





ENERGIE NUCLÉAIRE, DE LA RADIOCHIMIE À LA PERCEPTION PUBLIQUE

C. Den Auwer¹, H. Michel¹, G. Creff¹, M-R. Beccia¹, D. Josse², F. Castagnolat², D. Provitolo³, S. Pérez⁴, G. Carle⁵, T. Pourcher⁵, S. Russo⁶, P. Steichen⁶, C. Drouot⁷, N. Glaichenhaus⁷

- 1 Université Côte d'Azur, CNRS, UMR 7272, Institut de Chimie de Nice, Nice
- 2 Service Départemental d'Incendie et de Secours des Alpes-Maritimes, Service de Santé et de Secours Médical, Nice
- 3 Université Côte d'Azur, CNRS, UMR 7329, Géoazur, équipe Aléas et Vulnérabilités, Sophia Antipolis
- 4 Université Côte d'Azur, UMR 7300 ESPACE, Nice
- 5 CEA/UNS Faculté de Médecine Université Côte d'Azur, BIAM UMR E 4320 TIRO-MATOs, Nice
- 6 Université Côte d'Azur, CNRS, UMR 7321, Groupe de Recherche en Droit, Economie et Gestion, Sophia Antipolis
- 7 Université Côte d'Azur, CNRS, UMR 7275, Institut de Pharmacologie Moléculaire et Cellulaire, Sophia Antipolis

Ce travail a bénéficié d'une aide du gouvernement français, gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du projet Investissements d'Avenir UCAJEDI portant la référence n° ANR-15-IDEX-01

1. Un projet transdisciplinaire créé autour de la perception du risque nucléaire



Premier réacteur de production de Pu, Hanford, WA, USA (1944)

Les risques nucléaires comprennent :

- ✓ la contamination chronique ou aiguë dans l'industrie nucléaire
- ✓ l'exposition en cas d'accident majeur ou d'attaque militaire
- ✓ les effets chroniques de faibles (à très faibles) doses dus à des effets de fond naturellement (uranium) ou artificiellement contaminés



Questionnement scientifique crucial et enjeux de société.

L'originalité de ce projet est de réunir au même niveau d'implication :

sociologues, géographes, juristes, biologistes, biochimistes, radiochimistes et sauveteurs d'urgence, phylosophe

Les objectifs :

- ✓ Travailler sur la perception du risque nucléaire
- ✓ Faire le lien entre perception et connaissances
- ✓ Renseigner sur les stratégies de gestion de crise

Sondage réalisé par l'IFOP en Mai 2013

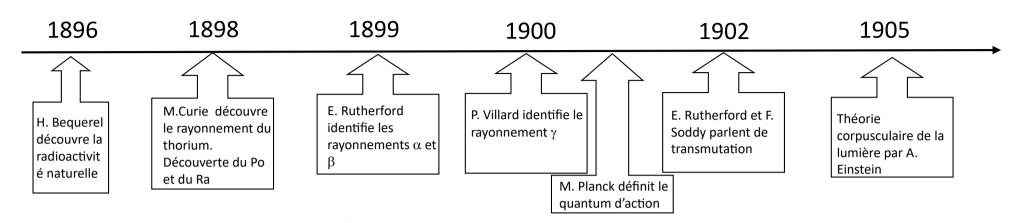
« Quelle est votre opinion sur le recours à l'énergie nucléaire en France ? »

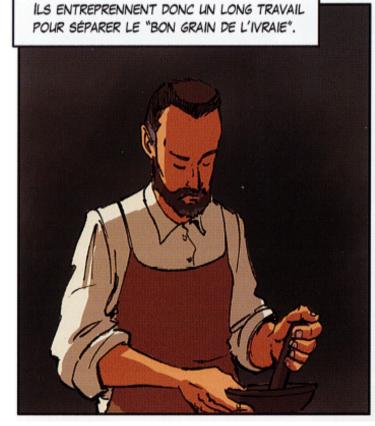
	Rappel Juillet 2011 ¹ (%)	Rappel Novembre 2011 ² (%)	Ensemble Juin 2013 (%)
Vous y êtes favorable	32	33	36
Vous êtes hésitant(e)	37	40	34
Vous y êtes opposé(e)	20	17	14
Vous n'avez pas vraiment d'opinion sur le sujet	11	10	16
TOTAL	100	100	100

¹ Sondage Ifop pour Le Monde réalisé par questionnaire auto-administré en ligne du 21 au 23 juin 2011 auprès d'un échantillon de 1006 personnes, représentatif de la population française âgée de 18 ans et plus.

² Sondage Ifop pour Sud Ouest Dimanche réalisé par questionnaire auto-administré en ligne du 8 au 10 novembre 2011 auprès d'un échantillon de 1008 personnes, représentatif de la population française âgée de 18 ans et plus.

2. Le nucléaire de l'ère Curie à la production d'énergie





C'EST-À-DIRE QU'ILS SÉPARENT LES COMPOSANTS DE LA PECHBLENDE PAR LES PROCÉDÉS HABITUELS DE L'ANALYSE CHIMIQUE.



ET, À CHAQUE ÉTAPE, ILS NE GARDENT QUE LE PRODUIT QUI MANIFESTE LE PLUS DE RADIO-ACTIVITÉ, POUR LE PURIFIER À NOUVEAU...



© Marie Curie, la scientifique aux deux prix Nobel, Céka, Yigaël, Ed. Faton, 2017





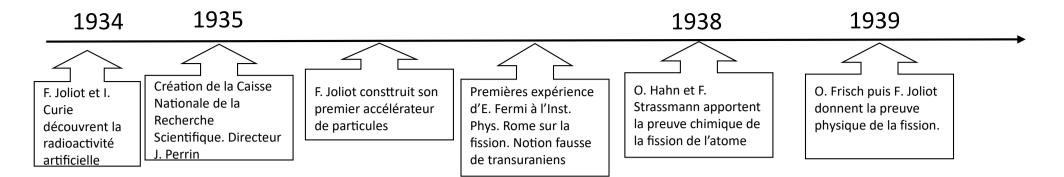
La séparation est effectuée par voies chimiques puis l'échantillon recueilli est mesuré grâce à l'appareil de P. Curie : le quartz piézo-électrique associé à une chambre à ionisation. Le radioélément est ainsi suivi au cours de la séparation.

✓ A partir de la pechblende, trouve une substance dont les propriétés sont proches de celles du Bismuth (environ 100 μ g/t!!) : le Polonium (Z=84)

✓ Le deuxième élément trouvé a des propriétés proches de celles du Baryum : le Radium (Z=88).

Prix Nobel de physique en 1903 et de chimie en 1911.

Radium 226 88 protons 138 neutrons Radon 222 86 protons 136 neutrons



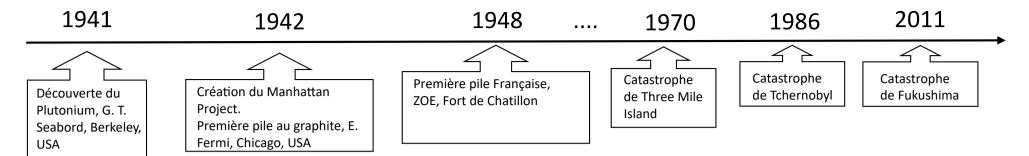
Découverte de la radioactivité "artificielle" par I. & F. Joliot



"Les rayons alpha transforment l'aluminium en émettant un neutron, en un phosphore qui n'existe pas dans l'écorce terrestre. Ce phosphore, que nous avons dénommé radiophosphore, est radioactif et se désintègre au cours du temps, en émettant des électrons positifs. Après sa désintégration, il aboutit au silicium ordinaire, qui existe dans la nature. De la même façon, nous avons pu préparer le radioazote et le radioaluminium à partir du bore et du magnésium. La radioactivité artificielle était découverte et, en même temps, la preuve chimique des transmutations était donnée pour la première fois"

F. Joliot, conf. du 7 Avril 1957.

Prix Nobel de chimie en 1935



La production d'énergie nucléaire aujourd'hui (chiffres AIEA 2016)

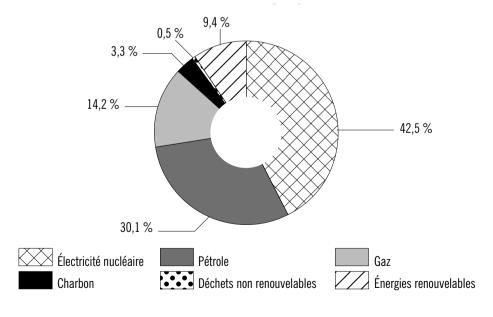
En France: 58 réacteurs en opération, 1 en construction

Part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité : 72.8 %

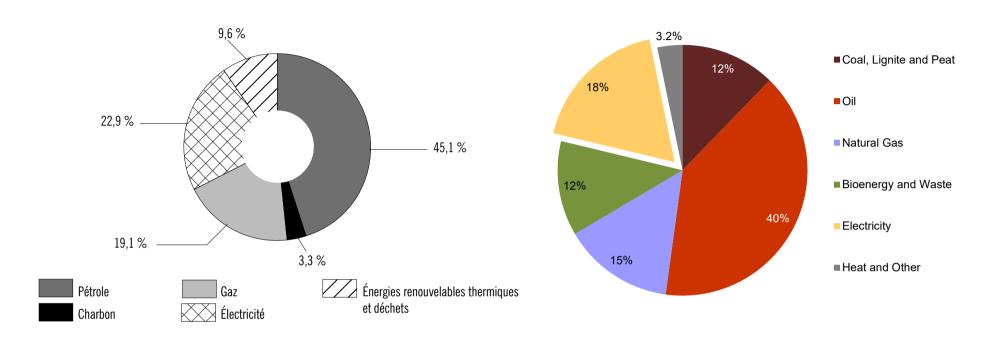
Dans le monde : 448 réacteurs en opération, 61 en construction (dont 21 en Chine, 7 en Russie, 5 en inde)

Part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité : environ 11 %

Consommation d'énergie primaire en France en 2015



Consommation finale d'énergie, 2015 - 2016 En France Dans le monde



En France : environ 67% de l'énergie finale consommée est issue des énergies fossile Dans le monde : 65%

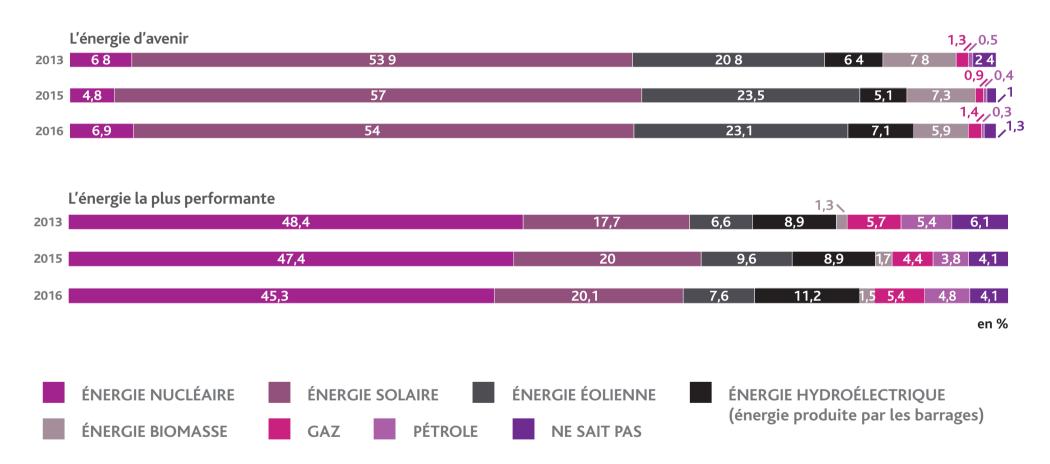
Dans le monde : La production totale d'électricité a augmenté de 2.6 % en 2016, alors que la croissance de la production d'électricité d'origine nucléaire a été de 2.1 % *

B. Fremaux, Energie : priorité au climat, note de Juin 2016, Institut Montaigne IAEA, Energy, Electricity and Nuclear Power Esimates for the Period up to 2050, Reference data series n°1, 2017

^{*}traduit de IAEA, Energy, Electricity and Nuclear Power Esimates for the Period up to 2050, Reference data series n°1, 2017

"Parmi les énergies suivantes, quelles sont celles qui correspondent le mieux aux qualificatifs"* :

Le baromètre IRSN 2017



^{*}Baromètre IRSN, de la perception des risques et de la sécurité par les Français, IRSN, Juillet 2017

3. La radioactivité peut-elle être naturelle?

- ✓ Radionucléides cosmogéniques : radionucléides produits par les interactions des rayons cosmiques avec les gaz et particules de l'atmosphère terrestre (³H, ¹⁴C, ...).
 - capture neutronique, capture de muons.
- ✓ Radionucléides primordiaux: radionucléides dont le temps de ½ vie est comparable ou supérieur à l'âge de la terre (4.5 10⁹ années).
- ✓ Radionucléides issus des chaines de décroissance naturelle (-> NORM) 3 séries : ²³²Th, ²³⁸U, ²³⁵U
 - Elles possèdent le Rn comme radionucléide
 - Elles se terminent par le Pb stable
 - Elles décroissent par une série de désintégration α et β .

TENORM: Technically Enhance Naturally Occuring Radioactive Materials

Concentration de NORM due à l'activité humaine et visant à être utilisés par l'industrie : activité minière, engrais, énergie fossile

✓ Radionucléides artificiels : radionucléides produits par l'homme et non présents naturellement sur terre (²³⁹Pu, ⁹⁹Tc ...)

Rappel: unité de mesure de radioactivité: Bq = 1 désint./s

Dose absorbée : Gray (Gy) = quantité d'énergie communiquée à une masse de 1kg. ancienne unité : Rad (1Gy = 100 rad)

Equivalent de dose : dose pondérée par la nocivité propre du rayonnement. Sievert (Sv) ancienne unité : rem = Röntgenequivalent man (1Sv = 100 rem)

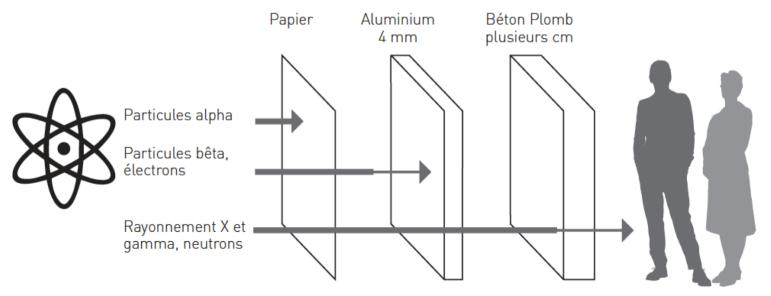
Débit de Dose absorbée : Gray/h ou /an

Débit d'équivalent de dose : Sv/h ou /an

W_R = facteur de pondération rayonnement

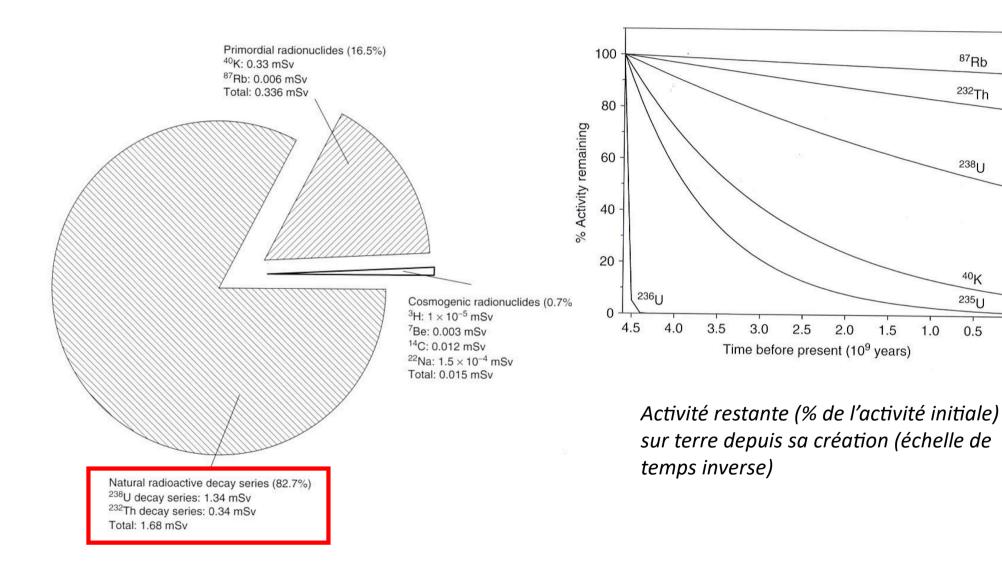
$$X, \beta, \gamma : W_R = 1$$

Neutrons $5 < W_R < 20$
 $\alpha : W_R = 20$



Rayonnement atténué

Dose moyenne annuelle mondiale et % de la contribution par radionucléide naturel

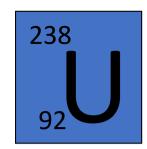


 ^{40}K

0.5

0.0

Radioactivité naturelle :



✓ Uranium naturel

238-U = 99.275 %

235-U = 0.711 %

234-U = 0.0056 %

Période = 2.46×10^5 années Période = 7.04×10^8 années

Période = 4.47×10^9 années

Journal of Environmental Radioactivity 189 (2018) 1–13



Contents lists available at ScienceDirect

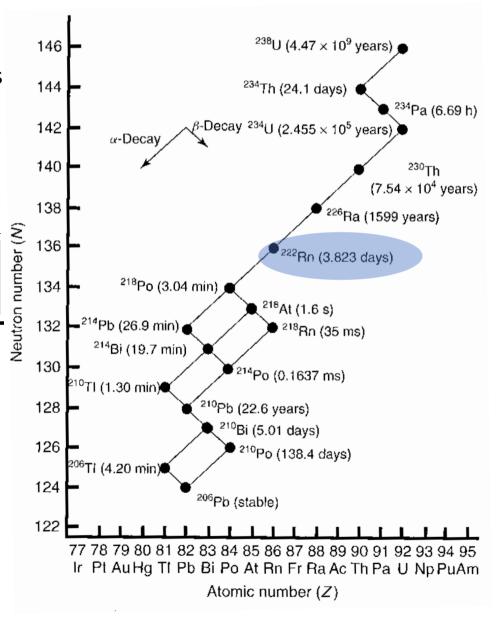
Journal of Environmental Radioactivity

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jenvrad

Characterization of radon levels in soil and groundwater in the North Maladeta Fault area (Central Pyrenees) and their effects on indoor radon concentration in a thermal spa

V. Moreno^{a,*}, J. Bach^b, M. Zarroca^b, Ll. Font^a, C. Roqué^c, R. Linares^b

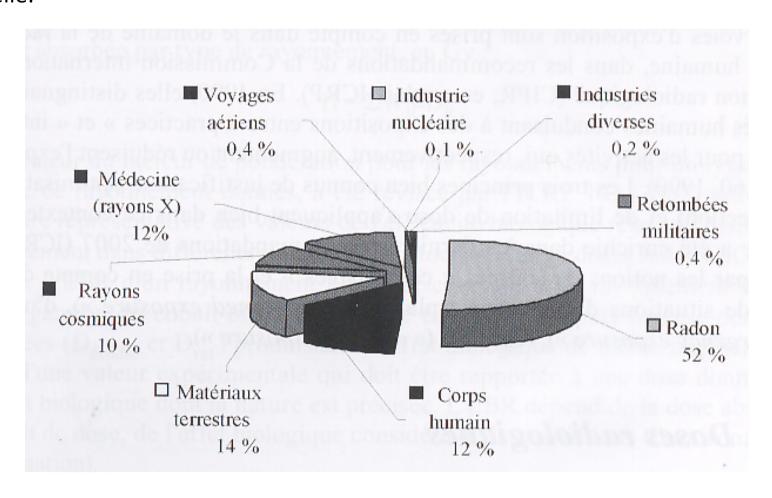




4. Sommes-nous tous exposés à la radioactivité artificielle ?

Quelles sont les sources de radioactivité dans l'environnement, moyenne nationale ?

La dose efficace moyenne totale reçu en France est de l'ordre de 4 mSv/an. Elle se décompose en environ 60 % de dose naturelle (environ 2.4 mSv/an) et 40 % de dose artificielle.



Quelles sont les sources de retombées artificielles (anthropogéniques)?

- ✓ La source la plus importante de retombées (stratosphériques) culmine en 1962, elle est caractérisée par un rapport isotopique 240-Pu/239-Pu = 0.18
- ✓ La seconde source de retombées (**troposphérique**) pourrait trouver son origine dans les essais de surface du Nevada Test Site (rapport isotopique 240-Pu/239-Pu = 0.035)
- ✓ Les deux autres sources de retombées :
- L'accident de **Tchernobyl** (April 1986) a augmenté la concentration de 239+240Pu dans l'air en 1986-1987 (6.1 PBq* de Pu), spécialement en Europe.
- La destruction en altitude du **satellite SNAP-9A** au dessus du Pacifique Sud en 1964 a contribué à hauteur de 0.6 PBq de ²³⁸Pu à l'inventaire global.

^{*1} Peta Bq = 10^{15} Bq

1945

Première injection de Pu dans l'atmosphère le 16 Juillet 1945 avec la première bombe au plutonium, "Trinity Site" Alamogordo, New Mexico, USA.

Août 1945 : Bombe atomique d'Hiroshima (U) Bombe atomique de Nagasaki (Pu).

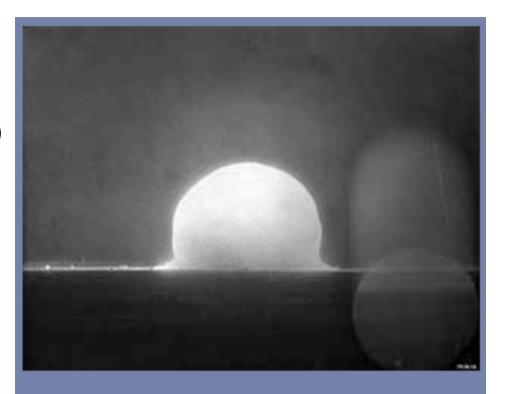
1980

Dernier test atmosphérique par la Chine.

1996

Dernier test nucléaire français.

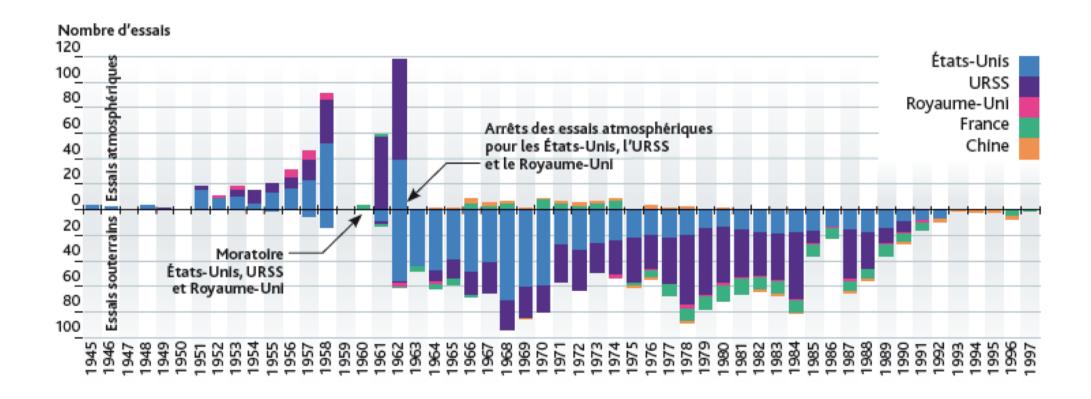
1998 Dernier test nucléaire Inde et Pakistan.



The Trinity Test took place at 5:29:45 a.m. Mountain War Time on July 16, 1945. These photographs of the Trinity Test were taken at 10,000 yards north made by an 18" Mitchell camera running at 120 frames per second (fps). Times given are approximate. Photographer: B. Brixner. (.006 second / Neg. TR018 1A)

543 tests nucléaires atmosphériques ont été réalisés entre 1945 et 1980.

Environ 6.52 PBq de ²³⁹Pu, 5.35 PBq de ²⁴⁰Pu et 142 PBq de ²⁴¹Pu ont été injectés dans l'atmosphère pendant les tests nucléaires militaires.



Les deux accidents majeurs de Tchernobyl (1986) et de Fukushima (2011)

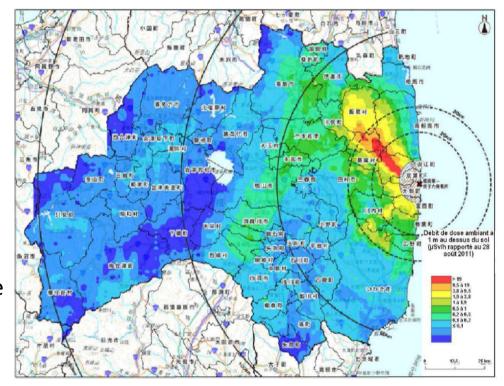
Fukushima « accident grave » classé 6/7 sur l'échelle de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

Préfecture de Fukushima

Cartographie du débit de dose à 1m du sol en μ Sv/h, le 28 Août 2011

« En mars 2011, plus d'un Français sur deux (56 %) estimaient « probable » qu'un accident comparable à celui de Fukushima puisse se produire un jour en France, 19 % estimant cette occurrence « très probable » »*

Chez les opposants -> 80% le pensent probable Chez les favorables -> 30% le pesent probable

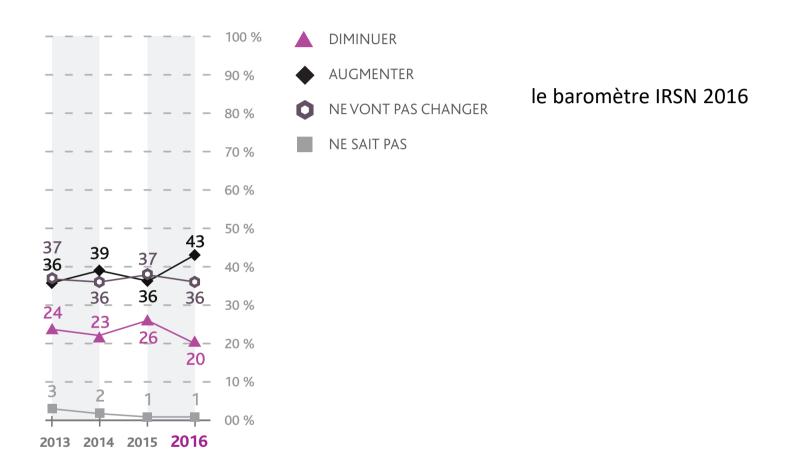




L'acceptation du nucléaire peut coéxister avec un sentiment de dangerosité.

^{*}In Emmanuel Rivière, Alain DelmestreLa perception du risque nucléaire en France, en 2012 : « il y a un avant Fukushima et un après Fukushima » Annales des Mines - Réalités industrielles 2012/3 (Août 2012), p. 7-12.

43% des Français estime que les risques liés aux installations nucléaires pourront augmenter dans les 10 ans à venir



« Cette vision de l'avenir peut refléter des inquiétudes sur l'état du parc nucléaire français dans la mesure où le vieillissement des centrales a été fortement mis en avant au cours des derniers mois. »*

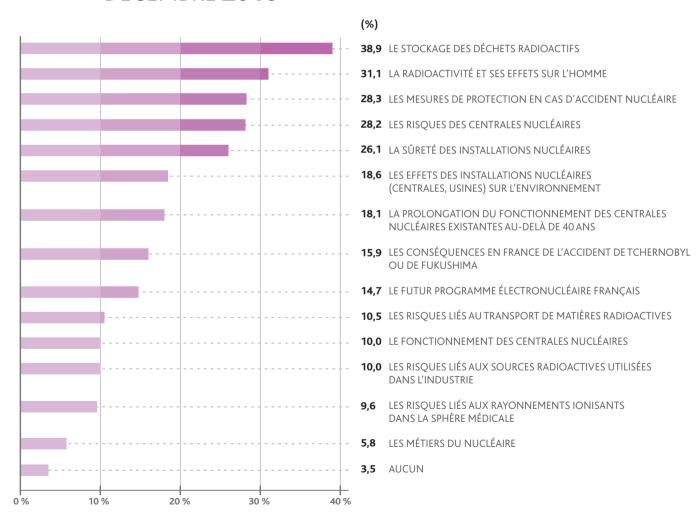
^{*}In Baromètre IRSN, de la perception des risques et de la sécurité par les Français, IRSN, Juillet 2017

5. Concusion, les sujets de préoccupation

"Dans le domaine du nucléaire, sur quels sujets voulez-vous être le mieux informé? »*

RÉSULTATS CUMULÉS
NOVEMBRE /
DÉCEMBRE 2016

le baromètre IRSN 2016



^{*}In Baromètre IRSN, de la perception des risques et de la sécurité par les Français, IRSN, Juillet 2017