

Consommation énergétique des moyens de transport : de la marche à l'avion

Sans énergie exploitable par l'homme, pas d'industrie, pas de services, pas de chauffage, pas de logements, pas de transports, moins de nourriture, etc. Sans énergie rien n'est possible, car elle est à la base de tout processus de transformation.

Le vent, les marées, les rivières, la lumière naturelle, représentent des formes d'énergie toutes issues d'une même source : notre soleil. Elles sont inépuisables et elles représenteront certainement une part importante dans le mix énergétique de demain.

La consommation d'énergie ne cesse de croître à l'échelle mondiale, grâce aux énergies fossiles encore abondantes à l'échelle planétaire et qui restent relativement bon marché malgré les envolées épisodiques des prix.

Alors dans un monde où l'énergie est omniprésente, nécessaire à tous nos gestes quotidiens, n'est-il pas intéressant d'avoir en tête quelques repères ou ordres de grandeur sur la consommation individuelle d'énergie en fonction de nos modes de déplacement.

Je propose donc dans cet article de fournir quelques points de repères sur la gourmandise énergétique de nos principaux modes de transports (marche, vélo, bus, voiture, train, avion). Je précise qu'il s'agit de faire une comparaison quantitative indépendamment des éléments attachés à l'usage des énergies fossiles comme les pollutions ou la production de CO₂ contribuant à l'augmentation de l'effet de serre, puisque j'inclus la marche et le vélo normalement non polluant.

Tout d'abord un rappel sur quelques équivalences énergétiques

1 kilowatt-heure (KWh) ou 1000 watts-heure (Wh) = énergie consommée par un appareil d'une puissance de 1000 watts fonctionnant pendant 1 heure. Equivalent également à 3 600 000 Joules (1000*3600 secondes).

1 litre essence équivaut à 9 KWh ou 9000 Wh (environ ! tout dépend de la qualité du produit). Vous pourrez trouver dans la littérature des chiffres légèrement différents .

1 litre d'oxygène consommé par une personne permet de fournir à l'organisme une énergie de 21 kilojoules (21000 Joules) environ (tout dépend du substrat énergétique consommé : lipides ou glucides). Le rendement musculaire est de l'ordre de 20 à 25%. Avec un litre d'oxygène consommé par minute, l'organisme fournit au mieux une puissance utile de 87 Watts (Une ampoule électrique !). Un sportif de haut niveau peut consommer 5 litres d'oxygène à la minute en mode aérobie (même un peu plus).

Voyons maintenant les consommations des principaux modes de transports. Pour harmoniser les résultats, j'utiliserai le Watt-heure (Wh), et la consommation sera rapportée au KM parcouru et par passager. Comme la plupart des résultats tourneront autour de quelques dizaines ou centaines de Wh, il est assez facile de se les représenter en imaginant votre ancienne ampoule de 100 Watts qui allumée pendant 1 heure aurait consommé 100 Wh.

La marche

La marche entraîne une consommation d'oxygène de 3 ml (millilitre) environ par kg, par minute et par Km/heure

Une personne de 70 Kg consommera donc environ 210 ml d'oxygène par minute et par Km/h.

La puissance développée totale est alors égale: $0,210 \cdot 21000 / 60 = 73,5$ Watts par Km/h

La puissance mécanique utile avec un rendement de 20% est environ égale à 15 Watts par Km/h

Energie dépensée pour 1km parcouru : 73 Watts-heure (Wh). On est proche de 1 Wh par Kg de poids

Bien sûr il est inutile d'être trop précis, car de nombreux facteurs interviennent tels que le poids, le rendement musculaire, l'économie de locomotion, etc...

La course à pied

Le besoin en énergie pour 1 km parcouru n'est pas très différent de la marche. La consommation d'oxygène est plutôt proche de 3,5ml par kg/min/Km/h. Il faut donc compter 15% à 20% de plus que la marche

Le vélo sur terrain plat

Il est plus difficile en comparaison de la marche de calculer l'énergie dépensée pour un Km parcouru sur terrain plat par un cycliste, car de nombreux facteurs entrent en jeu : le poids du vélo, les pneus (surtout la largeur et la pression), le poids de la personne, l'état de la route, le vent, etc... mais on peut quand même donner des ordres de grandeur.

Les puissances utiles développées en vélo (en aérobie) vont de quelques dizaines de watts à 450 watts pour les cyclistes professionnels (beaucoup moins dans les années 70, 80 !).

Prenons le cas d'une balade où le cycliste développe une puissance utile de 100 Watts. Le rendement musculaire étant de l'ordre de 20 à 25%, la puissance totale développée au niveau de l'organisme sera donc égale à $100 \cdot 5 = 500$ watts (si je prends le plus faible rendement). On peut raisonnablement imaginer que le cycliste va parcourir en une heure à cette puissance un minimum de 20km sur le plat.

Energie dépensée pour 1 km parcouru = $500/20 = 25$ Wh (ordre d'idée)

La voiture

Prenons une voiture qui consomme en moyenne 6 litres au 100 km.

Energie dépensée pour 1km parcouru pour 1 passager : $6 \cdot 9000 / 100 = 540 \text{ Wh}$

Le coût énergétique d'une voiture est entre 6 et 10 fois plus élevé que la marche, et plus de 20 fois plus élevé que le vélo.

Le Bus

Prenons les hypothèses suivantes : consommation au 100km : 40 litres. Nombre moyen de passagers : 20

Encore une fois, inutile de chercher la précision, surtout pour ce moyen de transport !

Energie dépensée pour 1km parcouru par passager: $40 \cdot 9000 / 20 = 180 \text{ Wh}$

Le TGV

Il est difficile de donner des chiffres précis pour la consommation des TGV, car il y a plusieurs générations de TGV (TGV Sud-est, TGV Atlantique, ...) et donc des puissances motrices et des capacités en voyageurs différentes.

Les motrices du TGV Atlantique encadrant une rame offrent une puissance maximale de 8800 KW. Elles ont une capacité de 500 personnes environ. Prenons un taux d'occupation moyen de 70% (350 personnes).

Pour le TGV Atlantique l'énergie consommée est de l'ordre de 20000 kWh pour 100 km parcouru.

Energie dépensée pour 1km parcouru par passager: $20000 \cdot 1000 / 350 / 100 = 57 \text{ Wh}$

On observe un facteur proche de 10 environ avec la voiture en faveur du TGV.

En fait on peut définir une fourchette entre 60 et 100 Wh, selon la configuration du train, des motrices utilisées, et du taux d'occupation.

L'avion

La consommation par passager se situe autour de 4 à 5 litres au 100km. Les avions récents peuvent descendre en dessous de 4 litres.

Energie dépensée pour 1km parcouru par passager : $4 \cdot 9000 / 100 = 360 \text{ Wh}$

L'avion consomme moins que la voiture au KM/passager mais il faudra compter 1000 litres de carburant sur un trajet A/R de 25000 km ! Bien plus que le quota qui nous est accordé pour éviter un réchauffement climatique.

En bonus : le Rafale

De tous les transports (j'exclus la fusée) le Rafale a toute chance d'avoir le prix d'excellence en consommation énergétique : là encore, inutile de viser la précision. Tout dépend de l'altitude, de la vitesse, et du poids total en charge. Sa consommation peut monter facilement à 4000 litres de carburant à l'heure pour une distance parcourue de plus de 1800 km (il peut voler à Mach 2). Prenons cette hypothèse.

Energie dépensée pour 1km parcouru: $4000 \cdot 9000 / 1800 = 20000 \text{ Wh}$

(30 à 40 fois plus que notre voiture étudiée plus haut).

A noter que ces chiffres ne tiennent pas compte de tous les processus amont qui permettent d'aboutir à un produit fini comme l'avion ou le TGV (recherche, fabrication, sites, etc...), ni des processus aval de destruction ou de recyclage des objets en fin de vie, ni des processus d'entretien des appareils et des infrastructures (lignes ferroviaires, gares, aéroports). C'est dire s'il faut prendre énormément de précautions lorsque les médias publient des études comparatives sur les coûts énergétiques de tel ou tel équipement ou modes de transport.

Le transport idéal :

Si votre parcours est de 1 à 3 km, l'idéal est la marche car le temps de sortir le vélo, le gonfler et de mettre l'antivol on est déjà arrivé !

Si votre parcours est de 3 à 20 km, l'idéal est le vélo. A défaut, le bus, le métro, le train.

Si votre parcours est de 20 à 100 km, j'hésite ... l'idéal est peut-être le train. Mais c'est sûrement la voiture qui aura le dernier mot !

Si votre parcours est de 100 à 1000 km et si vous êtes seul, l'idéal est le train.

Si votre parcours est de 10000 km ou plus, l'idéal est de rester chez vous car 10000 km en avion c'est 400 litres de kérosène consommés ! pas bon pour la nature.

Si vous êtes très pressé, si vous avez beaucoup d'argent, si vous êtes proche d'une base militaire, si vous connaissez un pilote complaisant, si vous vous fichez de la nature, prenez le Rafale (minimum 30000 euros de l'heure !). Mais attention pas question de se rendre en Australie car son périmètre d'action est limité et le confort non assuré!

RESUME

Transports

Consommation

Wh/km parcouru et par passager

Equivalent essence

au 100 km

Remarques

Marche

70 à 80

0,8 litre

C'est bon pour la santé !

Course à pied

80 à 90

1 litre

Un peu pénible !

Vélo (non pro)

20 à 30

0,3 litre

Le champion en économie d'énergie. Son côté pratique!

Bus

80 à 400

1 à 5 litres

Très variable selon trafic et nombre de passagers

Voiture (1 passager)

350 à 700

4 à 8 litres

Les constructeurs peuvent mieux faire

TGV

60 à 100

0,7 à 1,1 litre

Le train classique consomme moins.

Avion

360 à 450

4 à 5 litres

Attention : comme on va loin, on dépense énormément d'énergie !

Rafale

10000 à 20000

Plus de 120 litres

Tellement gros consommateur qu'il nécessite un ravitailleur en vol

Voici le graphique qui résume tout (je n'ai pas pu représenter le Rafale !)

