

DOSSIER

Les enjeux de la

transition énergétique

du mix électrique



Qui est vert ?

Préambule

Quels sont les enjeux de la transition énergétique aujourd'hui ?

Les énergies renouvelables ont une incidence sur les cinq variables du développement durable, à savoir **le social, l'environnemental, l'économique, la politique et la géopolitique**. Moins nocives pour l'Homme, les énergies renouvelables permettraient de tendre vers : plus **d'indépendance énergétique** vis à vis des pays exportateurs d'énergies fossiles, un **impact environnemental moindre**, des **économies locales revalorisées**.

Dans ce dossier, nous apporterons un regard centré sur les enjeux **d'une transition énergétique du mix du réseau électrique européen**.



Sommaire

01	L'indépendance énergétique et géopolitique.	03
	COMPRENDRE L'INDÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE.	04
	ENJEUX GÉOPOLITIQUES DE L'INDÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE.	05
	LA FRANCE HYPER-DÉPENDANTE DE L'APPROVISIONNEMENT EN MATIÈRES PREMIÈRES.	07
	L'INDÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE, UN ENJEU D'AVENIR.	11
02	Le dérèglement climatique.	12
	RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE CO2 ET LE BILAN CARBONE LIÉ À L'ÉNERGIE.	13
	LE DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE ALTÈRE LES CONDITIONS DE VIE SUR TERRE.	15
	ANALYSES DES CYCLES DE VIE DES DIFFÉRENTS TYPES DE MOYENS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ.	16
03	Les risques de l'énergie.	20
	BILAN HUMAIN LIÉ AUX PRINCIPALES SOURCES D'ÉNERGIE DANS LE MONDE.	21
	LES EFFETS NOCIFS DE L'INDUSTRIE CHARBONNIÈRE EN EUROPE.	28
	LES CRAINTES ASSOCIÉES À L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE.	29
	FOCUS SUR LE TRAITEMENT ET LE STOCKAGE DES DÉCHETS NUCLÉAIRES.	36
04	L'essor économique des énergies renouvelables.	43
	L'INDUSTRIE DES RENOUEVABLES, UN SECTEUR INDUSTRIEL À FORT CAPITAL HUMAIN NON DÉLOCALISABLE.	44
	L'EMPLOI EN CAS D'UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE.	47
	RATIO PRODUCTION ET NOMBRE D'EMPLOIS CRÉÉS PAR FILIÈRE EN FRANCE.	50



01

Indépendance énergétique et géopolitique.

COMPRENDRE L'INDÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE

Tout d'abord, de quoi parle-t-on lorsque l'on évoque l'indépendance énergétique ? L'indépendance énergétique d'un pays fait état de **son autonomie vis à vis de son besoin en énergie**. On appelle **taux d'indépendance énergétique** le rapport entre les productions et les consommations nationales d'énergies primaires (charbon, pétrole, gaz naturel, uranium, hydraulique, autres énergies renouvelables).

Un taux supérieur à 100% signifie que **la production nationale est supérieure à la demande intérieure**, ce qui en fait un solde exportateur. L'unité de mesure de l'indépendance énergétique est souvent la « tonne équivalente pétrole » (tep).

Les énergies naturellement disponibles et directement utilisables que l'on qualifie de « primaires » incluent **les énergies fossiles** (pétrole, le charbon, le gaz naturel), **fissiles** (l'uranium) **ou renouvelables** (vent, hydraulique, biomasse, rayonnement solaire, géothermie). A noter que l'électricité présente à l'état naturel, comme les éclairs ou l'électricité statique, n'est d'ailleurs pas exploitable.

L'indépendance énergétique d'un pays représente son autonomie liée à son besoin en énergie.



ENJEUX GÉOPOLITIQUES DE L'INDÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE

Atteindre l'indépendance énergétique est un sujet mis en avant dans la loi sur la transition énergétique. Mais pourquoi ?

Tout d'abord parce qu'être autonome énergétiquement, c'est **éviter tout problème d'approvisionnement** (notamment en cas de conflits avec les pays producteurs). Par ailleurs, l'indépendance est importante sur le plan économique puisqu'elle permet **de maîtriser et stabiliser le coût de l'énergie**, ce qui est difficile quand certains pays - seuls ou réunis en cartel, influencent les prix.

Éviter tout problème d'approvisionnement et maîtriser les coûts de l'énergie.

On se rappelle évidemment du choc pétrolier de 1973, dont les conséquences sur le prix et l'approvisionnement du pétrole se sont mesurées dans le monde entier. Plus récemment, de nombreuses guerres ont

également eu des conséquences sur les enjeux énergétiques : la guerre en Irak en 2003 ou, plus récemment, en Ukraine en 2014.



Un exemple de situation complexe en termes d'indépendance énergétique est celui de **l'Union européenne vis-à-vis de la Russie**. Selon les chiffres d'Eurostat, 40% des importations de gaz en UE proviennent du gaz russe¹. Rémi Bourgeot², économiste spécialiste de la politique européenne, explique que « *l'énergie est au cœur de la relation Europe-Russie* ». La crise ukrainienne de 2014 a donc été centrale pour la question énergétique dans la mesure où :

- elle a montré (encore une fois) que **la géopolitique a une influence sur les conditions d'approvisionnement** d'un pays, et, lorsque ce dernier est fortement dépendant des importations, sur les conditions de sa subsistance même ;
- elle a également montré que ces questions de sécurité d'approvisionnement ont **une influence jusqu'aux consommateurs finaux** eux-mêmes.

La rupture des approvisionnements gaziers en provenance de la Russie vers l'Ukraine a eu lieu en plein hiver 2008-2009 : des ménages ce sont ainsi retrouvés privés de chauffage, ce qui – en Ukraine – peut vite devenir compliqué...

Notons enfin que les conflits géopolitiques autour de l'énergie sont **bel et bien réels** et que les relations entre les pays **sont influencées par leurs intérêts énergétiques**. L'indépendance énergétique des pays est donc d'une grande importance.

Les énergies renouvelables, disponibles localement, constituent ainsi bonne alternative pour atteindre un haut taux d'indépendance.

1 : EC Europea ; "From where do we import energy and how dependent are we?", 2018

2 : La Croix ; "Rémi Bourgeot : "L'énergie est au cœur de la relation Europe-Russie"

LA FRANCE HYPER-DÉPENDANTE DE L'APPROVISIONNEMENT EN MATIÈRES PREMIÈRES

En 2019, le calcul établi par le Ministère de la Transition écologique attribue à la France un **taux d'indépendance énergétique de 54,6%**³. Selon lui, la consommation

primaire d'énergie de la France a été de 245,35 Mtep (Million de tonnes équivalent pétrole) et la production d'énergie primaire de 134 Mtep.

Tableau : Évolution du taux d'indépendance énergétique en France depuis 1973.

Valeur en Million de tep	1973	1990	2002	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Total production primaire	43,5	111,2	135,5	138	139,3	139,9	132,2	131,9	137,7	134
Électricité primaire	7,9	86,7	119,5	118,7	121,7	121,3	113,0	111,1	116,6	113,0
<i>dont nucléaire</i>	3,8	81,7	113,8	110,4	113,7	114	105,1	103,8	107,6	104
<i>dont hydraulique, éolien, photovoltaïque</i>	4,1	5	5,7	8,3	8	7,3	7,9	7,3	9,0	9,0
Énergies renouvelables thermiques et déchets	9,8	10,7	10,9	17,6	16,2	18,5	19,5	19,4	19,9	20,1
Pétrole	2,2	3,5	2,4	1,2	1,2	1,1	1,02	0,99	0,94	1
Gaz naturel	6,3	2,5	1,4	0,3	0	0				
Charbon	17,3	7,7	1,2	0,1	0,1	0	0	0	0	0
Consommation d'énergie primaire	182,4	224,6	266,6	259,4	249,5	253,4	242,5	248,2	248,7	245,35
Taux d'indépendance énergétique (en %)	23,9	49,5	50,8	53,2	55,8	55,2	54,5	53,14	55,4	54,6
Taux d'indépendance si l'électricité d'origine nucléaire est considérée comme importée	21,77 %	13,13 %	8,14 %	10,64 %	10,26 %	10,22 %	11,18 %	11,32 %	12,10 %	12,23 %

Source : Ministère de la transition écologique et solidaire.

3 : Ministère de la transition écologique et solidaire : " Bilan énergétique de la France en 2019". 2020

Des observateurs reprochent à l'indicateur officiel de ne pas tenir compte du fait que **100% du combustible nucléaire est actuellement importé**. Par ailleurs, le terme « électricité primaire » indiqué ci-dessus porte à confusion. Dire que l'électricité est une « source d'énergie » est même un abus de langage. Il est plus juste de la qualifier d'« énergie secondaire » ou de « vecteur énergétique ».

UNE FORTE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ISSUE DU NUCLÉAIRE

La France se distingue des autres pays européens du fait de **sa forte production d'électricité par le nucléaire**. En effet, avec 56 réacteurs nucléaires⁴, le parc français a permis une production électrique nationale de 335,4 TWh en 2020 (-11,6% par rapport à 2019). Cela représentait ainsi **67,8% de la production d'électricité française**⁵.

En considérant la production d'électricité à partir d'uranium comme de l'énergie importée, la production d'énergie primaire française baisse

de 104 Mtep ce qui ramène **le taux d'indépendance à 12,23%**. De plus, en considérant qu'une part de l'électricité est exportée, le taux d'indépendance énergétique en France serait aux environs de 10%.

Plus aucune mine d'uranium n'est présente sur le sol français.

Il faut ensuite savoir que, depuis 2001, **plus aucune mine d'uranium n'est présente sur le sol français**⁶. La France est donc obligée d'acheter ou de produire de l'uranium à l'étranger. Selon la World Nuclear Association, **30% de l'uranium utilisé viendraient du Niger**, où l'entreprise française Areva possède plusieurs mines d'uranium. Les 70% restants viendraient du Kazakhstan, de l'Australie et du Canada, qui sont les plus gros producteurs mondiaux d'uranium⁷. Si les relations entre la France et ces pays venaient à se détériorer, **l'approvisionnement en uranium pourrait être compromis**. En réalité la France n'est donc pas si indépendante, du moins énergétiquement parlant.

4 : [World Nuclear Association : "World Nuclear Performance Report 2020"](#)

5 : [Rte : "Bilan électrique 2020"](#)

6 : [IRSN : "Les sites miniers d'uranium", 2017](#)

7 : [World Nuclear Association : "World Uranium Mining Production", 2020](#)

UNE TRÈS FORTE DÉPENDANCE VIS À VIS DES ÉNERGIES FOSSILES

Le pays est également très dépendant du pétrole, du gaz et du charbon. Depuis 2015, la France dépend totalement de l'extérieur pour ses

besoins en gaz naturel et en charbon⁸. Pour le pétrole, le taux d'indépendance très faible montre aussi la forte dépendance de notre pays vis-à-vis de l'extérieur pour son approvisionnement en cette énergie.

Tableau : Importation d'énergie en France par source de provenance.

Combustible	Quantité importée (Mtep)	Part de la production électrique	Taux d'importation	Pays d'approvisionnement
Uranium	99	70,6%	100%	Canada, Australie, Niger, Kazakhstan, Russie.
Gaz	39,1	7,2%	98%	Norvège, Russie, Pays-Bas, Nigeria, Algérie, Qatar
Charbon	7,3	0,3%	99%	USA, Australie, Colombie, Russie, Afrique du Sud, Allemagne, Colombie.
Pétrole	49,72	0,4%	99%	Russie, Arabie Saoudite, Nigéria, Norvège, Algérie ; Libye, Kazakhstan, USA, Russie

Source : EDF, Ministère du développement durable, Connaissance des Énergies, World Nuclear Association, INSEE, RTE

8 : Ministère de la transition écologique et solidaire : " Bilan énergétique de la France en 2019", 2020

Finalement, pour atteindre cette indépendance énergétique, il est nécessaire **de développer et d'augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique français**. Elles sont un atout qui permet de s'affranchir des enjeux géopolitiques et des prix que

les marchés internationaux imposent, de diversifier les moyens de production et les sources d'approvisionnement et enfin, **de sécuriser l'approvisionnement en énergie** grâce aux sources d'énergies renouvelables qui sont abondantes et disponibles localement.



L'INDÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE, UN ENJEU D'AVENIR

En conclusion de cette première partie, **l'indépendance énergétique représente donc un enjeu d'avenir**. En favorisant une production d'énergie locale, notre pays limiterait ses importations. Cela aurait pour effet direct plus d'indépendance énergétique, tout en favorisant l'émergence de territoires privés d'électricité. Cela impliquerait également le développement des énergies renouvelables.

Dans la deuxième partie de ce dossier, nous verrons comment mieux **comprendre les intérêts des énergies renouvelables pour notre planète ainsi que pour l'Homme**.

Nous pouvons enfin conclure sur cette citation de Louis Cartou : *« L'énergie c'est plus que la puissance, c'est la vie même qui en dépend : sans soleil toute vie cesse, sans énergie, il n'y a plus ni industrie, ni agriculture, ni transports. Dans ces conditions, celui qui détient l'énergie exerce sur celui qui en dépend un pouvoir absolu de vie ou de mort »*.⁹



9 : Louis Cartou ; « La politique de l'énergie », 1983



02

Le dérèglement climatique.

RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE CO₂ ET LE BILAN CARBONE LIÉ À L'ÉNERGIE

Les objectifs principaux de la **loi de transition énergétique** pour la croissance verte sont multiples. On y retrouve notamment la lutte contre le dérèglement climatique, la préservation de l'environnement pour les générations futures et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Rappelons tout d'abord quelques bases. L'air est un mélange de plusieurs gaz. Il est naturellement composé de 78% d'azote, 21% de dioxygène et 1% d'autres gaz (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, l'ozone, etc.). Parmi ces gaz rares figurent **des gaz dits « à effet de serre » (GES)**.

Il existe des gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère, indispensables à la vie sur Terre.

L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet la vie sur Terre. Il permet d'avoir une température moyenne de + 15°C sur Terre au lieu de -18°C.



Ces gaz captent en effet une partie des rayonnements solaires et absorbent les infrarouges émis par la Terre. La vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'ozone et le protoxyde d'azote sont les principaux **GES naturellement présents dans l'atmosphère**. Le plus abondant dans l'atmosphère étant la vapeur d'eau (H₂O), qui contribue le plus à l'effet de serre naturel. Le CO₂ est naturellement rare dans l'atmosphère, et contribue à l'effet de serre à quantité égale avec la vapeur d'eau par exemple.

LES ÉMISSIONS DE CO₂ RESPONSABLES DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE

Les activités humaines, principalement l'extraction ou la combustion des énergies fossiles, sont responsables de **l'émission de GES additionnels**. Le GES le plus émis par l'activité humaine est le CO₂.

En 2016, le CO₂ représentait 72% des gaz à effet de serre anthropiques¹⁰.

Ces émissions sont principalement issues des transports, des procédés industriels, des secteurs résidentiel et tertiaire. Pendant la période préindustrielle, la concentration¹¹ de CO₂ dans l'atmosphère était de 278 ppm (particules par million). De nos jours, elle est autour de 410,5 ppm¹².

Cette forte concentration de CO₂, suivie de la déforestation, **intensifie l'effet de serre et cause le réchauffement climatique**. Elle cause aussi la destruction de la couche d'ozone, le changement de croissance et de nutrition des plantes et l'acidification des océans.



10 : [Ministère de la Transition Ecologique "Chiffres clés du Climat", 2019](#)

11 : [Sud Ouest : "Les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère battent des records", 2018](#)

12 : [WMO : "Bulletin de antl'OMM sur les gaz à effet de serre" ; 2019](#)

LE DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE ALTÈRE LES CONDITIONS DE VIE SUR TERRE

Il y a de **nombreuses conséquences sur l'environnement** : la désertification ; la fonte des glaces ; l'augmentation du niveau de la mer et bien d'autres effets, souvent catastrophiques. À titre d'exemple, les régions Amérique de Nord et Europe du Nord connaissent une hausse des précipitations¹³, tandis que le sud de l'Afrique, le Sahel et certaines parties de l'Asie du Sud connaissent une baisse des ces dernières.

Une étude portant sur le réchauffement climatique montre que nous allons vers un monde de plus en plus désertique¹⁴. Cela concerne aussi bien les pays développés que les pays du sud. L'étude montre notamment que l'Espagne, Italie, la France (la partie sud) subirait de fréquents phénomènes de sécheresse. Elle montre également que **d'ici 2050, 24 à 32 % des terres émergées pourraient être désertiques**. Cela causerait notamment des problèmes migratoires et des

problèmes agricoles. Toujours selon la même étude, le réchauffement climatique serait responsable des milliers de déplacés à cause des catastrophes naturelles.

D'ici 2050, 24 à 32% des terres émergées pourraient être désertiques.

Les océans sont des réservoirs naturels de CO₂. Cependant, une forte concentration de CO₂ dans les océans forme une réaction chimique qui acidifie les eaux. Pendant la période préindustrielle, le pH des océans était d'environ 8,15, il est d'environ 8,05 de nos jours. **Plus il y a de CO₂ dans l'atmosphère, plus les océans seront acidifiés**. Certains êtres-vivants (mollusques, coraux) auront du mal à survivre dans leur habitat et seront moins nombreux. Les poissons seront aussi affectés par ce phénomène. L'ensemble de la chaîne alimentaire est donc en péril.

13 : [Global Climat ; "Vers 410 ppm de CO₂ en 2017"](#)

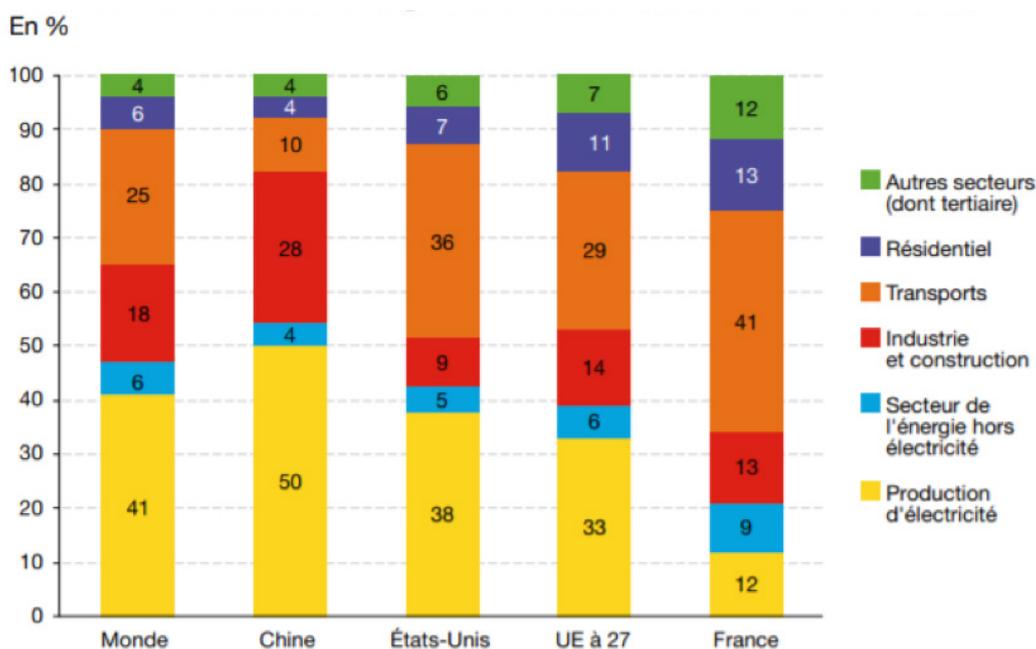
14 : [Site officiel de Climate Challenge](#)

ANALYSES DES CYCLES DE VIE DES DIFFÉRENTS TYPES DE MOYENS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

La production d'électricité est à l'origine de **41% des émissions de CO2 dues à la combustion d'énergie dans le monde en 2018**¹⁵ selon l'Agence Internationale de l'Énergie. En France, 20,35 millions de tonnes de CO2 dues à la production d'élec-

tricité ont été émises la même année, soit une baisse de 28,06% par rapport à 2017. Les sources de ces émissions sont pour la majorité les combustibles fossiles (charbon, fioul, gaz)¹⁶.

Origine des émissions de CO2 dues à la combustion d'énergie, 2018



Source : AIE, 2020

Source : Ministère de la Transition Ecologique, via les données de l'AIE, 2020

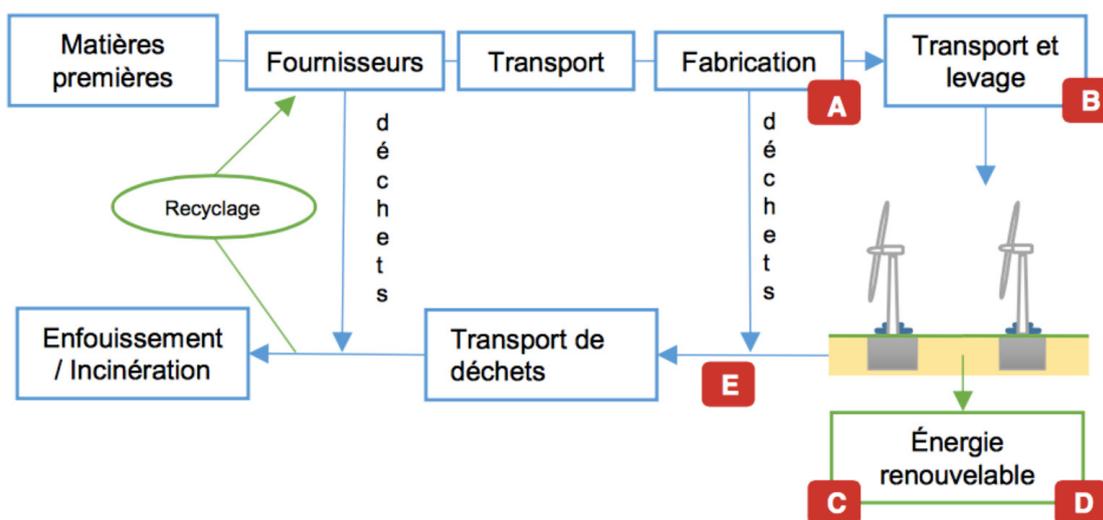
15 : Ministère de la transition écologique et solidaire ; Chiffres clés du climat France, Europe et Monde, 2021

16 : Rte : "Bilan électrique 2020"

Cela ne correspond qu'au CO₂ émis durant la production. Mais pour pouvoir comparer les moyens de production entre eux en termes d'émissions, il faut aussi prendre en compte les émissions dues à la fabrication, l'installation, la maintenance et le démantèlement des centrales. Pour cela on utilise **l'analyse du cycle de vie (ACV)**. Cet indicateur s'intéresse aux impacts environnementaux d'un produit ou d'un ser-

vice sur l'ensemble de son cycle de vie - de l'extraction et du traitement des matières premières, des processus de fabrication, du transport et de la distribution, de l'utilisation et de la réutilisation du produit fini et, finalement, du recyclage et de la gestion des déchets en fin de vie.

Par exemple, pour un parc éolien, le cycle de vie peut se présenter ainsi :



Source : ADEME « Impacts environnementaux de l'éolien français », 2015

Cette analyse du cycle de vie s'applique aux différentes technologies¹⁷ utilisées pour produire de l'électricité que sont les combustibles fossiles (charbon, fioul ou gaz), le nucléaire et les énergies renouvelables (éolien, solaire ou hydraulique). On observe alors qu'une centrale à charbon émet en moyenne **1060 g de CO2 par kilowattheure (kWh) produit** et 730 g pour une centrale

au gaz. Pour les énergies renouvelables, un kWh de solaire photovoltaïque émet entre 50 et 150 g de CO2 (cela dépend du lieu de fabrication des panneaux photovoltaïques), **un kWh d'éolien** 3 à 22 g, et un kWh d'hydraulique 6 g de CO2. Quant au nucléaire, en tenant compte du futur démantèlement des centrales vieillissantes, 1 kWh d'électricité produite représente 6 g de CO2 émis.

Émissions directes de CO2 par source d'énergie

	 Eolien	 Eolien en mer	 Photovoltaïque	 Hydraulique	 Géothermie	 Nucléaire	 Charbon	 Fioul	 Gaz
Émissions de CO2 amont	14,1 g	15,6 g	55 g	6 g	45 g	6 g	89 g	102 g	67 g
Émissions de CO2 combustion	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	969 g	628 g	351 g
TOTAL	14,1 g	15,6 g	55 g	6 g	45 g	6 g	1060 g	730 g	418 g

Source : ADEME, bilan GES

La comparaison entre les moyens de production est donc plus réaliste en prenant en compte l'ACV et montre bien que **les combustibles fossiles ne devraient plus être une option pour produire de l'électricité**, au vu de leur important taux d'émission de CO₂ au cours de leur cycle de vie.

Une centrale à charbon émet en moyenne 1 060 g de CO₂ par kWh produit, contre 3 à 22 g pour une éolienne.

Bien qu'elles n'aient pas un bilan carbone totalement neutre, les énergies renouvelables, aussi dites vertes, et le nucléaire émettent bien moins CO₂. Au premier abord, **les énergies vertes et le nucléaire resteraient les moyens** de production les plus respectueux de l'environnement au vu de leurs faibles émissions de CO₂. Il faut tout de même garder à l'esprit que le nucléaire émet des déchets radioactifs que l'on ne sait pas encore recycler et qui doivent être stockés sous terre ou dans des entrepôts.



Pour mieux comprendre les intérêts des énergies renouvelables pour notre planète ainsi que pour l'homme, nous vous invitons à découvrir la troisième partie de notre dossier sur les enjeux de la transition énergétique du réseau électrique européen, en abordant les risques et impacts des énergies fossiles et fissiles.



03

Les risques de l'énergie.

BILAN HUMAIN LIÉ AUX PRINCIPALES SOURCES D'ÉNERGIE DANS LE MONDE

Dans son rapport¹⁸ sur les risques d'accidents des filières énergétiques de 1969 à 2000, l'OCDE fait une étude comparative du nombre d'accidents et de décès causés par les différentes sources d'énergie. Celui-ci se base sur les données de l'Institut Paul Scherrer (IPS). Cette étude recense **le nombre d'accidents et de décès immédiats**

causés par source d'énergie. Ces chiffres ne tiennent compte que des décès causés par l'accident et non ceux causés chroniquement. Par exemple, l'étude ne donne que des statistiques liées à l'accident de Tchernobyl en lui-même et ne comptabilise pas, notamment, les décès par irradiation.

Nombre d'accidents et de décès de 1969 à 2000, par filières énergétiques

	OCDE		Non OCDE		Monde	
	Accidents	Morts	Accidents	Morts	Accidents	Morts
Charbon	75	2259	1044	18017	1119	20276
Pétrole	165	3713	232	16505	397	20218
Gaz naturel	90	1043	45	1000	135	2043
Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	59	1905	46	2016	105	3921
Hydraulique	1	14	10	29924	11	29938
Nucléaire	0	0	1	31	1	31
Total	390	8934	2299	83658	2689	92592

Source : Évaluation de risques d'accidents nucléaires comparés à ceux d'autres filières énergétiques, OCDE.

18 : Nuclear Energy Agency : " Evaluation de risques d'accidents nucléaires comparés à ceux d'autres filières énergétiques", 2019

Il apparaît que **les énergies fossiles provoquent plus d'accidents et de décès** que les autres sources d'énergie. Ainsi, plus de 65% des accidents résultaient des énergies fossiles avec le charbon en tête. Sur la période référencée, celui-ci a été responsable de 1119 accidents, soit près des deux tiers des accidents causés par les énergies fossiles.

Les énergies fossiles provoquent plus d'accidents et de décès que les autres sources d'énergie.

Il y a également une grande différence entre les pays membres de l'OCDE et les pays non membres, c'est-à-dire **les pays les plus développés économiquement et les autres**. La Chine se distingue ainsi par le taux de mortalité lié à son activité charbonnière.

En faisant une analyse par nombre de décès, **le charbon, le pétrole et l'hydraulique** ont été les principales causes de pertes de vies. Si l'hydraulique figure en tête, c'est en raison de la rupture du barrage de Banqio/Shimantan en Chine en 1975 et de son impact important, ayant causé la mort de 26000 personnes.

Si cette étude permet de quantifier le risque industriel du secteur de l'énergie, elle ne permet toutefois pas de connaître **le rapport entre le nombre de décès et le volume de production d'électricité**. En effet, pour se faire une meilleure idée des risques, il faudrait savoir combien d'énergie est produite par filière pour ensuite évaluer un taux de mortalité par rapport à celui-ci.



L'étude suivante permet de se faire une idée. Le rapport ExternE¹⁹ dresse un bilan de l'impact sur la santé et la sécurité de l'homme qu'entraîne l'usage de différentes sources d'énergies pour la production de l'électricité. Ce rapport porte sur les 28 pays de l'UE et utilise les données de production d'électricité de 2014. Il

souligne que pour une même quantité d'électricité produite, **les effets sur la santé et la sécurité diffèrent d'une source à une autre**. Le pétrole ne représentant qu'une part infime du mix énergétique nécessaire à la production d'électricité, retenons que le charbon se démarque ici aussi particulièrement par sa nocivité.

Tableau : Décès annuels estimés en 2014 par source de production d'électricité.

	TWh	Mort par TWh	Morts
Charbon	779,06	24,5	19 087
Gaz	461,4	2,8	1 292
pétrole	69,81	18,4	1 285
Biomasse	168,53	4,63	780
Nucléaire	830,95	0,074	61

Source : Impact sur la santé des filières de production d'énergie, version 2017.

Tableau : Années de vie perdues par GWh.

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

Source : Impact sur la santé des filières de production d'énergie, version 2017.

19 : Académie des technologies ; " Impact sur la santé des filières de production d'énergie", 2019

Malheureusement, ces études ne permettent pas d'évaluer le risque des nouvelles énergies renouvelables, notamment l'éolien et le photovoltaïque, qui se sont fortement développées ces dernières années. Nous pouvons noter néanmoins, qu'uniquement sur la base des accidents et sans compter les effets néfastes sur le réchauffement climatique, que **les différentes industries fossiles sont nettement plus risquées pour l'être humain que le nucléaire.** Cette constatation doit néanmoins prendre acte du fait que les effets de l'accident de Fukushima du 11 mars 2011 ne sont pas inclus dans l'étude.

Une étude plus récente, publiée en 2015, par le Paul Scherrer Institut, permet de comparer les risques associés aux différentes filières énergétiques et ce, en incluant l'impact

du réchauffement climatique. Elle se base sur les événements ayant eu lieu de 1970 à 2008, ce qui permet d'avoir un historique important, tout en restant dans une réalité suffisamment récente pour prendre en compte l'évolution des normes et pratiques dans le monde industriel. L'étude dresse un bilan sur la santé humaine liée à un déroulement normal des opérations de production d'électricité et aux accidents industriels. Elle analyse également les risques associés à la menace terroriste. Elle note enfin que l'essentiel des risques concernant les énergies fossiles sont **en amont de la production d'électricité** en raison, notamment, de l'extraction minière, alors que pour les filières nucléaire et hydraulique, **l'essentiel des risques est inhérent à la production d'électricité sur le site.**



Concernant les risques industriels, l'étude compare différentes filières énergétiques selon le nombre de décès moyen par GWh produit et fait état des effets les plus graves en cas d'accident. **Ces chiffres prennent en compte l'ensemble de la chaîne de valeur**, l'exploration et l'extraction de matières premières (upstream), la transformation des matériaux en produit final, les activités de transport et de stockage, la production d'électricité et de chaleur et enfin le traitement des déchets (downstream).



La filière la plus risquée pour les populations humaines est celle du charbon.

A partir du tableau de la page suivante, nous pouvons **comparer les filières en fonction de leur risque et dangerosité**. Attention à bien noter que l'échelle de ce graphe est logarithmique. Le charbon tue un peu moins de 0.001 personne par GWh produit en Chine, soit environ 1000 fois plus que dans l'OCDE où il tue un peu plus de 0.00001 personne par GWh. **La filière la plus risquée pour les populations humaines est celle du charbon.** Le pétrole présente sur ce graphe d'importants risques aussi. Il faut cependant rappeler que le pétrole est peu utilisé pour produire de l'énergie électrique. L'hydraulique apparaît éga-

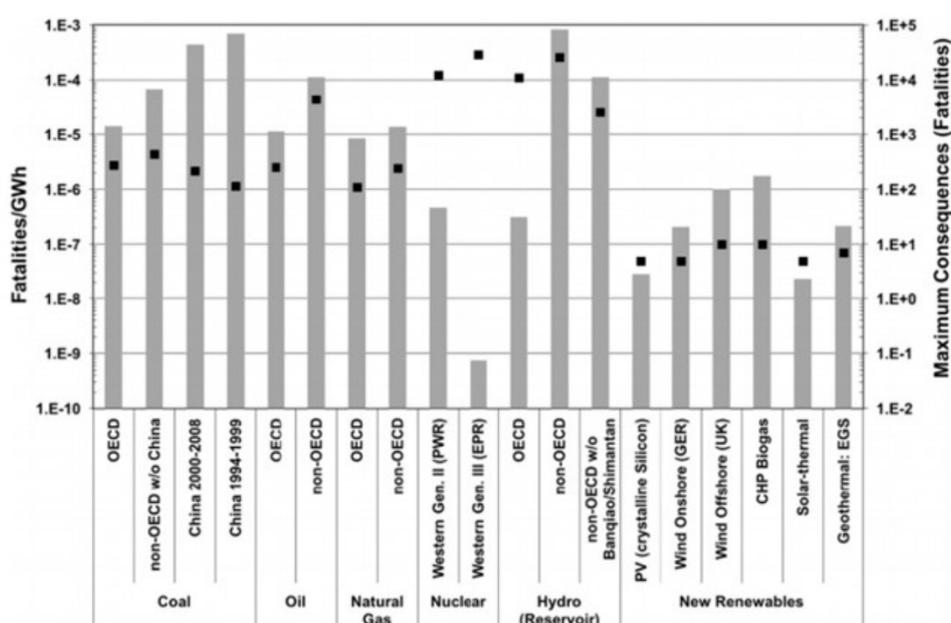
lement comme à haut risque, ce qui est en ligne avec les études présentées précédemment. Néanmoins, dans les pays de l'OCDE, cette dernière apparaît comme beaucoup moins risquée. **Enfin, le nucléaire semble comparable à l'hydraulique en termes de risque.** Le nucléaire de 3ème génération semble même bien plus sûr. Il faut tout de même rappeler qu'il y a à ce jour encore peu de réacteurs de 3ème génération en opération et que leur mise

en service est encore récente ou à venir. Par ailleurs, concernant l'hydraulique, seuls les réservoirs apparaissent, ce qui laisse de côté l'hydraulique au fil de l'eau. Les installations hydrauliques au fil de l'eau, telles que les barrages le long du Rhône par exemple, représentent des risques moins importants que les barrages de montagne appelés réservoirs. Enfin, il est nécessaire de rappeler ici que **l'hydraulique et le nucléaire ont en commun de présenter le danger d'un accident majeur sur site**. La fréquence de tels événements est faible, donc le rapport de morts par GWh produit doit être étudié avec un certain recul.

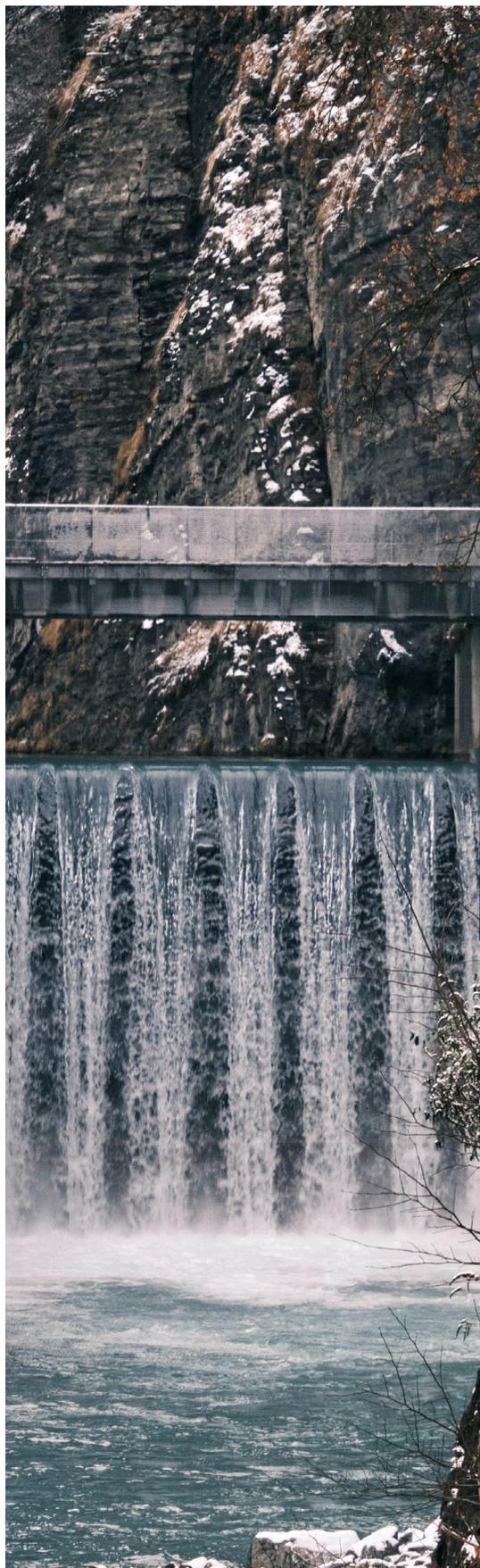
Les filières fossiles, et le charbon en particulier, portent des risques importants en amont de la production. Les conséquences par événement sont potentiellement moins importantes mais les accidents sont beaucoup plus fréquents et leur cumul rend celles-ci beaucoup plus nocives. L'ensemble des filières renouvelables dites nouvelles (hors réservoirs hydrauliques) est de manière évidente moins risqué que les filières fossiles.

Les filières renouvelables sont moins risquées que les filières fossiles.

Severe accident fatality rates and maximum consequences (black points) assessed for selected electricity supply technologies with the associated energy chains.



Source : Etude du Paul Scherrer Institut, 2015.



L'étude est bien plus complète que le tableau présenté ici. En effet, il est observé qu'à court et moyen terme,

L'impact du réchauffement climatique et la génération d'autres particules sont les causes majeures de mortalité

et qu'à plus long terme, les effets sur les nappes phréatiques deviennent prépondérants.

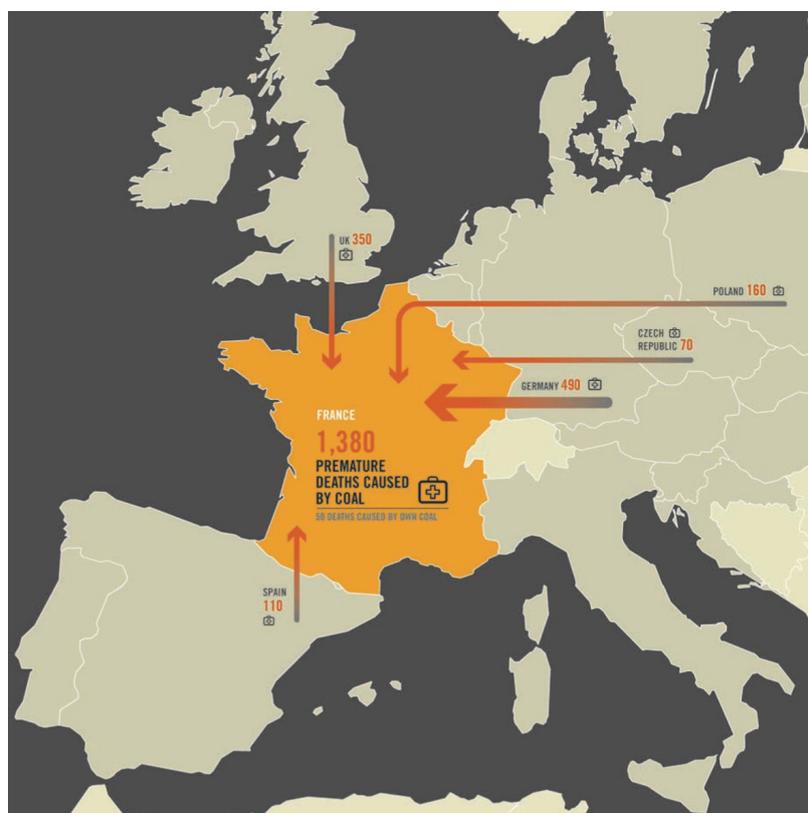
LES EFFETS NOCIFS DE L'INDUSTRIE CHARBONNIÈRE EN EUROPE

Du fait que la filière charbon se démarque par son niveau de risque, nous vous proposons un complément d'information sur cette filière. En effet, l'exploitation de la mine de charbon n'est pas seulement nocive pour les travailleurs et les populations voisines des sites industriels. **Ces combustibles émettent beaucoup de gaz** qui, outre leur impact sur le climat, ont un impact non négligeable sur la

santé des populations humaines, en raison des grandes quantités rejetées et propagées dans l'air.

En Europe, on dénombre **280 centrales thermiques, qui ont entraîné plus de 22900 décès** en 2013 selon une étude menée par les organisations Sandbag, Heal, CAN et WWF²⁰, ce qui est comparable aux 25300 décès annuels causés par les accidents de route dans l'UE.

Les décès liés à la pollution du charbon en France.



Source : Europe's dark cloud

20 : Académie des technologies : " Impact sur la santé des filières de production d'énergie", 2019

LES CRAINTES ASSOCIÉES À L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

La France possède aujourd'hui 56 réacteurs nucléaires (suite à la fermeture des deux réacteurs de Fessenheim), juste derrière les États-Unis qui en possèdent 95. Si cette industrie n'apparaît pas comme la plus risquée, elle est une source d'angoisse dans notre pays. Il est donc important d'apporter quelques éléments de compréhension concernant cette source d'énergie. **Il faut faire la distinction entre risque et danger.** En science, la notion de risque est associée à la multiplication d'une probabilité et d'une conséquence (danger) mesurable.

***La France possède
56 réacteurs nucléaires
sur son sol.***

Un danger dont la gravité peut être importante peut avoir une probabilité d'occurrence très faible. Dans ce cas, l'inquiétude devrait être limitée. Mais sait-on vraiment calculer cette probabilité ? C'est tout le problème des accidents dont la fréquence est très faible. Nous n'avons alors pas beaucoup d'éléments pour étudier la probabilité qu'ils arrivent de nouveau, notamment parce qu'il est difficile d'en détermi-

ner exhaustivement les causes.

C'est pour cette raison que le principe de précaution a sa raison d'être. Ce principe expose que, malgré l'absence de certitude à un moment donné, dû à un manque de connaissances techniques, scientifiques ou économiques, **il convient de prendre des mesures anticipatives** de gestion de risques à l'égard des dommages potentiels sur l'environnement et la santé. Néanmoins, ce principe s'applique davantage à de nouvelles technologies (nanotechnologies, ondes émises par les téléphones portables) ou biotechnologies (OGM), dont les conséquences ne sont pas encore connues.

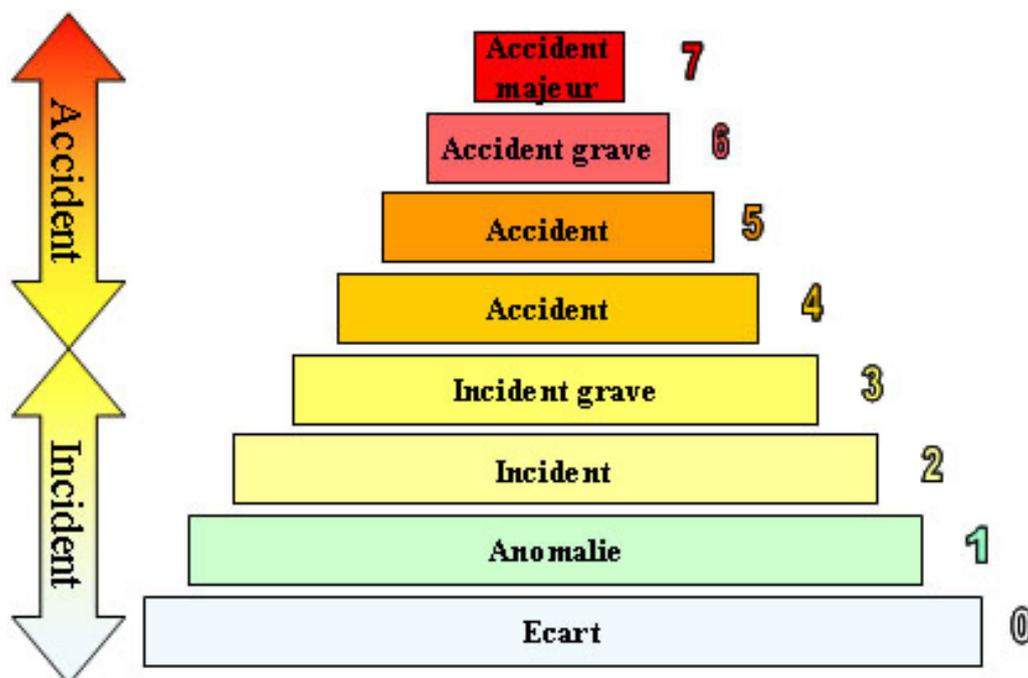
Dans ce cas que dire du nucléaire ? Quels sont les dangers et sait-on avec des moyens fiables déterminer si un accident a des chances raisonnables d'avoir lieu ? Même si les accidents majeurs sont rares, il y a suffisamment d'événements concernant le nucléaire pour rendre le risque d'accident probabilisable et les dommages mesurables. Il est donc préférable **d'avoir plutôt une approche de prévention que de précaution.**

Concernant la gestion du risque d'accident, la démarche de prévention en France et celle dite de « **défense en profondeur** » qui est décrite par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Il y a essentiellement deux dangers. Le premier est celui **d'un accident majeur** sur une centrale nucléaire et le deuxième est **la contamination** par les déchets radioactifs, dont ceux liés au démantèlement des centrales. Le premier danger

est traité par les études présentées précédemment.

Il apparaît qu'au regard des événements passés, **la filière nucléaire n'est pas la plus nocive** pour les populations. Mais au vu de la faible occurrence de tels événements et de l'angoisse générée par cette industrie il semble important de creuser un peu plus le sujet.

Échelle de gravité des accidents du nucléaire.



Source : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

FOCUS SUR LES ACCIDENTS MAJEURS SUR DES CENTRALES NUCLÉAIRES.

L'histoire du nucléaire civil est marquée par quatre accidents majeurs. Celui de **Kychtym** en URSS en 1957, celui de **Three Mile Islande-Pennsylvanie** aux USA qui s'est produit en 1979, celui de **Tchernobyl** en Ukraine (URSS) en 1986 et le tout récent de **Fukushima** en 2011 au Japon. L'échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques dite INES a été mise en place en 1990 suite à l'accident de Tchernobyl. Il classe l'accident de

Tchernobyl et celui de Fukushima au niveau 7, soit le niveau maximal et celui de Kychtym au niveau 6 (dont il faut rappeler qu'il a eu lieu sur un complexe militaro-industriel, ce qui en fait un cas à part). Celui de Three Miles Islands n'a pas eu de conséquences sanitaires majeures observables. Les trois autres accidents sont ceux qui ont eu des effets catastrophiques sur les populations.

Nous vous proposons de nous arrêter sur les deux classés niveau 7 : Tchernobyl et Fukushima.

TCHERNOBYL (URSS – 1986)

L'accident de Tchernobyl est la plus grande catastrophe que l'industrie nucléaire ait causée. Les explosions des réacteurs ont laissé dans l'atmosphère des déchets radioactifs équivalant à **200 fois la radioactivité générée par la bombe lancée en 1945** sur Hiroshima et Nagasaki. L'accident s'est étendu sur un rayon très vaste. Ainsi, l'Ukraine, la Russie, la Biélorussie et certains pays européens ont subi les conséquences de cet événement.

En 2006, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a fait un rapport donnant des ordres de grandeur des décès et contaminations dus aux radiations de 1986 à 2065. Selon l'agence, il est estimé que l'accident de Tchernobyl, qui a causé **31 décès liés à l'explosion** et aux opérations menées directement après, sera responsable de **16 000 décès liés à différents cancers d'ici 2065.**

Par ailleurs, le déplacement des populations ou l'impact psychologique lié à la crainte d'être contaminé, a eu des impacts multiples pouvant aller jusqu'**aux décès prématurés**. Enfin, la perte d'une portion importante du territoire a un **coût socio-économique lourd** pour l'actuelle Ukraine.



Photo de la centrale de Tchernobyl après la catastrophe prise en 1986.

FUKUSHIMA (JAPON - 2011)

Le Japon reconnaît **la mort d'1 employé directement imputable à la catastrophe**. Cette personne a été exposée à de fortes radiations et est décédée d'un cancer peu de temps après. Le risque d'une relation de cause à effet est suffisamment important pour justifier sa reconnaissance. Outre ce cas, d'après l'OMS, les doses d'irradiations émises n'auront finalement pas été suffisamment importantes pour créer un risque significatif de cancer au sein de la population exposée.

Néanmoins les conséquences pour la population locale de cette catastrophe sont importantes. Dans une note dédiée, l'OMS déclare « On a signalé une nette augmentation de la mortalité chez les personnes âgées qui avaient

été placées dans des logements provisoires, ainsi qu'un risque accru de maladies non transmissibles telles que le diabète et des problèmes de santé mentale. Le manque d'accès aux soins de santé a contribué à la détérioration de la santé. ». L'IRSN propose une analyse sur le sort des évacués et les conséquences sociales de l'accident. Le rapport fait état d'environ **160 000 personnes déplacées** suite à l'association de deux catastrophes, à savoir le tsunami et l'explosion de la centrale nucléaire. Cette augmentation de la mortalité déplorée par l'OMS reste difficile à chiffrer.



Photo de la centrale de Fukushima après la catastrophe prise en 2011.

Différentes études existent pour évaluer les conséquences sociales de cette catastrophe. En voici deux qui sont choisies à titre d'illustration. Elles sont choisies afin de donner une idée de l'éventail des conséquences en sachant que bien d'autres effets ont été analysés. Une étude parue dans le US National Library of Medicine National Institutes of Health analyse **le lien entre le taux de suicide et l'accident**. La hausse de leur taux de suicide montre que les personnes âgées ont particulièrement souffert des opérations d'évacuation. Les résultats montrent aussi que, paradoxalement, ce taux a baissé pour la population masculine adulte (entre 30 et 69 ans) juste après l'événement, même si ce taux est monté par la suite au-delà du taux d'avant la catastrophe.

Une autre étude d'un organisme privé américain de recherche scientifique dédié principalement aux questions économiques, le NBER, questionne par exemple l'emploi abusif du principe de précaution au Japon. En effet, suite à la catastrophe, **l'intégralité des centrales nucléaires a été immédiatement arrêtée**. Or celles-ci produisaient 30% de l'électricité du pays. A savoir que ces centrales ont été redémarrées par la suite. Cette mesure **a fait exploser le prix de l'électricité** résultant à une précarisation des plus démunis et au décès de plusieurs milliers de personnes selon cette étude. Cet article résume la problématique à un emploi **abusif du principe de précaution**. Il est possible de se demander s'il s'agit réellement d'une application de ce principe. Ceci-dit, on peut aussi se demander si en temps de crise, un gouvernement ne cherche pas avant tout à se protéger de tout reproche. En particulier au sein d'une démocratie. Dès lors, ces conséquences indirectes font partie d'une réaction en chaîne ayant pour cause la catastrophe. Il est logique de les prendre en considération.

Une catastrophe comme celle de Fukushima a **des impacts très divers qui ne sont pas faciles à chiffrer**. Il apparaît néanmoins que les impacts significatifs sont davantage liés aux décisions rapides qui sont prises en temps de crise. A noter que ces décisions sont jugées à posteriori et qu'une catastrophe amène presque obligatoirement à de telles décisions. Il faut donc les prendre en compte lorsque qu'une industrie peut engendrer de tels événements.

ALORS QUE DIRE SUR LA SITUATION EN FRANCE QUI RECENSE 56 RÉACTEURS SUR SON SOL ?

Si le risque zéro n'existe pas il y a quand même des éléments rassurants à avoir en tête avec notamment une idée reçue à relativiser : **les centrales vieillissantes ne présentent pas automatiquement de plus en plus de risques.**

Le tableau ci-dessous énumère le nombre d'événements significatifs de sûreté (ESS) transmis à l'ASN (Agence de Sûreté Nucléaire) recensés selon l'âge des réacteurs. Attention, un ESS n'est pas un événement grave. Les déclarations d'incidents sont fréquentes par souci de transparence sur la gestion des centrales. Elles **ne présentent pas de danger** pour les populations ni pour les personnes travaillant sur le site.

En France, **seuls deux événements de niveau 4** (dangereux sur site mais pas pour les populations environnantes) ont eu lieu, en 1969 et 1981 sur le site désormais hors service de Saint-Laurent. Les ESS permettent d'anticiper le caractère risqué d'une centrale si la répétition et la gravité tend à augmenter.

Les centrales vieillissantes ne présentent pas automatiquement de plus en plus de risques.

L'historique du parc français permet d'observer les statistiques sur 38 ans.

Nous pouvons observer que les centrales vieillissantes ne sont pas automatiquement celles qui déclarent le plus d'anomalies. Cela indique qu'elles ne sont pas forcément les plus risquées. Donc **il ne faut pas forcément fermer les centrales nucléaires à marche forcée**, surtout quand celles-ci contribuent jour après jour à produire de **l'électricité décarbonée**.

FOCUS SUR LE TRAITEMENT ET LE STOCKAGE DES DÉCHETS NUCLÉAIRES

Oltre le risque d'accident, les centrales nucléaires génèrent **des éléments radioactifs** qui sont sources de craintes pour l'environnement et la santé des populations humaines. Ces craintes sont essentiellement liées à la gestion des déchets nucléaires.

IL Y A DÉCHETS ET DÉCHETS...

En France, environ **2 kg de déchets radioactifs sont produits par an et par habitant²¹** pour toutes les activités nucléaires (production d'électricité, recherche, médecine ou industrie). La majorité d'entre eux (58% des déchets radioactifs) sont des déchets issus de l'activité des centrales nucléaires pour la produc-

tion d'électricité²². A titre de comparaison, un habitant en France est responsable de 573kg de déchets ménagers chaque année. C'est **l'ANDRA** (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) qui s'occupe de la gestion des déchets radioactifs. En tout, ce sont bien **646 000 m³ de déchets nucléaires qui sont regroupés** dans les centres de stockages situés dans l'Aube (le Cires et le CSA) qui ont pris le relais sur le centre de stockage de la Manche, actuellement en cours de fermeture. A noter que les deux centres actuellement en fonctionnement ont respectivement atteint 50,5% et 32% de leur capacité totale de stockage autorisée.



Source : ANDRA, photo du centre de stockage de l'Aube (CSA)

21 : SFEN ; "Que fait-on des déchets nucléaires ?", 2020

22 : ANDRA ; "Tout savoir sur les déchets radioactifs", 2017

Les déchets nucléaires sont classés selon leur niveau de radioactivité et la durée de vie de celle-ci.

Gestion des matières et déchets radioactifs

		Déchets dits à vie très courte contenant des radioéléments de période < 100 jours	Déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement des radioéléments de période ≤ 31 ans	Déchets dits à vie longue contenant majoritairement des radioéléments de période > 31 ans
Centaines Bq/g Millions Bq/g Milliards Bq/g	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production	Recyclage ou stockage dédié en surface (installation de stockage du centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage de l'Aube)	
	Faible activité (FA)	puis élimination dans les filières de stockage dédiées aux déchets conventionnels	Stockage de surface (centre de stockage des déchets de l'Aube)	Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
	Moyenne activité (MA)			
	Haute activité (HA)	Non applicable ¹	Stockage en couche géologique profonde (en projet dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

¹Les déchets de haute activité à vie très courte n'existent pas.

Source : ANDRA

« Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs : 2013-2015 », 2017

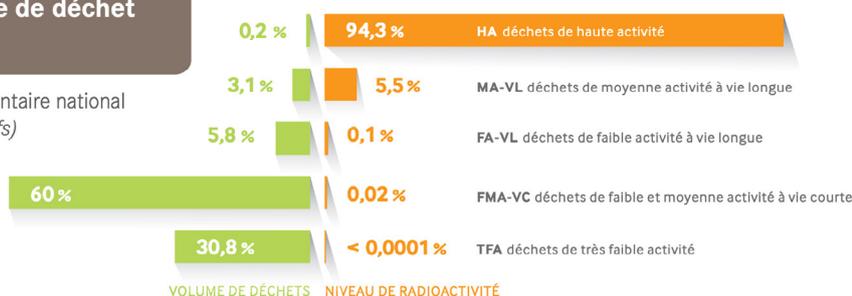
Les déchets à faible activité (TFA et FA) sont entreposés soit sur les sites des installations qui les ont générés, soit dans des centres de stockage. Ces déchets sont notamment constitués de béton ou d'acier et de matériel ayant été exposés aux radiations mais à faible dose.

Depuis 1992, 646 000 m³ de déchets nucléaires ont été stockés par les infrastructures de l'ANDRA²³.

23 : ANDRA ; "Tout savoir sur les déchets radioactifs", 2017

Répartition du volume et du niveau de radioactivité par type de déchet radioactif

(Source : bilan à fin 2015 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs)



Source : ANDRA, "Tout savoir sur les déchets radioactifs"

Le principal centre de stockage - le Cires (localisé à Morvilliers), justifie d'une capacité totale de **650 000 mètres cubes, qui arrivera à saturation d'ici 2030²⁴**. Pour autant, la hausse de la production de déchets est significative. Néanmoins, il est utile de préciser que la grande masse de déchets radioactifs (env. 96%) **ne sont que faiblement dangereux** pour la santé des populations humaines.

LA VIE D'UN DÉCHET NUCLÉAIRE HAUTEMENT RADIOACTIF

Les déchets à haute activité (HA) et moyenne activité vie longue (MA-

VL), c'est-à-dire **les plus dangereux, représentent 3,3% du volume** mais 99,8% de la radioactivité cumulée. Ce sont eux qui nécessitent une attention particulière. Ce sont notamment ces déchets qui peuvent maintenir une radioactivité très forte pendant des siècles.

Comment sont-ils constitués ?

L'uranium 235 est le plus utilisé des combustibles pour produire de l'électricité en dégageant de la chaleur par fission nucléaire. Les barres d'uranium sont en fait composées à 96,5% d'uranium 238 et seul 3,5% est de l'uranium 235 enrichi et fortement radioactif.

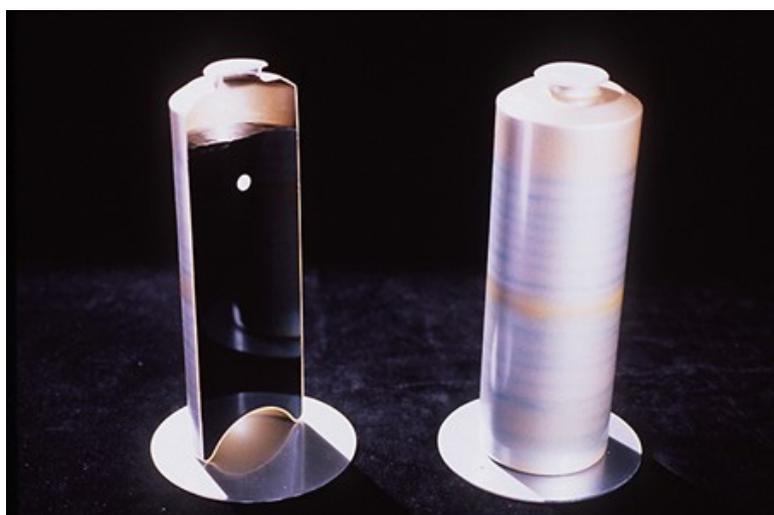
24 : ANDRA ; "Tout savoir sur les déchets radioactifs", 2017

Après quelques années, le combustible est usé et devient inutilisable car la part d'uranium 235 devient trop faible. Si l'uranium 238 reste intact, la fission de l'**uranium 235** aura lui **engendré différents produits, tous très radioactifs**, des produits de fission, du plutonium et des actinides mineurs. L'essentiel de la masse restante (95%), composé d'uranium 238 et d'une faible part d'uranium 235 est entreposé car elle constitue un combustible potentiel pour des centrales de prochaine génération. Le reste est **retraité** dans l'usine Areva de la Hague et partiellement **valorisé** à l'usine de Marcoule dans le Gard. Le plutonium extrait permet de produire du combustible pour des centrales nucléaires, le **MOX**. Le reste est considéré comme des déchets hautement radioactifs. Ils

sont **vitrifiés pour les rendre moins contaminants**.

L'uranium 235 engendre des produits très radioactifs.

Ces déchets vitrifiés augmentant, il est devenu important de trouver **une solution pour les stocker en lieu sûr**, à défaut de pouvoir réduire leur dangerosité. La mise en service du Cigéo, **un centre d'enfouissement à 500 mètres** sous la commune de Bure dans la Meuse est en cours de préparation. L'ensemble des déchets HA et MA-VL pourront y être stockés. Cependant celui-ci rencontre des difficultés quant à **son acceptation par les populations environnantes**.



Source : ANDRA ; Écorché (maquette) d'un colis standard de déchets vitrifiés

A PROPOS DU DÉMANTÈLEMENT DES CENTRALES ET DES DÉCHETS QUI EN DÉCOULENT...

Il existe actuellement **36 installations en cours de démantèlement en France**²⁵. Parmi elles, la centrale de Chooz est actuellement dans ce processus. Elle ressemble à la centrale de Fessenheim, même si plus petite. Il s'agit **d'opérations coûteuses** en raison de l'application d'une réglementation très stricte. La Cour des comptes recommande même un allongement de 15 ans dans la feuille de route de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) en raison de la hausse du coût de ces opérations.

36 centrales nucléaires sont en cours de démantèlement en France.

A propos des déchets liés au démantèlement de centrales, un problème qui se pose est celui de **la masse de déchets produite**. L'actuelle gestion des déchets exclut toute « libération » de déchets à partir du moment où ils sont susceptibles d'être radioactifs. Nous parlons ici de déchets dits de très faible radioactivité (TFA)

qui sont notamment entreposés au centre de stockage de Cires. Le CEA pose donc la question de revoir la réglementation en vigueur concernant ces déchets.

Le dilemme de démantèlement est celui du **coût économique de l'application de politiques contraignantes** liées à la gestion des déchets massifs inhérents aux opérations de démantèlement. En clair, une grande partie des déchets **ne présentent pas de risque ni même de danger** bien identifié pour la santé humaine ou l'environnement, mais il est jugé préférable d'appliquer des mesures de sécurité au cas où. La question est : **combien notre société est-elle prête à payer pour cela ?** En effet, dans la mesure où il est possible de mesurer la radioactivité des déchets, il serait possible de considérer comme radioactifs uniquement les déchets dépassant un certain seuil. Il faut rappeler ici que **la radioactivité est présente naturellement dans notre environnement** et qu'elle ne présente un danger pour l'homme qu'à partir du moment où elle dépasse certains seuils.

25 : Site du gouvernement ; " Démantèlement des installations nucléaires : mieux maîtriser les coûts", 2020

EN CONCLUSION

Les risques de l'industrie électrique sont **inégaux selon les filières énergétiques** choisies.

Il apparaît unanimement que la filière **charbonnière est particulièrement nocive** pour l'être humain. Celle-ci représentant encore une des principales sources d'énergies utilisées pour produire de l'électricité en Europe et dans le monde, il est urgent d'œuvrer pour son remplacement.

A propos du nucléaire, qui est la principale source de production électrique en France, il faut **bien distinguer la notion de risque de celle de danger**. Le danger lié à un accident majeur sur une centrale peut avoir des effets graves. Il faut néanmoins **relativiser la nocivité de cette filière** au regard du faible nombre d'accidents majeurs ayant eu lieu.

Nous pouvons retenir qu'il est important **d'évaluer les risques des filières industrielles** au regard des études réalisées, mais qu'il faut aussi admettre que nous ne pouvons pas avoir une vision exhaustive de ceux-ci. Mais ne devrait-on pas au moins

identifier un danger pour l'appliquer ? Il apparaît par exemple que la gestion des déchets faiblement radioactifs engendre des coûts liés à des angoisses qui ne sont même pas liées à la possibilité manifeste d'incidence sur la santé humaine ou sur l'environnement.

Dans ce cas, quel prix la société doit-elle payer pour leur gestion ? Et surtout, dans la lutte contre le réchauffement climatique, qui est le danger aux conséquences les plus lourdes, doit-on **accélérer la fermeture des centrales nucléaires alors même qu'elles contribuent à limiter les émissions de gaz à effet de serre ?**



Les énergies renouvelables présentent un profil de risque relativement bas. Il faut souligner le cas particulier des barrages hydrauliques. Au sein de l'OCDE l'histoire permet de considérer cette filière comme relativement peu risquée. Néanmoins, c'est assez différent dans les pays en dehors de l'OCDE. A noter aussi l'impact négatif très important sur les statistiques de la filière entière dû à l'accident survenu sur le barrage chinois de Banqio/

Shimantan en 1975.

Nous pouvons enfin conclure qu'au-delà de l'impact positif sur le réchauffement climatique, le développement des énergies renouvelables permet d'avoir des moyens de production moins risqués pour la population. Cela montre une fois de plus qu'il faut agir pour leur développement et la transition énergétique.





04

L'essor économique des énergies renouvelables.

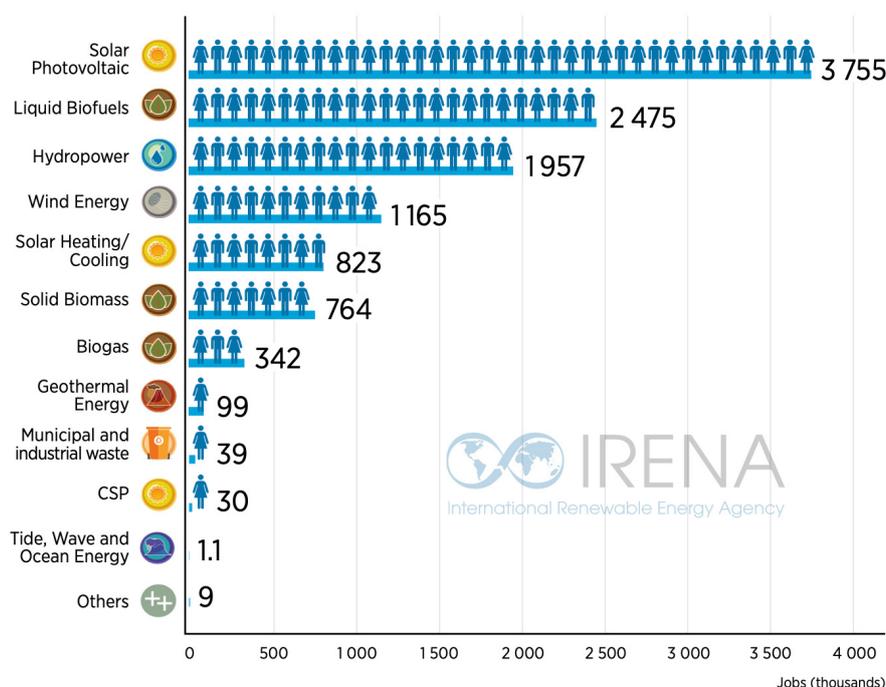
L'INDUSTRIE DES RENOUVELABLES, UN SECTEUR INDUSTRIEL À FORT CAPITAL HUMAIN NON DÉLOCALISABLE

Le développement des moyens de production d'énergie renouvelable permet **la création de nouveaux emplois**. Ceux-ci peuvent être directement ou indirectement liés à la filière. Les emplois directs sont ceux liés par exemple à la construction des centrales et à leur maintenance. Les emplois indirects sont ceux créés par les entreprises qui fournissent les matières néces-

saires pour la réalisation des activités directes.

Les énergies renouvelables ont employé **11,5 millions de personnes dans le monde en 2019**, selon les chiffres communiqués par l'Agence Internationale pour les Énergies Renouvelables (IRENA)¹¹, basée à Dubaï. Ce chiffre est une augmentation de 4,5% par rapport à 2018.

Les emplois par technologie d'EnR (2019)



Source : IRENA, « Renewable Energy and Jobs », Annual Review 2020

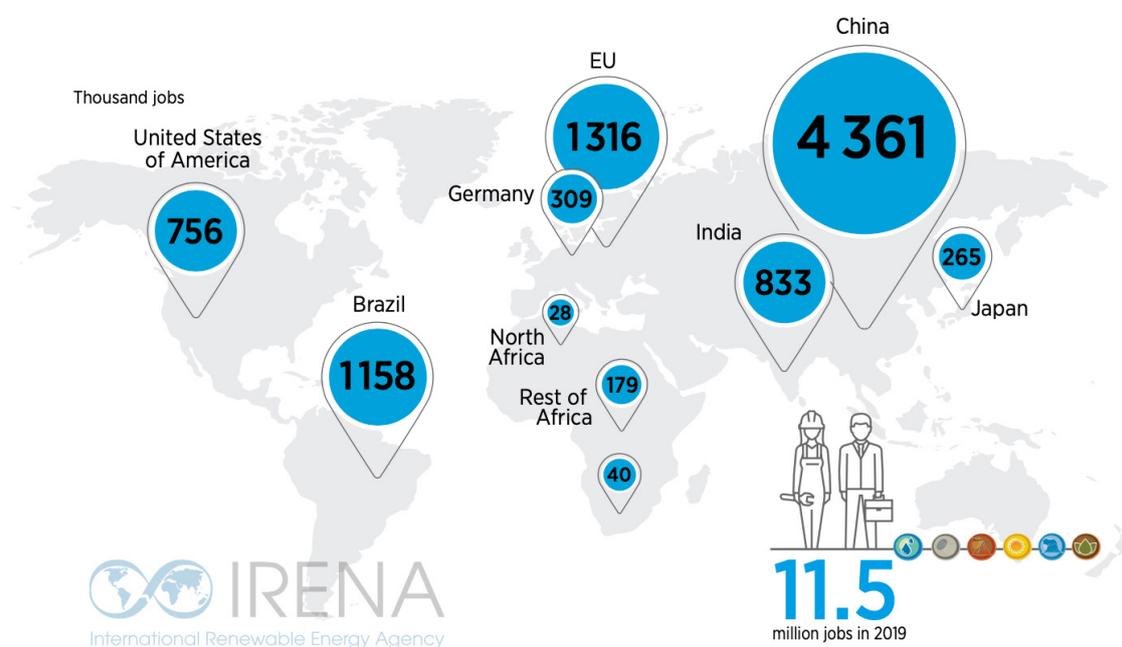
26 : IRENA : "Renewable Energy and Jobs Annual Review 2020"

Toujours selon ce rapport, plus de 63% des emplois créés par l'industrie du renouvelable en 2019 étaient comptabilisés en Asie. **La Chine est le pays à avoir employé le plus de personnes** dans ce secteur, avec 4,3 millions de personnes, suivi ensuite par le Brésil, l'Inde et les Etats-Unis. Cette position de la Chine s'explique essentiellement par les investissements massifs (126,6 milliards de dollars) qu'elle a réalisés l'année précédente dans le secteur,

soit 3 fois qu'aux USA à l'époque. A noter que le développement important d'industries de fabrication des modules photovoltaïques, explique aussi en grande partie ce classement au premier rang.

Quant à la France, **les énergies renouvelables ont généré 109 400 emplois** en 2019. Ces emplois sont dominés par la biomasse solide et les biocarburants. Ils ont employé plus de 60 200 personnes.

Les emplois générés par les EnR par pays (2019)



Source: IRENA, « Renewable Energy and Jobs », Annual Review 2020

Le secteur du renouvelable présente une opportunité de création d'emploi et, par extension, **un argument économique**. Selon les projections de l'IRENA, la décarbonisation de l'énergie dans le monde créerait **30 millions d'emplois d'ici 2030**.



L'EMPLOI EN CAS D'UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Dans son rapport sur une transition énergétique dans le monde d'ici 2050²⁷, l'IRENA compare les évolutions entre les prévisions basées sur le développement des EnR tel qu'il est actuellement et celles basées sur un développement massif des EnR. Selon ses scénarios, l'agence estime que la part du renouvelable dans la production électrique mondiale pourrait passer de 57% à 86% entre 2030 et 2050 dans un scénario idéal, alors que cette part pourrait passer de 38% à 55% si nos efforts restent ce qu'ils sont aujourd'hui.

Un développement massif des EnR conduirait à l'embauche de 42 millions de personnes dans le monde d'ici 2050.

Cette transition énergétique n'est pas sans conséquence sur l'emploi, puisque le rapport montre le potentiel que représentent les EnR en termes de création d'emplois. Ainsi, si nous faisons des efforts pour le développement des ces dernières, ce sont près de **42 millions de per-**

sonnes qui pourraient être embauchées dans le monde à l'horizon 2050 (soit environ 16 millions de plus que les projections basées sur le développement actuel). Si l'on regarde le détail par technologie :

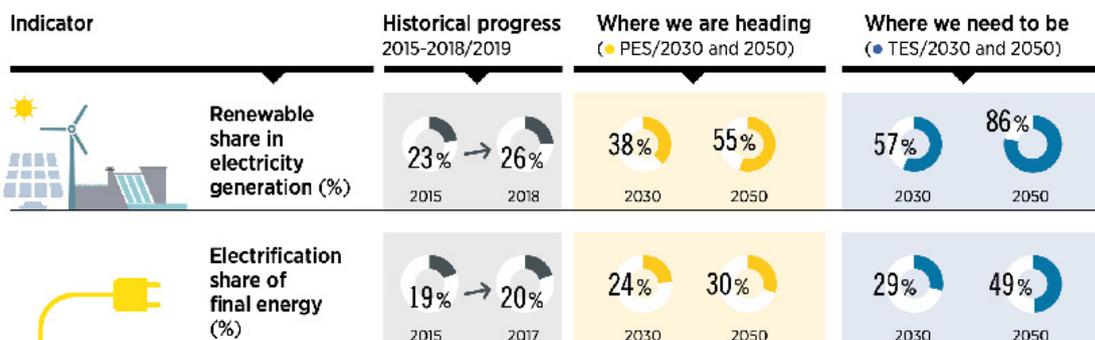
- **Eolienne** : 6 millions de personnes pourraient être embauchées dans la filière dans le meilleur scénario (contre 4,3 millions pour les prévisions actuelles) ;
- **Hydraulique** : 2,7 millions (contre 2,5 millions) ;
- **Solaire** : 18,6 millions (contre 11,5 millions) ;
- **Géothermie** : 238 000 (contre 150 000) ;
- **Bioénergies** : 14 millions (contre 6,9 millions !).

On comprend ici en quoi **les énergies renouvelables constituent un enjeu de taille sur le marché mondial** de l'emploi.

A noter que dans les deux scénarii (autant dans la continuité du développement actuel des EnR, que dans celui d'un développement massif), le nombre d'emplois générés par les énergies fossiles baisserait entre 2030 et 2050.

27 : IRENA ; "Global Renewables Outlook", 2020

Part des énergies renouvelables dans la production d'électricité. Prévisions à 2030 et 2050.

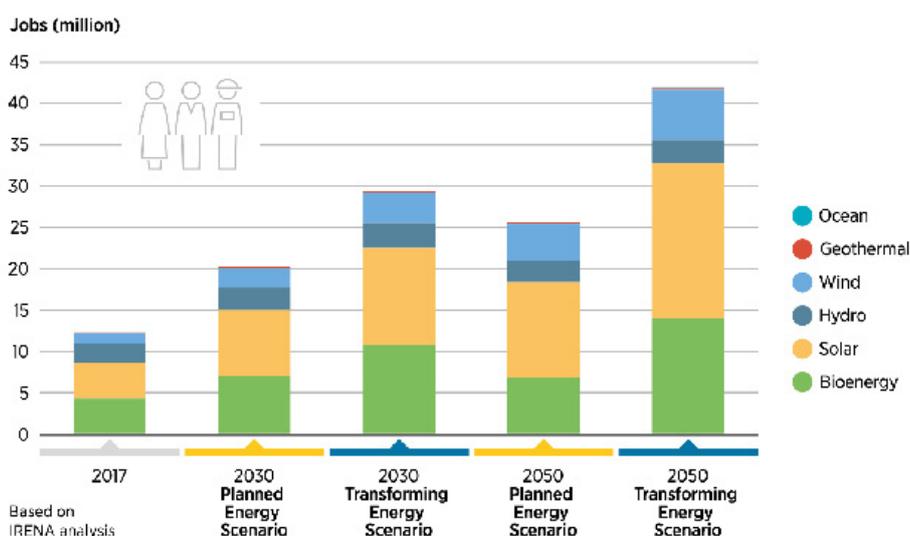


Source : IRENA, "Global Renewables Outlook", 2020

Note : les prévisions PES (jaune) sont celles dans le cas d'un développement des EnR tel qu'il est actuellement ; les prévisions TES (bleu) sont celles dans le cas d'un développement massif des EnR.

Evolution du nombre d'emplois générés par les énergies renouvelables, par technologie. Prévisions à 2030 et 2050.

Figure 2.3 Renewable energy jobs: Dominated by solar energy technology
Global renewable energy jobs for the Planned Energy Scenario and the Transforming Energy Scenario in 2017, 2030 and 2050



Source : IRENA, "Global Renewables Outlook", 2020

Note : les prévisions PES (jaune) sont celles dans le cas d'un développement des EnR tel qu'il est actuellement ; les prévisions TES (bleu) sont celles dans le cas d'un développement massif des EnR.

Evolution du nombre d'emplois créés par filière énergétique.
Prévisions à 2030 et 2050.

Global	2017	2030 (PES)	2030 (TES)	2050 (PES)	2050 (TES)
Energy sector jobs (thousands)					
Nuclear power	560	770	696	739	431
Fossil fuels	28 085	33 235	29 133	29 878	21 680
Renewables	12 288	20 306	29 543	25 578	41 902
Energy efficiency	9 507	20 283	29 189	17 561	21 265
Energy flexibility & grid	7 439	11 507	12 078	12 721	14 494
Total	57 879	86 121	100 640	86 478	99 771
Energy jobs in economy-wide employment (%)		2.13%	2.48%	2.04%	2.35%
Renewable Energy Jobs (thousands)					
Bioenergy	4 371	7 154	10 890	6 998	14 090
Solar	4 286	7 916	11 717	11 501	18 698
Hydropower	2 589	2 747	3 075	2 569	2 759
Wind	1 160	2 374	3 744	4 355	6 057
Geothermal	80	113	156	150	238
Ocean	1	2	25	4	60
Total	12 288	20 306	29 543	25 578	41 902
Renewable energy jobs in energy-sector employment (%)		23.58%	29.36%	29.58%	42.00%

Source : IRENA, "Global Renewables Outlook", 2020

Note : les prévisions PES (jaune) sont celles dans le cas d'un développement des EnR tel qu'il est actuellement ; les prévisions TES (bleu) sont celles dans le cas d'un développement massif des EnR.

RATIO PRODUCTION ET NOMBRE D'EMPLOIS CRÉÉS PAR FILIÈRE EN FRANCE

Le tableau ci-dessous donne le rapport entre la production et les emplois créés en 2018 par filière de production d'électricité en

France. Les emplois comptabilisés dans le calcul sont ceux directement liés aux différentes filières.

Rapport entre production d'électricité et création d'emplois en France en 2018

	Production d'électricité (en GWh) 2018	Emplois directs en France 2018	Rapport production / emploi	Notes
Total Renouvelable	102 692	46 470	0,45	
Hydraulique	60 505	11 880	0,20	Emplois directs
Eolien	26 795	18 200	0,68	Emplois directs + indirects
Solaire photovoltaïque	9 880	6 210	0,63	Emplois directs
Bioénergie	5 512	10 180	1,85	Emplois directs
Nucléaire	391 595	220 000	0,56	Emplois directs + indirects

Source : RTE et Observ'ER, baromètre des énergies renouvelables 2020²⁸.

Données pour la filière nucléaire : EDF²⁹.

Note : le baromètre d'Observ'ER comptabilise pour certaines technologies uniquement les emplois directs, pour d'autres les emplois directs et indirects.

Plusieurs observations ressortent de ces chiffres. **Tout d'abord, les énergies renouvelables regroupées emploient quasiment autant que la filière nucléaire.** Pour une production de 100 GWh d'électricité,

la filière nucléaire emploie (emplois direct et indirect) 560 personnes, quand pour la même quantité d'électricité produite, les filières renouvelables en emploient (emplois direct et indirect) 450.

28 : Observ'ER : "Le Baromètre des énergies renouvelables électriques en France", 2020

29 : EDF

On notera que **l'hydraulique emploie significativement moins que les autres filières renouvelables**. En effet, pour une production de 100 GWh, emploie 200 personnes contre respectivement 680 et 630 pour l'éolien et le photovoltaïque. Ce constat s'explique en grande partie par **le peu de maintenance qui nécessitent les installations hydrauliques une fois en service**, contrairement aux éoliennes ou aux panneaux photovoltaïques.

CONCLUSION

Ainsi, l'électricité verte apparaît clairement comme **un produit moins risqué pour l'homme que le nucléaire ou les centrales à charbon**. De plus, l'intérêt des énergies vertes est de générer de l'emploi et de favoriser l'activité économique. La transformation énergétique mondiale est en marche et **les emplois liés soutiennent la durabilité socio-économique**, ce qui constitue une raison de plus pour que les pays s'engagent en faveur des énergies renouvelables.



Crédits photo

Note : toutes les photographies utilisées dans ce dossier sont issues de Unsplash.

Jan Antonin Kolar ; Andie Kolbeck ; Jakob Madsen ; Mika Baumeister ;
Marcin Jozwiak ; Marcus Ganahl ; CYRIL ENTZMANN/DIVERGENCE ;
Patrick Federi ; Jason Blackeye ; Priscilla Du Preez ; David Cristian ;
Frédéric Paulussen ; Annie Spratt ; Jack Sloop ; Johannes Plenio.



Les enjeux de la transition énergétique du mix électrique.

QuiEstVert

Association à but non lucratif enregistrée à la préfecture de Lyon.

Numéro RNA W691100695.

38 Boulevard des Tchécoslovaques, 69007 Lyon

