



Nucléaire et climat

Le nucléaire fait-il partie de « la solution » ?

Francis Leboutte,
ingénieur civil, membre fondateur de *Fin du nucléaire asbl*

*84% des femmes enceintes ont une pathologie.
C'est pourquoi la naissance d'un enfant en parfaite santé est un événement rare.*

Docteur Raisa Misura, directeur de l'hôpital central de Stoline*
(bulletin de janvier 2008 du bureau biélorusse de l'ONU)

* La ville de Stoline se trouve au Belarus, à 240 km au nord-ouest de Tchernobyl.



Libre d'utilisation sous licence Creative Commons BY-ND (paternité, pas de modification)



Avertissement

Notre monde connaît actuellement une crise systémique
qui dépasse de loin le réchauffement climatique.

Se focaliser *uniquement* sur un des symptômes de cette crise,
comme le réchauffement climatique, serait dangereux.

Même si nous parvenions à trouver une « solution » à ce
symptôme, nous serions rattrapés par la crise systémique.

À une crise systémique, il faut une réponse systémique.

Réponse qui devrait inclure
une décroissance radicale
des flux de matières et d'énergie
ainsi que des inégalités, notamment.

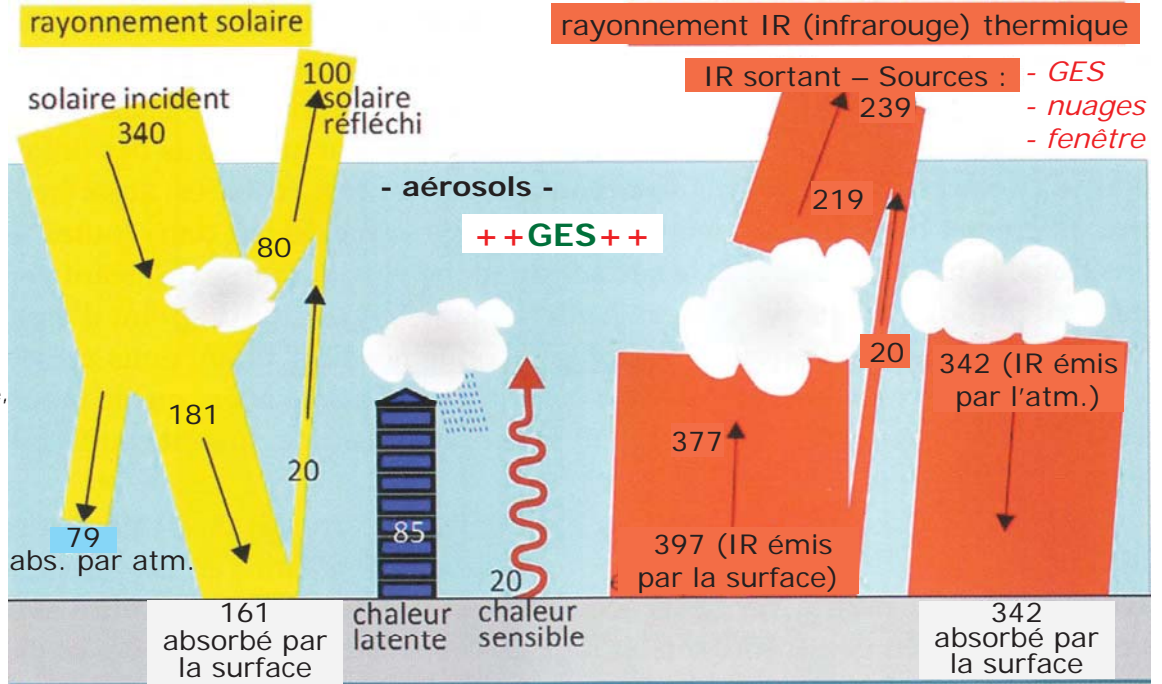
C'est une toute autre question que celle qui est abordée ici...



Effet de serre - Bilan énergétique de la Terre en 2012

Unités :
W/m²
(J/s.m²)

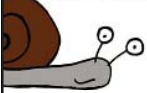
Adapté de :
V. Masson-Delmotte,
2014.
M.A. Mélières et C.
Maréchal, 2015.



- 47% du rayon. solaire est absorbé par la surface (23% par l'atmosphère)
- Restitution de cette énergie : évaporation, convection, IR (infrarouge).
- IR (longueur d'onde + grande) : **piégé par les GES** (vap. d'eau, CO₂,...).

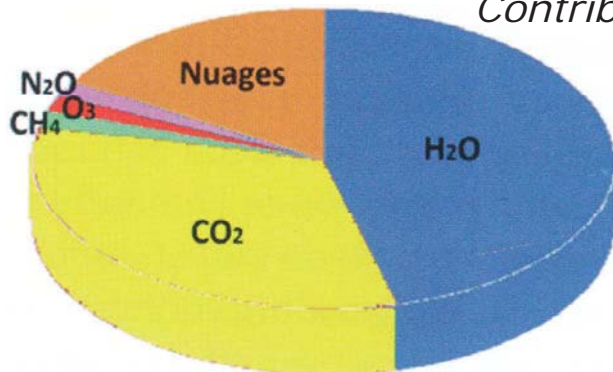
Bilan radiatif de la planète : 340 (↓) ≠ 100 + 239 (↑)

Déséquilibre : +1 W/m² (0,6) absorbé par la surface (5 bombes A par sec.)

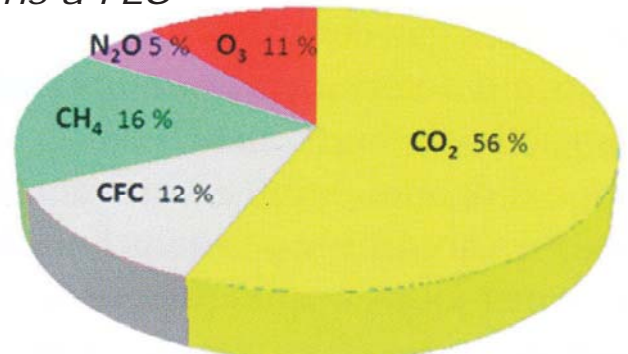


Gaz à effet de serre (GES)

Contributions à l'ES



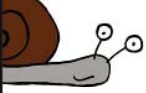
Nuages et GES (naturels, 1750)



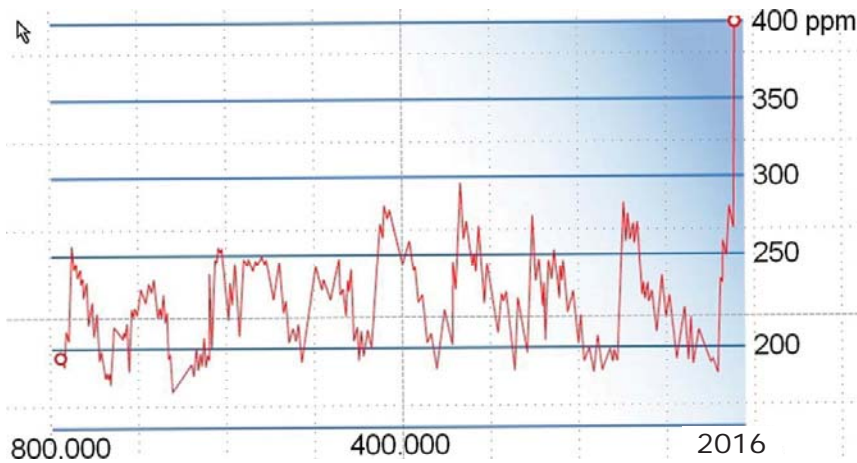
ES additionnel dû à l'espèce humaine

- Principaux GES : vapeur d'eau, CO₂, CH₄, CFC, O₃ et N₂O.
- À l'état de trace (ex. du CO₂ : 0,0405 % ou 405 ppm*)
- Très absorbants des rayonnements infrarouges (mais pas de la lumière solaire)

* ppm : partie par million



Concentration en CO₂ dans l'atmosphère



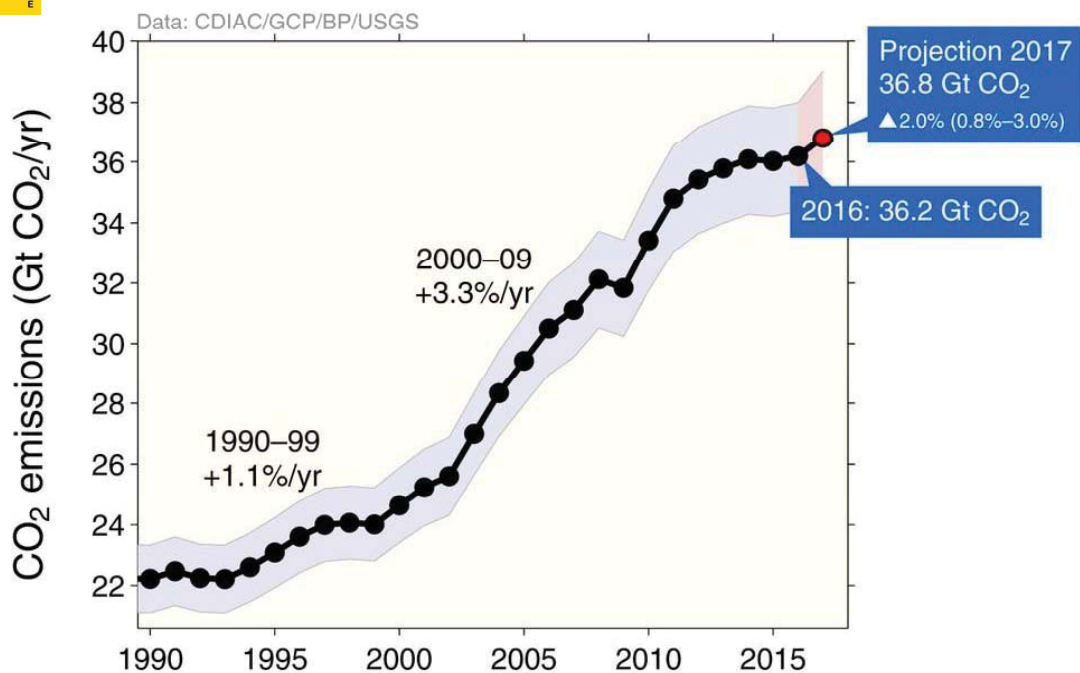
Selon l'analyse du CO₂ dans les bulles d'air d'échantillons de glace prélevés en Antarctique (forage glaciaire de 3,2 km du Dôme C)

- Température de la terre et concentration en CO₂ sont liées.
- Depuis 800.000 ans, jusqu'à notre ère, jamais la concentration en CO₂ n'avait dépassé les **300 ppm** :
 - 2016 : 1^{ère} année à plus de **400 ppm**
 - 2017 : 404 ppm
 - Février 2018 : 408 ppm

EPICA, European Project for Ice coring in Antarctica - NOAA/ESRL's Global Monitoring Division



Émissions de CO₂ dues aux énergies fossiles



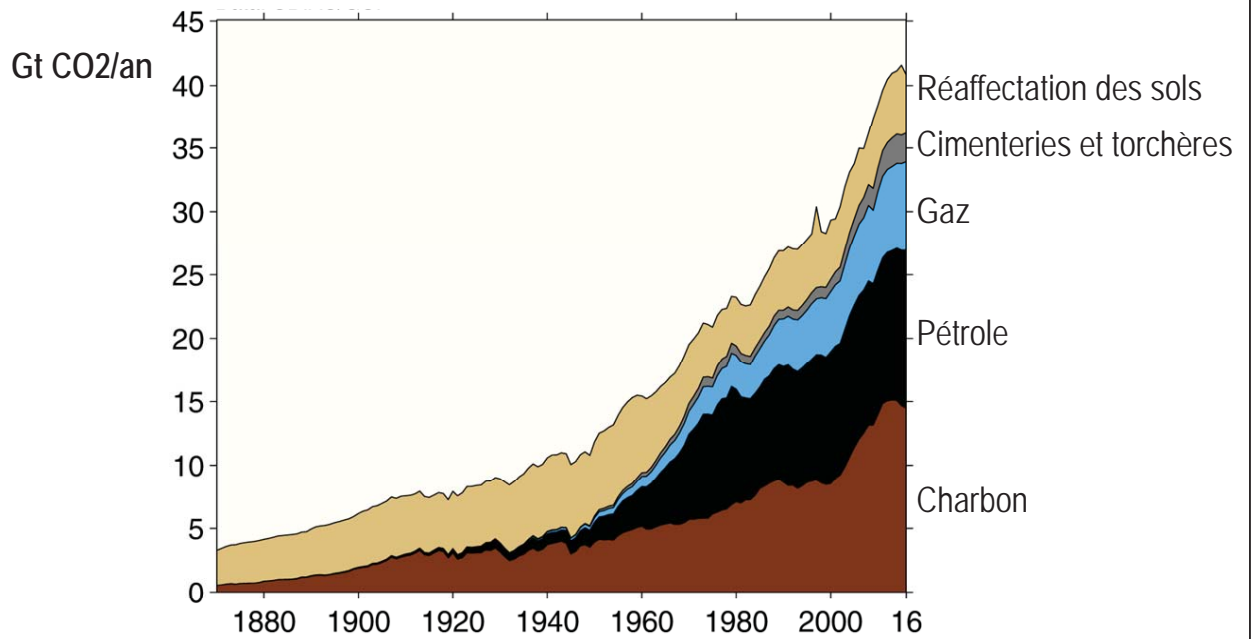
Global Carbon Project

- CO₂ uniquement, fossiles uniquement.
- 2015, 2016 : données préliminaires. 2017 : projection.
- Autre source de CO₂ anthropogénique (+ 14 %) : changement d'affectation des sols (déforestation principalement).

Fossil fuel emissions hit record high after unexpected growth. Corinne Le Quéré (U of East Anglia). Novembre 2017



Émissions de CO₂ par source



Premières sources de CO₂ :

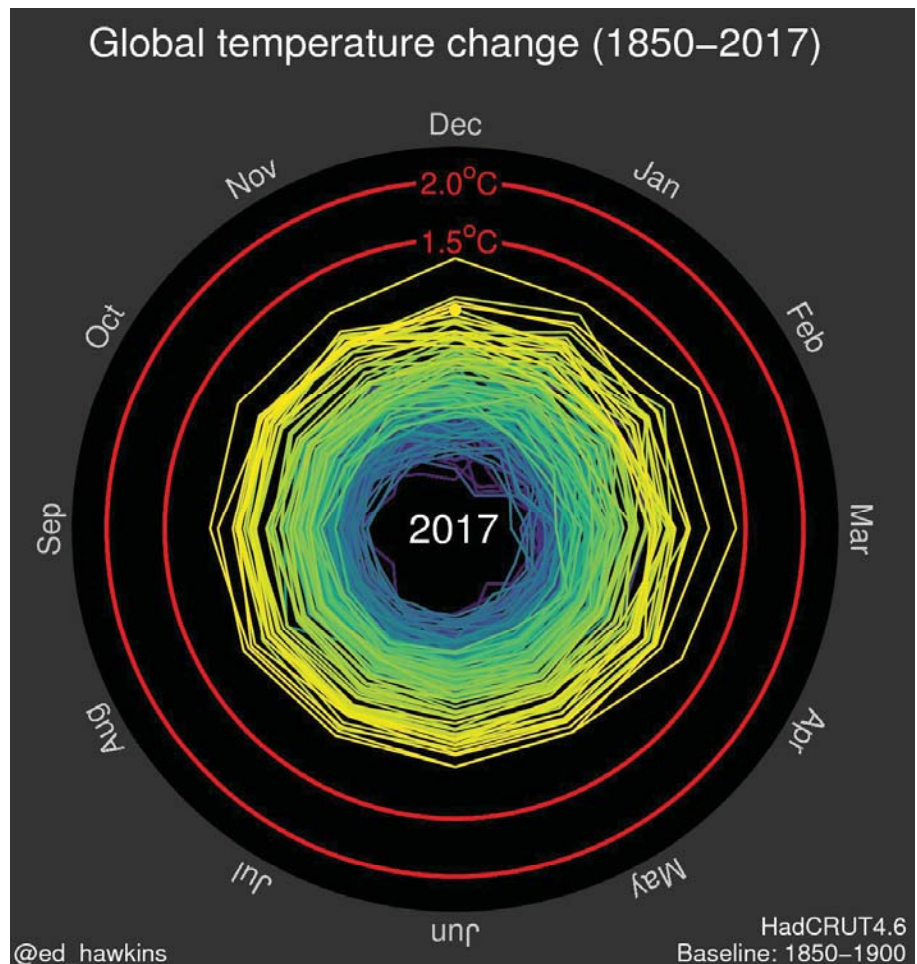
- 2016 : charbon (14,5 Gt), pétrole (12,5 Gt).
- Cumulées (1870-2016) : charbon (32 %), sols (31 %), pétrole (25 %).

Global Carbon Project 2017

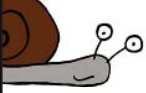


Spirale du changement global de température

Global temperature change (1850–2017)



Ed Hawkins
www.climate-lab-book.ac.uk



Évolution du glacier Muir en Alaska

de 1941 à 2004

Entre les 63 ans qui séparent ces deux photos, le glacier a reculé de plus de 7 km.



Fig. 7.1a Muir Glacier, 1941



Fig. 7.1b Muir Glacier, 2004

www.usgs.gov/climate_landuse/glaciers/



Émissions des GES et inégalités selon les régions

En tonne de CO₂e* par individu et par an (moyenne par région), selon la *production (Prod.)* et la *consommation (Cons.)* - 2013

Émission sur base de la consommation :

- Réalloue des émissions aux pays riches (+ 41 % en Europe)
- Ajuste l'inégalité à la hausse.

Soutenable :

- Scénario d'atténuation (RCP2.6) : budget de 1.000 GtCO₂e -> 2100
- Cumul de la population annuelle jusque 2100 : 795 milliards

→

1,3 tCO₂e par individu et par an, soit :

- 10 fois moins que la moyenne européenne
- 5 fois moins que la moyenne mondiale

	Prod.	Ratio	Cons.	Ratio	% C-P
Monde	6,2	1,0	6,2	1,0	0
Amérique du N.	20,0	3,2	22,5	3,6	+13
Russie - Asie C.	10,0	1,6			
Europe de l'O.	9,0	1,5	13,1	2,1	+41
Moyen-Orient	8,0	1,3	7,4	1,2	-8
Chine	8,0	1,3	6,0	1,0	-25
Amérique du S.	5,2	0,8	4,4	0,7	-15
Asie du S.	2,4	0,4	2,2	0,4	-8
Afrique	2,4	0,4	1,9	0,3	-21
Soutenable	1,3	0,2	1,3	0,2	0

- Ratio par rapport à la moyenne mondiale
- % C-P : rapport Cons./Prod. en %

* CO₂e : équivalent-CO₂



Partage du monde en 3 groupes d'individus : les 10 % les plus émetteurs, 40 % (médián) et 50 % (les moins...)

Règle des 10-50 :

- 10 % les plus émetteurs : ± 50 % des GES

Répartition de ces GES par pays :

USA : 40 % - UE : 20 % - Chine : 10 % - ...

(pays émergents : 33 %)

Moyenne/individu : **28 tCO₂e**

- 50 % les moins émetteurs : ± 10 % des GES

Répartition... : Inde : 36 % - Chine : 16 % - ...

(non représentés : UE, USA, Japon,...)

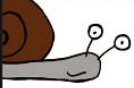
Moyenne/individu : **1,6 tCO₂e**

Les 40 % des émetteurs du groupe médián : ± 40 % des GES

Répartition... : Chine : 35 % - UE : 18 % - USA : 5 % - ...

Moyenne/individu : **6,5 tCO₂e**

Thomas Piketty, Lucas Chancel. Carbon and inequality: from Kyoto to Paris. 2015



Une évidence et une conséquence

Plus vous êtes riche, plus

- vous contribuez à la destruction de la nature,
- vous êtes une menace pour la survie de l'espèce humaine.

Éloge d'une certaine pauvreté :

Gandi (Autobiographie, 1925) :

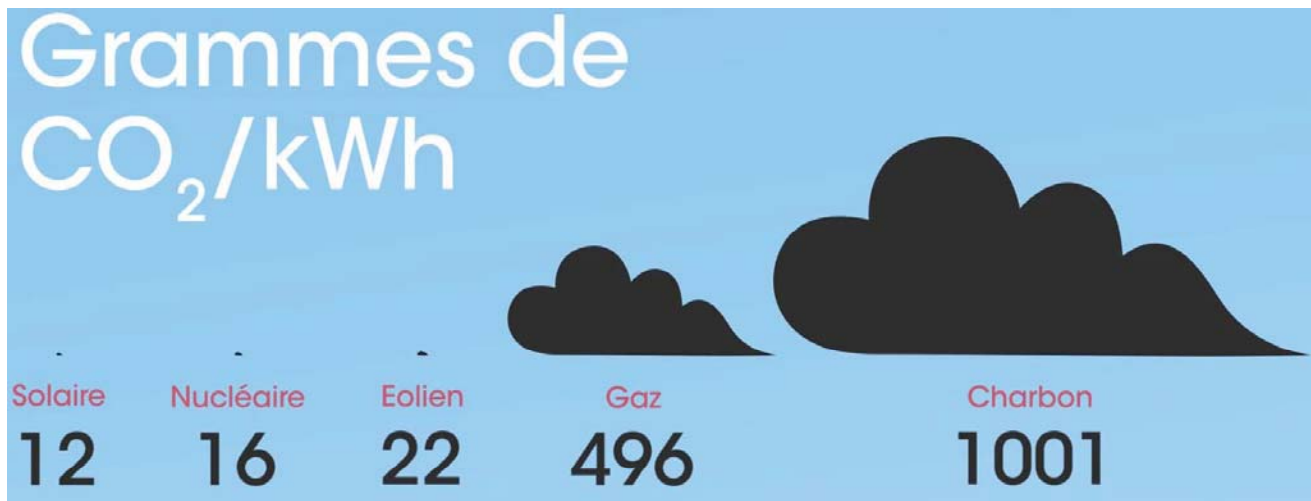
« Il n'y aura pas de réforme possible tant que les gens éduqués et riches n'accepteront pas volontairement le statut des pauvres ».



Les déclarations du lobby nucléaire

1. Le « Forum Nucléaire belge »

« Pour combattre le changement climatique, le nucléaire fait partie de la solution »



- Mission : *Informier le public sur la technologie nucléaire.*
- Membres : ENGIE-ELECTRABEL, EDF LUMINUS, AREVA (ORANO), WESTINGHOUSE, etc.
- Coût d'une des campagnes publicitaires de 2009 : > 2 millions €.
- Une ASBL... qui n'a rien d'un forum.

Source : Forum du nucléaire belge (film et site web)



Les déclarations du lobby nucléaire

2. L'AIEA

(AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique)

« Les émissions de GES du nucléaire, tout le cycle de vie considéré, sont parmi les plus faibles et représentent moins de 15 g de CO₂e par kWh »

AIEA

- Créée en 1957.
- Dépend directement du Conseil de sécurité de l'ONU.
- « Accélérer et accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier ».
- A la main sur l'OMS.

Un organe de lobbying au sein même de l'ONU, financé par de l'argent public !



La fabrique de l'ignorance

OMS : Organisation mondiale de la santé (ONU)

« Amener tous les peuples au niveau de santé le plus élevé possible »

Publication de l'OMS en 1958 : « *Questions de santé mentale que pose l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques* »

« Cependant, du point de vue de la santé mentale, la solution la plus satisfaisante pour l'avenir des utilisations pacifiques de l'énergie atomique serait de voir monter une nouvelle génération qui aurait appris à s'accommoder de l'ignorance et de l'incertitude... »

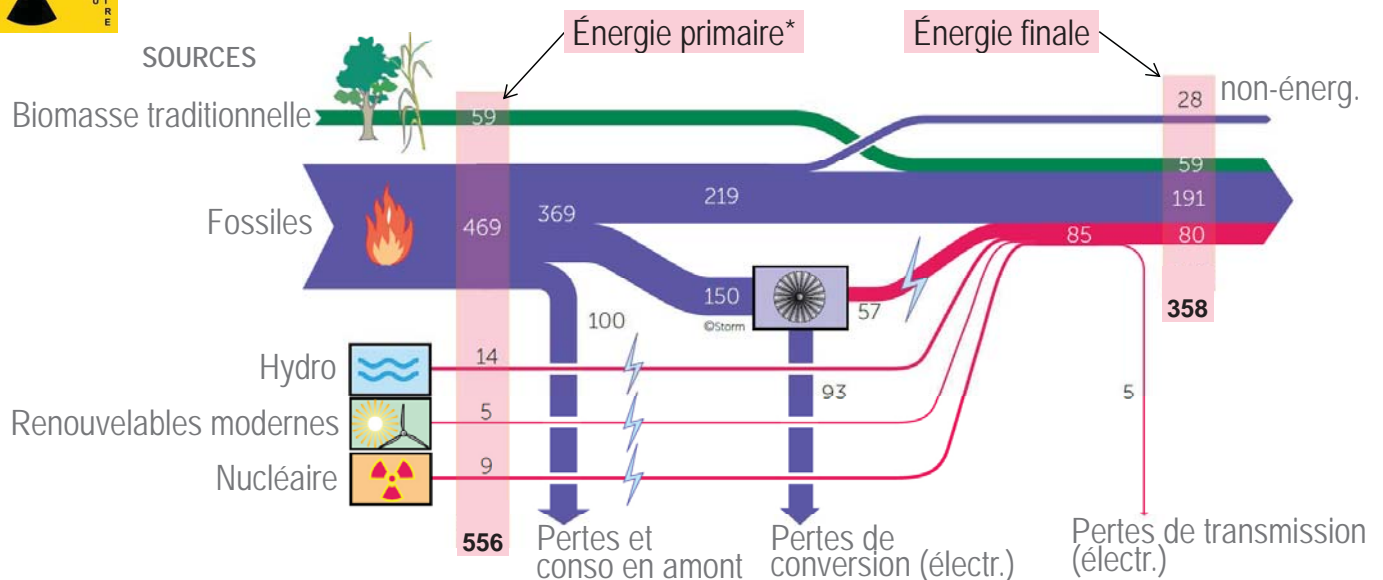
Concrétisé par l'accord OMS-AIEA de 1959 :

« Chaque fois qu'une des parties se propose d'entreprendre un programme ou une activité dans un domaine qui présente ou peut présenter un intérêt majeur pour l'autre partie, la première consulte la seconde en vue de régler la question d'un commun accord »

...



Flux énergétiques mondiaux (EJ – exajoule) – 2014



– E primaire : 556 EJ (10^{18} J ou 13,3 Gtep**) en 2014

→ 490 m³ d'équivalent-pétrole/s (± 2 fois le débit moyen de la Meuse à Liège)

– E finale : 358 EJ

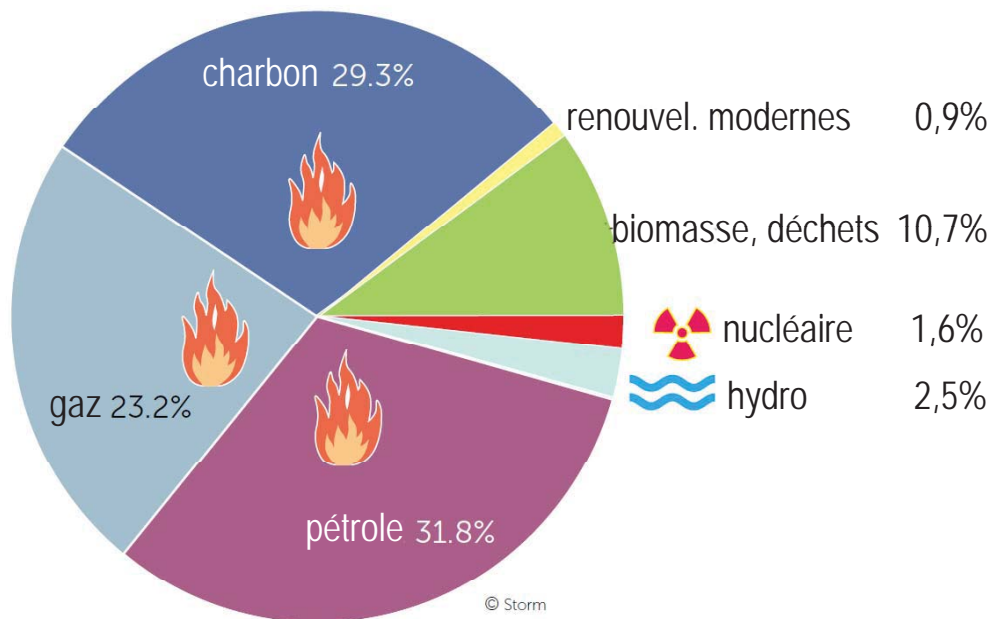
– Pertes : 556 - 358 = 198 EJ (36 %)

* Chaleur perdue des centrales nucléaires non comptabilisée (± 2/3 de la chaleur produite)

** Gtep : milliard de tonnes d'équivalent-pétrole



Répartition de l'énergie primaire (2014)



Les renouvelables :

- 14 % de l'énergie primaire
- 17 % de l'énergie finale (dont 1 % pour éolien et PV)

Jan Willem Storm van Leeuwen, *Climate change and nuclear power*, 2017



Le nucléaire en quelques chiffres

- < 2 % de la consommation d'énergie primaire
(chaleur perdue dans les centrales non comptabilisée)
- La part du nucléaire dans l'électricité *diminue depuis 1996* (17,5 %) :
2010 : 11 % (PV, éolien : 6 | Hydro : 16 | Fossile : 67)
2016 : 10,5 %
- Autres pics :
2002 : 438 réacteurs (2016 : 403).
2006 : 368 GWe / 2.660 TWh (2016 : 351 GWe / 2.476 TWh)
- L'âge moyen des réacteurs ne cesse d'augmenter : 29,3 ans en 2016

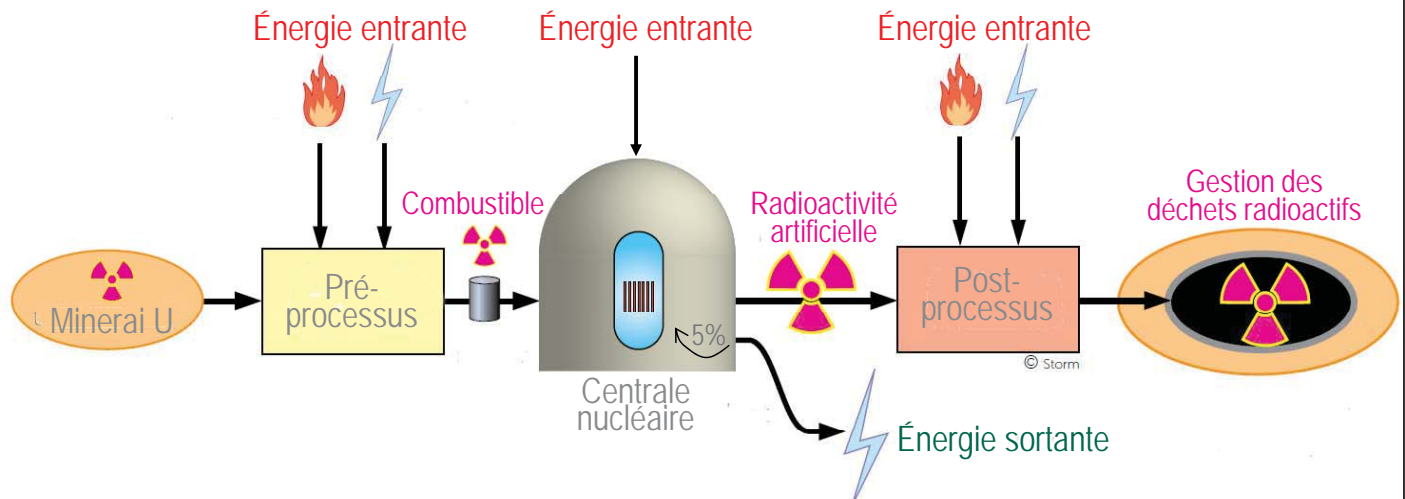
→ Industrie en déclin

- Coût/MWh > renouvelables, y compris pour un réacteur amorti. Investissement, risques, échelle de temps, processus non maîtrisés.
- Faillites : Areva (Orano), Westinghouse, Toshiba.

→ On ne voit pas comment le nucléaire pourrait avoir un effet significatif sur la réduction des GES.



Chaîne des processus nucléaires, du minerai au déchet, durant 100 à 150 ans



1. Les pré-processus : extraction minerai U, broyage et concentration (yellow cake). Purification, enrichissement (U235 : 0,7→4%) et fabrication du combustible.
2. Centrale : construction, maintenance, réparation et opération.
3. Nombreux post-processus (pas tous maîtrisés...) : démantèlement et nettoyage du site de la centrale et autres sites, refroidissement, traitement et conditionnement des déchets, construction des sites de stockage divers, stockage, réhabilitation des sites miniers...



Production de CO₂ au cours du CV (cycle de vie) du nucléaire

- Tous les processus produisent du CO₂, seul le processus « opération » en produit relativement peu.
- Fortes incertitudes :
 - Les processus *déchets longue durée de vie* ne sont pas définis.
 - Extraction : teneur du minerai à 30-50 ans.
 - Pas de données publiées sur les autres GES que le CO₂.

Remarques

- Les filières des renouvelables :
 - Nécessitent bien moins de processus.
 - Tous les processus sont maîtrisés.
- Consommation de matériaux en g/kWh :
 - Nucléaire* : 200
 - Éolien** : 6

→ Un facteur de plus de 20 donnant une idée du rapport des GES.

- * – Minerai à 0,1% d'uranium.
 - Plus de 90 % non recyclable du fait de la contamination radioactive.
- ** Terrestre. Éolien marin : 10 g/kWh.



Radioactivité artificielle et dette énergétique (GES) produites lors du CV

- Tous les processus libèrent de la radioactivité artificielle dans l'environnement (sauf ceux de construction des sites).
 - Un réacteur *d'1 GWe* génère *chaque année* autant de radioactivité que 1.000 bombes d'Hiroshima (6.000 b./an en Be).*
- Dit autrement : la filière nucléaire génère 1 milliard de fois la radioactivité du combustible utilisé.*
- Émission retardée de GES liée aux déchets radioactifs et à une *dette énergétique* (GES) difficile à quantifier, peut-être de l'ordre de l'énergie nette produite par la filière (pas de solution avérée pour les déchets de longue durée).

* Jan Willem Storm van Leeuwen, *Climate change and nuclear power*, 2017



Bilan du CO2 de la filière nucléaire

	Processus principaux	g CO2/kWh	Totaux
1	Extraction, broyage*	8,4	
2	Autres pré-processus	6,2	14,6
3	Construction	23,2 ± 12	
4	Opération, etc.	24,4	47,6
5	Post-processus sauf 6 et 7	12,1	
6	Démantèlement	34,8 ± 17	
7	Réhabilitation des mines*	7,6	54,5
	Total	117 ± 29	

Hypothèses

- 25 ans à pleine puissance (plus que la moyenne actuelle)
- Teneur minéral U : 0,05 % (teneur actuelle moyenne)
- Pas d'autres GES que le CO2

Bien plus que les 50 g CO2e/kWh recommandés par le *Committee on Climate Change* (UK) pour toute filière énergétique, afin de contenir le réchauffement climatique dans une limite acceptable.



Facteurs aggravants

Autres GES que le CO₂ (non pris en compte)

- *Seule* donnée publiée : les usines d'enrichissement d'uranium US émettent **5 g CO₂e/kWh** de fréon-114 (EIA-DOE, 2005).
 - Cependant, les pré-processus font largement appel
 - au fluor (100.000 t/an),
 - au chlore (50.000 t/an) et à
 - des composés de ces 2 éléments.
- Ces composés sont des GES très puissants (x1000 ou plus).

Qualité du minerai d'uranium

Point d'équivalence au charbon (CO₂) : teneur de 0,02 %

À quand ce point d'équivalence ?

- Maintien de capacité actuelle du nucléaire (376 GWe) : 2070
- Doublement de la capacité actuelle : 2050.

Au vu des constats précédents et de ces facteurs aggravants, il est exclu que le nucléaire puisse jamais jouer un rôle dans la réduction des émissions des GES.



Valeurs moyennes en g CO₂e/kWh pour quelques filières énergétiques

Éolien	:	15
Hydro	:	20
Géothermie	:	40
PV	:	50 (ou moins, technique en évolution rapide)
Nucléaire	:	117 (et plus selon les incertitudes et hypothèses)
Gaz naturel	:	670 (500)
Mazout	:	900
Charbon	:	1000

REMARQUES

- Domaine complexe :
 - Bilans matières.
 - Origine et mode de production de ces matières.
- Dispersion normale pour les renouvelables (soleil, vent).
- Plus simple pour les filières fossiles : énergie grise marginale.



Conclusion

Considérant des hypothèses basses, la filière du nucléaire produit largement plus de GES que

1. les filières des énergies renouvelables
2. le maximum souhaitable pour toute filière énergétique au vu de la question climatique.

La dette énergétique liée aux déchets radioactifs à longue durée de vie pourrait

1. dépasser l'énergie nette jamais produite par la filière elle-même.
2. De ce fait, *mettrait le nucléaire au niveau du charbon en termes de GES.*

Le nucléaire n'est donc pas une « solution » au réchauffement climatique.

...



Fin du nucléaire asbl

- Initiative d'une douzaine de personnes membres de 5 associations (ACC, AT, Attac-Liège, Grappe et mpOC-Liège).
- Création de l'asbl en janvier 2017.

Extraits des statuts

- ...mettre fin, dans les délais les plus brefs, au recours à l'énergie atomique...
- L'arrêt immédiat des cinq réacteurs belges dont la probabilité d'accident grave est des plus élevées : les réacteurs Tihange 2 et Doel 3 et les trois réacteurs les plus vétustes, Tihange 1, Doel 1 et Doel 2.
- Le retrait immédiat des armes atomiques étasuniennes du sol belge...
- ...une réflexion sur l'utilisation de l'énergie en Belgique et dans l'UE où la consommation moyenne nette d'énergie dépasse les 15 litres d'équivalent-pétrole (150 kWh) par jour et par habitant, ce qui est bien évidemment insoutenable.

...



Plus d'information sur le site de l'asbl : www.findunucleaire.be

Pour – **donner du poids** à nos (vos) revendications et
– **soutenir l'asbl** :

1. Devenez membre
(cotisation annuelle : 5 € ou plus).
2. Affichez votre refus du nucléaire.
Ces affichettes jaunes sont disponibles
en différents points, voir le site web,
page *Documents*.

