

Académie des technologies – Commission énergie et changement climatique**Impact sur la santé des filières de production d'énergie : Evaluations comparatives sur les 50 dernières années.****Introduction**

En juin 2016, une alliance d'organisations environnementales a fait la une de l'actualité en publiant une étude¹ montrant que le charbon, principale source de production d'électricité de l'Allemagne, la Pologne et le Royaume-Uni entraînait chaque année le décès d'environ 30.000 personnes, dont plus de 1000 en France (par la pollution atmosphérique d'origine desdits pays). Le public reçoit épisodiquement de telles informations, issues de diverses sources et reprises aujourd'hui principalement par les réseaux sociaux. Il en reçoit très fréquemment sur l'énergie nucléaire. Ces informations alarmantes étant généralement parcellaires, sur telle ou telle filière énergétique, du nucléaire aux renouvelables, l'Académie des technologies pense utile de les mettre en perspective à partir de constats objectifs, analysés de façon comparable, en se focalisant sur les effets de santé publique qui sont l'objet de ces alertes : mortalité et maladies résultant d'accidents ou d'exploitation normale, chez les professionnels de ces filières aussi bien que dans la population.

Etudier ces risques, travailler sur toutes ces analyses ne doit pas faire oublier les gains, notamment pour la santé, apportés par les sources « anciennes » d'énergie, comme par exemple le charbon, qui ont permis, grâce à l'accès à l'électricité, d'améliorer en particulier de façon considérable la vie, la santé et l'espérance de vie de nombreuses populations depuis plus d'un siècle.

La force de telles analyses est leur objectivité, par le recensement et la mesure des effets qui se sont révélés au long des 50 dernières années pour la production d'énergie et tout spécialement d'électricité^A. Elles ont été publiées par des rapports d'organismes internationaux (ONU, UNSCEAR, OCDE, Union Européenne) montrant les différences des effets des différentes sources d'énergies (charbon, pétrole et gaz, nucléaire, hydraulique, éolien et solaire) pour une même quantité d'électricité produite.

En général, ces institutions publiques commandent « des rapports d'expertise », dont la définition est « l'opinion des experts consultés, sur la base des connaissances du moment ». Cela présente l'avantage qu'on peut s'appuyer sur un corpus de bonnes pratiques, partagés au sein des organismes de recherche dans le monde, qui sont pour l'essentiel les suivantes :

- les experts sont choisis sur la base de leurs compétences reconnues (notamment par leurs pairs dans le monde scientifique) et adaptées à la question posée;
- les experts déclarent leurs conflits d'intérêt, et s'abstiennent quand ces conflits rendent impossible la rédaction d'un rapport crédible;
- les sources d'information sont identifiées et traçables, cela renvoie pour l'essentiel à des publications scientifiques évaluées, et réduit donc le recours à la littérature « grise » et élimine les sources purement orales;
- la méthodologie d'analyse doit pouvoir être décrite;
- le rapport sépare nettement les faits issus des sources et les opinions et recommandations des experts;
- il existe un mécanisme de relecture critique;
- s'il existe plusieurs opinions divergentes parmi les experts consultés, ces différentes opinions sont données;
- le commanditaire de l'expertise est propriétaire du résultat, mais a pour pratique de le rendre public.

On peut actualiser ces rapports par des articles scientifiques postérieurs à ces rapports et issus d'organismes ou de revues soumises à comité de lecture. Enfin il n'est pas inutile de rappeler que nombre d'études de risques sur la santé sont faites indépendamment les unes des autres et différemment les unes des autres tant du point de vue méthodologique que du point de vue pays et périodes. Leur valeur est liée au respect des bonnes pratiques précédentes. C'est le cas pour les études citées ici.

En préalable, rappelons aussi (cf. Rapport de l'Académie des technologies sur la perception des risques^B) que la perception globale des risques par une population ne reflète pas une réalité "objective" ciblée sur certains effets comme ici la santé, mais qu'elle intègre de nombreux éléments, liés à l'histoire de cette population, à sa situation propre, à ses valeurs, à ce dont elle a été informée par les médias, etc. : l'image des accidents et de leurs impacts, les problèmes de pollution et d'environnement, les inégalités et la corruption, les questions de progrès et de développement durable, les menaces liées aux conflits armés et au terrorisme. De plus cette synthèse ne concerne pas les effets éco-systémiques et sociaux, notamment les conséquences des évacuations de populations.

Il faut aussi rappeler que les chiffres ci-dessous ne sont pas tous produits directement par des statistiques, mais contiennent aussi des évaluations des effets et donc des risques par des modèles. On est en effet capable, relativement facilement, de faire des statistiques sur des accidents mortels par exemple, dans les pays où des registres de santé existent. Cela peut se faire dans les domaines courants (accidents miniers, accidents de centrales, explosions...). Par contre, pour toutes les énergies, dans le domaine des faibles quantités, des faibles doses et des risques extrêmes, les statistiques sont plus difficiles à manier et il est nécessaire d'utiliser des modèles qui peuvent être sujets à débat². Dans ce qui suit, les chiffres issus de modèles épidémiologiques sont en italiques : les incertitudes liées aux modèles sont prises en compte par des fourchettes, avec une valeur basse et une valeur haute.

Les trois études présentées ici de façon chronologique (date de publication) respectent les bonnes pratiques mentionnées précédemment et présentent l'avantage de condenser l'ensemble des résultats disponibles en 2016.

^A Cette période de comparaison s'impose car elle est la seule pour laquelle toutes les sources sont substituables

^B Mai 2016, rédigé par Gérald Bronner et Etienne Klein. [La perception des risques](#) publiée en 2016 par l'Académie Ce document rappelle aussi que les évaluations comparatives de risques font penser à des risques qu'on n'a pas nécessairement en tête... La présente note sera suivie par d'autres notes sur la perception des risques dans le domaine de l'énergie.

Rapport ExternE³

L'Union européenne a lancé en 1991 un projet, qui a duré plus de 15 ans, visant à estimer les coûts environnementaux externes (externalités) des différentes sources d'énergie (charbon & lignite, pétrole et gaz, nucléaire, éolien et hydraulique) dont les répercussions sur la santé. Publiés de 1990 à 1995, les rapports de ce projet comportent plus de 3500 pages. Ils ont été mis à jour en 2005.

ExternE est une approche quantifiée dans laquelle chaque source d'énergie est évaluée individuellement et son empreinte écologique et sociale analysée. Cette approche est caractérisée par le « chemin d'impact » (impact pathway), dans lequel les émissions d'une source sont tracées avec leur dispersion dans l'environnement. L'effet des polluants dispersés est évalué.

De ces rapports, il ressort que par TWh⁴ produit le nombre de décès⁵, moyenné, en Europe (par accident ou par maladie) est le suivant⁶ :

Effets de la production d'électricité en (morts par par source primaire d'énergie (morts/TWh)					
	Morts par accidents		Effets dus à la pollution		
	dans le public	chez les professionnels	morts	maladie grave	maladie non grave
lignite	0,02	0,1	32,6	298	17676
charbon	0,02	0,1	24,5	225	13288
gaz	0,02	0,001	2,8	30	703
petrole	0,03		18,4	161	9551
biomasse			4,63	43	2276
nucleaire	0,003	0,019	0,052	0,22	

Si ces chiffres sont appliqués à l'Union Européenne (les 28 pays) qui, en 2014, a produit 3040140 GWh répartis selon le tableau ci après :

Charbon	779 060
Gaz	461 400
Pétrole	69 810
Nucléaire	831 800
Hydraulique	348 810
Éolien	271 330
Solaire	95 150
Géothermie	14 250
Biomasse	168 530

le nombre de décès annuels peut être estimé comme suit pour 2014 :

	GWh	Morts par TWh	Morts
charbon	779 060	24,5	19 087
gaz	461 400	2,8	1 292
petrole	69 810	18,4	1 285
biomasse	168 530	4,63	780
Nucléaire	830 950	0,074	61

Cette étude ExternE donne aussi les résultats suivants en « années de vie » perdues par GWh :

	Charbon	Pétrole	Gaz	Nucléaire
Années de vie perdues par Gwhe	0,35	2,2	0,1	0,02

Rapport OCDE⁷

En 2010 L'OCDE a publié un rapport comparant les effets du nucléaire à ceux des autres sources d'énergie. Dans son étude, l'OCDE publie le tableau des décès par sources d'énergie entre 1969 et 2000⁸.

A partir de cette étude, on peut dresser le tableau suivant du nombre d'accidents et du nombre de décès de 1969 à 2000. Attention il ne s'agit pas de décès par maladies chroniques mais uniquement de décès par accident : il s'agit de décès réels et non d'estimation; tous les accidents connus ont été répertoriés et les décès dus à ces accidents dénombrés.

	OCDE		non OCDE		MONDE	
	accidents	morts	accidents	morts	accidents	morts
charbon	75	2259	1044	18017	1119	20276
charbon chinois			819	11334		
charbon sans la chine			102	4831		
pétrole	165	3713	232	16505	397	20218
gaz naturel	90	1043	45	1000	135	2043
GPL	59	1905	46	2016	105	3921
Hydraulique	1	14	10	29924	11	29938
nucléaire	0	0	1	31	1	31

Interaction accidents nucléaires / santé⁹

1. Prise en compte de la catastrophe de Tchernobyl

Pour le nucléaire, il faut noter que les 31 décès figurant dans le tableau se réfèrent au seul accident connu à cette date, celui de Tchernobyl. Il n'y est fait état que des 31 décès déclarés comme accidents du travail de la centrale au sens strict; ce chiffre ne comprend pas les décès par irradiation dans les équipes d'intervention (les « liquidateurs ») qui ne font pas partie du dénombrement « classique ».

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), organisme des Nations Unies, a estimé dans un rapport de 2006¹⁰ incluant les liquidateurs et la population :

- un nombre de décès, dus possiblement aux radiations de Tchernobyl à 1650 (intervalle d'incertitude entre 700 et 3700) pour la période 1986 - 2005
- un nombre de 16.000 décès qui pourraient possiblement être attribués aux retombées radioactives de Tchernobyl entre 1986 et 2065
- 40 000 cas d'excès de cancer sur la même période 1986 – 2065.

On peut mettre ces données sous la forme du tableau suivant :

	Plages d'incertitude		
	mini	médian	maxi
Estimations des décès attribués aux radiations sur 1986-2005	700	1 650	3 700
Excès de cancers attribués aux radiations sur 1986-2065	15 000	40 000	130 000
Excès de décès par cancers attribués aux radiations sur 1986- 2065	6 700	16 000	38 000
Décès initiaux en 1985= 31			

Les chiffres présentés donnent un ordre de grandeur du nombre possible de cancers liés aux rayonnements, jusqu'en 2065, avec leur fourchette d'incertitude. En tout état de cause, si on considérait les décès par cancer entraînés par l'accident de Tchernobyl même les chiffres maximum sur la période 1986 - 2005 rapportés à une année (3700 sur 20 ans soit 185 par an) sont très inférieurs aux chiffres du tableau de ExternE appliqué à 2014 ci dessus pour les autres sources d'énergie.

2. Prise en compte de la catastrophe de Fukushima

Le rapport de l'OCDE est de 2010. Il est donc antérieur à la catastrophe de Fukushima suite au séisme et au tsunami qui ont fait 22 000 morts et disparus. De façon à présenter les données à jour en 2017, il est donc nécessaire de faire appel à d'autres publications internationales. Le rapport de 2013 de l'UNSCEAR (Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants) établit que l'accident nucléaire de Fukushima de 2011 n'a fait aucun décès directement comme conséquence de la radioactivité (2 morts emportés par le raz de marée, une chute et un arrêt cardiaque).

Les 10 décès enregistrés postérieurement parmi les travailleurs de la centrale¹¹ ne sont pas attribuables à une exposition aux rayonnements ionisants. Le bilan des études épidémiologiques conduites sur les habitants de la Préfecture de Fukushima¹² conclut qu'il n'y a pas de différence significative entre l'incidence annuelle du cancer de la thyroïde chez les enfants observée dans la préfecture de Fukushima et celles estimées sur la base d'un dépistage systématique dans des préfectures non touchées par les retombées de l'accident de Fukushima.

L'UNSCEAR¹³ estime que « pour la population touchée par l'accident, les taux de cancer devraient rester stables. Le Comité ne s'attend pas, s'agissant des futures statistiques du cancer, à des changements importants qui pourraient être attribués à une exposition aux rayonnements due à l'accident ». Il manque par contre l'impact indirect sur la santé de la population déplacée temporairement ou définitivement. Le tableau ci-dessus du rapport de 2010 de l'OCDE n'a donc pas à être modifié si on veut tenir compte de la catastrophe de Fukushima.

Au-delà des accidents liés aux différentes sources et décrits précédemment, on peut aussi évaluer le nombre des morts évités par la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ils sont étudiés dans l'étude ci-dessous pour la période 1970 – 2010 et concernent donc l'impact du nucléaire en service (pas les énergies renouvelables encore peu présentes sur cette période hors hydraulique)

En 2013, Hansen et Kharecha ont publié une étude « *Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power* »¹⁴ (mortalité et émission de gaz à effet de serre évités historiquement et dans le futur grâce au nucléaire) en mars et en avril une suite « *Coal and gas are far more harmful than nuclear power* »¹⁵ (le charbon et le gaz sont beaucoup plus dangereux que le nucléaire).

De ces études on peut extraire les valeurs suivantes qui laissent penser que dans les pays européens de l'OCDE le nucléaire a évité sur la période 1971-2009, soit sur 28 ans environ, 400.000 décès par rapport à une hypothèse où l'énergie électrique aurait été produite à partir de charbon. Le chiffre est similaire pour les Etats-Unis et pour le monde entier ce chiffre serait d'environ 1.200.000 décès.

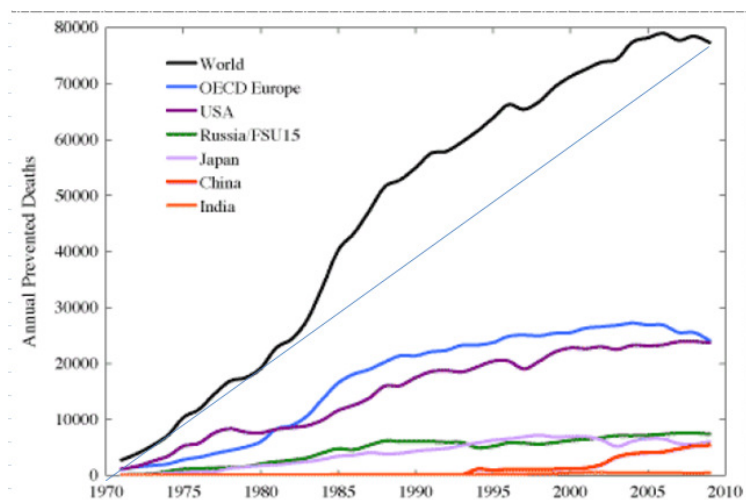


Figure 2. Mean net deaths prevented annually by nuclear power between 1971-2009 for various countries/regions. Ranges not shown but are a factor of ~4 higher and lower than the mean values.

Morts nettes moyennes évitées annuellement par le nucléaire entre 1971 et 2009 pour diverses zones ou pays. Les plages de variations ne sont pas indiquées mais sont d'un facteur 4 plus ou moins que la valeur moyenne

Commentaire final : des constats convergents

S'il n'est pas question de chercher dans le passé une projection certaine de l'avenir, les études sur le passé sont utiles pour éclairer le présent et l'avenir.

Les trois études présentées, factuelles, font apparaître des constats convergents (ces études comparatives ne signifient bien sûr pas que les effets sur la santé, et en particulier les décès, soient acceptables, quels que soient leurs niveaux.) :

- Les impacts de la pollution continue sont largement prépondérants par rapport aux accidents ponctuels ;
- Les niveaux sont très différenciés dans un sens décroissant depuis le lignite, le charbon et le pétrole, avec une baisse d'un ordre de grandeur pour le gaz et la biomasse, et encore un ordre de grandeur au moins pour le nucléaire.
- L'énergie nucléaire a évité de nombreux décès par rapport à un scénario où la fourniture des centrales nucléaires aurait été assurée par un panel de sources fossiles ; on peut conjecturer que le développement des énergies renouvelables ira dans le même sens.
- Les données ci-dessus montrent aussi que les effets de santé dans les pays hors OCDE sont malheureusement nettement supérieurs à ceux des pays de l'OCDE.

D'autres données sur l'accidentologie (une large bibliographie des sources mondiale de données des accidents se trouve dans l'étude suisse en référence¹⁶) montrent aussi que les progrès depuis 30 ans en prévention d'accidents, en sûreté industrielle, en santé publique dans tous les domaines énergétiques ont été et sont considérables. Hormis les effets climatiques attribués aux émissions de CO₂ et leurs différentes répercussions, l'ensemble des problèmes de sûreté liés à la production énergétique ont bénéficié de progrès constants et il existe une volonté d'accélérer encore les progrès pour la santé dans l'avenir.

Ce document ne prétend évidemment pas avoir fait le tour du sujet. Il reste à compléter en particulier par l'impact des énergies renouvelables autres que l'hydraulique.

¹ http://env-health.org/IMG/pdf/lifting_europe_s_dark_cloud_-_final_report.pdf

² Les chiffres estimés par le CIRC font d'ailleurs débat car ils tiennent compte d'un modèle appliquant la loi linéaire sans seuil qui selon certains surestime considérablement les risques liés aux radiations. Ceci a d'ailleurs conduit la CIPR dans la recommandation 66 page 48 de ses "Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique" Publication 103 à déconseiller, l'utilisation de modèles basés sur une relation linéaire et sans seuil (LNT en anglais) pour apprécier les dangers des radiations

³ voir sur http://www.externe.info/externe_d7/?q=node/6 (publiée uniquement en anglais)

⁴ Il est rappelé que 1TWh=1000GWh=1000.000 MWh=1000.000.000 kWh

⁵ Ne sont pas pris en compte les décès consécutifs au stress dû à la seule évacuation de personnes de leur habitat suite à des accidents (rupture de barrage, accident nucléaire, ou évacuations de zones minières ou inondations résultant de la mise en eau de barrages)

⁶ Article « Electricity generation and health » de Anil Markandya, Paul Wilkinson, disponible sur https://www.researchgate.net/publication/5965940_Energy_and_health_2_Electricity_generation_and_health_Lancet. Les impacts du CO₂ sur la santé ne sont pas pris en compte dans ces chiffres.

⁷ Disponible en français sur <https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6862-evaluation-risques.pdf>

⁸ Il faut bien noter que les chiffres de décès des deux études ne sont pas comparables car prenant en compte seulement les accidents pour l'OCDE alors qu'ils prennent en compte aussi les répercussions sur la santé pour l'étude ExterneE

⁹ Les accidents nucléaires tels que Fukushima ou Tchernobyl ont obligé à des évacuations durables de territoires significatifs ; ce qui est un problème même s'il n'y a pas de décès lié à l'irradiation. Les centrales nucléaires modernes sont telles que de telles évacuations ne devraient plus être nécessaires, même en cas d'accident grave.

¹⁰ (Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident , Elisabeth Cardis et al) voir <https://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2006/pr168.html>

¹¹ Publication IRSN du 9 mars 2016 [Les conséquences sanitaires de l'accident de Fukushima](#)

¹² Publication IRSN du 9 mars 2016 [Bilan des études épidémiologiques conduites sur les habitants de la Préfecture de Fukushima](#)

¹³ voir http://www.unscear.org/docs/revV1407898_Factsheet_F_ENG.pdf

¹⁴ Kharecha, P.A., and J.E. Hansen, 2013: Prevented mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power. *Environ.Sci.Technol.*, Disponible sur <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es3051197>

¹⁵ <https://climate.nasa.gov/news/903/coal-and-gas-are-far-more-harmful-than-nuclear-power/>

¹⁶ [Hirschberg et al : Severe accidents in the Energy Sector 1st Edition Swiss Federal Office of Energy 1998](#)