

Guide de calcul des émissions de CO₂ Reliées à la consommation énergétique

François Aubé, Ph.D.

Chercheur scientifique, Laboratoire de Recherche en Diversification Énergétique CANMET

Ce guide a été conçu pour faciliter le calcul des émissions de gaz à effet de serre provenant des industries. Tous les coefficients et facteurs de conversion nécessaires aux calculs sont présentés sous forme de tableaux simplifiés. Des exemples de calculs sont inclus pour démontrer que les émissions de gaz à effet de serre peuvent être calculées simplement et rapidement..

Avec l'application d'une réglementation et d'une politique environnementales de plus en plus sévères, nombre d'ingénieurs et de gestionnaires doivent maintenant évaluer la contribution annuelle de leur entreprise au réchauffement de la planète. Ceci s'effectue en calculant les émissions de gaz à effet de serre ou, en d'autres termes, les émissions équivalentes en CO₂. Ces calculs comportent, entre autres, les émissions reliées à la consommation énergétique. Bien que relativement simples, les opérations nécessaires pour effectuer ces calculs s'avèrent longues, fastidieuses et parfois erronées parce qu'elles font appel à de nombreuses conversions d'unités et à des données qu'il n'est pas toujours facile de trouver. Voici donc un guide pratique qui fournit une méthodologie simple, des exemples d'application, ainsi que la plupart des informations nécessaires pour vous aider à débroussailler ces calculs.

La première étape du calcul consiste, bien sûr, à rassembler toutes les factures énergétiques de l'année et à y extraire les volumes ou quantités de chacun des combustibles utilisés, ainsi que l'énergie électrique consommée. Lorsque ce calcul consiste à déterminer l'impact environnemental causé par l'addition ou le remplacement d'équipement, une estimation de la consommation réajustée de chaque type de source d'énergie est nécessaire.

La deuxième étape consiste à convertir les données fournies sur les factures énergétiques en des unités de référence qui permettront de faire plus facilement les calculs qui suivent. La table 1 montre le contenu énergétique, exprimé en nombre de MJ (mégajoules) par unité de quantité ou de volume, de la plupart des types d'énergie. Les tables 2 et 3 permettent de convertir les unités des valeurs fournies sur vos factures énergétiques. Voici deux exemples d'utilisation des ces tables :

Exemple 1 : Dans une certaine entreprise, il est estimé qu'un nouveau procédé exigera 1 million de livres de vapeur durant l'année. Combien de m³ de gaz naturel seront nécessaires pour produire cette quantité?

A la table 1, on peut trouver que la vapeur produite exige 2,33 MJ/kg. A la table 3, 1 livre (lb) correspond à 0,454 kg. L'énergie nécessaire s'obtient alors en effectuant le calcul suivant :

$$\begin{aligned} \text{Energie nécessaire} &= 2,33 \text{ MJ/kg} * 0,454 \text{ kg/lb} * 1 \times 10^6 \text{ lb} \\ &= 1,058 \times 10^9 \text{ MJ} \end{aligned}$$

A la table 1, 1 m³ de gaz naturel correspond à 37,23 MJ.

$$\begin{aligned} \text{Nb de m}^3 \text{ de gaz naturel nécessaire} &= 1,058 \times 10^9 \text{ MJ} / 37,23 \text{ MJ/m}^3 \\ &= 28418 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Exemple 2 : Une entreprise québécoise veut remplacer l'huile no.6 par 80% d'huile no.2 et 20% d'électricité comme source énergétique. La consommation annuelle est de 30 m³. Quelles quantités d'huile no.2 et d'électricité seront nécessaires si on estime que la consommation d'énergie demeure constante?

En se référant aux tables :

$$\begin{aligned} \text{Quantité d'énergie consommée annuellement} &= 41,73 \text{ MJ/l d'huile no.6} * 1000 \text{ l/m}^3 * 30 \text{ m}^3 \\ &= 1,252 \times 10^6 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume d'huile no.2} &= (0,8 * 1,252 \times 10^6 \text{ MJ}) / (38,68 \text{ MJ/l} * 1000 \text{ l/m}^3) \\ &= 25,89 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Énergie d'origine électrique} &= (0,2 * 1,252 \times 10^6 \text{ MJ}) / (3,6 \text{ MJ/kWh}) \\ &= 69555 \text{ kWh} \end{aligned}$$

La troisième étape du calcul consiste à évaluer les émissions équivalentes de CO₂ reliées à la consommation énergétique de votre entreprise. La table 4 fournit les facteurs d'émissions des principaux gaz à effet de serre (CO₂, N₂O et CH₄) émis à l'atmosphère lors de la combustion du gaz naturel et des produits pétroliers. La table 5 fournit les facteurs d'émissions équivalentes de CO₂ reliés à l'énergie électrique par province (pour l'année 1998). Ces facteurs ont été calculés en fonction de la contribution de chaque type d'énergie utilisé pour la génération d'électricité. Finalement, la table 6 donne le Potentiel de Réchauffement Planétaire (PRP) des principaux gaz à effet de serre (le CO₂ étant utilisé comme référence). Pour les combustibles, les émissions équivalentes de CO₂ sont déterminées en multipliant la quantité émise de chaque gaz par son propre PRP. D'autre part, en ce qui concerne l'énergie électrique, les émissions équivalentes sont directement fournies puisqu'elles proviennent de diverses sources dont la contribution varie en fonction de la province productrice. Voici 2 exemples d'utilisation de ces tables :

Exemple 3 : dans l'exemple 1, 28418 m³ de gaz naturel ont été estimés nécessaires pour produire 1 million de livres de vapeur. Quelle quantité d'émissions équivalentes de CO₂ correspond à cette production?

Dans l'exemple 1, il avait été estimé que 1,058x10⁹ MJ étaient nécessaires pour la production de la vapeur. Or, à la table 4, les facteurs d'émissions pour le gaz naturel sont de 49,68 t/TJ pour le CO₂, 0,52 kg/TJ pour le N₂O et 1,1 kg/TJ pour le CH₄. De plus, les PRP de ces gaz sont respectivement de 1, 310 et 21. Sachant qu'une tonne équivaut à 1000 kg et qu'un mégajoule équivaut à 1x10⁶ téra-joule (TJ), le calcul des émissions équivalentes de CO₂ se présente ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Emissions équivalentes de CO}_2 \text{ par TJ} &= \\ &= 1 * 49,68 \text{ t/TJ} * 1000 \text{ kg/t} + 310 * 0,52 \text{ kg/TJ} + 21 * 1,1 \text{ kg/TJ} \\ &= 49864 \text{ kg/TJ} \\ &= 49,864 \text{ t/TJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emissions totales équivalentes de CO}_2 & \\ &= 49,864 \text{ t/TJ} * 1,058 \times 10^6 \text{ MJ} * 1 \times 10^{-6} \text{ TJ/MJ} \\ &= 52,76 \text{ t} \end{aligned}$$

Exemple 4 : Dans l'exemple 2, la consommation de 30 m³ d'huile no.6 d'une entreprise québécoise a été remplacée par 25,89 m³ d'huile no.2 et 69555 kWh d'énergie d'origine électrique. On désire calculer la variation correspondante en émissions équivalentes de CO₂. Quelle serait la différence après les modifications si l'entreprise était située en Alberta?

Si on se réfère aux tables 4 et 5, les facteurs de l'huile lourde sont 3090 kg/m³ pour le CO₂, 0,013 kg/m³ pour le N₂O et 0,06 kg/m³ pour le CH₄. Les facteurs correspondants pour l'huile légère sont respectivement de 2830, 0,013 et 0,026. Le facteur pour l'énergie électrique au Québec est de 0,009 t/MWh et celui de l'Alberta est de 0,915. Sachant qu'un mégawatt-heure équivaut à 1000 kilowatt-heure, les calculs sont les suivants :

$$\begin{aligned} \text{Emissions équivalentes de CO}_2 \text{ avant les modifications au Québec et en Alberta} & \\ &= 30 \text{ m}^3 * (1 * 3090 \text{ kg/m}^3 + 310 * 0,013 \text{ kg/m}^3 \\ &+ 21 * 0,06 \text{ kg/m}^3) / 1000 \text{ kg/t} \\ &= 92,86 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emissions équivalentes de CO}_2 \text{ après les modifications au Québec} & \\ &= 25,89 \text{ m}^3 * (1 * 2830 \text{ kg/m}^3 + 310 * 0,013 \text{ kg/m}^3 \\ &+ 21 * 0,026 \text{ kg/m}^3) / 1000 \text{ kg/t} + 69,555 \text{ MWh} * 0,009 \text{ t/MWh} \\ &= 73,39 + 0,626 \text{ t} \\ &= 74,01 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Variations des émissions au Québec} & \\ &= 74,01 - 92,86 \\ &= -18,85 \text{ t (réduction)} \end{aligned}$$

Tableau 1: Contenus énergétiques de différentes sources d'énergie

Électricité	Hydro	3,6	MJ/kWh
	Nucléaire (valeur type)	11,6	MJ/kWh
Vapeur d'eau (saturée à la pression atm.)		2,33	MJ/kg
Gaz naturel (à bar, 15°C)		37,23	MJ/m ³
Éthane (liquide)		18,36	MJ/l
Propane (liquide)		25,53	MJ/l
Charbon	Anthracite	27,7	MJ/kg
	Bitumineux	27,7	MJ/kg
	Subbitumineux	18,8	MJ/kg
	Lignite	14,4	MJ/kg
Produits pétroliers	Usage domestique moyen	22,2	MJ/kg
	Essence d'aviation	33,62	MJ/l
	Essence automobile	34,66	MJ/l
	Kérosène	37,68	MJ/l
	Diesel	38,68	MJ/l
	Huile légère (no.2)	38,68	MJ/l
	Huile lourde (no.6)	41,73	MJ/l

$$\begin{aligned} \text{Emissions équivalentes de CO}_2 \text{ après les modifications} & \\ \text{en Alberta} & \\ &= 25,89 \text{ m}^3 * (1 * 2830 \text{ kg/m}^3 + 310 * 0,013 \text{ kg/m}^3 \\ &+ 21 * 0,026 \text{ kg/m}^3) / 1000 \text{ kg/t} \\ &+ 69,555 \text{ MWh} * 0,915 \text{ t/MWh} \\ &= 73,39 + 63,64 \text{ t} \\ &= 137,03 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Variation des émissions en Alberta} & \\ &= 137,03 - 92,86 \\ &= 44,17 \text{ t (augmentation)} \end{aligned}$$

Cet exemple démontre que, pour les mêmes besoins en énergie, les émissions de gaz à effet de serre peuvent varier de façon importante en fonction de la province et des sources d'énergie utilisées.

Pour de plus amples informations sur l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de CO₂ dans l'industrie et les bâtiments, vous pouvez contacter le Laboratoire de Recherche en Diversification Énergétique CANMET de Ressources Naturelles Canada à l'adresse électronique suivante : <http://cedrl.mets.nrcan.gc.ca>. Pour ceux qui sont intéressés à faire les calculs automatiquement, l'Office d'Efficacité Énergétique (OEE) de Ressources Naturelles Canada, a développé un outil de calcul des émissions équivalentes de CO₂ sous forme d'un fichier Excel de Microsoft accessible sur Windows. Ce fichier est disponible à l'adresse électronique suivante : <http://oee.nrcan.gc.ca>. Bons calculs!

Tableau 2: Facteurs de conversion pour l'énergie

1 Gigajoule (GJ)	= 0,001	Térajoule (TJ)
	= 1000	Mégajoules (MJ)
	= 1x10 ⁹	Joules (J)
	= 277,8	kilowatt-heures (kWh)
	= 948170	BTU

Tableau 3: Autres facteurs de conversion

1 livre (lb)	= 0,454	kilogramme (kg)
1 tonne (t)	= 1000	kilogrammes (kg)
1 m ³	= 1000	litres (l)
1 gallon impérial	= 4,547	litres (l)
1 gallon américain	= 3,785	litres (l)
1 pied cube (pi ³)	= 0,02832	m ³
1 téra	= 1x10 ¹²	
1 giga	= 1x10 ⁹	
1 méga	= 1x10 ⁶	

Tableau 4: Facteurs d'émissions pour différents combustibles

		CO ₂ (t/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)
Gaz naturel	Chaudière commerciale	49,68	0,52	1,1
	Chaudière industrielle	49,68	0,52	1,3
		CO ₂ (kg/m ³)	N ₂ O (kg/m ³)	CH ₄ (kg/m ³)
Huile légère	Chaudière commerciale	2830	0,013	0,026
	Chaudière industrielle	2830	0,013	0,006
Heavy Oil	Chaudière commerciale	3090	0,013	0,06
	Chaudière industrielle	3090	0,013	0,12
Propane (GPL)	GPL	1530	0,23	0,03

Tableau 5: Facteurs d'émissions en CO₂ relatifs à la production d'énergie électrique par province (année 1998)

	(t/MWh)
Terre-neuve et Labrador	0,034
Iles-du-Prince-Édouard	1,012
Nouvelle-Écosse	1,984
Nouveau-Brunswick	1,012
Québec	0,009
Ontario	0,236
Manitoba	0,030
Saskatchewan	0,844
Alberta	0,915
Colombie-Britannique	0,027
Territoires	0,368
Moyenne au Canada	0,222

Tableau 6: Potentiel de Réchauffement Planétaire (PRP)

Gas	GWP
CO ₂	1
N ₂ O	310
CH ₄	21