

Les émissions de CO₂ du Danemark et de la Suède – une comparaison instructive

E. Huffer et H. Nifenecker

Si on les compare à celles de grands pays européens tels l'Allemagne ou la France, on peut considérer que le Danemark et la Suède ont des émissions de CO₂ par combustion (*fuel combustion*) qui sont faibles. Si, cependant, on prend en compte les émissions par habitant, celles du Danemark sont proches de celles de l'Allemagne, et celles de la Suède de celles de la France¹.

	Allemagne	France	Danemark	Suède
Emissions de CO ₂ dues à la combustion (Mt de CO ₂)	849	387	51	52
Emissions de CO ₂ par habitant (t CO ₂ par habitant)	10,3	6,22	9,44	5,78
Population (millions)	82,5	62,2	5,4	9

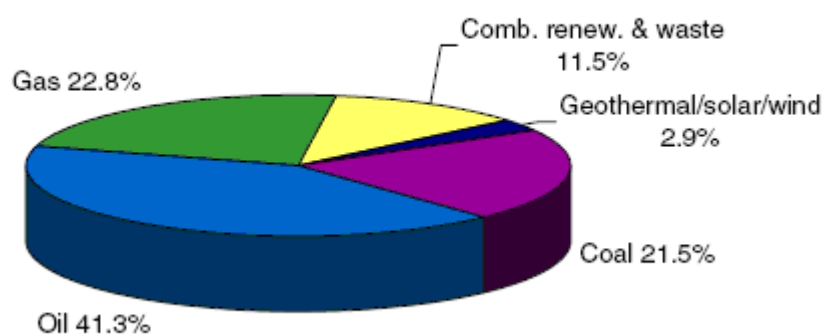
Le Danemark et la Suède sont de proches voisins, ils ont un climat semblable, c'est pourquoi il est intéressant d'essayer de comprendre pourquoi leurs émissions par habitant de GES (gaz à effet de serre) par combustion sont si différentes. Dans le tableau ci-dessus, on voit que les émissions totales de CO₂ par combustion du Danemark et de la Suède sont pratiquement égales alors que la population de la Suède est nettement supérieure. En conséquence, les émissions de CO₂ par habitant au Danemark sont 63 % plus élevées qu'en Suède.

QUELLES ÉNERGIES PRIMAIRES ?

La consommation d'énergie primaire du Danemark en 2004 a été de 20 Mtep, soit 3,7 tep/hab/an, celle de la Suède a été de 54 Mtep, soit 6 tep/hab/an (par comparaison, celle de la France a été de 275 Mtep soit 4,4 tep/hab/an).

Comme le montrent les figures ci-dessous, la part des sources d'énergie primaire dans la fourniture totale d'énergie primaire du Danemark et de la Suède sont très différentes.

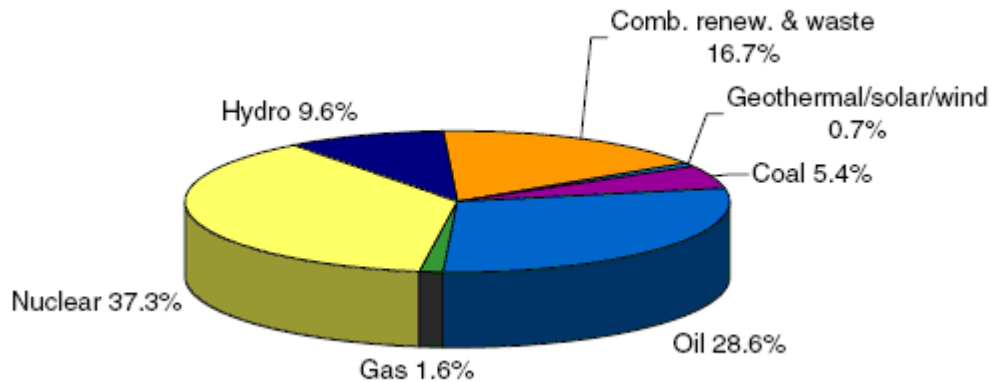
Danemark



Les combustibles fossiles représentent 85,6 % de l'énergie primaire danoise. Le pétrole domine avec 8,3 Mtep, dont un peu plus de la moitié sont utilisés pour les transports (5 Mtep) qui représentent 0,92 tep/hab/an (en France, on a 0,8). Le gaz (4,6 Mtep) se répartit à peu près pour moitié entre la production d'électricité dans des centrales à cogénération (*CHP*) et les autres postes (résidentiel, industrie...). Le charbon (4,3 Mtep) est utilisé principalement dans des centrales électriques à cogénération. Enfin, les renouvelables (3,3 Mtep) reposent essentiellement sur l'éolien (0,58 Mtep), la biomasse et les déchets.

¹ Nous avons utilisé, pour l'ensemble de cette étude, les données pour 2004 des statistiques de l'AIE : <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>

Suède



Les combustibles fossiles ne représentent plus que 35,6 % de l'énergie primaire suédoise (52 % en France).

Ici aussi, le pétrole est le plus gros poste, avec 15,4 Mtep, consacrés pour environ moitié aux transports : 8,1 Mtep soit 0,9 tep/hab/an, une valeur proche de celle du Danemark, ce n'est pas là que se trouve la différence. Le charbon représente moins de 3 Mtep, le gaz 0,9 Mtep.

Parmi les énergies non émettrices de gaz à effet de serre, le nucléaire domine : il est comptabilisé pour 20 Mtep, il produit 77 486 GWh d'électricité. Vient ensuite l'hydraulique, comptabilisée pour 5,2 Mtep, elle produit 60 178 GWh. Les autres renouvelables représentent 9 Mtep dont la plus grande part est le bois avec 8,2 Mtep (la forêt suédoise apporte juste un peu moins que la forêt française).

ÉLECTRICITÉ ET CHALEUR

Production et consommation d'électricité

La consommation danoise d'électricité est 32 973 GWh, celle de la Suède est 130 361 GWh soit presque 4 fois plus (celle de la France est 415 880 GWh). Les deux pays exportent une petite quantité de l'électricité qu'ils produisent. Les tableaux ci-dessous montrent les sources d'énergie à partir desquelles chacun des deux pays produit son électricité.

	Production	Export. nette	Charbon	Fuel	Gaz	Biomasse	Déchets	Eolien
GWh	40 477	2 872	18 675	1 633	10 001	2 099	1 446	6 583
Pourcentage		7,1	46,1	4	24,7	5,2	3,6	16

Tableau 1 : Production électrique du Danemark

	Production	Export. nette	Charbon	Fuel	Ga z	Biomasse	Nucléaire	Hydro	Déchets Autre
GWh	151 727	2 104	2 510	1 954	749	6 709	77 486	60 178	2 141
Pourcentage		1,4	1,7	1,3	0,5	4,4	51	39,6	1,4

Tableau 2 : Production électrique de la Suède

En 2004, la Suède a produit seulement 3,5 % de son électricité à partir de combustibles fossiles. A l'opposé, le Danemark a produit 74,7 % de son électricité à partir de combustibles fossiles, surtout du charbon. A lui tout seul, il représente 7 Mt brûlées, soit l'émission d'environ 18 Mt de CO₂. L'éolien a représenté 16 % de l'électricité produite au Danemark en 2004.

L'évolution temporelle entre 1971 et 2004 ([voir figure](#)) des sources d'énergie primaire qui ont contribué à la production électrique des deux pays montre que, si le Danemark a progressivement diminué la part du charbon au profit du gaz et de l'éolien, la contribution du charbon reste trop importante et le gaz est, rappelons le, un hydrocarbure fossile, lui aussi.

Production de chaleur pour l'alimentation des réseaux de chaleur

Les réseaux de chaleur sont très développés en Suède et encore plus au Danemark où plus de 6 foyers sur 10 sont reliés à un tel réseau. Les deux pays utilisent la chaleur cogénérée par leurs centrales à flamme, ils

alimentent également des réseaux de chaleur par des chaufferies industrielles. Les tableaux ci-dessous montrent les sources d'énergie primaire utilisées par chacun des deux pays pour produire cette chaleur industrielle, mesurée en ktep en valeur calorifique équivalente. Les quantités d'énergie primaire consommées dans des centrales en cogénération et dans des chaufferies industrielles sont données séparément.

	Charbon	Fuel	Gaz	Biomasse Déchets	Autres	Total sources	<i>Productio n chaleur</i>	<i>Production électricité</i>
cogénération	4121	364	2225	1207		7917 ²	2522	2908 (33 820 GWh)
chaufferies	1	40	73	424	5	543	567	-2 (-23 GWh)

Tableau 1 : Production industrielle de chaleur du Danemark (ktep)

	Charbon	Fuel	Ga z	Biomasse Déchets	Total sources	<i>Productio n chaleur</i>	<i>Production électricité</i>
cogénération	907	450	246	2862	4465	2564	1113 (12 944 GWh)
chaufferies	105	147	32	961	1245	1374	-202 ³ (-2 349 GWh)

Tableau 2 : Production industrielle de chaleur de la Suède (ktep)

La comparaison Danemark – Suède est intéressante là aussi. La Suède alimente ses centrales cogénératrices surtout avec de la biomasse (bois). Elles produisent 13 TWh, alors que les centrales dédiées à la seule production d'électricité en font dix fois plus, soit 139 TWh. Le Danemark alimente ses centrales cogénératrices surtout au charbon et au gaz. Elles produisent presque toute l'électricité du Danemark : 34 TWh, alors que le reste de la production d'électricité n'est que de 6,7 TWh, essentiellement d'origine éolienne. Ces données confirment ce que nous avons constaté pour la production d'électricité mais en adoucissent un peu les résultats, du fait que la chaleur produite dans les centrales est exploitée dans des réseaux de chaleur. Cependant, les besoins en chaleur et en électricité ne coïncident que rarement, l'efficacité énergétique réelle de la cogénération est donc discutable, surtout quand elle est le mode principal de production d'électricité comme au Danemark. Que fait-on de la chaleur produite en période chaude ?

En conclusion, le Danemark s'appuie fortement sur les combustibles fossiles à la fois pour sa production d'électricité et pour celle de chaleur industrielle alors que la Suède a recours à d'autres sources d'énergie, les unes renouvelables, les autres non émettrices de CO₂. Il est vrai que la Suède est dans une situation privilégiée quant à son accès à l'hydroélectricité et à la biomasse mais le Danemark pourrait considérablement réduire ses émissions de CO₂ par un recours au nucléaire pour la production d'électricité, comme le fait la Suède.

QUELQUES INDICATEURS GLOBAUX

Il est intéressant aussi de comparer quelques indicateurs globaux pour les deux pays. Dans le tableau ci-dessous, on compare leur

- **Intensité énergétique** : le rapport de la fourniture totale d'énergie primaire (*Total primary energy supply* - TPES) au Produit intérieur brut (PIB). Ce rapport est donné en tep/mille \$ les dollars étant des \$ US de l'année 2000. Le PIB est corrigé pour tenir compte de la parité du pouvoir d'achat (*Purchasing power parity* – PPP). On a ainsi des TPES/PIB (PPP) mesurés en tep/1000\$.
- **Intensité CO₂** : le rapport des émissions de CO₂ dues à la combustion au PIB corrigé du PPP. CO₂/PIB (PPP) en kg CO₂/\$
- **Emissions de CO₂ par unité d'énergie primaire fournie** : le rapport des émissions de CO₂ dues à la combustion au TPES en t CO₂/tep.

² Le total cogénération (7917) se répartit en comptage chaleur finale entre la chaleur directe pour 2522 et l'électricité pour 2908. L'écart que l'on retrouve au niveau de l'énergie primaire de 1487 ktep correspond aux rejets à l'atmosphère (source froide, Carnot).

³ Ceci correspond à une alimentation électrique de chaufferies (*electric boilers*).

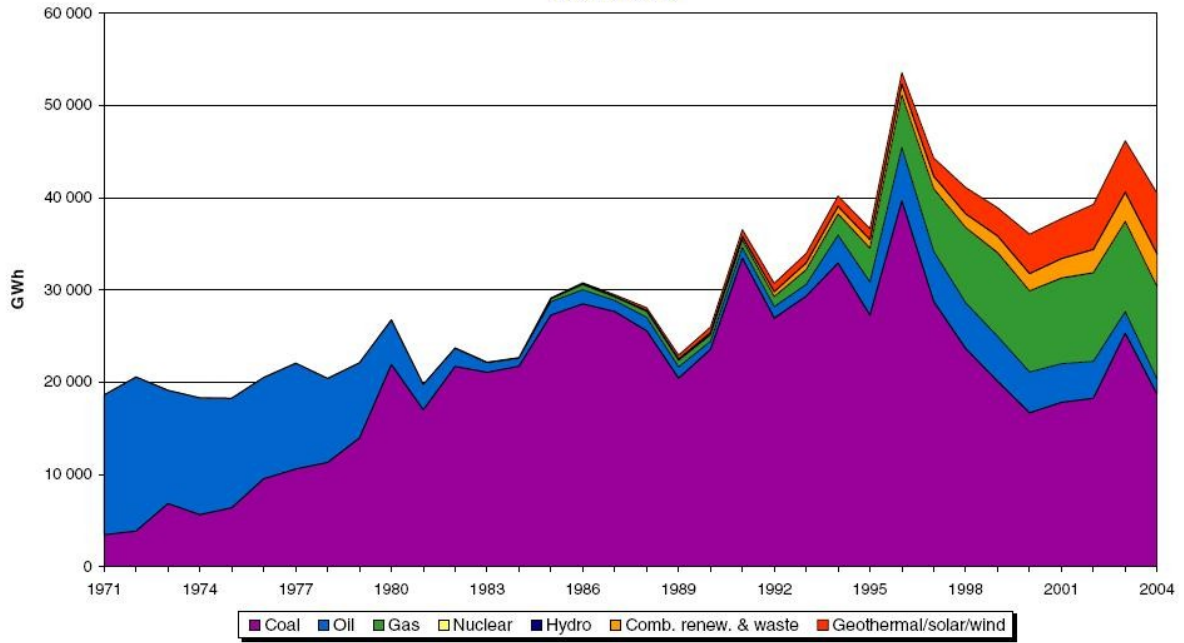
	Intensité énergétique	Intensité CO ₂	CO ₂ /TPES
Danemark	0,13	0,32	2,54
Suède	0,21	0,20	0,97

Tableau 3 : Quelques indicateurs globaux pour le Danemark et la Suède

L'intensité énergétique de la Suède dépasse d'environ 60 % celle du Danemark, alors que son intensité CO₂ est inférieure d'environ 40 %. Ceci confirme que les émissions de CO₂ plus faibles de la Suède ne sont pas liées à une consommation énergétique plus économe, c'est le contraire qui est vrai. La clé est dans le choix des sources d'énergie primaire tel que nous l'avons observé. Ce fait est confirmé pour les deux pays, si besoin était, par le rapport des émissions de CO₂ au total de l'énergie primaire fournie. Ce rapport est, pour le Danemark, plus du double de celui de la Suède.

Evolution of Electricity Generation by Fuel from 1971 to 2004

Denmark

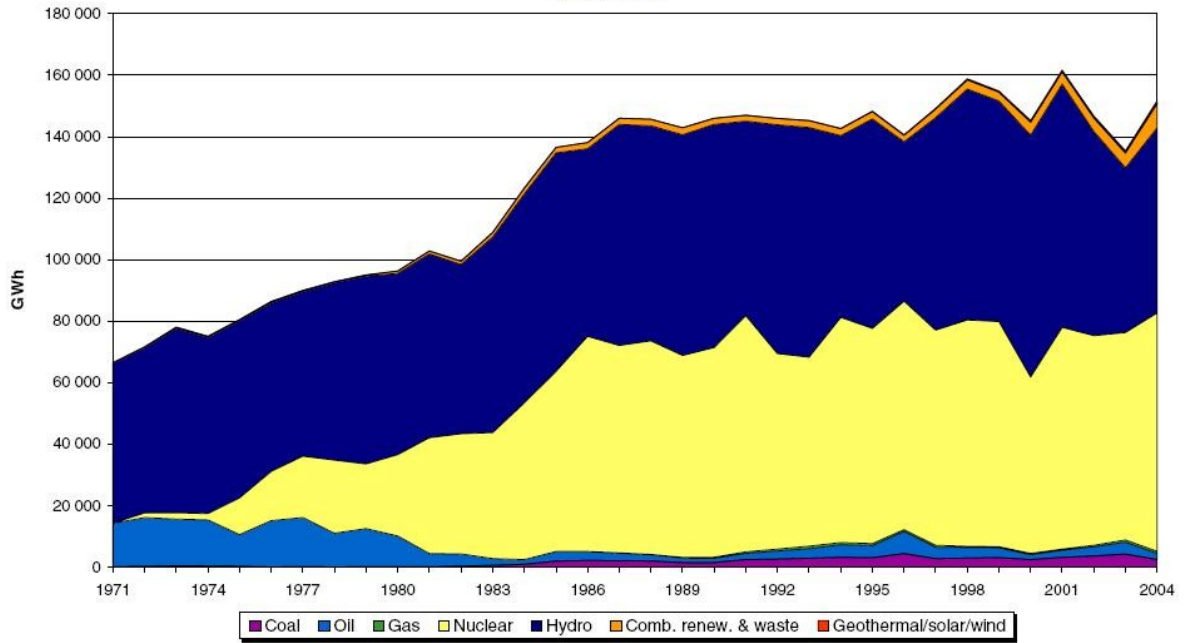


© OECD/IEA 2006

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.

Evolution of Electricity Generation by Fuel from 1971 to 2004

Sweden



© OECD/IEA 2006

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.

A Comparison of Denmark and Sweden a propos CO₂ Emissions

E. Huffer and H. Nifenecker

Compared to larger European countries like Germany or France, the CO₂ emissions from fuel combustion of Denmark and Sweden may be deemed marginal. However, when the per capita emissions are considered, they are in the same ballpark as Germany for Denmark and as France for Sweden¹:

	Germany	France	Denmark	Sweden
CO ₂ Emissions from fuel combustion (Mt of CO ₂)	849	387	51	52
CO ₂ per capita (t CO ₂ per capita)	10.3	6.22	9.44	5.78
Population (million)	82.5	62.2	5.4	9

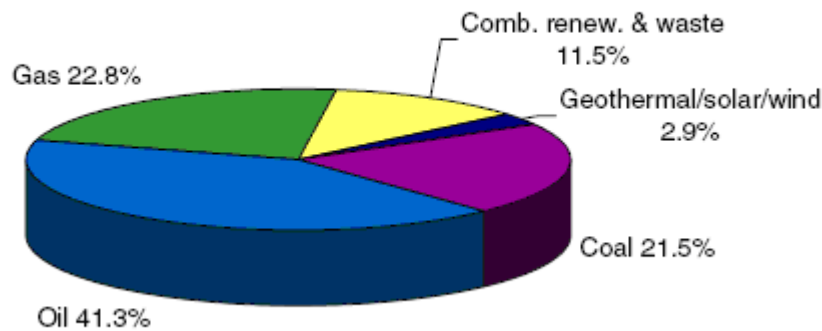
Denmark and Sweden are close neighbors, they have pretty much the same climate, so that it is interesting to try to understand what makes them so different in their per capita GHG (Green House Gas) emissions from fuel combustion. Indeed, the CO₂ emissions of Denmark and Sweden are practically equal while the population of Sweden is much larger. Thus, the per capita CO₂ emissions of Denmark are 63 % larger than those of Sweden.

WHICH PRIMARY ENERGY SOURCES?

Denmark's primary energy consumption in 2004 was 20 Mtoe, or 3.7 toe/cap/yr; that of Sweden was 54 Mtoe, or 6 toe/cap/yr (for the sake of comparison, that of France was 275 Mtoe, or 4.4 toe/cap/yr).

As shown in the figures below, the shares of the various primary energy sources in the total primary energy supply are quite different in Denmark and Sweden.

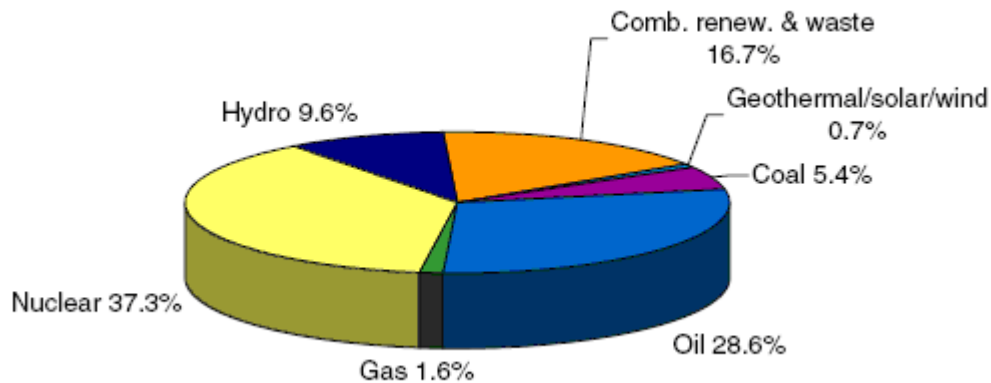
Denmark



Fossil fuels account for 85.6 % of Denmark's primary energy supply. Oil comes first with 8.3 Mtoe, a little more than half of which is consumed for transportation (5 Mtoe), representing 0.92 toe/cap/yr (in France it's 0.8). Gas (4.6 Mtoe) is shared about equally between electric power produced in combined heat and power plants (CHP) and other uses (residential, industry, ...). Coal (4.3 Mtoe) is used mainly for electric power in CHP plants. Finally, renewables (3.3 Mtoe) comprise mainly wind energy (0.58 Mtoe) biomass and waste.

¹ We will be using figures for 2004 from IEA statistics: <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp> throughout this text

Sweden



Fossil fuels account for only 35.6 % of the Swedish primary energy supply (52 % in France).

Here, too, oil comes first with 15.4 Mtoe, of which about half is for transportation: 8.1 Mtoe, or 0.9 toe/cap/yr a value close to that of Denmark; this is not where the two countries differ. Coal accounts for less than 3 Mtoe and gas for 0.9 Mtoe.

Among the non GES emitting energies, nuclear energy is the biggest: it accounts for 20 Mtoe, producing electricity in the amount of 77 486 GWh. Next is hydro power with 5.2 Mtoe, producing 60 178 GWh. Other renewables account for 9 Mtoe, the biggest contributor being wood with 8.2 Mtoe (the Swedish forest produces just a little less than the French one).

ELECTRICITY AND INDUSTRIAL HEAT

Electricity production and consumption

Denmark's electric power consumption is 32 793 GWh, while Sweden's is 130 361 GWh, almost four times as much (France's consumption is 415 880 GWh). Both Sweden and Denmark export a small amount of the electricity they produce. The contribution of the different energy sources used to produce their electricity are shown in the tables below.

	Production	Net export	Coal	Oil	Gas	Biomass	Waste	Wind	
GWh	40 477	2 872	18675	1633	10 001	2 099	1 446	6 583	
Percentage			7.1	46.1	4	24.7	5.2	3.6	16

Table 1: Denmark's Production of Electricity

	Production	Net export	Coal	Oil	Gas	Biomass	Nuclear	Hydro	Waste Other	
GWh	151 727	2 104	2 510	1 954	749	6709	77 486	60 178	2 141	
Percentage			1.4	1.7	1.3	0.5	4.4	51	39.6	1.4

Table 2: Sweden's Production of Electricity

In 2004 Sweden produced only 3.5 % of its electricity from fossil fuels. On the contrary, Denmark produced 74.7 % of its electricity from fossil fuels, mostly coal. Coal alone represents 7 Mtoe burned, or the emission of approximately 18 Mt of CO₂. Wind power accounted for 16 % of the electric power produced in Denmark in 2004.

The time evolution from 1971 to 2004 ([see figure](#)) of the primary energy sources contributing to electricity production for both countries shows that, while Denmark has been progressively reducing its reliance on coal in its production of electric power to the benefit of gas and wind, coal still contributes too much. Moreover, gas, too, is a fossil fuel, after all.

Heat production for district heating

District heating is quite developed in Sweden and even more so in Denmark where more than 6 out of 10 homes are connected to a district heating network. Both countries feed their district heating networks with the heat from CHP plants as well as with that from dedicated heat plants. The contributions of the different primary energy sources that produce this industrial heat, as measured in ktoe equivalent caloric value, are shown in the tables below. The primary energy heat equivalent amounts are given separately for CHP plants and for heat plants.

	Coal	Oil	Gas	Biomass Waste	Other	Total Sources	<i>Heat Produced</i>	<i>Electricity Produced</i>
CHP plants	4 121	364	2 225	1 207		7 917 ²	2 522	2 908 (33 820 GWh)
Heat plants	1	40	73	424	5	543	567	-2 (-23 GWh)

Table 3: Denmark's Industrial Production of Heat (ktoe)

	Coal	Oil	Gas	Biomass Waste	Total Sources	<i>Heat Produced</i>	<i>Electricity Produced</i>
CHP plants	907	450	246	2 862	4 465	2 564	1 113 (12 944 GWh)
Heat plants	105	147	32	961	1 245	1 374	-202 ³ (-2 349 GWh)

Table 4: Sweden's Industrial Production of Heat (ktoe)

It is interesting to compare Denmark and Sweden in this area as well. Sweden feeds its CHP plants mostly with biomass (wood). These produce 13 TWh while its dedicated electricity power plants produce ten times as much, 139 TWh. Denmark feeds its CHP plants mostly with coal and gas. These produce almost all of Denmark's electricity: 34 TWh, the remainder being only 6.7 Twh, mostly due to wind turbines. These data confirm what we had already noted for electric power but soften the results somewhat in that the heat produced in furnace power plants is used to supply district heating networks. However, only seldom do the demand for heat and for electricity coincide so that the true energy efficiency of cogeneration is debatable, especially when it is the principal electric power producer as in Denmark. What with the heat when the weather is warm?

To conclude, Denmark resorts heavily to fossil fuels for its production of both its electric power and its industrial heat whereas Sweden resorts to other primary energy sources which are either renewable or do not emit CO₂. True, Sweden is in a privileged situation for its access to hydro power and to biomass but Denmark could considerably reduce its CO₂ emissions if it were to call on nuclear power as Sweden has been doing.

² The total for CHP plant final heat (7 917) is counted as direct heat for 2 522 and heat for electric power production for 2 908. The remaining 2 487 ktoe of primary energy is lost to the atmosphere (cold source, Carnot cycle ...).

³ This corresponds to electric boilers.

SOME GLOBAL INDICATORS

A comparison of some global energy and CO₂ emission indicators of Denmark and Sweden is instructive as well. In the table below, we compare their

- **Energy intensity:** the ratio of the Total Primary Energy Supply (TPES) to the Gross Domestic Product (GDP). It is given in toe/thousand \$. The dollars are year 2000 US \$. The GDP is corrected for the purchasing power parity (PPP). TPES/GDP (PPP) in toe/1000\$
- **CO₂ Intensity:** the ratio of CO₂ emissions from fuel combustion to the GDP corrected for the PPP. CO₂/GDP (PPP) in kg CO₂/\$
- **CO₂ emissions per unit primary energy supply:** the ratio of CO₂ emissions from fuel combustion to the TPES in t CO₂/toe.

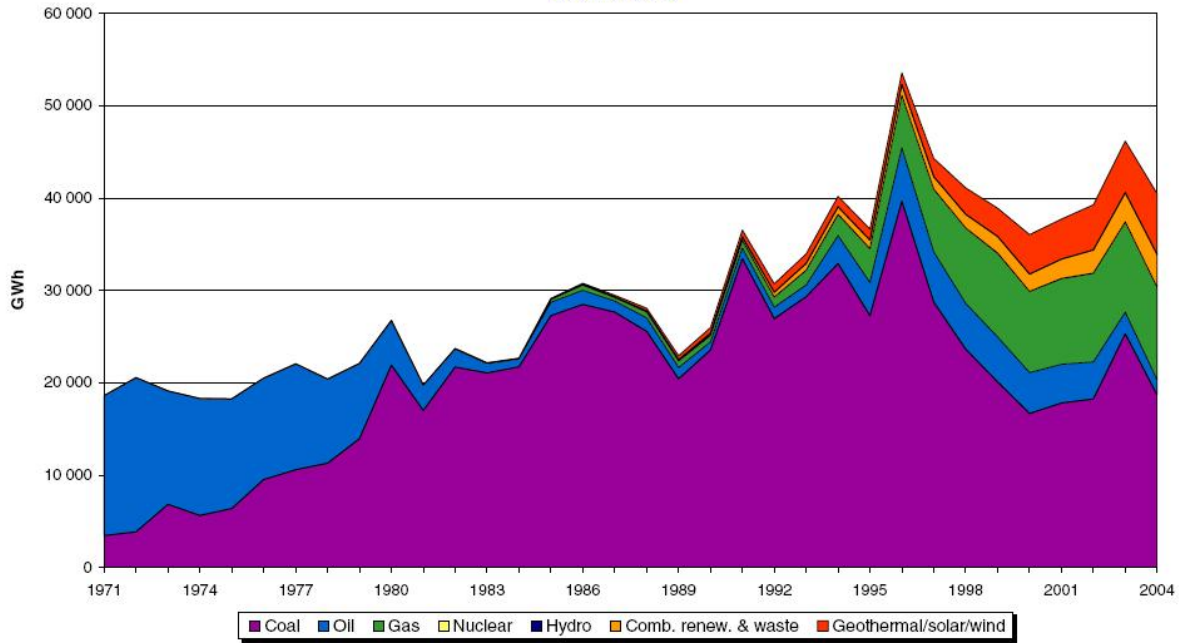
	Energy intensity	CO ₂ intensity	CO ₂ /TPES
Denmark	0.13	0.32	2.54
Sweden	0.21	0.20	0.97

Table 5: A Few Global Variables for Denmark and Sweden

Sweden's energy intensity is about 60 % larger than Denmark's yet its CO₂ intensity is 40 % smaller. This confirms that the smaller CO₂ emissions of Sweden are not related to more thrifty energy consumption, on the contrary. The key lies in the choice of primary energy sources that we have illustrated in the tables above. This is confirmed, if need be, by the ratio of CO₂ emissions to the Total Primary Energy Supply of the two countries. Denmark's is more than twice that of Sweden.

Evolution of Electricity Generation by Fuel from 1971 to 2004

Denmark

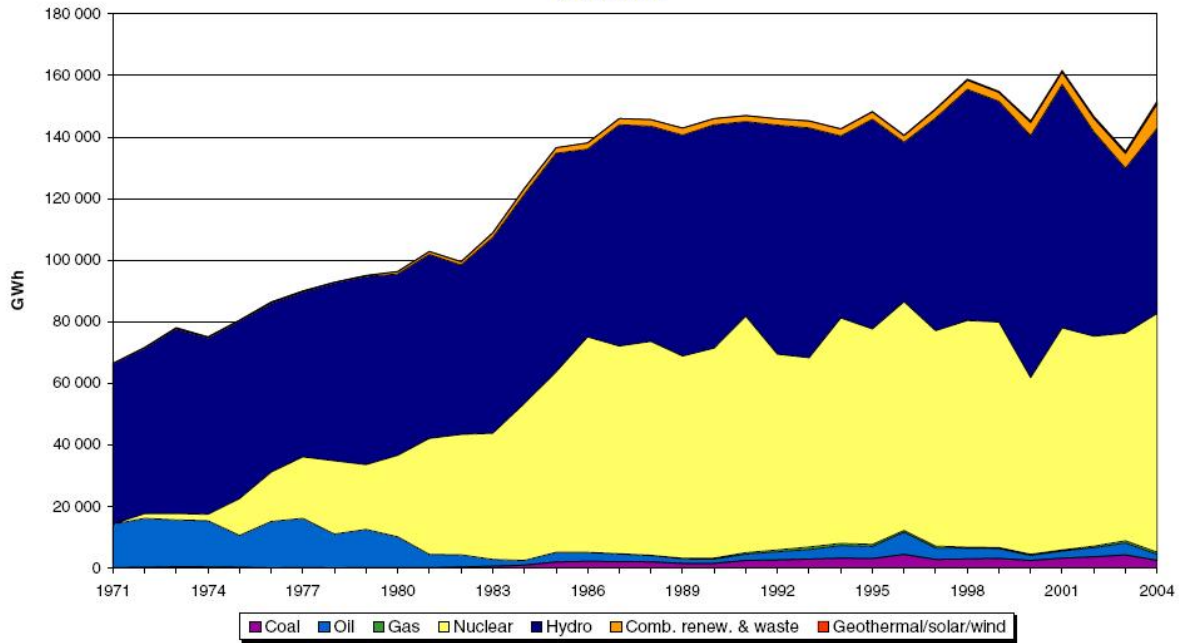


© OECD/IEA 2006

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.

Evolution of Electricity Generation by Fuel from 1971 to 2004

Sweden



© OECD/IEA 2006

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.