

« Combien de ta nourriture est perdue et jetée à la poubelle ? »

- « environ 30%. » malus de +30% sur l'empreinte « Alimentation »
- « environ 10%. » malus de +10% sur l'empreinte « Alimentation »
- « Je ne sais pas. » malus de +15% sur l'empreinte « Alimentation »
- « Nous ne gâchons pas » aucun malus

F11 Compost

Comme vu en H9, la matière organique réutilisée comme compost permet de renouveler le carbone dans les sols, soit un gain de $-0,05 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ [US EPA]. Inversement, en supposant le dépôt des déchets alimentaires en décharge publique, leur décomposition émet beaucoup de méthane, soit une empreinte de $\sim 0,3 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ [2009 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting, Table 9b].

	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
gâchis alimentaire (kg) [FAO]	34	114	23	11	95	34	114
« oui » (kgCO ₂ e)	-1,7	-5,7	-1,2	-0,6	-4,8	-1,7	-5,7
« non » (kgCO ₂ e)	10,2	34,2	6,9	3,3	28,5	10,2	34,2

Consommation

HABILLEMENT

L'empreinte carbone des habitudes vestimentaires dépend de la quantité de vêtements achetés par an, de leur provenance et de leur durée de vie.

Dépenses vestimentaires annuelles

[http://data.un.org/Data.aspx?q=clothing+datamart%5bSNA%5d&d=SNA&f=group_code%3a302%3bitem_code%3a3 Expenditure clothing/footwear]

- Afrq Cameroun = 9.85E11 francs CFA (2014)
- AmeN Canada = 4.6E10 dollars canadiens (2015)
- AmeS Brésil = 2.3E11 reals (2015)
- Asia Indonésie = 2.4E14 roupies (2015)
- Euro Espagne = 2.8E10 euros (2015)
- MOri Irak = 6.6E12 dinars (2012)
- Ocea N^{lle} Zélande = 5.65E9 NZdollars (2015)

L'empreinte de la production même des vêtements varie peu d'une région à l'autre : 1,88 kgCO₂e/kg pour un blouson de cuir en Asie contre 1,63 kgCO₂e/kg pour une production française [www.basecarbone.fr]. Nous prendrons donc les mêmes valeurs pour tous.

L'empreinte dépend du matériau et de la complexité du vêtement : 13,4 kgCO₂e pour une paire de souliers en cuir, 24 kgCO₂e pour une veste en cuir, 5,2 kgCO₂e pour un T-shirt en coton, 49,8 kgCO₂e pour une robe en coton, 23,3 kgCO₂e pour une paire de jeans, 5,5 kgCO₂e pour un T-shirt en polyester, 10,2 kgCO₂e pour une chemise en viscose... [www.basecarbone.fr]. Nous choisissons une valeur moyenne de 10 kgCO₂e/pièce.

Pour une production locale, les empreintes individuelles sont donc :

Local	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
UN.data	9,85E11 francs CFA	4,6E10 dollars canadiens	2,3E11 reals	2,4E14 roupies	2,8E10 euros	6,6E12 dinars irakiens	5,65E9 NZdollars
population	23,7M	35,1M	204,2M	256,0M	48,1M	37,1M	4,44M
\$/pax	71,26	986,77	286,16	65,68	650,60	150,17	841,09
pièces	2,85	39,47	11,45	2,63	26,02	6,01	33,64
kgCO ₂ e	28	395	114	26	260	60	336

Transport de marchandises

En supposant un transport sur 5 000 km par gros-porteur (2,58 kgCO₂e/t.km [www.basecarbone.fr]), nous estimons que l'empreinte du transport vaut environ 12,9 kgCO₂e/kg. Le poids d'une pièce vestimentaire est d'environ 330 g (valeur médiane entre des sous-vêtements de 30 g et des chaussures de sécurité de 2 kg), ce qui fait une empreinte supplémentaire de +3,87 kgCO₂e/pièce.

Une garde-robe renouvelée annuellement par avion a donc une empreinte totale de :

	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
kgCO ₂ e	40	547	159	36	361	83	467

Durée de vie

Nous supposons que les friperies permettent de doubler la durée de vie des vêtements, et donc de diviser leur empreinte par deux. Mieux encore, nous divisons par 3 l'empreinte des vêtements donnés et hérités d'autres membres de la communauté. Au final, nous utilisons donc les valeurs suivantes :

kgCO ₂ e	Afrq	AmeN	AmeS	Asia	Euro	MOri	Ocea
global	40	547	159	36	361	83	467
local	28	395	114	26	260	60	336
fripes	14	198	57	13	130	30	168
dons	9	132	38	9	87	20	112

SHOPPING

Les sacs de course :

- « sac réutilisable » : 0,1 kgCO₂e (hypothèse : 10 oublis par an nécessitant un nouveau sac en plastique)
- « sac réutilisable de temps en temps » : point milieu 1,3 kgCO₂e
- « sac en plastique » : 5 sacs par semaine, soit 260 sacs par an, à 10 gCO₂e le sac jetable [how bad are bananas? Mike Bernes-Lee, 2010] soit 2,6 kgCO₂e

À noter que l'empreinte d'un sac en papier réutilisable (12 gCO₂e) est similaire à celle d'un sac en plastique jetable (10 gCO₂e) !

LE PAPIER

Les questions C4 (usage du papier) et C5 (tri des déchets) sont combinées pour définir l'empreinte de l'usage du papier. La production d'1 kg de papier émet 3 kg de carbone, alors que le papier recyclé n'émet que 2 kg [Environmental Defense Fund Paper Calculator]. La consommation de pulpe de papier par an et par personne (que nous assimilons à la consommation de feuilles de papier) est donnée dans le rapport Magnaghi 2010 [<http://www.bir.org/assets/Documents/industry/MagnaghiReport2010.pdf>].

	Consommation	C4 « une face » C5 « pas de tri »	C4 « deux faces » C5 « pas de tri »	C4 « une face » C5 « tri »	C4 « deux faces » C5 « tri »
Afrq Côte d'Ivoire	4kg/an/pax	12 kg CO ₂ e	6 kg CO ₂ e	8 kg CO ₂ e	4 kg CO ₂ e
AmeN Canada	151kg/an/pax	453 kg CO ₂ e	226.5 kg CO ₂ e	302 kg CO ₂ e	151 kg CO ₂ e
AmeS Brésil	43kg/an/pax	129 kg CO ₂ e	64.5 kg CO ₂ e	86 kg CO ₂ e	43 kg CO ₂ e
Asia Indonésie	27kg/an/pax	81 kg CO ₂ e	40.5 kg CO ₂ e	54 kg CO ₂ e	27 kg CO ₂ e
Euro Espagne	144 kg/an/pax	432 kg CO ₂ e	216 kg CO ₂ e	288 kg CO ₂ e	144 kg CO ₂ e
MOri Irak	2.6kg/an/pax	6.9 kg CO ₂ e	3.45 kg CO ₂ e	4.6 kg CO ₂ e	2.3 kg CO ₂ e
Ocea N ^{lle} Calédonie	12kg/an/pax	36 kg CO ₂ e	18 kg CO ₂ e	24 kg CO ₂ e	12 kg CO ₂ e

C3, C4, C5, C6 : GESTION DES DECHETS

L'empreinte liée à la gestion des déchets prend comme données d'entrée la quantité de déchets produits par personne, la nature de ces déchets (organique, minéral...), le devenir de ces déchets (collectés par la municipalité, compostés par la famille, laissés en décharge sauvage...), et enfin le traitement de ces déchets (recyclage, incinération, décharge municipale...)

La quantité de déchets, leur collecte et leur traitement

Nous combinons ici les données de [unstats.un.org/unsd/environment/wastetreatment.htm] et [www.atlas.d-waste.com] :

	Production	Taux de collecte	Incinération	Recyclage	Compost
Niger	179 kg/pax		12%	4%	NC
Mali		40%			
Afrq	179 kg/pax	40%	12%	4%	0%
Canada	777kg/pax	99%	NC	26.8%	12.5%
USA			13.6%	23.8%	8.4%
AmeN	777 kg/pax		14%	27%	13%
Brésil	383 kg/pax	89,7%	NC	1%	NC
Chile			0.0%	0.4%	0.5%
AmeS	383 kg/pax	90%	0%	0%	1%
Thaïlande	365 kg/pax		0-5%	11%	NC
Indonésie	255 kg/pax	69%	NC	6.5%	NC
Asia	255 kg/pax	69%	3%	11%	0%
Espagne	449 kg/pax		8.8%	14.7%	24.5%
France		100%			
Euro	449 kg/pax	100%	9%	20%	25%
Irak			12.3%	NC	NC
Iran	241 kg/pax		NC	NC	NC
Turquie		77%	NC	< 1%	1.1%
MORi	241 kg/pax	77%	12%	1%	1%
N ^{le} Zélande			NC	15.3%	NC
Fidji	146 kg/pax		NC	NC	NC
Australie	640 kg/pax	94%	NC	NC	NC
Ocea	505 kg/pax*	94%	0%	15%	0%

* en supposant que la production de déchets évolue linéairement avec le PIB, la Nouvelle Calédonie (40 867\$) se situe plus près de l'Australie (54 547\$) que de Fidji (4 977\$) [Factbook CIA]

La quantité de déchets non-organiques est nuancée par la question C3 (suremballages) : une étude chariot menée par l'ADEME en 2009 [Mesure des indicateurs de suivi de l'offre éco-responsable en matière de prévention des déchets, à destination des ménages – Synthèse. Juin 2009] montre une variation maximale de 65 kg entre les déchets d'un chariot sans le moindre suremballage et ceux d'un chariot sélectionnant préférentiellement le suremballage, avec un écart-type de ± 26 kg.

En Espagne, chaque habitant produit en moyenne 449 kg de déchets, donc 229 kg de déchets inorganiques (plastique, carton, métal ou verre) : cet écart de ± 26 kg se traduit donc par un modificateur de $\pm 11\%$ sur les déchets non-organiques

Les déchets organiques, eux, ont partiellement été traités en F11 (gaspillage alimentaire), et seul le reste sera calculé ici.

Nature des déchets

La composition des déchets vient de [www.atlas.d-waste.com] : la part de déchets inorganiques qui n'y est pas détaillée est partagée ici à parts égales entre déchets métalliques et verres

[<http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/Chap5.pdf>]

	Pays	Plastiques	Papiers	Organiques	Métaux	Verres
Afrq	Tchad	6%	3%	70%	10,5%	10,5%
AmeN	Canada	9%	26%	40%	12,5%	12,5%
AmeS	Brésil	13,5%	13,1%	51,4%	11%	11%
Asia	Viet Nam	10%	11%	44%	17,5%	17,5%
Euro	Espagne	12%	21%	49%	9%	9%
MOri	Iran	11%	22%	43%	12%	12%
Ocea	Australie	4%	23%	47%	13%	13%

Selon leur nature et leur devenir, ces déchets auront des empreintes différentes [2009 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting, Table 9b]

(kg CO ₂ e/t)	Plastique (dense)	Papier	Autres organiques	Métaux ferreux	Métaux non-ferreux	Métaux (moyenne)	Verre
Emission par production de matière vierge	3 100	950	NA	3 100	11 000	7 050	840
Emission par production de matière recyclée	1 600	237	NA	1 800	2 000	1 900	525
Incinération	1 800	-500	-271	-786	23	-381,5	5
Compost	NA	57	34	NA	NA	NA	NA
Décharge	40	550	230	10	10	10	10

Calcul de l'empreinte carbone

Les questions C3, C5, C6 et F11 permettent d'estimer l'empreinte carbone liée aux déchets produits annuellement.

Prenons pour exemple la région Afrq :

179 kg de déchets sont générés par personne, répartis en 10,7 kg de plastique + 5,4 kg de papier + 125,3 kg de matières organiques (34 kg de déchets alimentaires déjà traités en F11 + 91,3 kg d'autres déchets organiques) + 18,8 kg de métal + 18,8 kg de verre. Les déchets non organiques sont augmentés ou diminués de 11 % après la question C3 (suremballage).

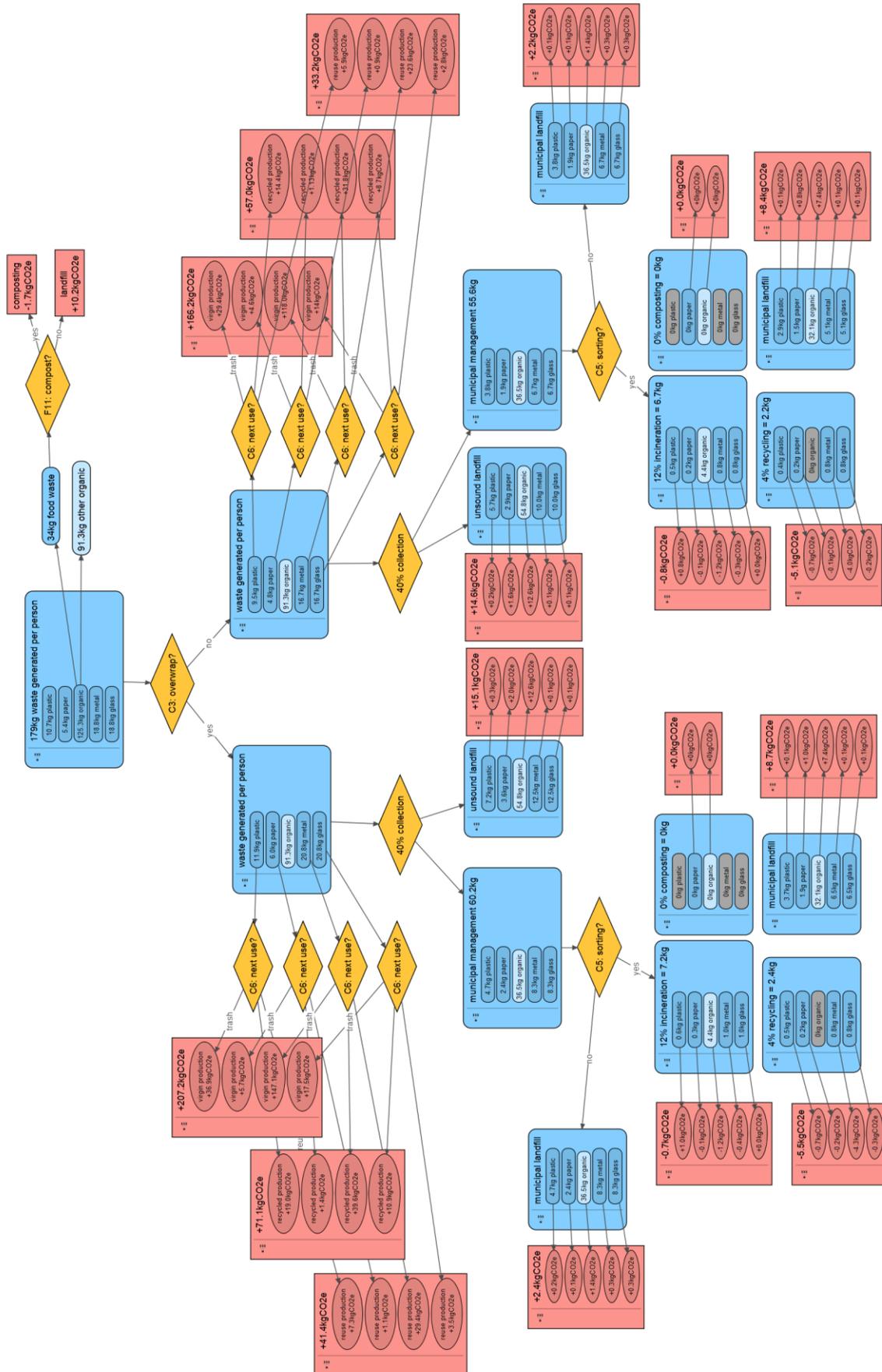
On peut calculer l'empreinte de la production de ces déchets grâce à la question C6 : « jeter » signifie une probable matière vierge ; « recycler » signifie une probable source recyclée; par « réutiliser » nous supposons 4 utilisations supplémentaires par article, ce qui divise par 5 l'empreinte du cycle de vie de ces déchets.

Le taux de collecte donne le poids des déchets traités par les municipalités, tandis que le reste est laissé à la discrétion de la population (et finira probablement dans des décharges sauvages). Nous supposons la même composition pour les deux lots.

En Afrq, les municipalités incinèrent 12 % de ces déchets collectés (soit 6-7 kg) et en recyclent 4 % (soit 2-3 kg) ; nous choisissons d'ignorer le compostage municipal car il n'est pas donné : le reste sera mis en décharge. Mais cela n'est possible que si les consommateurs ont préalablement trié leurs déchets (question C5), sinon le sac poubelle sera directement mis en décharge.

Afrq	C3: suremb.	OUI	NON	AmeN	C3: suremb	OUI	NON	AmeS	C3: suremb.	OUI	NON
C6: après	jette	207,2	166,2	C6: après	jette	1304,3	1045,8	C6: après	jette	599,8	480,9
	recycle	71,1	57,0		recycle	438,8	351,8		recycle	218,4	175,1
	réutilise	41,4	33,2		réutilise	260,9	209,2		réutilise	120,0	96,2
C5: tri	OUI	2,5	2,6	C5: tri	OUI	-255,6	-219,0	C5: tri	OUI	63,0	57,4
	NON	10,1	9,7		NON	172,1	146,9		NON	66,2	60,2
Asia	C3: suremb.	OUI	NON	Euro	C3: suremb	OUI	NON	MOri	C3: suremb.	OUI	NON
C6: après	jette	508,1	407,4	C6: après	jette	638,7	512,1	C6: après	jette	400,4	321,0
	recycle	172,8	138,5		recycle	229,3	183,8		recycle	138,9	111,4
	réutilise	101,6	81,5		réutilise	127,7	102,4		réutilise	80,1	64,2
C5: tri	OUI	-15,9	-13,1	C5: tri	OUI	-89,0	-76,6	C5: tri	OUI	29,3	25,0
	NON	29,3	26,7		NON	89,6	77,5		NON	38,7	33,4
Ocea	C3: o-wrap?	OUI	NON								
C6: après	jette	766,9	614,9								
	recycle	243,1	195,0								
	réutilise	153,4	123,0								
C5: tri	OUI	-26,0	-22,6								
	NON	95,5	81,9								

Le processus complet est détaillé ci-dessous pour la zone Afrq:



HIGH TECH

C7 Durée de vie

Cette question permet de moduler l'empreinte carbone due à la production des équipements électriques listés en H1 : l'obsolescence programmée du matériel est souvent de 3 ans, qui nous sert d'étalon ici.

	Durée de vie des équipements*	Durée de vie de l'électronique**
« tous les mois »	3 ans	0,1 an
« 2 à 4 fois par an »	3 ans	0,5 an
« une fois par an »	3 ans	1 an
« pas tous les ans »	3 ans	3 ans
« seconde main »	6 ans	6 ans
« jamais d'électronique »	6 ans	6 ans

* réfrigérateur, congélateur, four, lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, aspirateur

** télévision, box ADSL, ordinateur, laptop, console, chaîne stéréo, smartphone

C8 smartphone et navigation internet

La possession d'un smartphone augmente l'empreinte des équipements domestiques de 32,8 kgCO_{2e} [www.basecarbone.fr] modulée par sa durée de vie définie en C7. L'utilisation du smartphone comme navigateur web a une empreinte d'environ 10 kWh/Go, que nous répartissons comme suit :

[www.ericsson.com/assets/local/publications/conference-papers/the-global-footprint-of-mobile-communications-the-ecological-and-economic-perspectiv.pdf]

– « jamais »		+0 kWh
– « moins de 1 Go par mois »	10 Go/an	+100 kWh
– « 2 à 5 Go par mois »	40 Go/an	+400 kWh
– « plus de 5 Go par mois »	80 Go/an	+800 kWh

C9 consommations vampires : la mise en veille des ordinateurs

En supposant 4h d'usage journalier pour chaque ordinateur/laptop/console listé en H1, chacun peut être utilisé environ 1 200 heures par an (déjà comptabilisé en H1), et laissé en veille potentiellement 7 500 heures par an (l'empreinte estimée ici).

Cependant, il existe une nuance : par exemple, un iMac en cours d'utilisation consomme 91 W, en veille entre 0,1 et 14W [www.lesnumeriques.com/prix-consommation-electrique-a704/la-verite-sur-la-mise-en-veille-ap548.html], mais en charge, il consomme 24W [how bad are bananas? Mike Bernes-Lee, 2010]

– « économiseur d'écran »	+682,5 kWh
– « en veille »	+105,0 kWh
– « éteint mais branché »	+180,0 kWh
– « éteint et débranché »	+14,4 kWh*

* hypothèse : 1h de charge pour 2h d'utilisation

C10 Les recherches sur internet : 0,00665 kgCO₂e/requête [www.basecarbone.fr]

- « 100 fois par jour »	30 000 fois par an	+200 kgCO ₂ e
- « 10 fois par jour »	3 000 fois par an	+20 kgCO ₂ e
- « 1 fois par jour »	300 fois par an	+2 kgCO ₂ e
- « 1 fois par semaine »	50 fois par an	+0,3 kgCO ₂ e
- « 1 fois par mois »	12 fois par an	+0,1 kgCO ₂ e

C11 Emails archivés : 0,004 kgCO₂/email [www.basecarbone.fr]

- « Environ 10 000 »	+40 kgCO ₂ e
- « Environ 1 000 »	+4 kgCO ₂ e
- « Environ 100 »	+0,4 kgCO ₂ e
- « Environ 10 »	+0,04 kgCO ₂ e

C12 streaming

Pour citer [<https://www.bbc.com/news/technology-45798523>] The European Commission-funded Eureka [project's] lead scientist, Rabih Bashroush, calculated that five billion downloads and streams clocked up by the song Despacito, released in 2017, consumed as much electricity as Chad, Guinea-Bissau, Somalia, Sierra Leone and the Central African Republic put together in a single year.

Nous calculons :

- Consommations annuelles du Tchad (190,7), de la Guinée-Bissau (46,5), de la Somalie (293), de la Sierra Leone (135) et de la République de Centrafrique (168) [Factbook CIA] = 833,2 GWh
- Divisées par 5 milliards de téléchargement : 166,64 Wh/pax
- La chanson dure 4min41 : 35,6 Wh/min

Au final :

- « 5 heures par jour »	1 500h/an	+53,4 kWh
- « 1 heure par jour »	300 h/an	+10,7kWh
- « 1 heure par semaine »	50 h/an	+1,8 kWh