

# **ENERGIE ET EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DANS LE MONDE**

## **CAS DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE**

### **Petit aide-mémoire**

**Bernard Laponche – 23 juin 2015**



**[www.global-chance.org](http://www.global-chance.org)**

# ENERGIE ET EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE DANS LE MONDE

## CAS DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

### Petit aide-mémoire<sup>1</sup>

Bernard Laponche – 23 juin 2015

\*

#### 1. ENERGIE ET ELECTRICITE

##### 1.1 Consommation mondiale d'énergie primaire en 2013

Figure 1

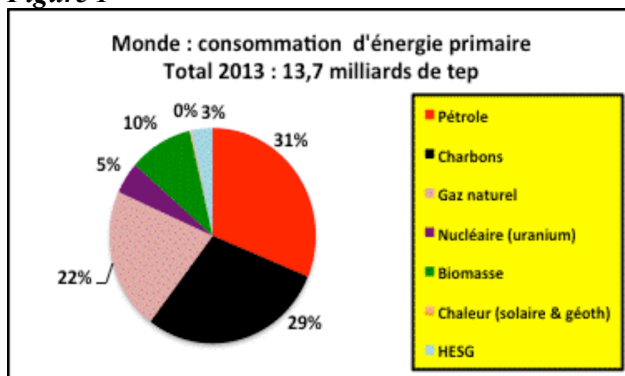
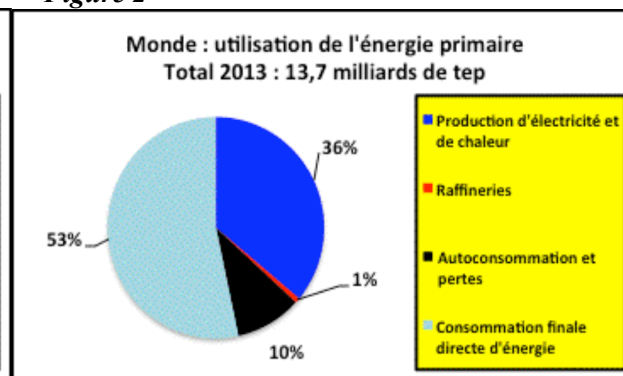


Figure 2



N.B. : la consommation de chaleur primaire (solaire et géothermie) représente 0,3%.

HESG : production d'électricité d'origine hydraulique, éolien, solaire, géothermie (voir le détail en figure 2).

L'ensemble des énergies de stock (pétrole, charbon et lignite, gaz naturel fossile et uranium (matière première de la production d'électricité d'origine nucléaire) représentent 87% de la consommation d'énergie primaire et les combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz), 82%. De façon conventionnelle, la consommation primaire de pétrole comprend à la fois le pétrole brut et les produits pétroliers, le raffinage n'étant pas considéré comme une transformation du produit (à l'inverse de l'électricité et de la chaleur non primaire<sup>2</sup>).

Les sources d'énergie renouvelables représentent 13%, dont 10% pour la biomasse (figure 1). Pour les combustibles fossiles et la biomasse, les valeurs en tep représentent l'énergie dégagée par leur combustion (1 tep correspond à la combustion d'une tonne de pétrole). Pour l'énergie nucléaire, la valeur en tep correspond à la chaleur produite dans les réacteurs des centrales nucléaires. Les centrales électriques à combustibles fossiles, biomasse ou uranium produisent de la chaleur qui est transformée en électricité avec un rendement<sup>3</sup> qui varie de 28% pour la biomasse à 33% pour le nucléaire et 55-60% pour les centrales à gaz à cycle combiné.

Pour la production d'électricité d'origine hydraulique, éolien et solaire (HES), la valeur en tep représente directement la production d'électricité (1 TWh = 0,086 Mtep<sup>4</sup>). Pour l'électricité produite par la géothermie, 1 TWh est compté 0,86 Mtep du fait du très faible rendement. Par convention, dans les bilans énergétiques, la consommation primaire de la géothermie à haute température est comptée avec les productions HES, d'où le regroupement HESG.

<sup>1</sup> Pour (beaucoup) plus de détails et d'explications, consulter « Déchiffrer l'énergie », Benjamin Dessus, éditions Belin, 2014. Un ouvrage indispensable.

<sup>2</sup> Au niveau mondial, à une petite valeur d'ajustement près, la consommation primaire de pétrole est du pétrole brut.

<sup>3</sup> Rendement : rapport de la production d'électricité exprimée en tep (et éventuellement de chaleur par cogénération) à la quantité d'énergie primaire en entrée de la centrale thermique (fossile, nucléaire, à biomasse ou géothermie).

<sup>4</sup> Mtep : million de tep (tonne équivalent pétrole).

La figure 2 indique la répartition de l'utilisation de l'énergie primaire :

- Une première part (36%), est la consommation d'énergie primaire pour la production d'électricité et de chaleur (par cogénération)<sup>5</sup>.
- Une seconde part (11%) est la consommation du « secteur de l'énergie » et la consommation des raffineries (1%) ainsi que l'autoconsommation des industries de l'énergie (mines, centrales électriques, industries du combustible nucléaire) et les pertes (dont les pertes de transport et distribution pour le gaz et l'électricité).
- Enfin, la part la plus importante (53%) est la consommation énergétique finale « directe » qui englobe la consommation des produits énergétiques sous leur forme primaire, sans transformation (charbon, produits pétroliers, gaz naturel, bois, électricité HES, chaleur primaire).

**Tableau 1 : Les quantités d'énergie primaire pour la production d'électricité et de chaleur\* par source**

Source	Charbon et lignite	Gaz naturel	Pétrole	Nucléaire**	HES	Géothermie***	Biomasse	Total
Mtep	2423	1061	276	640	400	63	141	<b>5004</b>
Part****	60%	37%	6%	100%	100%	100%	10%	36%

\* Chaleur produite par la cogénération.

\*\* Aussi appelé « Chaleur nucléaire primaire ».

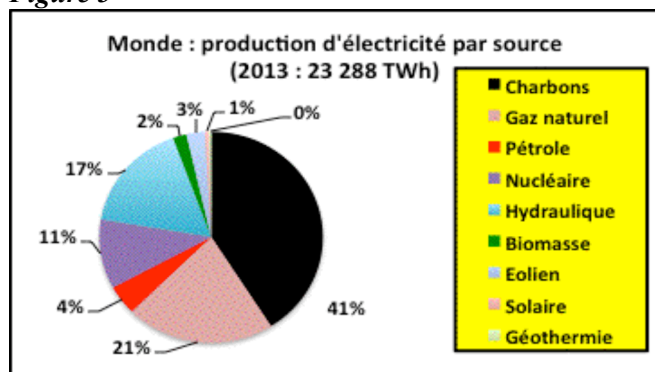
\*\*\* Géothermie haute température pour la production d'électricité (prise en compte dans HESG).

\*\*\*\* Part dans la consommation totale de cette source primaire.

60% de la consommation primaire totale de charbon sont consacrés à la production d'électricité. Cette part est plus faible pour le gaz (37%), la biomasse (10%) et le pétrole (6,5%).

## 1.2 Production mondiale d'électricité en 2013

**Figure 3**



En 2013, la production mondiale d'électricité est de 23 288 milliards de kWh (TWh).

La production à partir du charbon et lignite arrive de loin en tête (43%), suivie par les sources renouvelables (23% au total) et le gaz naturel (21%). La production d'origine nucléaire (11%) se situe à un peu moins de la moitié de celle des renouvelables tandis que la production à partir du pétrole est très faible (4%). La part de la production de la géothermie haute température, de 0% sur le graphique, est de 0,3%.

Le tableau 2 compare les consommations primaires consacrées à la production d'électricité (déduites du tableau 1<sup>6</sup>) et les valeurs correspondantes de la production d'électricité, en TWh et en Mtep. La valeur en Mtep de la production d'électricité s'obtient en multipliant par 0,086 sa valeur en TWh.

<sup>5</sup> Les productions d'électricité et de chaleur (réseaux de chaleur) sont respectivement de 2003 Mtep pour l'électricité et 156 Mtep pour la chaleur.

<sup>6</sup> Les entrées en énergie primaire pour les combustibles fossiles et la biomasse sont calculées en pondérant chaque valeur par la part de la production d'électricité dans l'ensemble « production d'électricité et de chaleur, soit 2003/(2003+156) = 0,928. Les autres sources ne produisant que de l'électricité, soit directement (HES), soit par le biais de la production de chaleur (nucléaire, géothermie) dont les pertes ne sont pas utilisées.

**Tableau 2 : Entrées en énergie primaire et production d'électricité**

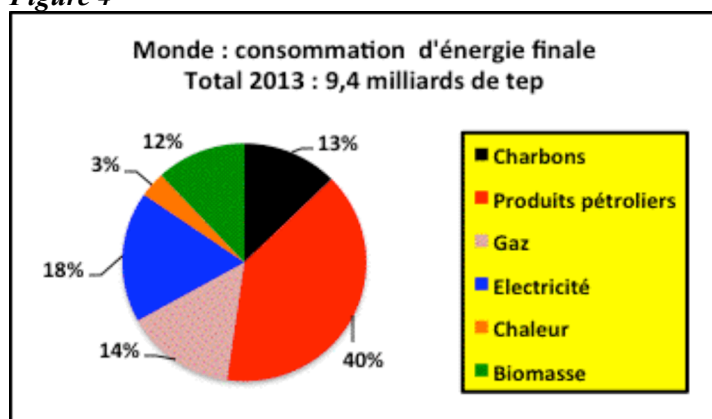
Source		Charbon	Gaz naturel	Pétrole	Nucléaire	HES	Géothermie	Biomasse	Total
Entrée primaire	Mtep	2248	984	257	640	400	63	131	4723
Production électricité	TWh	9548	5010	1050	2477	4654	73	462	23288*
Production électricité	Mtep	821	431	90	213	400	6	40	2003
Production /entrée		0,37	0,44	0,35	0,33	1	0,1	0,31	0,42

\* La valeur totale ne correspond pas exactement à la somme des colonnes (différences statistiques).

La dernière ligne fait bien apparaître les rendements des différentes techniques de production. Ce tableau montre que, à production d'électricité égale, les consommations primaires en entrée – correctes du point de vue physique - donnent une image déformée des contributions réelles des différentes sources aux besoins finals d'électricité. Ainsi, HES dont la production d'électricité est de 400 Mtep et se situe donc à 20% de la production totale d'électricité, ne « vaut » que 8% en consommation primaire. Inversement, la production d'origine nucléaire qui « vaut » 14% en entrée primaire, ne représente que 11% en production d'électricité. Le cas de la géothermie haute température est spectaculaire : la valeur en tep en énergie primaire est environ dix fois plus élevée que la valeur en tep de la production d'électricité.

### 1.3 Consommation mondiale d'énergie finale en 2013

**Figure 4**



N.B. : la chaleur est ici la somme de la chaleur primaire (eau chaude solaire et géothermie) et de la chaleur délivrée par les réseaux de chaleur.

La part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie étant de 18% et la part des renouvelables dans la production d'électricité étant de 23%, il en résulte que la contribution des sources renouvelables dans la consommation énergétique finale est la somme de la part de la consommation finale de la biomasse (12%) plus les 4% de la production d'électricité, soit **16%** (la contribution de la chaleur primaire est très faible et nous ne prenons pas en compte la part de la biomasse et des déchets dans la production de la chaleur de réseau).

La contribution du nucléaire à la consommation énergétique finale est le produit des 18% d'électricité par les 11% de part du nucléaire dans la production d'électricité, soit **2%**.

La contribution du charbon est :  $13\% + (18 \times 0,43)\% = \mathbf{20\%}$ .

La contribution du gaz naturel est :  $14\% + (18 \times 0,21)\% = \mathbf{18\%}$

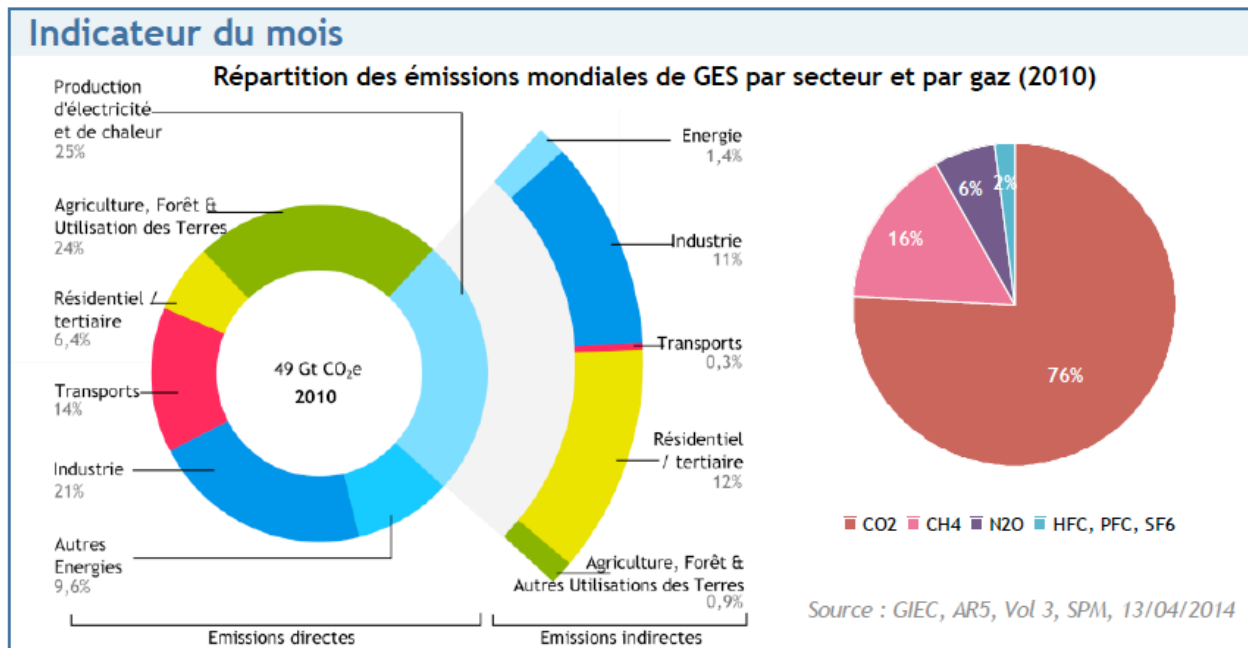
La contribution des produits pétroliers est :  $40\% + (18 \times 0,04)\% = \mathbf{41\%}$ .

Les 3% restants de la chaleur de réseau sont multi-combustibles, avec une dominante charbon et une partie déchets.

## 2. LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

### 2.1 Les émissions de GES par gaz et par secteur en 2010

Figure 5 <sup>7</sup>



En 2010<sup>8</sup>, les émissions mondiales totales de GES ont été de 49 milliards de tonne équivalent CO<sub>2</sub> (49 Gt CO<sub>2</sub>eq)<sup>9</sup>, dont 76% de CO<sub>2</sub> (37,2 Gt<sup>10</sup>), 16% de CH<sub>4</sub> (méthane), 6% de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) et 2% de divers autres gaz.

Le graphique montre également la répartition de ces émissions totales par secteurs d'activité. Le secteur de la production de chaleur et d'électricité représente 25% des émissions totales, soit 12,25 Gt, et celles-ci sont réparties à leur tour entre les différents secteurs d'activités.

Dans ce graphique, les émissions attribuées à chaque secteur final (industrie, transports, résidentiel et tertiaire, agriculture et autres) dans le secteur relatif à la production d'électricité et de chaleur sont des émissions indirectes correspondant aux émissions de la production de l'électricité et de la chaleur qu'ils consomment.

### 2.2 La contribution des différentes filières de production d'électricité et de chaleur aux émissions de GES pour l'année 2013

Le tableau 3 indique les émissions de gaz à effet de serre (GES) pour l'année 2013. Ces valeurs sont obtenues en multipliant les valeurs des productions d'électricité (la chaleur étant un sous-produit) par les émissions par kWh. Celles-ci, qui figurent dans le tableau 3, sont, pour chaque source d'énergie les moyennes des valeurs présentées<sup>11</sup> dans l'ouvrage de B. Dessus référencé en note de bas de page n°1.

<sup>7</sup> Source : CITEPA, « C'est dans l'air », n° 179 (mai 2014).

<sup>8</sup> 2010 : année la plus récente pour les publications du GIEC.

<sup>9</sup> Les tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>eq) pour les gaz autres que le CO<sub>2</sub> sont calculées en utilisant le Potentiel de réchauffement global (PRG) à 100 ans (par exemple, valeur 21 prise par le GIEC pour calculer cet équivalence pour le méthane). On notera que la valeur du PRG du méthane a augmenté nettement dans les derniers rapports du GIEC et qu'une valeur horizon plus proche que 100 ans augmenterait de façon très importante la valeur « équivalente » des émissions de méthane.

<sup>10</sup> GT : gigatonne ou milliard de tonnes.

<sup>11</sup> En page 237.

On constate bien la différence très importante du niveau des émissions par unité de production d'électricité entre les sources fossiles et les sources non fossiles. Mais cette différence est également importante entre les trois sources fossiles elles-mêmes : les émissions à partir de la source gaz naturel sont la moitié de celles de la source charbon.

**Tableau 3 : Emissions de GES de la production d'électricité et de chaleur en 2013**

2013	Unité	Charbons	Gaz naturel	Pétrole	Nucléaire	Hyd.	Eol.	Sol.	Géo.	Bio.	Total
<b>Production Electricité</b>	<b>TWh</b>	9548	5010	1050	2477	3897	623	133	73	462	<b>23 288</b>
<b>Emissions GES/kWh</b>	<b>G*</b>	1000	500	850	60	15	4	40	40	150	
<b>Emissions GES 1**</b>	<b>Gt CO2eq</b>	9,55	2,51	0,89	0,15	0,06	0	0,01	0	0,07	<b>13,24</b>
<b>Part dans GES1</b>	<b>%</b>	72,1	19	6,7	1,1	0,5	0	0,1	0	0,5	100
<b>Part dans total GES***</b>	<b>%</b>	19,1	5	1,8	0,3	0,1	0	0	0	0,1	26,5

\* G : Gramme.

\*\* GES 1 : émissions de la production d'électricité et de chaleur.

\*\*\* Total des émissions de GES pris à 50 Gt en 2013 (hypothèse probablement basse).

Les émissions totales ainsi calculées sont de 13,24 milliards de tonnes (Gt). Cette valeur est bien en ligne avec les 12,25 Gt pour l'année 2010 (à elles seules, les émissions de CO<sub>2</sub> de ce secteur ont augmenté de 0,9 Gt entre 2010 et 2013).

Le total des émissions mondiales de GES qui valaient 49 Gt CO<sub>2</sub> eq en 2010 sont prises égales à 50 Gt pour l'année 2013.

### 2.3 Evaluation des émissions évitées de GES par les productions d'électricité et de chaleur par les sources nucléaire ou renouvelables

Afin d'évaluer les émissions de GES évitées par la production d'électricité et de chaleur<sup>12</sup> d'origine nucléaire ou de l'ensemble des sources renouvelables, on calcule quelles seraient les émissions pour deux parcs électriques virtuels produisant la même quantité d'électricité mais composés uniquement de centrales « thermiques fossiles + renouvelables » dans un cas ou « thermiques fossiles + nucléaire » dans l'autre cas.

Les émissions évitées pour chacune des sources non fossiles sont alors égales à la différence entre les émissions de chaque parc virtuel résultant de ce calcul et les émissions réelles présentées dans le tableau 3. Le tableau 4 indique les résultats de ce calcul.

<sup>12</sup> Il s'agit bien de la production de chaleur liée à la production d'électricité (cogénération).

**Tableau 4 : Emissions respectivement évitées par les sources renouvelables et le nucléaire**

1	2013	Unité	Parc de production réel			Parc virtuel 1 Sans nucléaire		Parc virtuel 2 Sans renouvelables	
2	Sources		Fossiles	Nucléaire	Renouv.	Fossiles	Renouv.	Fossiles	Nucléaire
3	Production électricité	TWh	23 288			23 288		23 288	
4	Production par source*	TWh	15 608	2477	5188	17467	5806	20085	3188
5	Emissions GES/kWh	G**	829	60	27	829	27	829	60
	Emissions GES1***	Gt CO2eq	13,24			14,64		16,84	
6	Emissions évitées	Gt CO2eq				1,40		3,60	
8	Emissions évitées/GS1	%				9,6%		21,4%	
9	Emissions GES2****	Gt CO2eq	50			51,4		53,6	
10	Emissions Évitées/GES2	%				2,7%		6,7%	

\* La somme des productions par source est la même pour les trois parcs 23 273 TWh, légèrement inférieure à la valeur de la ligne 3.

\*\* G = gramme.

\*\*\* GES1 : émissions de la production d'électricité pour chaque parc.

\*\*\*\* GES2 : émissions totales de GES en 2013 (50 Gt en 2013 au lieu de 49 Gt en 2010 pour le cas réel, valeur à laquelle on ajoute l'augmentation des émissions dues à la production d'électricité dans les cas virtuel 1 et virtuel 2).

**En 2013, les émissions évitées de GES par la production d'origine renouvelables représentent 21,4% des émissions du secteur de la production d'électricité et de chaleur (GS1) et 6,7% du total des émissions mondiales de GES (GS2) et les émissions évitées par la production d'origine nucléaire représentent respectivement 9,6% de GS1 et 2,7% de GS2.**

On peut enfin ajouter que des économies sur la consommation d'électricité par la sobriété et l'efficacité auraient un effet en termes d'émissions évitées directement proportionnel – pour un parc de production donné – à la réduction de la consommation d'électricité qui en résulterait.