

Nucléaire et climat Éléments de réflexion

Francis Leboutte,
ingénieur civil, membre 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, pédiatre, directrice 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 (Ukraine).



Document disponible sur www.findunucleaire.be

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



La position de l'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 CO₂eq 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 (accord de 1959).

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



Position relayée par le « Forum » Nucléaire belge

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

Grammes de CO₂/kWh



- Mission : Informer le public sur la technologie nucléaire.
- Membres : ENGIE-ELECTRABEL, EDF LUMINUS, ORANO (AREVA), WESTINGHOUSE, etc.
- Budget annuel de cette ASBL : plusieurs millions € (2009)

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



Une position qui percole partout : dans les médias, les institutions..., y compris le GIEC

Extrait de la page 1335 du 5^e rapport du GIEC

Annex III

Technology-specific Cost and Performance Parameters

Table A.III.2 | Emissions of selected electricity supply technologies (gCO₂eq/kWh)

Options	Direct emissions	Infrastructure & supply chain emissions	Biogenic CO ₂ emissions and albedo effect	Methane emissions	Lifecycle emissions (incl. albedo effect)
	Min/Median/Max	Typical values			Min/Median/Max
Currently Commercially Available Technologies					
Coal—PC	670/760/870	9.6	0	47	740/820/910
Gas—Combined Cycle	350/370/490	1.6	0	91	410/490/650
Biomass—cofiring					620/740/890 ^a
Biomass—dedicated					130/230/420 ^a
Geothermal	0	45	0	0	6.0/38/79
Hydropower	0	19	0	0	1.0/24/2200
Nuclear	0	18	0	0	3.7/12/110
Concentrated Solar Power	0	29	0	0	8.8/27/63
Solar PV—rooftop	0	42	0	0	26/41/60
Solar PV—utility	0	66	0	0	18/48/180
Wind onshore	0	15	0	0	7.0/11/56
Wind offshore	0	17	0	0	8.0/12/35
Pre-commercial Technologies					
CCS—Coal—Oxyfuel	14/76/110	17	0	67	100/160/200
CCS—Coal—PC	95/120/140	28	0	68	190/220/250
CCS—Coal—IGCC	100/120/150	9.9	0	62	170/200/230
CCS—Gas—Combined Cycle	30/57/98	8.9	0	110	94/170/340
Ocean	0	17	0	0	5.6/17/28

Nuclear : 12 gCO₂eq/kWh



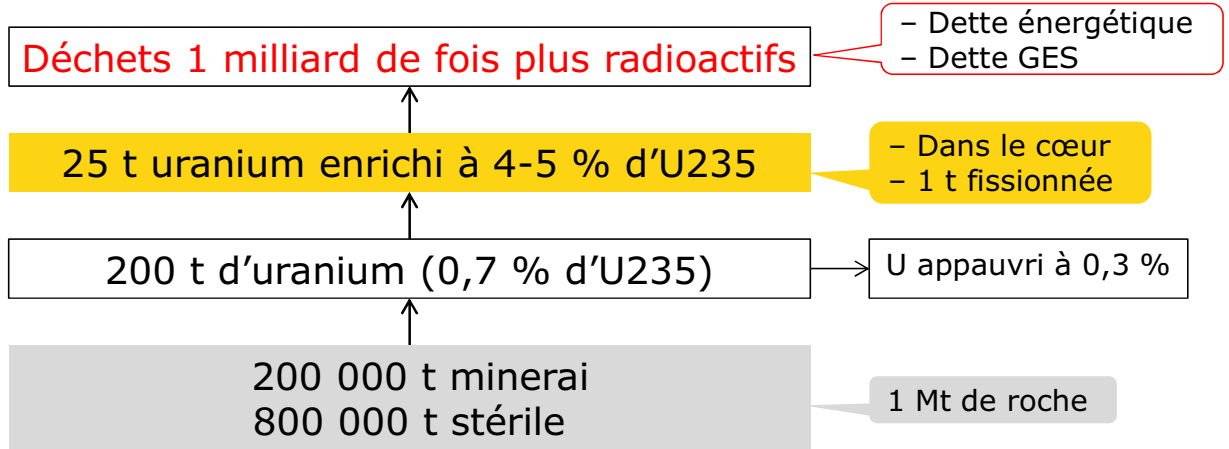
NUCLÉAIRE

Éléments d'intuition

Émission des GES des filières nucléaire et éolienne (1.)

COMBUSTIBLE

Nucléaire, par GW et par an



Plus :

- plusieurs t de zirconium* pour les assemblages d'uranium.
- 400 t de chlore et fluor (enrichissement). Etc.

Déchets, eau contaminée et radioactivité à tous les étages.

Éolien : sans objet

* 90 % de la production mondiale. Réserves : 50 ans au rythme actuel.

Bihoux (zirconium). IRSN (stérile)



NUCLÉAIRE

Éléments d'intuition

Émission des GES des filières nucléaire et éolienne (2.)

MATÉRIAUX

(sur tout le cycle de vie)

Consommation en g/kWh

- Nucléaire : 200
- Éolien : 7 (10)
- Rapport de ± 20
- Relation entre consommation de matériaux et émission des GES

Recyclabilité

- Nucléaire : 5 % du total (95 % est contaminé)
- Éolien : \pm important selon la conception

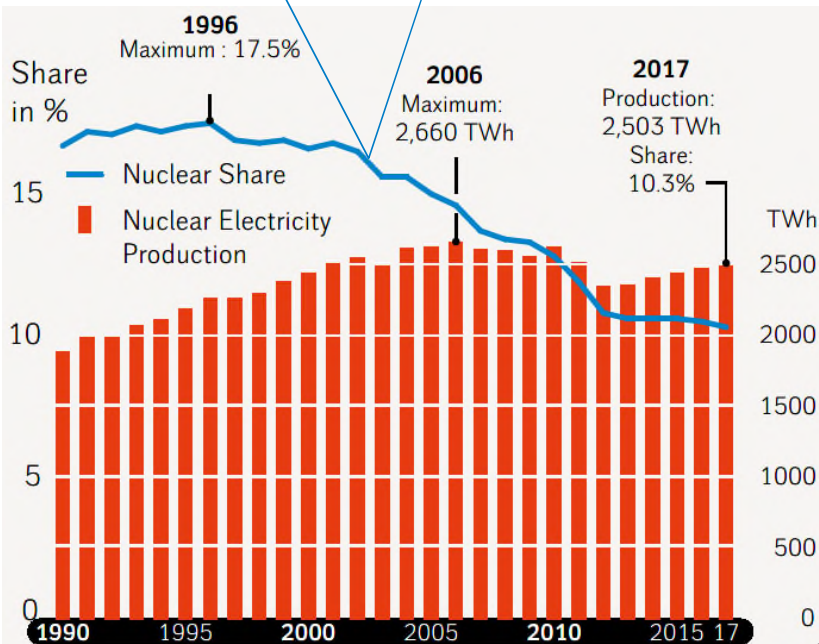


Éléments d'intuition

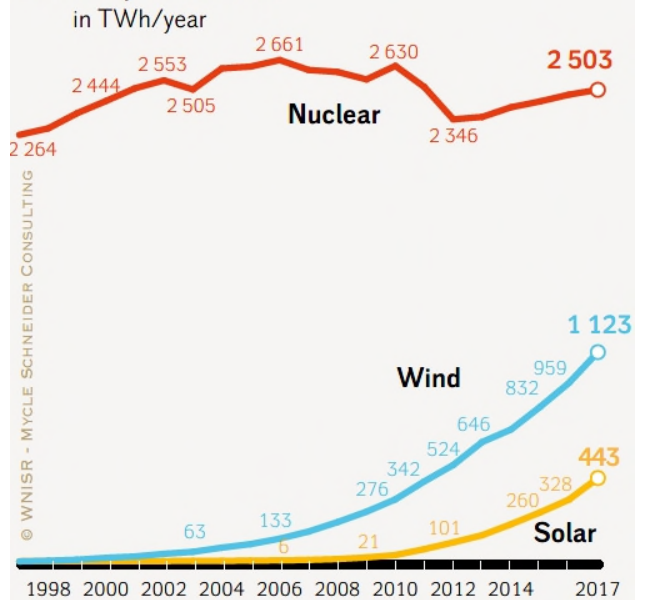
Mitigation potentielle du nucléaire dans les émissions mondiales

- Monde (2017), nucléaire : 10 % de l'électricité, < 2 % E finale
- Coûts du nucléaire en augmentation (construction, exploitation), au contraire du renouvelable moderne (PV, éolien).
- Durée de construction d'un réacteur : > 10 ans (WNA).

Industrie en déclin, faillites



Electricity Production in TWh/year



Mycle Schneider, The World Nuclear Industry Status Report 2018



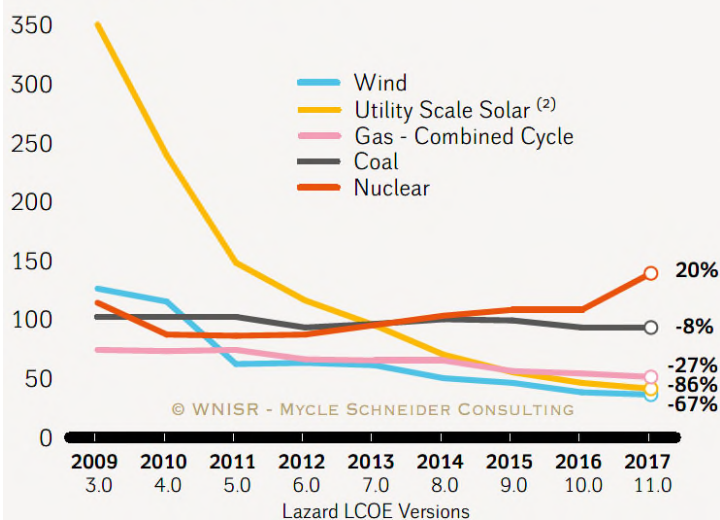
Éléments d'intuition

Coûts

- Sans **subside** et **violation des principes de sûreté nucléaire**, pas (moins) de nucléaire :
 - Fermeture anticipée de réacteurs aux USA et... (rentabilité)
 - Projets en cours arrêtés (2 AP1000 aux USA en 2017 – 5G\$)
 - EPR Flamanville : 3,3 → 11 G€. Mise en service : 2012 → 2020...
 - Belgique : T2 et D3 fissurés, etc.

Selected Historical Mean Costs by Technology

LCOE values in US\$/MWh⁽¹⁾



LCOE : *Levelized Cost of Energy*

Prix de revient moyen sur la durée de vie de l'installation en \$/MWh (seuil de rentabilité)

LCOE analysis, Lazard, 2017 (pour USA)

En 2017

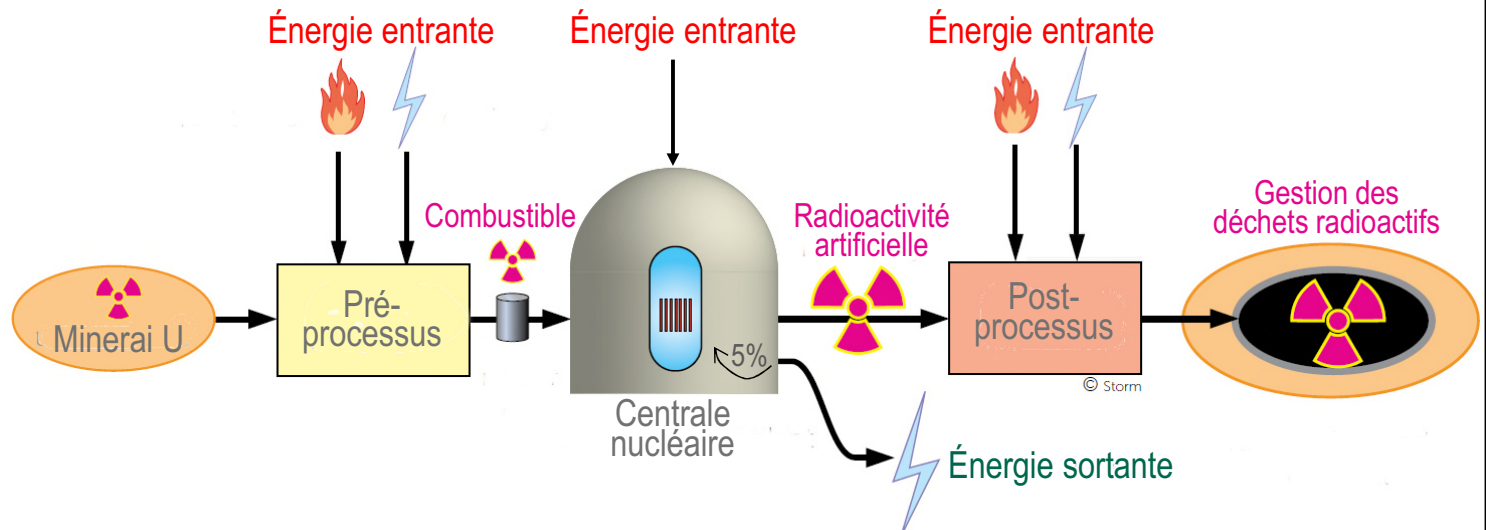
Nucléaire : > 100 €/MWh

PV et éolien : < 50 €/MWh

Mycle Schneider, The World Nuclear Industry Status Report 2018



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



1. Les pré-processus : extraction minerais U, broyage et concentration (yellow cake). Purification, enrichissement (U235 : 0,7→4-5 %) 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 minerais 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	- Minerais	à 0,1%
- Éolien	: 6 (10)	- Terrestre (marin)	

Rapport > 20 → idée du rapport des émissions de GES

* Plus de 90 % non recyclable du fait de la contamination radioactive.



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

- 8 fois plus que l'éolien
- 3 fois plus que le PV



Facteurs aggravants

Autres GES que le CO₂, non pris en compte

- Pas de données disponibles
 - Mais les pré-processus font largement appel
 - au fluor (100 000 t/an)
 - au chlore (50 000 t/an)
- émission de GES à fort potentiel de réchauffement.

Qualité du minerai d'uranium

- Point d'équivalence au charbon (CO₂) : teneur de $\pm 0,02$ %
- À quand ce point d'équivalence ?
 - Maintien de capacité actuelle du nucléaire (< 400 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
PV	:	40 (\pm selon la technologie)
Géothermie	:	45
Nucléaire	:	117 (et plus vu les inconnues et incertitudes)
Gaz naturel	:	650 (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.



Nucléaire et climat

I. Même avec des hypothèses basses, la filière du nucléaire produit largement plus de GES que les filières des énergies renouvelables.

II. La dette énergétique liée aux déchets radioactifs à longue durée de vie pourrait dépasser l'énergie nette jamais produite par la filière elle-même.

- De ce fait, mettrait le nucléaire au niveau du charbon en termes de GES.

III. Avec la diminution de la qualité du minerai d'uranium, l'extraction, le broyage et le raffinage produiront de plus en plus de GES :

- Dans quelques décennies, la quantité de GES émise par kWh nucléaire dépassera le niveau du kWh fossile.

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

...



Faut-il arrêter le nucléaire ?

1. Technique contre nature

Apparition et complexification de la vie avec la diminution de la radioactivité naturelle depuis des milliards d'années. Depuis 1945 : l'inversion.

2. Menace contre le génome

Homme et autres espèces. Instabilité génomique.

3. Éthique

Au profit de quelques uns aujourd'hui.

Au dépens des autres et des milliers de générations à venir.

4. Tchernobyl sur Meuse demain

« Un accident nucléaire majeur ne peut être exclu nulle part » (PF Chevet, président de l'*Autorité de sûreté nucléaire*, Le Monde, 2016).

– Tchernobyl : 5 x Belgique : 80 % des enfants malades de la radioactivité.

– Fukushima : 1 x Belgique fortement contaminée, 4/5 rejets en mer.

– 1957 : Windscale et Mayak. 1979 : Three Mile Island.

– Merci la chance : Blayais (1999), Forsmark (2006), etc.

5. Industrie illégitime

Convention de Paris (1960) : opérateurs déresponsabilisés, risque « assumé » par la population.

6. Climat

Pas une « solution » mais un frein à la « transition » énergétique.



BELGIQUE

Pour la fermeture immédiate des cinq réacteurs les plus dangereux

Argumentaire dans le questionnaire envoyé
aux partis politiques de Belgique
à propos du nucléaire,
dans la perspective des élections du 26 mai 2019

Voir www.findunucleaire.be

...



Annexe

...

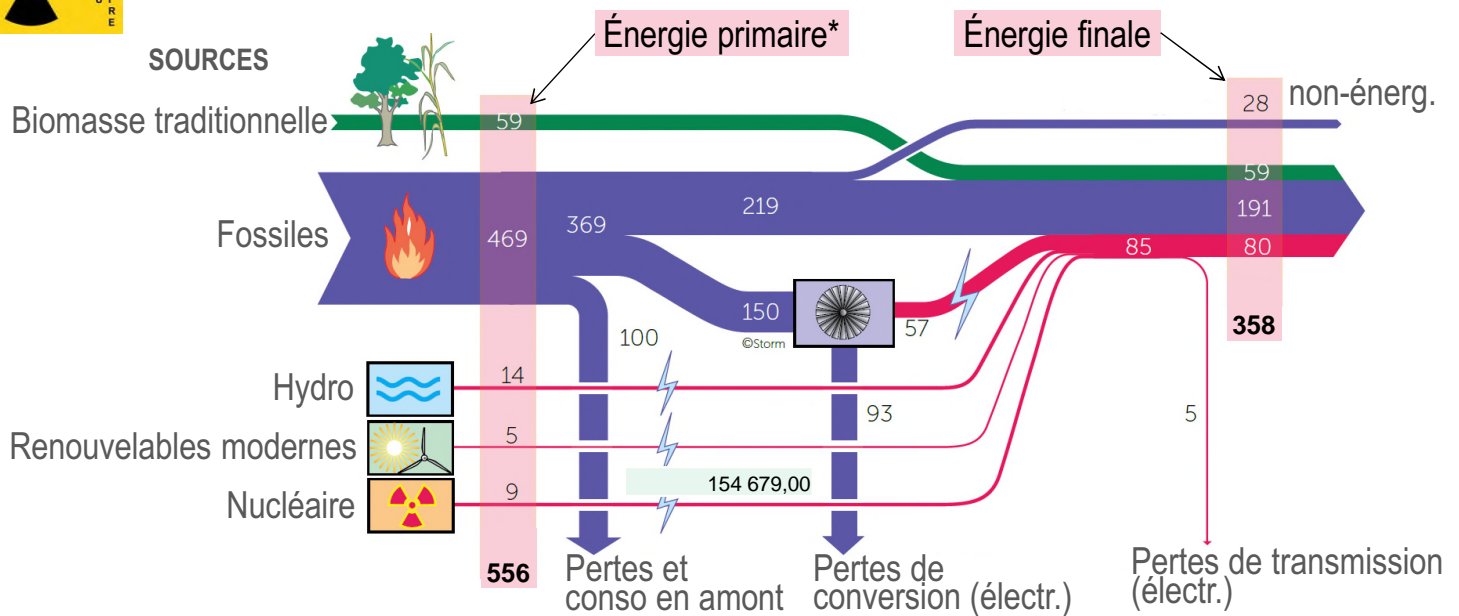


Communiqué du GIEC du 8 octobre 2018

« Limiter le réchauffement à 1,5 °C nécessiterait de modifier rapidement, radicalement et de manière inédite tous les aspects de la société ».

Traduction ?

Flux énergétiques mondiaux en 2014 (en exajoule)



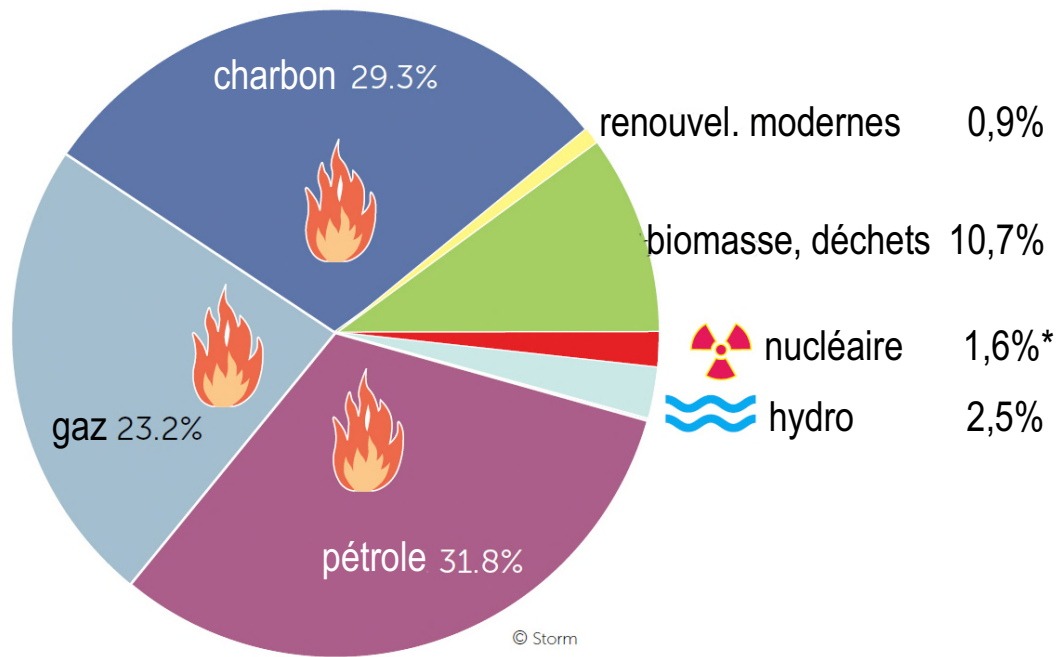
- E primaire : 556 EJ (10¹⁸ J, 13,3 Gtep, 154 679 TWh)**
soit 90 m³ d'équivalent-pétrole/s (± 2 fois le débit moyen de la Meuse à Liège)
- E finale : 358 EJ
- Pertes : 556 - 358 = 198 EJ (36 %)

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

** J : joule. EJ : exajoule. Gtep : milliard de tonnes d'équivalent-pétrole. TWh : terawattheure.



Répartition de l'énergie primaire (2014)



Les renouvelables :

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

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

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 (2018 : 413).
2006 : 368 GWe / 2.660 TWh (2017 : 363 GWe / 2.503 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.