

La production d'électricité

Clef du succès climatique.

Hervé Nifenecker

Cours UIAD 2020-2021

Voitures électriques, hydrogène, piles à combustible, toutes innovations supposées aider à relever le défi climatique. A l'évidence, la nature du Mix électrique conditionnera le caractère plus ou moins carboné de l'électricité utilisée dans ces innovations. Dans ce qui suit, nous utiliserons les données fournies par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE, [Data & Statistics - IEA](#)) pour examiner l'efficacité de la politique énergétique de pays représentatifs pour contrôler leurs émissions de CO₂.¹ L'AIE fournit la valeur des émissions de CO₂ par secteur et par pays² et les valeurs de la consommation totale d'énergie primaire (en anglais Total Primary Energy Supply, TPES) Pour alléger cet article nous ne donnerons les valeurs détaillées des Mix énergétiques ou électriques que pour quelques cas illustratifs :

- pour comparaisons d'économies proches ayant des politiques de production d'électricité très différentes : l'Allemagne et la France, d'une part, le Danemark et la Suède, d'autre part.
- pour les principaux émetteurs de CO₂ : les USA, la Chine et l'Inde,

Le Tableau 1 présente les Mix électriques de ces pays et du monde entier. Le recours aux énergies fossiles pour la production d'électricité est très variable selon les pays, entre 77% pour la Chine et 1% pour la Suède. L'Allemagne recourt aux énergies fossiles pour 47% de sa production alors que la France à seulement 10% pour la sienne.

Le recours aux combustibles fossiles implique des émissions de CO₂. Les émissions de CO₂ varient de façon importante selon les techniques de production de l'électricité utilisées, comme on peut le voir sur le Tableau 2.

¹ Voir, par exemple, l'Allemagne : <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=GERMANY&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>

² La quantité totale de CO₂ dans l'atmosphère contrôle le Climat de Terre. C'est pourquoi nous retenons, pour les pays, la quantité de CO₂ produite par pays et ne tenons pas compte du CO₂ « importé ». Par exemple, pour la France nous retenons la quantité de CO₂ produite par la combustion de charbon, pétrole ou gaz sur le sol français. La France importe, par ailleurs, de fortes quantités de d'objets fabriqués en Allemagne ou en Chine, pays fortement émetteurs de CO₂. Ajouter la quantité de CO₂ émises en Allemagne ou Chine pour la fabrication de ces objets conduirait à un double comptage et surestimerait la quantité de CO₂ injectée dans l'atmosphère

Pays	coal	oil	gas	biofuel	nuclear	hydro	wind	PV	Electricité	Elec fossile	Part fossile
Colonne	1	2	3	4	5	6	7		8	9	10
	%	%	%	%	%	%	%	%	TWh	TWh	%
Allemagne	31	1	16	7	12	4	21	8	605	285	47
France	3	1	7	1	70	11	6	2	575	60	10
DK	12	1	7	18	0	0	59	3	28	5	19
Suède	1	0	0	7	42	39	11	0	162	2	1
USA	26	1	37	1	20	7	7	0	4 129	2 621	63
Chine	67	0	3	1	4	17	6	2	7 266	5 054	70
Inde	71	0	5	3	3	11	4	3	1 584	1 214	77
Monde	38,5	3,0	23,3	1,6	10,3	16,4	4,8	2	26 383	17 084	65

Tableau 1 : Mix électrique du monde et de pays représentatifs. Les parts des sources d'électricité sont exprimées en %. La colonne 8 donne la production totale d'électricité. La colonne 9 donne la production d'électricité faisant appel à des combustibles fossiles et la colonne 10 la part d'électricité d'origine fossile, et, donc génératrice d'émissions de CO₂.

Technique	Charbon	Gaz	biomasse	Hydro	Eolien	Solaire	Nucléaire
gCO ₂ /kWh	910	650	230	24	11	48	12

Tableau 2 : Emissions de CO₂ selon la technologie de production d'électricité (Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_greenhouse_gas_emissions_of_energy_sources)

En combinant les Tableaux 1 et 2 il est possible de calculer les émissions de CO₂ liées au secteur de la production d'électricité

	PIB	CO2 Total	CO2 Elec	CO2 Trans	CO2 Trans/Tot	CO2 Elec/Tot	CO2/PIB
colonne	1	2	3	4	5	6	7
	G\$	Mtonne	Mtonne	Mtonne	Fraction	Fraction	t/k\$
Allemagne	3 624	719	304	158	0,22	0,42	0,198
France	2 729	308	46	125	0,41	0,15	0,113
DK	327	29	10	13	0,45	0,34	0,089
Suède	569	32	7	16	0,50	0,22	0,056
USA	19 261	5 309	1 917	1 762	0,33	0,36	0,276
Chine	10 461	9 258	4 591	925	0,10	0,50	0,885
Inde	2 830	2 162	1 100	305	0,14	0,51	0,764
Monde	80 077	33 000	13 978	8 258	0,25	0,42	0,412

Tableau 3 : Emissions de CO₂ par secteur (colonnes 2, 3 et 4). La colonne 5 la fraction des émissions liées aux transports. La colonne 6 donne la fraction des émissions liées à la production d'électricité. La colonne 7 donne la valeur des émissions totales (colonne 2) rapportées au PIB (colonne 1).

Le Tableau 3 montre que le secteur de la production électrique est le premier contributeur aux émissions de CO₂ avec 42% des émissions mondiales alors que le secteur des transports ne contribue qu'à 25% du total et l'industrie à 18%. En fait, comme le montre la Figure 1, les émissions de CO₂ par le secteur électrique sont fortement corrélées aux émissions totales de CO₂. Approximativement, les émissions totales sont le double des émissions du secteur électrique. Une explication possible de ce facteur d'amplification pourrait être que l'électricité décarbonée est plus chère que l'électricité d'origine fossile. Ce surcoût encouragerait les économies d'électricité. Ainsi, lors du développement du chauffage électrique associé à la mise en fonction des centrales nucléaires, un gros effort d'isolation des logements, encouragé, d'ailleurs, par EDF, fut réalisé, bénéficiant également aux chauffages traditionnels.

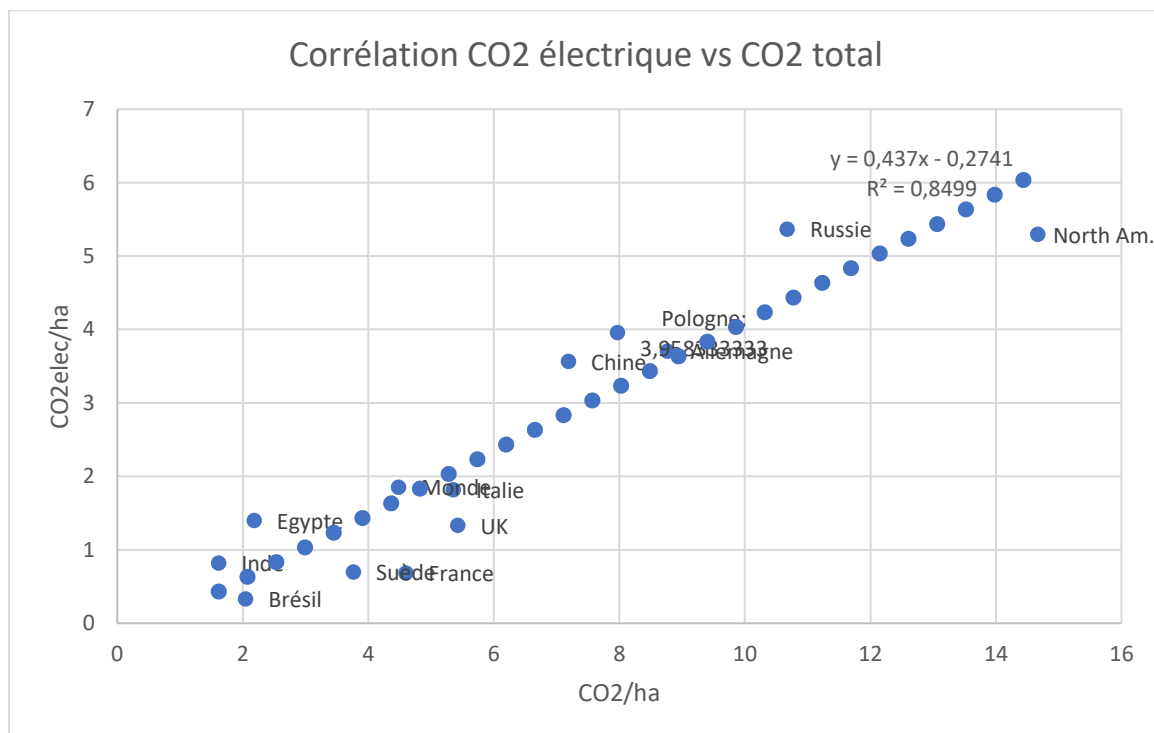


Figure 1 *Corrélation des émissions CO₂ du secteur électrique avec les émissions totales.*

La comparaison entre l'Allemagne et la France est particulièrement instructive. Alors que les émissions dues aux transports sont comparables pour les deux pays (125 et 158 millions de tonnes pour la France et l'Allemagne respectivement), L'Allemagne émet près de 7 fois plus que la France pour produire son électricité. Dans ces conditions, l'intérêt de l'électrification du secteur de la mobilité en Allemagne est discutable, au contraire du cas de la France.

La colonne 7 du Tableau 3 correspond à l'intensité CO₂ des économies des pays pris en considération. Son PIB (Produit Intérieur Brut) est supposé représenter l'activité économique d'un pays. La performance CO₂ d'un pays est d'autant meilleure que son intensité CO₂ est faible. De ce point de vue, la France et les pays scandinaves ont les meilleures performances.

En s'inspirant de l'équation de Kaya :

$$CO_2 = POP \times \frac{PIB}{POP} \times \frac{TPES}{PIB} \times \frac{CO_2}{TPES}$$

Les émissions CO₂ d'un pays ou d'un groupe de pays peuvent s'exprimer en fonction de leur population, de leur « richesse ($\frac{PIB}{POP}$) », de leur efficacité énergétique ($\frac{TPES}{PIB}$) – TPES : énergie primaire totale – et l'efficacité CO₂ de leur énergie ($\frac{CO_2}{TPES}$)

	Pop	PIB	PIB/Pop	CO2 total	TPES	TPES/PIB	CO2/TPES
colonne	1	2	3	4	5	6	7
	Million	G\$	K\$	Mtonne	Mtep		
Allemagne	82	3 624	44,2	719	306	0,084	2,350
France	67	2 729	40,7	308	242	0,0887	1,273
Suède	10	569	56,9	32	49	0,0861	0,653
USA	362	19 261	53,2	5309	2 951	0,153	1,799
Chine	1 288	10 461	8,1	9258	3 303	0,316	2,803
Inde	1 339	2 830	2,1	2162	882	0,312	2,451
Monde	7 800	80 077	10,3	33 000	13 847	0,173	2,383

Tableau 4 : Ingrédients pour appliquer la relation de Kaya à des pays représentatifs et au monde

On peut ainsi calculer les émissions de CO₂ de la France :

$$CO_2 = 67 \times 40,7 \times 0,088 \times 1,27 = 308 \text{ Mtep}$$

$$\text{Ou du monde : } 7800 \times 10,3 \times 0,17 \times 2,38 = 32500 \text{ Mtep}$$

Les choix stratégiques possibles

En gardant la population mondiale actuelle on peut calculer les émissions de CO₂ qui seraient obtenues en optimisant les facteurs de l'équation de Kaya. Pour le PNB/ha nous choisissons une valeur de 3 fois la valeur mondiale actuelle, soit 30 k\$. Pour TPES/PIB on retient une valeur « européenne » de 0,088, pour l'intensité CO₂ la valeur suédoise de 0,65. Le résultat est de 13 Gt de CO₂. Il serait donc possible de tripler la « richesse » moyenne tout en réduisant les émissions annuelles de CO₂ de 33 à 13 Gt en adoptant les efficacités énergétiques et les intensités Carbone des pays scandinaves. Pour cela il est impérieux de renoncer aux combustibles fossiles pour produire de l'électricité. Pour remplacer les combustibles fossiles on dispose du nucléaire et des énergies renouvelables, comme on peut le voir sur le tableau 1. Les énergies renouvelables ne seront la solution unique que si l'on apprend un jour à stocker en quantité et économiquement l'électricité qu'elles produisent pour pallier les périodes sans vent et sans soleil.