



Paris, le 1^{er} décembre 2021

AVIS DE LA SFEN

Emplois liés à la production d'électricité par l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables en France

La Société française d'énergie nucléaire (Sfen) est une association scientifique et technique à but non lucratif, qui rassemble 4 000 professionnels, ingénieurs, techniciens, chimistes, médecins, professeurs, et étudiants, des sites industriels et des organismes de recherche nucléaire français. Sa mission est le développement des connaissances de toutes celles et ceux qui s'intéressent à l'énergie nucléaire.

La publication du rapport RTE¹, en octobre 2021, est une démarche inédite en matière de concertation et de transparence. Pour de nombreux acteurs, ce rapport est une référence solide concernant les différents scénarios de notre mix de production électrique dont le débat est un enjeu majeur de la campagne présidentielle de 2022.

Plusieurs acteurs ont interrogé les opportunités de créations d'emplois en fonction du développement des différents moyens de production d'électricité bas carbone, analyse qui manquait à l'exercice prospectif de RTE. Le débat a amené certains candidats à affirmer que les scénarios avec une très forte proportion de renouvelable permettent de multiplier significativement le nombre d'emplois de la filière énergétique. C'est dans ce contexte que la Sfen a senti le besoin de faire une étude complémentaire sur les emplois.

La Sfen tient à rappeler qu'aujourd'hui, la filière nucléaire est la troisième filière industrielle française derrière l'aéronautique et l'automobile, forte de 220 000 professionnels, répartis dans plus de 3 000 entreprises dont 85 % de TPE/PME. **La filière de l'atome participe activement au développement et au dynamisme des territoires** : un achat sur trois pour une centrale nucléaire s'effectue auprès d'entreprises locales. Aussi, un grand nombre d'emplois dits « induits », sont créés par la consommation des salariés, de leur famille et font vivre plusieurs bassins de vie.

¹ RTE, « Futurs énergétiques 2050 » (2021).

Pour publier cet avis, la Sfen s'est appuyée sur sa section technique 8 « Économie et stratégie énergétique ». Elle s'est aidée de l'étude PWC-UFE^{2,3} permettant de tirer des conclusions à court et moyen termes. L'extrapolation d'emplois sur le long terme s'appuie sur les scénarios M23 et N03⁴ de RTE. L'analyse de la Sfen se limite, en grande partie, aux emplois directs.

La Sfen attire l'attention sur les points méthodologiques suivants :

- **L'extrapolation aussi loin dans le temps est purement indicative** et repose des hypothèses issues de l'analyse de diverses sources et ouvertes à la discussion. La cohérence des résultats est systématiquement examinée à l'aune de la littérature existante ;
- **Cette étude se limite aux emplois directs générés par les entreprises et les filiales françaises des filières renouvelable et nucléaire.** Quand elles existent, des données sur les emplois indirects sont fournis dans l'étude. L'indicateur de choix est celui de l'intensité (ou contenu) en équivalent temps plein par capacité installée (ETP/MW). Compte tenu de l'hétérogénéité des profils d'emplois entre les filières, d'autres indicateurs sont explorés ;
- **Les données sur le contenu en emploi ne sont pas comparables en termes de robustesse et invite à des précautions :** d'un côté la filière nucléaire est mature. Elle présente des chiffres largement étayés et éprouvés par la littérature ; de l'autre côté, les chiffres sur l'éolien offshore, filière industrielle, à construire en France, donne des extrapolations qui restent à confronter au réel.

Cet avis apporte trois enseignements :

1. Aujourd'hui la filière nucléaire porte la majorité des emplois toutes filières électrogènes confondues (§3).

- La filière nucléaire compte pour 70 % des emplois directs toutes filières confondues et génère, par MW de capacité installée, deux fois plus d'emplois directs en moyenne par rapport aux filières EnR, en particulier les filières éolienne et solaire photovoltaïque.
- Les profils d'emplois sont très différents entre les filières : pour l'éolien terrestre, les emplois se situent lors des phases amont (études, fabrication, distribution) ; pour le solaire photovoltaïque, les emplois se situent lors de la phase d'installation et celle d'exploitation-maintenance ; pour le nucléaire, les emplois se situent lors de la phase d'exploitation-maintenance.

2. À moyen terme, les emplois dans le nucléaire seront encore majoritaires (§4).

- À horizon 2030 les emplois dans le nucléaire représenteront encore 60 % des emplois toutes filières électrogènes confondues, sans prendre en compte le lancement des nouveaux chantiers. Et cela malgré les fermetures de huit réacteurs et le doublement de la capacité d'EnR installée prévu par la programmation pluriannuelle de l'énergie.
- La hausse des emplois dans les EnR est portée par une filière française d'éolienne offshore en très forte croissance.

² Rapport cabinet PWC, « Etude prospective emplois et compétences de la filière électrique » (2020).

³ L'Union Française de l'Electricité (UFE) dans le cadre de la démarche Engagement de Développement de l'Emploi et des Compétences (EDEC) sous l'égide du Ministère du Travail (2020).

⁴ M23 = « EnR grands parcs » : 87 % de production renouvelable et 13 % de production nucléaire.

N03 = « EnR + nouveau nucléaire » : 50 % de production renouvelable et 50 % d'origine nucléaire.

3. À long terme, le nombre d'emplois toutes filières électrogènes confondues ne varie pas significativement entre les différents scénarios de mix électrique (§5).

- Dans le cas d'un scénario avec une part majoritaire de renouvelable (scénario M23 de RTE) la composition des emplois directs dans le secteur de la production électrique serait renversée en 2050 : la capacité totale d'EnR aurait été multipliée par un facteur six ainsi que les emplois directs associés, mais 109 000 emplois directs seraient perdus dans la filière nucléaire. L'éolien offshore compterait pour 64 % des emplois directs en France.
- Dans le cadre d'un scénario avec une part importante de nucléaire (scénario N03 de RTE), il y a moins de capacité à installer, le nombre ETP serait alors légèrement plus faible. En tenant compte des emplois directs et indirects cet écart serait réduit. Par ailleurs, l'intensité emplois du scénario N03 est plus élevée, ce qui traduit d'une plus grande efficacité économique.

Selon ces enseignements, la Sfen conclut que l'emploi n'est pas un critère discriminant, dans un sens comme dans l'autre, dans le choix du mix électrique sur le long terme. Celui-ci devra inclure d'autres éléments tels que la robustesse des trajectoires permettant l'atteinte des objectifs de décarbonation, de sécurité d'approvisionnement et de réindustrialisation.

1. Introduction

La SFEN a développé depuis plusieurs années une expertise dans le domaine du contenu en emploi (dans la suite on parlera indifféremment d'intensité emplois) des filières énergétiques. En 2017, la SFEN publiait une première note qui confrontait plusieurs études publiées en Europe. Par exemple sur ce tableau où sont comparées les valeurs en emplois rapportées aux capacités en service (MW) :

Tableau 1 : Extrait de la note SFEN 2017

Tableau 2 : Ratios de contenus en emplois évalués récemment en Allemagne et en France

	Capacité installée	Emplois directs /MW	Directs et indirects /MW	Dont Exploitation et Maintenance
Nucléaire France 2009	63 GW	2,0	3,8	20%
Eolien Allemagne 2013	34 GW	2,1 (*)	3,5	16% sur l'ensemble
Photovoltaïque Allemagne 2013	36 GW	1,0 (*)	1,5	
Photovoltaïque France 2023 (**)	20 GW	0,7	1,0	25%

(*) les parts des emplois directs sont estimées ici d'après les données incomplètes de la source (*Clean Energy Wire Factsheet*, 2015) qui donne le total (directs + indirects)

(**) non pas constatée mais projetée par ENERPLAN dans le scénario de la PPE

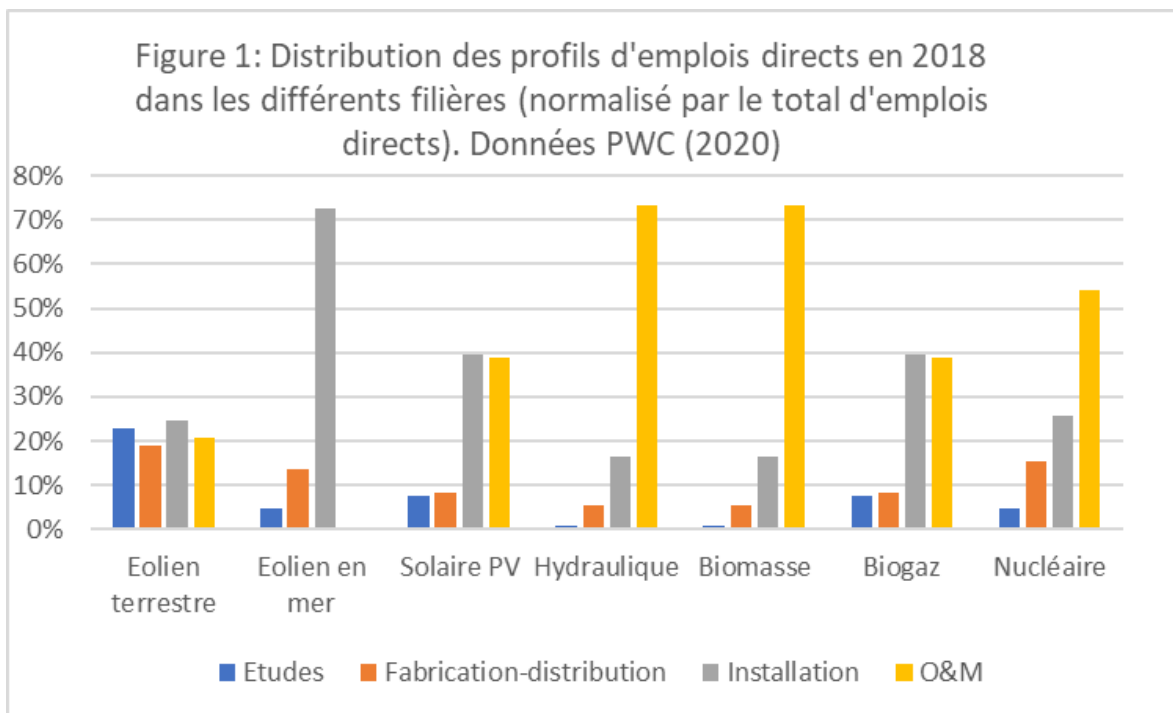
On y notait un niveau d'emplois domestiques, par MW en service, équivalent entre deux filières mûres et intégrées au niveau national, respectivement le nucléaire en France et l'éolien en Allemagne. Le photovoltaïque (PV) générerait un niveau inférieur dans les deux pays selon les sources disponibles, ce qui ne surprend pas étant donné la part importée due aux panneaux solaires.

Les bouleversements actuellement en gestation nous ont amené à réaliser une nouvelle synthèse, sur la base des meilleures données actuellement disponibles. Notre approche ici, purement microéconomique, se limite aux emplois directs car elle repose principalement sur une étude publiée en 2020 par l'Union Française de l'Electricité (UFE) dans le cadre de la démarche Engagement de Développement de l'Emploi et des Compétences (EDEC) sous l'égide du Ministère du Travail. Le rapport « Etude prospective emplois et compétences de la filière électrique » a été réalisé par le cabinet PWC. Une comparaison est faite afin de vérifier la cohérence de ces évaluations avec d'autres précédemment publiées. L'indicateur utilisé est donc le ratio ETP/MW, équivalents temps plein rapportés à la capacité.

La notion d'emploi direct doit d'abord être précisée. **Dans cette synthèse, y sont inclus non seulement les emplois affectés à l'installation, l'O&M (ce qui inclut les opérations moins courantes comme les visites décennales des réacteurs) et le démantèlement des unités électrogènes (REP, éoliennes, centrales solaires) mais aussi les emplois liés à l'ingénierie, au cycle du combustible pour le nucléaire, à la R&D, en prenant en compte les entreprises spécialisées** (par exemple, les fabricants de pales, de panneaux solaires, et pour le nucléaire : Orano, ANDRA, CEA/DRN...) ou la part spécialisée des entreprises concernées (fabricants de turbines, d'échangeurs...). C'est la méthode appliquée par PWC dans son étude de 2011 relative à la filière nucléaire et étendue plus récemment en 2020 à l'ensemble du secteur électrique pour l'UFE.

A ce niveau, un point méthodologique est nécessaire. Un projet d'infrastructure industrielle, ici il sera question de centrales de production d'électricité (énergies renouvelables (EnR) et nucléaire), mobilise suivant la phase de développement du projet un nombre variable de personnes sur un horizon de temps là aussi variable, on parle de profil d'emplois. Par exemple, pour un projet de centrales nucléaire la phase d'exploitation et maintenance (O&M), de loin la plus longue, concerne le plus d'emplois directs – en particulier de l'ordre de deux fois plus que la phase d'installation. Par contraste, un projet de solaire PV dont la durée d'O&M est relativement plus faible présente des chiffres d'emplois directs similaires entre la phase d'installation et la phase d'O&M.

Ainsi, en comparant les différentes filières de production d'électricité : d'une part l'intensité en emplois direct n'est pas homogène entre les différentes phases ; d'autre part le ratio de durée entre ces différentes phases n'est homogène non plus. Sommer les ETP et rapporter ce total au nombre de MW, c'est supposer une certaine homogénéité i.e. introduire un biais dans les indicateurs. Dans les faits, ce biais dessert la compétitivité en emplois des filières biomasse, hydraulique et nucléaire (figure 1) - en particulier pour ces deux dernières dont la phase d'O&M est relativement plus longue.



Pour tenir compte de la variabilité de ce flux d'emplois lors des différentes phases d'une centrale, dans la suite de cet avis, autant que faire se peut, le ratio ETP/MW sera donnée en moyenne pondérée annuellement sur l'ensemble du cycle de vie de l'installation et sera noté $\widehat{ETP}/MW/an$.

Lorsque les emplois indirects sont intégrés à l'indicateur de ratio, il sera indiqué en indice : ETP_i.

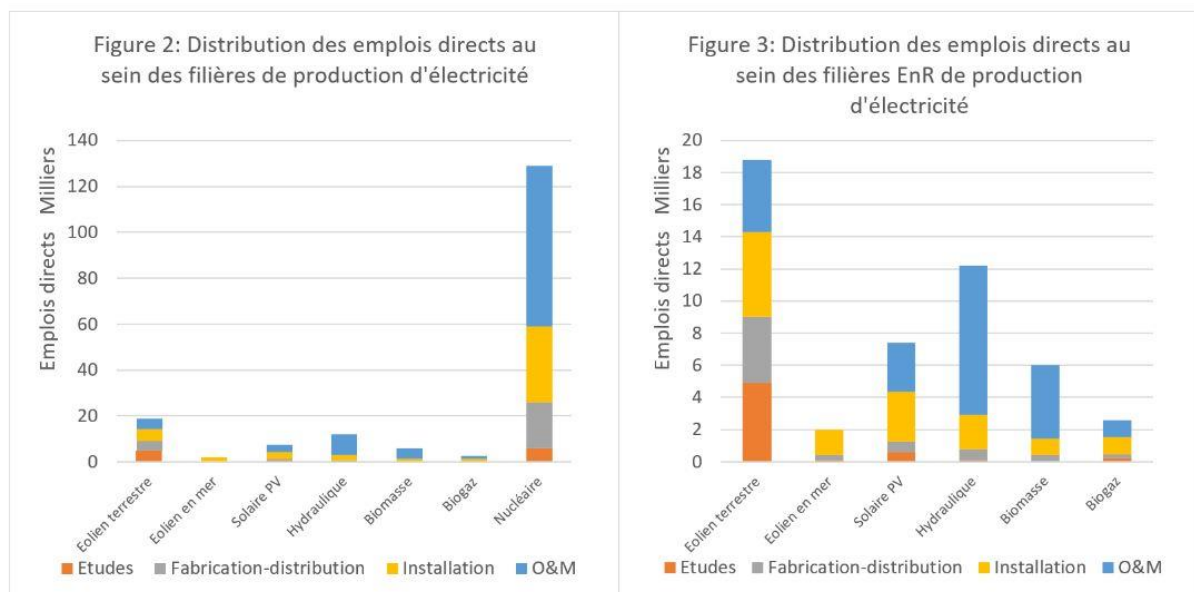
2. Rappel des évaluations pour le nucléaire en France

Dans son rapport de 2011, « Le poids socio-économique de l'électronucléaire en France », PWC totalisait 125 000 emplois directs dédiés à l'électronucléaire en France. Rapportés à la capacité de 63,1 GW, cela donnait près de 2 ETP/MW, dont la part d'exploitant (EDF), avec 47 000 ETP, représentait 0,744 ETP/MW. Pour comparaison aux Etats-Unis, cette part d'exploitant, avec 598 ETP par unité, atteignait en moyenne 0,932 ETP/MW⁵. **L'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE (NEA) proposait donc un ratio de 1 ETP/MW pour le nucléaire. La valeur de 2 ETP/MW de PWC intègre l'ensemble de la chaîne de production et traduit l'existence d'une filière intégrée en France, où l'essentiel de la valeur ajoutée est généré par des opérateurs français sur le territoire national.** Il faut souligner que cette photo des emplois de la filière correspond à une période stable du parc, sans extension donc sans les emplois transitoires liés à la construction de nouvelles unités ; cette remarque est importante par rapport aux évaluations relatives aux filières renouvelables en pleine expansion. PWC comptait également 114 000 emplois indirects, impliquant un total d'emplois de 239 000 en France. Les effectifs se sont légèrement réduits depuis, à 222 000 en 2018 (source GIFEN⁶ 2019).

Selon la même étude PWC 2011, la construction d'un EPR de 1 650 MW en France occuperait en moyenne **2 700 emplois directs pendant 7 ans** (pour les phases d'études jusqu'à l'installation), puis générerait **500 emplois directs pendant 60 ans**. Si l'on raisonne en valeur moyenne sur 60 ans on compte au total l'équivalent de 0,5 emplois directs par MW en moyenne dont 60 % pour l'O&M. Cela signifie qu'en marginal, en l'état actuel du parc dit autrement, **il faut compter 0,5 ETP/MW/an pour toute addition de tranche dans le parc français actuel**, avec un pic en début de période compte tenu de la concentration des emplois durant les phases précédant la mise en service.

3. Etat des lieux en 2018

L'étude PWC 2020 porte sur les principales filières EnR et sur le nucléaire. Elle concerne (comme celle de 2011 relative à la filière nucléaire) à la fois les emplois directs (directement attribuables à l'activité électrogène sur une année et sur le territoire français, spécialisés dans la filière électrique, avec une clé de répartition emplois électriques/non électriques pour les acteurs multi-activités) et les emplois indirects qui mobilisent les fournisseurs et prestataires de services dont l'activité principale (> 50% du



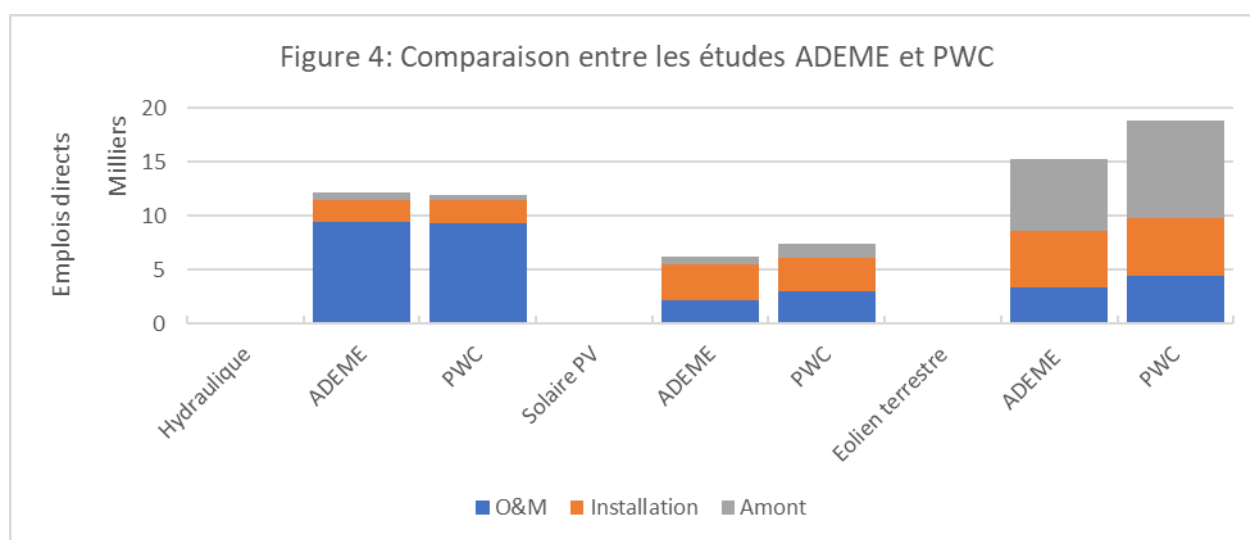
⁵ NEA: Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector, 2018

⁶ Groupement des Industriels Français de l'Énergie Nucléaire

chiffre d'affaires) est réalisée au sein de la filière électrique. **Les emplois recensés dans l'étude sont rattachés à des entreprises françaises et des filiales françaises de groupes étrangers.** En annexe 1 sont donnés les détails sur les emplois et présentés en figure 2 et 3 sous forme de graphique dans la suite. Aucune donnée sur la phase d'O&M n'est donnée pour l'éolien en mer.

Pour la filière nucléaire, PWC actualise pour 2018 son évaluation de 2011. **Le nombre total d'emplois directs est revu à la hausse passant de 125 000 à 129 000, soit une hausse de 4000 emplois directs.** Le GIFEN sur cette période enregistrerait une baisse du nombre total d'emplois (directs + indirects). Une explication possible est une part accrue d'emplois directs et simultanément une baisse plus forte encore des emplois indirects. Il faudrait examiner le détail des comptages pour expliquer corrélativement la légère diminution enregistrée par le GIFEN.

Une comparaison (figure 4 – annexe 4) avec l'étude ADEME 2018⁷ est possible sur certaines filières en :



Sur l'hydraulique, filière stabilisée en capacité, l'accord entre les deux sources est bon. On observe en revanche un écart de l'ordre de 20% sur l'éolien et le solaire PV : sur l'éolien, il est dû principalement au poste Etudes (1200 de plus chez PWC) et au poste d'O&M (1100 de plus chez PWC). Dans les deux études il n'est bien question que d'emplois « domestiques » ; mais PWC inclut « les emplois indirects qui mobilisent les fournisseurs et prestataires de services dont l'activité principale (> 50% du chiffre d'affaires) est réalisée au sein de la filière électrique », ce que ne fait peut-être pas l'ADEME.

➔ ETP/MW pour chaque filière en 2018

Des annexes 1 et 2, nous tirons le ratio d'ETP/MW en 2018 avec toutes les réserves émises en liminaire sur les biais d'un tel indicateur. **Par MW de capacité installée, la filière nucléaire (existant) génère donc en moyenne deux fois plus d'emplois directs que la filière EnR agrégée. L'EPR de Flamanville est également compétitif en termes d'emplois directs générés par MW, là aussi de l'ordre du double de ceux générés par la filière EnR.**

⁷ ADEME, « Marchés et emplois concourant à la transition énergétique dans le secteur des énergies renouvelables et de récupération, Situation 2016-2018 »

Tableau 2 : ETP/MW en 2018 d'après PWC

	Eolien Terrestre	Solaire PV	Hydraulique	Biomasse	Biogaz	TOTAL EnR	Nucléaire	EPR FL3*
O&M	0,32	0,34	0,36	2,86	2,14	0,44	1,11	0,30
Installation	0,38	0,34	0,08	0,65	2,18	0,28	0,52	1,64
Amont = Etudes + Fabrication + Distribution	0,6	0,14	0,03	0,24	0,88	0,24	0,41	
Total	1,3	0,82	0,47	3,75	5,20	0,95	2,04	1,94

*Calculé par le même mode opératoire i.e. le nombre d'emplois directs divisé par la capacité totale (1650 MW pour l'EPR de Flamanville).

- Robustesse des données sur l'éolien terrestre et le solaire PV

Pour l'éolien terrestre, une étude pour l'Allemagne en 2013⁸ obtenait **2,1 emplois directs** et, en considérant également les emplois indirects : **3,5 emplois par MW**. Une étude au niveau européen⁹ (Deloitte pour WindEurope, 2017) donnait, en 2016, **1,0 ETP/MW directs et 1,75 ETP/MW**. Ces deux études concordent sur le ratio du nombre d'emplois indirects/directs, respectivement 1,5 et 1,3 emplois directs par MW pour chaque emploi indirect par MW. La valeur d'ETP/MW (et même dans une moindre mesure celle du ratio indirects/directs) moins élevée au niveau européen intègre sans doute plusieurs effets : l'Allemagne exporte de l'éolien vers le reste de l'Europe¹⁰, son éolien 2013 inclut de l'offshore et la productivité progresse entre 2013 et 2016, notamment du fait de l'accroissement de la taille des éoliennes, qui est le facteur majeur de la baisse des coûts de cette énergie. **Le résultat intermédiaire de 1,3 ETP/MW de PWC pour la France en 2018 est donc compatible avec les données européennes dont nous disposons.**

Pour le solaire PV, les emplois directs en Allemagne étaient estimés 1,0/MW en 2013⁴. L'étude ENERPLAN¹¹ de février 2017 projetait, selon la croissance du parc prévue en France par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), les emplois directs suivants :

Tableau 3 : Emplois directs d'après ENERPLAN

Solaire PV	CAPACITE	Etudes	Investissement (Fabrication + Installation ?)	O&M	Total
2018	8,5 GW	?	6709	1689	8398
2023	20,1 GW	?	10754	2980	13734

(? : sans données = incertitude)

⁸ Gross employment from renewable energy in Germany in 2013 by Marlene O'Sullivan (DLR), Dietmar Edler (DIW), Peter Bickel (ZSW), Ulrike Lehr (GWS), Frank Peter, Fabian Sakowski (Prognos)

⁹ Deloitte, "Local impact, global leadership. The impact of wind energy on jobs and the EU economy", November 2017

¹⁰ « Selon l'Agence internationale des énergies renouvelables, l'Allemagne représentait 29 % des exportations mondiales de technologies et d'équipements dans l'éolien. » Source : <https://www.mines-stetienne.fr/panoramines/2019/10/29/allemande-eolien-crise/>

¹¹ Icare&consult pour Enerplan et ADEME, « Etude des retombées socio-économiques du développement de la filière solaire française, Etat des lieux et prospective 2023 », février 2017

Dont on déduit les ratios Emplois directs/MW :

Tableau 4 : ETP/MW d'après ENERPLAN

ETP/MW - Solaire PV	Investissement	Part O&M	Total
2018	0,79	0,20	0,99
2023	0,53	0,15	0,68

Les emplois directs totaux en 2018 du solaire PV, comptés à 0,82 ETP/MW en 2018 par PWC, étaient estimés plus haut à $0,79 + 0,20 = 0,99$ ETP/MW dans l'étude ENERPLAN. Avec les réserves sur l'incertitude du périmètre choisi pour les emplois tombant sous la catégorie « Investissement » (est-ce que la part « Etudes » est incluse), il faut relever le poids élevé de l'installation (investissement) par rapport à l'O&M chez ENERPLAN alors que chez PWC les deux postes sont pratiquement égaux à 3100 emplois. **Cependant l'étude ENERPLAN projetait pour 2023 d'importants progrès de productivité, de 35% sur l'investissement et de 25% sur l'O&M**, abaissant le nombre d'emplois directs à $0,53 + 0,15 = 0,68$ ETP/MW. Avec en conséquence une réduction des coûts de production de 25%. **Là encore, la valeur de PWC pour 2018 est cohérente, se situant bien entre les deux valeurs de ENERPLAN.**

→ $\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$ pour le nucléaire, l'éolien terrestre et le solaire en 2018

Comme présenté en liminaire de cet avis, une bonne façon d'agrégier les emplois directs générés dans le temps par une filière est de considérer la moyenne des ETP/MW pour chaque phase de l'infrastructure – amont (Etudes-Fabrication-Distribution), installation et O&M- pondérée par la durée de ces phases. Voici un tableau répondant à la question, en reprenant les données PWC. Les hypothèses de durée des phases sont précisées ci-après – et ouvertes à discussion : il est avant tout un objet de débat et ne prétend pas afficher « la bonne valeur ».

Tableau 5 : $\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$ de la filière nucléaire, éolien terrestre et solaire PV

	Amont	Installation	O&M
Durée des phases éolien terrestre (années)	4	2	25
ETP/MW éolien	0,6	0,38	0,32
Durée des phases solaire PV (années)	2	1	25
ETP/MW solaire	0,14	0,34	0,34
Durée des phases nucléaire (années)	5	7	50
ETP/MW nucléaire	0,41	0,52	1,11
Vision en moyenne pondérée	Eolien terrestre	Solaire PV	Nucléaire
$\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$	0,36	0,33	0,99

Le rapport d'emplois direct générés par MW entre le nucléaire et les EnR intermittentes (EnRi) -ici l'éolien terrestre et le solaire- passe d'un ordre 2 à un ordre 3 selon l'indicateur $\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$, ou, **dit autrement, sur l'ensemble du cycle de vie du projet de l'infrastructure en moyenne par an, par capacité installée, la filière nucléaire génère non pas 2 mais 3 fois plus d'emplois directs que les filières éoliennes terrestres ou solaires.** Si la valeur est discutable et reste contingente des hypothèses de l'étude PWC et de celles des durées de phases du projet, le fait que ce nouvel indicateur profite davantage au nucléaire qu'aux EnRi est cohérent. En effet, la contribution en emplois des phases en amont de l'O&M est relativement plus élevée pour les EnRi. Or ces phases sont de fait bien plus courtes

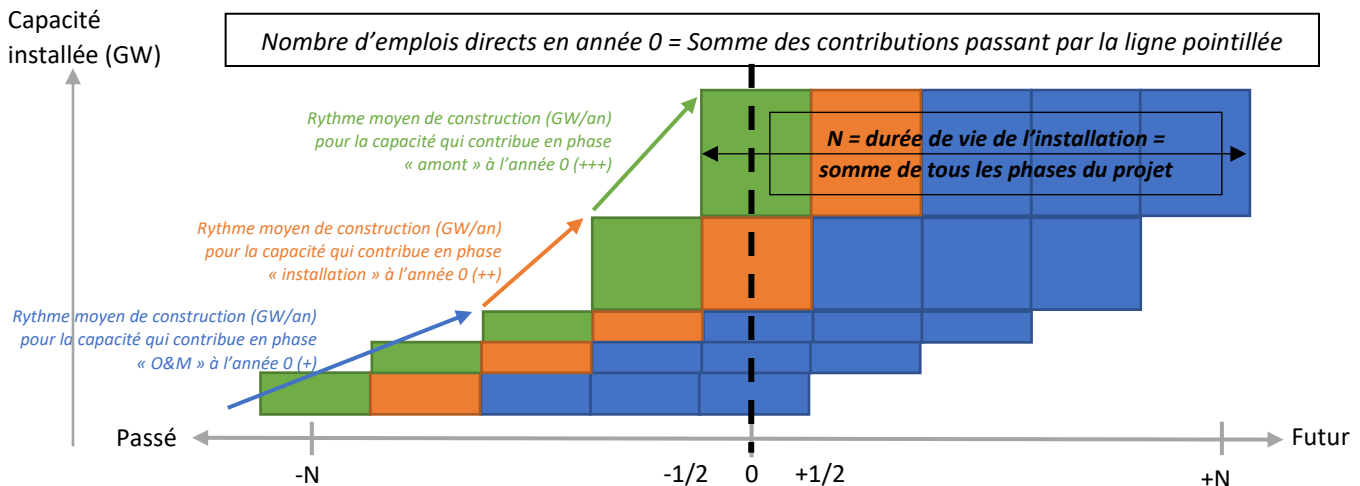
que la phase d'O&M. Au contraire, pour la filière nucléaire, la phase d'O&M est d'une part bien plus longue et d'autre part plus intense en emploi d'un facteur 2 que les phases amont.

Pour conclure suivant que l'on se place sur un temps court (tableau 2) ou un temps long (tableau 5), les valeurs d'emplois direct générés par MW de capacité installée ne sont pas les mêmes et dépendent de la nature de la capacité (le calcul n'a pas été mené pour les autres EnR ; l'hydraulique, à la durée d'O&M très longue, serait vraisemblablement très avantage). **Pour autant, même suivant la première perspective (temps court), la filière nucléaire génère de l'ordre de deux fois plus d'emplois directs que les filières EnRi.**

➔ **Photographie des emplois pour le nucléaire existant, l'éolien terrestre et le solaire PV en 2020**

Dans cette partie l'intensité des emplois va être considéré temporellement, c'est-à-dire que l'on va prendre en compte la dynamique des emplois directs générés lors des différentes phases, toujours en prenant les hypothèses ETP/MW tirées de l'étude PWC.

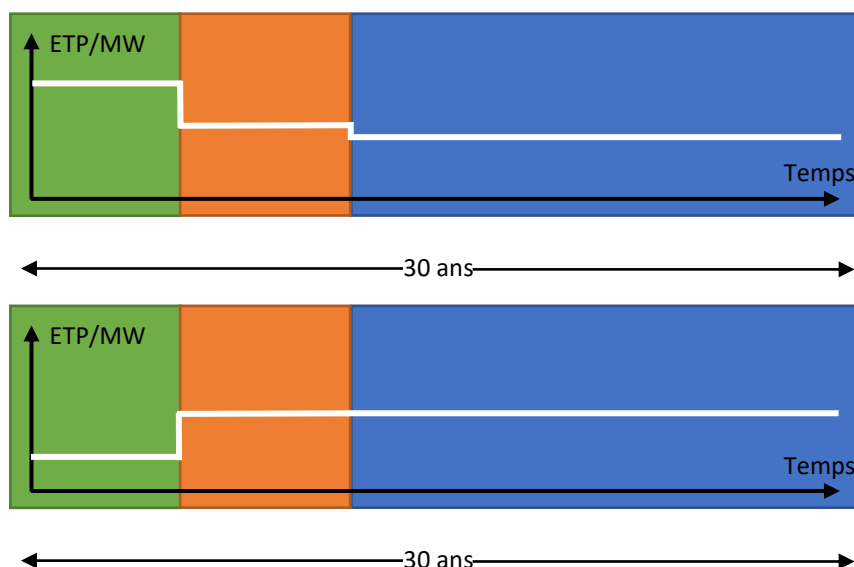
Figure 5 : Exemple du cumul d'emplois pour une filière à un instant donné



La figure 5 présente de manière très schématique le cumul d'emplois générés par une série de 5 projets d'infrastructure de production d'électricité. **Chaque projet est composé de 3 phases : « amont » (rectangle vert), « installation » (rectangle orange) et « O&M » de durée respective 1, 1 et 3 ans. Un projet dure au total 5 ans.** Sur la figure 5, le rythme de déploiement de la filière est typique de celui des EnRi récemment : lent au début (+), puis moyen (++) et enfin accéléré (+++).

Le profil d'emplois exact de chaque projet, éolien terrestre ou solaire PV (tableau 2), donnerait schématiquement :

Figure 6 : Profil d'emplois / Variation typique de l'intensité en emplois (ETP/MW) pour de l'éolien terrestre (figure du haut) et du solaire PV (figure du bas)



L'annexe 4 donne les évolutions des parcs éolien terrestre et solaire PV dont les premières mises en service datent respectivement de 2001 et 2006. Compte tenu des hypothèses de durées des différentes phases (tableau 5), on en déduit le rythme de construction moyen pour les deux filières desquels nous calculons la photographie des emplois en 2020¹²: $ETP_{2020}^{éolien} = 0,55$ ETP/MW $ETP_{2020}^{PV} = 0,56$ ETP/MW. Pour rappel, PWC obtenait en 2018 1,3 emplois directs par MW pour l'éolien terrestre et 0,82 emplois directs par MW pour le solaire PV. Cette moindre d'intensité en emploi pour les EnRi est là encore cohérente compte tenu des délais des phases en amont de l'O&M et des emplois concernés.

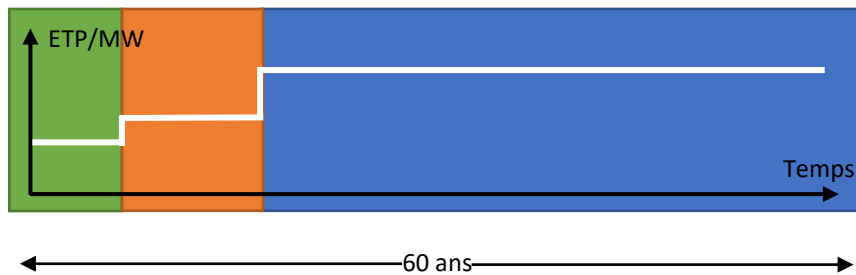
Tableau 6 : Rythme de construction moyen de l'éolien terrestre et du solaire PV en France

	Rythme de construction moyen pour l'éolien terrestre (MW/an)	Rythme de construction moyen pour le solaire PV (MW/an)
Années phase O&M (bleu)	665	616
Années phase installation (orange)	1224	892
Années phase études-fabrication-distribution (vert)	1464	921

¹² $ETP_{2020}/MW = \sum_{phase} ETP_{phase}/MW \times Rythme\ construction_{phase} \times Durée_{phase}$ où $phase \in \{Reste, Installation, Exploitation\}$

Pour un projet de centrale nucléaire :

Figure 7 : Profil d'emplois/Variation typique de l'intensité en emplois (ETP/MW) pour une centrale nucléaire



Pour le calcul mené ici, les phases d'études-fabrications-distributions et d'installations du parc nucléaire existant, construits dans les années 70-80, ne contribuent pas aux emplois générés en année 0 sur la figure 5 **puisque ces phases sont aujourd'hui, en 2020, terminées.**

Ainsi : $ETP_{2020}^{nucléaire\ existant} = ETP_{O\&M}^{nucléaire\ existant} \approx 1,11^{13}$ (données PWC).

Les rations d'emplois directs au MW de capacité installée entre la filière nucléaire et les filières EnRi sont conservés avec les chiffres PWC de 2018, de l'ordre de 2. Cela témoigne de la robustesse de la méthodologie employée avec cette vue cumulative des emplois en 2020

Des calculs menés dans les précédentes parties suivant différentes méthodologies calculatoires, nous déduisons le premier enseignement de cet avis :

1^{er} enseignement :

Aujourd'hui, la filière nucléaire compte pour 70 % des emplois directs toutes filières confondues électrogènes et génère, par MW de capacité installée, deux fois plus d'emplois directs en moyenne par rapport aux filières EnR en particulier la filière éolienne terrestre et solaire photovoltaïque.

¹³ En 2020, Fessenheim étant arrêtée, on se situerait plutôt autour de 1,14 ETP/MW.

4. Extrapolation à 2030

Pour les capacités installées, PWC a extrapolé la projection de la Programmation Pluriannuelle de l’Energie (PPE 2019, version avril 2020)¹⁴ jusqu’en 2030 (figure 11), ce qui donne le tableau 7, avec les deux scénarios bas (A) et haut (B) de la PPE.

Figure 11 : Hypothèses de projection à horizon 2030 (Extrait du rapport EDEC/PWC 2020)

Etude quantitative					Hypothèses de projection à horizon 2030		
Principales hypothèses de projection retenues sur le périmètre du système électrique							
Section	Hypothèse ¹				Source		
Parc renouvelable installé	En GW	2018	2023	2028	2030 ²	PPE 2019 – version finale avril 2020	
	Solaire PV	8,5	20,1	35,1/44	42/57		
	Éolien terrestre	15,1	24,1	33,2/34,7	36,8/ 39,4		
	Hydraulique	25,5	25,7	26,4/26,7	26,8/27,3		
	Éolien en mer	~ 0	2,4	5,2/6,2	6,9/7,4		
	Biogaz	0,14	0,27	0,34/0,41	0,35/0,48		
	Biomasse	0,6	0,8	0,8	0,8		
Éolien en mer	Construction et exploitation de l'éolien en mer	Ratios emploi en se basant sur un benchmark Européen (ratio d'installation de 12 emplois/MW et d'exploitation & maintenance de 3,7 emplois/MW)			EurObserv'ER, WindEurope, Agence de l'éolien de Bremerhaven		
Gains de productivité	Solaire PV, éolien terrestre et en mer	Hypothèses de gain de productivité intégrant les aspects d'économies d'échelle, d'augmentation de la taille des machines de production, de digitalisation des opérations, etc.			Entretiens acteurs des énergies renouvelables		
Section	Hypothèse ¹				Source		
Production d'origine thermique	Arrêt des 4 dernières centrales électriques fonctionnant au charbon d'ici 2022				PPE 2019 – version finale avril 2020		
Production d'origine nucléaire	Fermeture de 14 réacteurs nucléaires de 900 MW d'ici 2035 selon le calendrier fixé par la PPE dont : <ul style="list-style-type: none"> • 2 réacteurs de Fessenheim en 2020 • 10 réacteurs au plus tard à l'échéance de leurs 5e visites décennales prévues entre 2029 et 2035³. • 2 réacteurs par anticipation des 5e visites décennales en 2027 et 2028 Les sites concernés pour un arrêt par paires de réacteurs : Tricastin, Bugey, Gravelines, Dampierre, Blayais, Cruas, Chinon et Saint-Laurent				PPE 2019 – version finale avril 2020		
Réseaux électriques	Mobilisation en phase de démantèlement d'environ 20% des ressources présentes en phase d'exploitation				CSF nucléaire		
	Trajectoires prévisionnelles des dépenses de réseau électrique pour accompagner la PPE				Acteurs des réseaux		

Note :

(1) - Impact Covid-19 non pris en compte

(2) - Les chiffres 2030 sont une extrapolation par rapport aux objectifs de capacités installées définis à horizon 2028 par la PPE 2019 – version avril 2020

(3) - La modification à l'horizon de l'étude (2030) se base sur la fermeture éventuelle de 4 réacteurs entre 2029 et 2030 sur les 10 prévus par la PPE entre 2029 et 2035.

PwC | Etude prospective emplois et compétences de la filière électrique

34

Tableau 7 : parcs et investissements annuels en 2030

2030	GW en opération (scénario A ou B)	GW/an en installation (*)
Eolien Terrestre	36,8 ou 39,4	2
Eolien en mer	6,9 ou 7,4	1
Solaire Photovoltaïque	42 ou 57	3,5
Hydraulique	26,8 ou 27,3	0
Biomasse	0,8	0
Biogaz	0,35 ou 0,48	0
TOTAL	114 ou 132	

(*) estimé d'après l'écart entre 2028 et 2030

Pour en déduire les emplois directs, PWC applique une règle simple de proportionnalité en emplois/MW pour l'O&M, et en emplois par MW installés pendant l'année pour le poste installation. Rien n'est précisé pour le poste Etudes ni pour la fabrication et la distribution des équipements, qu'on considérera ici comme proportionnelle au rythme d'installation sans tenir compte d'éventuels décalages dans le temps. **En revanche PWC indique que des progrès de productivité sont pris en compte sur les filières éolien et solaire PV entre 2018 et 2030. Ceci doit jouer à la baisse sur les ratios emplois/MW.** L'annexe 6 présente la méthodologie employée.

¹⁴ Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Programmation Pluriannuelle de l’Energie 2019-2023-2024-2028

Ainsi, PWC affiche pour les renouvelables le gain total d'emplois en 2030 par rapport à 2018 :

- Scénario A, soit un gain de 34 000 emplois directs (83 000 – 49 000).
- Scénario B, soit un gain de 66 000 emplois directs (115 000 – 49 000).

Pour le nucléaire, la fermeture de 8 réacteurs entre 2018 et 2030 ferait perdre 6000 emplois directs. Soit 0,75 emplois/MW en appliquant le ratio relatif à l'exploitant seul. Il en resterait donc 123 000.

Résultat de l'extrapolation pour le scénario A en 2030

Le détail des gains de productivité entre 2018 et 2030 n'étant pas donné dans le rapport PWC, nous effectuons ici une estimation pour chacune des trois filières : éolien terrestre, éolien offshore et solaire PV, qui vise simplement la compatibilité avec leur total 2030.

Dans le haut du tableau ci-dessous, les emplois d'O&M en 2030 sont déduits des emplois en 2018 au prorata des capacités en service, sans gain de productivité. Les emplois (Etudes, Fabrication, Distribution, Installation) sont déduits également sans gain de productivité au prorata des rythmes de mises en service (GW/an) d'après le delta entre 2028 et 2030).

Dans le bas du tableau, ces valeurs sont modifiées en prenant en compte les gains de productivité estimés.

Tableau 8 : Calcul des ETP/MW en 2030 d'après le scénario A dans l'étude PWC

		Hydraulique	Éolien	Offshore	Solaire PV	Biomasse	Biogaz	Total
Capacité 2030 scénario A, GW		27	37	6,9	42	0,8	0,35	114
ETP/MW (*)		0,5	0,75	5,5	0,50	2,8	4,3	0,91
Emplois	Etudes	100	5444	638	913	0	106	7200
	Fabrication	473	3079	1294	668	0	77	5591
	Distribution	227	1477	618	321	0	37	2680
	Installation	2100	5889	10200	4717	0	545	23451
	O&M	9658	11893	25530	14233	2288	750,4	58062
	Total Emplois	12558	27782	38280	20853	2288	1515	103275
	Gain de productivité		20 % ?	20 % ?	25 % ?			
ETP/MW (**)	0,5	0,59	4,5	0,36	2,8	4,3	0,73	
Total Emplois PWC avec gains de productivité	12558	22000	31990	15000	2288	1515	83003	

(*) = valeurs 2018

(**) = après gain de productivité entre 2018 et 2030

Pour le parc nucléaire, PWC prend en compte l'arrêt de 8 réacteurs entre 2018 et 2030 et affecte toutes les destructions d'emplois conséquentes aux employés des centrales d'EDF. Puisque la part de l'exploitant en France représentait (cf. §2) 0,75 ETP/MW ; PWC en déduit une diminution de 6000 emplois, correspondant à la perte de $8 \times 1000 \times 0,75$ ETP/MW.

D'où l'évolution totale :

Total EnR + nucléaire 2018 = 49 000 + 129 000 = 178 000 emplois directs

Total EnR + nucléaire 2030 = 83 000 + 123 000 = 206 000 emplois directs

Cela correspond une augmentation de 14 % des emplois directs. Les emplois propres aux renouvelables ont pratiquement doublé comme leur capacité installée totale, passée de 51 à 114 GW. Mais en 2030 la filière nucléaire représentera encore 60% des emplois.

Nous déduisons alors le second enseignement de cet avis :

2^{ème} enseignement :

Sur le moyen terme, sans prendre en compte le lancement des nouveaux chantiers et malgré un doublement de la capacité EnR installée et une fermeture des réacteurs, la filière nucléaire représentera encore la majorité des emplois directs du secteur.

Les ratios ETP/MW extrapolés ici sont à comparer à des études spécifiques récemment publiées :

- **Pour l'éolien offshore**, une étude détaillée de 2020 au Danemark¹⁵ analyse les gains de productivité depuis 2010 et obtient un contenu de **4,9 ETP/MW** en 2022. Ceci est bien compatible avec notre extrapolation à 4,5 ETP/MW en 2030 sur la base de PWC.
- L'extrapolation pour l'Europe en 2030 par Deloitte¹⁶ intègre l'éolien terrestre à **253 GW** et l'offshore à **70 GW**. Le nombre d'emplois directs et indirects calculé en 2030 ne donne pas la répartition entre onshore et offshore. Il est très élevé à 569 049 emplois. La cohérence de notre extrapolation se vérifie en résolvant l'équation : $253\ 000\ \text{MW} \times \text{ETP}_i/\text{MW} (\text{onshore}) + 70\ 000 \times \text{ETP}_i/\text{MW} (\text{offshore}) = 569\ 049\ \text{ETP}_i$; où l'inconnu est $\text{ETP}_i/\text{MW} (\text{offshore})$. Pour l'onshore, on prendra pour le nombre d'emplois directs et indirects par MW le chiffre donné par Deloitte à 1,75 ETP_i/MW (cf. §3). **En prenant un gain de 20 % sur les emplois de l'éolien terrestre, on obtient une intensité emplois directs et indirects pour l'éolien offshore de 3,1 ETP_i/MW. Même en y intégrant les emplois indirects, la valeur est plus faible que notre extrapolation.** Ceci peut s'expliquer notamment par **la position industrielle forte de la France sur l'éolien offshore (étude PWC), là où l'étude Deloitte est à périmètre européen et comptabilise des pays dont le secteur de l'offshore est et sera moins développé.**

¹⁵ Thomas Sylvest, QBIS Denmark, Socio-economic impact study of offshore wind, July 2020

¹⁶ Deloitte, "Local impact, global leadership. The impact of wind energy on jobs and the EU economy", November 2017

- **Pour le solaire PV**, en France, l'étude ENERPLAN (cf. §3) évaluait les emplois créés dans le scénario de la PPE jusqu'en 2023, qui prévoit une capacité installée de 20 GW en 2023, en partant de 7 GW en 2016 :

Figure 12 : Emplois dans la filière solaire PV en 2030 d'après ENERPLAN (extrait de l'étude)

Dans le photovoltaïque, 6 200 emplois directs seraient créés entre 2016 et 2023 en installant 13 GW, dont 4 600 dans la construction et 1 600 en exploitation et maintenance. Mais en moyenne sur une durée de vie de 20 ans d'une installation, en comptant 2 ans de construction, on obtient : $(4\,600 \times 2 / 20 + 1\,600) / 13\,000 = \mathbf{0,17}$ **emplois directs par MW en moyenne sur 20 ans**, dont 75 % pour l'exploitation et la maintenance.

Cette valeur faible contraste avec notre extrapolation à 0,36 ETP/MW en 2030. La raison en est qu'ENERPLAN fournit une valeur en moyenne pondérée. **Là encore se pose la question de la proportion entre O&M d'un parc installé et l'installation de nouvelles capacités, celle-ci appelant transitoirement plus d'emplois par MW.** En reprenant le même raisonnement que dans le tableau 5 avec les données actualisées d'emplois directs du tableau 8, **on obtient une extrapolation à 0,23 $\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$ en 2030 (tableau 9) qui est une valeur médiane cohérente avec la première extrapolation et le résultat de l'étude ENERPLAN.**

Tableau 9 : $\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$ de la filière solaire PV en 2030 (Amont = Installation + Fabrication + Distribution)

	Amont	Installation	O&M
Durée des phases solaire PV (années)	2	1	25
ETP/MW solaire	0,05	0,11	0,34
Vision en moyenne pondérée	Solaire PV		
$\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$	0,31		
$\overline{\text{ETP}}/\text{MW}/\text{an}$ après gain de productivité	0,23		

5. Extrapolation à l'horizon 2050

L'objet de cette partie est d'extrapoler le besoin en emplois à l'horizon 2050 en s'appuyant sur les scénarios prospectifs développés récemment par RTE¹⁷ pour le système électrique français. Précisément, nous développerons notre analyse autour sur la base d'une comparaison entre les deux scénarios « extrêmes » : le scénario M23 « EnR grands parcs » et le scénario N03 « EnR + nouveau nucléaire ». Il va sans dire qu'une extrapolation aussi loin dans le temps est purement indicative, aussi bien dans le scénario de croissance des capacités que dans l'évolution des productivités.

→ Scénario RTE M23

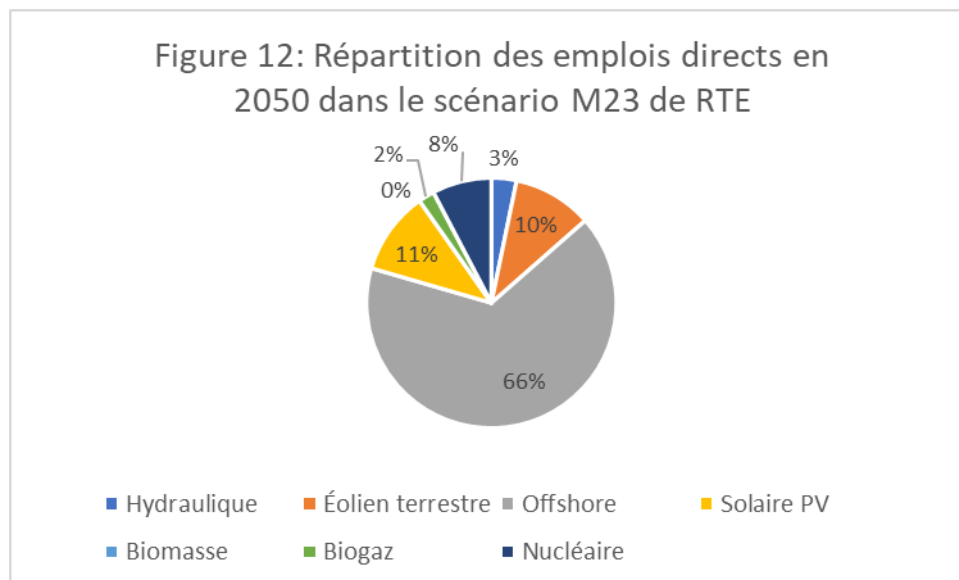
Le scénario M23 « EnR grands parcs » se caractérise par :

- Un parc nucléaire résiduel réduit à 16 GW en 2050
- La massification du développement des renouvelables via de grands parcs éoliens sur terre (72 GW) et en mer (60 GW) et de grandes centrales solaires (125 GW).
- La minimisation des coûts systématiquement recherchée qui conduit à cibler les technologies et les zones bénéficiant des meilleurs rendements et permettant des économies d'échelle.

Pour en déduire les emplois directs on applique ici les ratios de PWC incorporant les gains de productivité en 2030.

Tableau 10 : Emplois directs en 2050 dans le scénario M23

	Hydraulique	Éolien terrestre	Offshore	Solaire PV	Biomasse	Biogaz	Nucléaire	TOTAL
GW en 2050	29	72	60	125	0	2	16	
ETP/MW	0,47	0,59	4,57	0,36		4,33	2	
Emplois directs	13 488	42 811	274 200	44 643	0	8 657	32 000	415 800



L'éolien offshore compte en 2050 pour 66 % (figure 12) des emplois directs générés par le secteur de production d'électricité. En 2018, le nucléaire générait 72 % (annexe 1) des emplois directs selon PWC. Par ailleurs, **la filière offshore comptera, pour une même puissance installée (environ 60 GW), de**

¹⁷ RTE, Futurs énergétiques 2050

l'ordre de 100 000 emplois supplémentaires par rapport à la filière nucléaire en 2018. Cette importance prise par l'éolien offshore invite à d'autant plus de précautions que la filière industrielle n'est pas mature à date : « Toutefois, contrairement aux pays de la mer du Nord, la plupart des côtes françaises sont marquées par des profondeurs qui augmentent rapidement avec l'éloignement des côtes. Par conséquent, sur certaines façades maritimes françaises [...], le développement de l'éolien en mer ne pourra se faire qu'avec des parcs éoliens flottants. **Cette technologie reste à un stade de maturité significativement moins avancé que pour l'éolien posé [...].** »¹⁸

Le nombre d'emplois directs extrapolés à l'horizon 2050 dans ce scénario M23 reposant pour très grande partie sur une filière qu'il reste à développer, une étude de sensibilité des hypothèses d'ETP/MW est nécessaire d'un point de vue méthodologique. C'est l'objet de l'annexe 8.

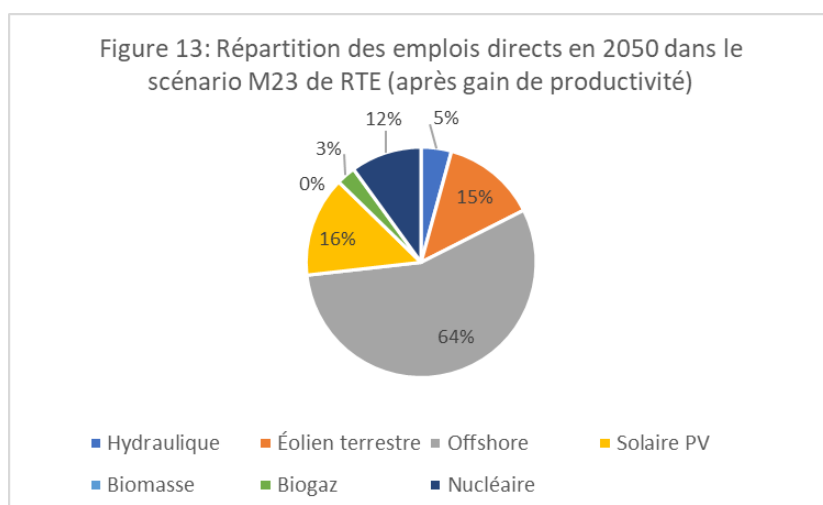
Partant des trajectoires de réduction significative de coûts fixes (CAPEX) et variables (OPEX) prises par RTE (annexe 7), soit -en hypothèse centrale- une réduction de 50 % sur le CAPEX et de 40% sur l'OPEX nous calculons un gain de productivité. Les hypothèses de ce calcul sont les suivantes :

- i. 50 % de la réduction du CAPEX s'explique par un nombre plus faible d'emplois. 50 % par une augmentation de la taille et de l'efficacité des pâles.
- ii. La baisse d'OPEX s'explique intégralement par un nombre plus faible d'emplois. Cette réduction se traduit par une perte d'emplois directs sur la phase d'O&M.
- iii. La phase d'O&M occupe deux tiers des emplois directs par MW de capacité installée (tableau 8).

Le gain de productivité totale sur le nombre d'emplois directs est de 35 %¹⁹. En partant d'une réduction de 35 % entre 2030 et 2050, la contribution de l'offshore resterait alors dominante avec 178 230 emplois (64 % du total – figure 13), avec une intensité emplois de l'ordre de 3 ETP/MW (tableau 11). Les autres filières EnR totaliseraient environ 110 000 emplois directs

Tableau 11 : Emplois directs en 2050 dans le scénario M23 avec gain de productivité sur l'éolien offshore

	Hydraulique	Éolien terrestre	Offshore	Solaire PV	Biomasse	Biogaz	Nucléaire	TOTAL
GW 2050	29	72	60	125	0	2	16	304
ETP/MW	0,47	0,59	2,97	0,36		4,33	2	
Emplois directs	13 488	42 811	178 230	44 643	0	8657	32 000	319 829



¹⁸ RTE, Futurs Energétiques 2050, Chapitre 4 : Production d'électricité (p. 142).

¹⁹ Gain total = Gain OPEX * 100 % * 2/3 + Gain CAPEX * 50 % * 1/3.

Le total en 2050, pour la production électrique hors réseaux, se situerait alors autour de 320 000 emplois directs, à comparer aux 178 000 (129 000 pour le nucléaire + 49 000 pour les EnR) de 2018, et aux 206 000 emplois (123 000 + 83 000) en 2030. Soit une augmentation de 44 % entre 2018 et 2050 et 36 % entre 2030 et 2050. **En 2050 (dans le scénario M23), la composition des emplois directs dans le secteur de la production électrique est renversée : la capacité totale d'EnR a été multiplié par un facteur six ainsi que les emplois associés, mais 109 000 emplois directs ont été perdus dans le nucléaire.**

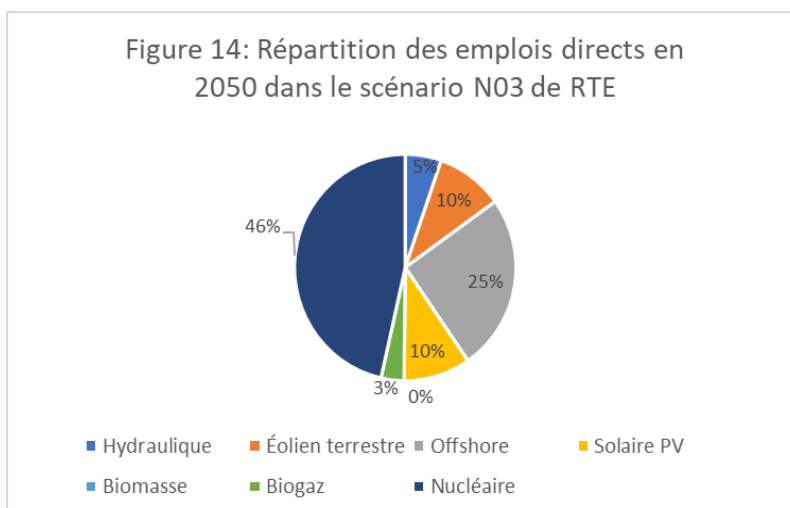
Avec toutes les réserves sur les hypothèses et l'homogénéité des calculs, l'intensité en emploi du scénario M23 est de 1,05 ETP/MW.

→ Scénario RTE N03

Dans ce scénario, le mix de production repose à parts égales sur les renouvelables et le nucléaire à l'horizon 2050. Il suppose un fonctionnement étendu des réacteurs actuels tant qu'ils respectent les normes de sûreté, et la construction de nouveaux réacteurs selon un rythme volontariste avec diversification des technologies de troisième génération de grande taille (EPR2), mais aussi des réacteurs de taille réduite (SMR). La capacité nucléaire inclut 24 GW de parc prolongé et 28 GW de nouveaux réacteurs. **Pour ce total installé de 52 GW on suppose ici que les emplois directs seraient seulement légèrement diminués (120 000) par rapport à 2018 où la capacité atteignait 61 GW à la faveur d'un besoin fort aux postes d'études et de R&D, soit une intensité emplois de 2,3 ETP/MW au même niveau que l'offshore.** D'où le tableau de synthèse suivant :

Tableau 12 : : Emplois directs en 2050 dans le scénario N03 offshore

	Hydraulique	Éolien terrestre	Offshore	Solaire PV	Biomasse	Biogaz	Nucléaire	TOTAL
GW 2050	29	43	22	70	0	2	52	218
ETP/MW	0,47	0,59	2,97	0,36		4,33	2,3	
Emplois directs	13 630	25 370	65 340	25 200	0	8 660	120 000	258 200



Le niveau d'emplois directs serait inférieur de 60 000 ETP par rapport au scénario précédent, soit un écart de 20 % environ, pour une capacité totale installée en renouvelables (éoliens et PV) pratiquement divisée par deux. **Puisque que le nucléaire a un facteur de charge plus élevé, la capacité totale à installer est plus faible dans le scénario N03 et par suite que le nombre total d'ETP est plus faible que dans un scénario sans renouvellement du parc (M23).** En revanche, toujours avec un recul critique compte tenu des hypothèses et de la nature du calcul, l'intensité en emploi du scénario N03

est plus élevé : de l'ordre de 1,18 ETP/MW ; à consommation fixée, cela traduit d'une plus grande efficacité de ce mix.

La part emplois de l'éolien offshore reste encore très importante (25 % du total – figure 14) même dans le scénario N03. **En revanche ce scénario est beaucoup moins sensible aux hypothèses de contenu emplois de cette filière (annexe 8), qui reste entièrement à construire ;**

De ce qui précède nous tirons le troisième enseignement de cet avis :

3^{ème} enseignement :

Sur le long terme, le nombre d'emplois toutes filières électrogène confondues ne varie pas significativement entre les différents scénarios de mix électrique. Par ailleurs, ces résultats restent largement tributaires des hypothèses faites sur la filière de l'éolien en mer.

- Emplois indirects

Comptabiliser les emplois indirects de chaque filière implique un comptage supplémentaire par enquête ou par évaluation à partir des matrices input/output, ce qui va bien au-delà du contenu de cet avis ; dans les filières renouvelables ils dépendront beaucoup du niveau de développement de la chaîne de fournisseurs sur le territoire français. Si l'on se réfère aux valeurs reproduites sur le tableau en tête de cet avis (tableau 1) extrait de la note Sfen 2017, on obtient les facteurs multiplicatifs suivants en France :

- **Pour le nucléaire**, (directs + indirects) = 1,9 x directs : **ETP_i/MW = 1,9 x ETP/MW**
- **Pour le solaire PV**, (directs + indirects) = 1,4 x directs : **ETP_i/MW = 1,4 x ETP/MW**
- **Pour l'éolien terrestre**, le facteur 1,7 estimé en Allemagne n'est pas applicable en France où la part de valeur ajoutée nationale est plus faible, nous retiendrons une valeur intermédiaire : **ETP_i/MW = 1,5 x ETP/MW**
- **Pour l'éolien en mer**, une étude détaillée de 2020 au Danemark²⁰ analyse les gains de productivité depuis 2010 et obtient un contenu de **4,9 ETP/MW** et **10,1 ETP_i/MW** en 2022 (cf. §4), c'est-à-dire un facteur estimé de 2, proche du nucléaire. La filière offshore n'est pas développée au même niveau que la filière nucléaire dans sa chaîne de fabrication. Aussi nous prendrons un facteur de 1,7 pour la France.

Avec un facteur plus élevé pour le nucléaire que pour les renouvelables, toutes choses égales par ailleurs, **le faible écart de créations d'emplois directs entre les deux scénarios M23 et N03 est réduit de 20 % à 16 %²¹.**

Avec les éléments récoltés à date, compte tenu des incertitudes fortes sur la filière de l'éolien en mer et de sa contribution majeure à l'emploi dans les scénarios, la Sfen conclut que l'emploi n'est pas un critère discriminant dans le choix du mix électrique sur le long terme. Celui-ci devra inclure d'autres éléments tels que les impacts sur l'environnement²², les coûts systèmes²³, les incertitudes technologiques²⁴ et la robustesse des trajectoires permettant l'atteinte des objectifs de décarbonation, de sécurité d'approvisionnement et de réindustrialisation.

²⁰ Thomas Sylvest, QBIS Denmark, Socio-economic impact study of offshore wind, July 2020

²¹ Sans comptabiliser les emplois indirects générés par les filières biomasse et biogaz :
Scénario N03, directs + indirects : 411 653 emplois. Scénario M23, directs + indirects : 490 460 emplois.

²² Voir l'avis Sfen : « Impact de la production d'énergie nucléaire sur la biodiversité ».

²³ Pour lesquels, RTE dans ses scénarios « Futurs énergétiques 2050 » donne un avantage au nucléaire.

²⁴ Qui font peser un poids sur la sécurité d'approvisionnement.

Focus sur le domaine de l'ingénierie d'après l'Observatoire des métiers du numérique, de l'ingénierie, du conseil et de l'évènement (OPIEEC)

Cette partie reprend les principaux résultats présentés dans une étude de l'OPIEEC²⁵ réalisé par le cabinet EY datant de 2019.

- Périmètre de l'étude

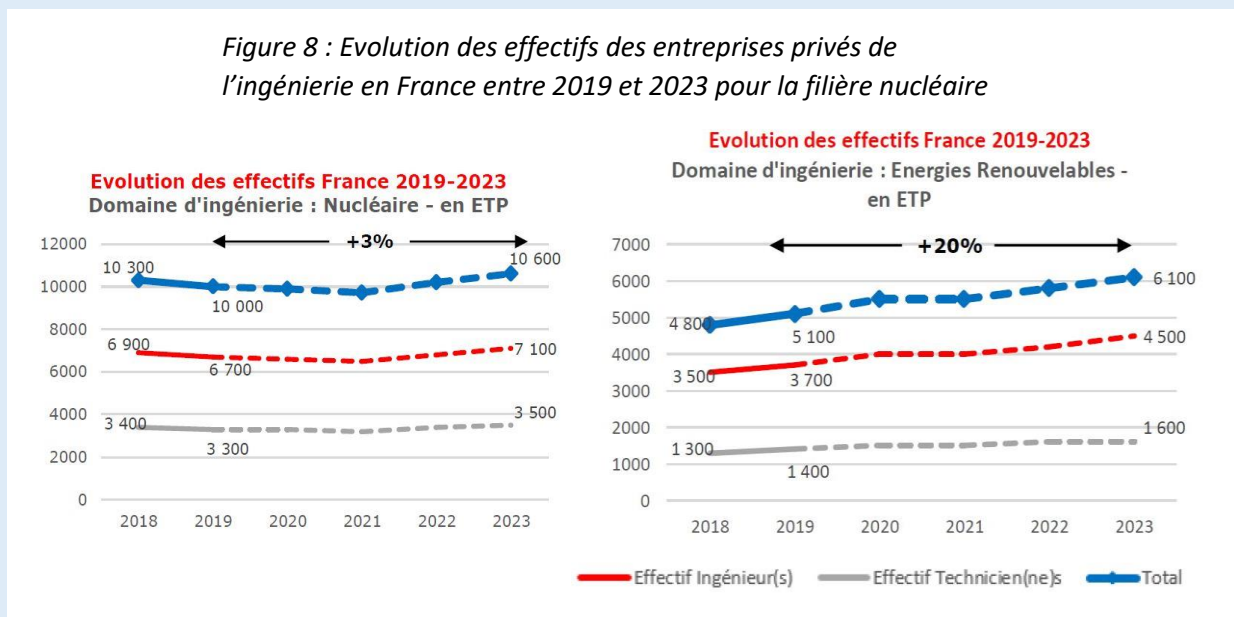
L'étude dont il sera question dans cette partie traite, entre autres, de la perspective d'emplois (en ETP) et de formations pour les entreprises d'ingénierie du secteur énergétique et plus particulièrement pour la filière nucléaire et la filière agrégée des EnR.

Le secteur de l'ingénierie regroupe les entreprises de conseil en technologies, d'ingénierie de construction et d'ingénierie de process. Le secteur compte 18 972 entreprises et 301 320 salaires (définition OPIEEC). Parmi ces entreprises, celles qui ont une part tout ou partie de leur activité intégrée à la filière nucléaire sont, pour les plus grosses, Edvance (filiale d'EDF), Altran Technologies, Westinghouse Electric France SAS ou encore GE Steam Power Systems.

Le paragraphe sur les emplois est consacré aux projections de l'activité et de ses impacts sur l'emploi dans l'ingénierie privée en France. **Globalement sur la période 2019-2023, les effectifs ingénieur et techniciens croissent de +12 %, soit une création nette de 7500 emplois dont 2700 techniciens.**

Pour le nucléaire, l'étude tient compte de la continuation du plan connu de jouvence des centrales, le Grand Carénage, et des études EPR2 « sur une base de deux paires de deux tranches concernées sur la période 2019-2023. Les projections tiennent également compte de l'activité des entreprises française sur les projets à l'international notamment en Chine et en Inde. En annexe 5 sont donnés les projets retenus pour la quantification des besoins sur la période de référence. **Pour les EnR**, l'étude retient les objectifs fixés par la PPE (annexe 5). L'étude précise : « Les acteurs interviewés considèrent majoritairement ces objectifs de puissance installée atteignables, permettant de travailler sur des projets concrets d'ingénierie sur la période 2019-2023. »

- Evolution sur le court terme des effectifs ingénieur et technicien



²⁵ « Accompagner la transition énergétique : état des lieux de l'emploi et des besoins en compétences dans les entreprises d'ingénierie », Septembre 2019.

Pour la filière nucléaire, l'étude note une légère baisse d'ETP jusqu'en 2021 puis une reprise de l'activité (figure 8), notamment à la faveur des projets à l'étranger, en Chine et en Inde principalement, et du démarrage des études sur l'EPR2. Au global sur la période 2019-2023, **l'étude estime qu'une hausse de +3 % des ETP dans le domaine de l'ingénierie relatif à la filière nucléaire. Cette hausse s'effectue à capacité installée constante.**

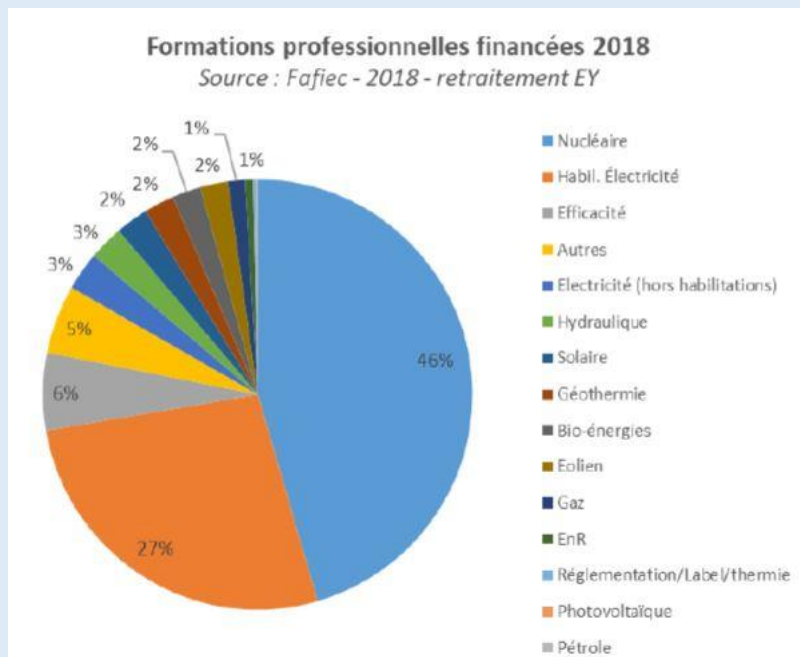
Pour la filière EnR, l'ensemble des marchés d'ingénierie devrait générer 1000 nouveaux emplois, **dont plus de 60 % pour la seule filière de l'éolien en mer. Sur cette dernière, les principaux projets d'ingénierie retenus concernent les études avant-projets, qui présentent une intensité en ETP/MW forte sur un temps relativement court (figure 6).**

Le ratio de l'ordre de 2 ingénieurs pour 1 technicien dans la filière nucléaire et celui de 3 pour 1 dans la filière EnR appuie dans le sens d'une forte intensité emploi des phases en amont de l'O&M - mobilisant plus d'ingénieurs dans les projets renouvelables. **Pour la filière nucléaire dans son ensemble, plus des trois quarts des effectifs sont cadres ou ETAM²⁶.**

- Comparaison des offres de formation entre les différentes filières

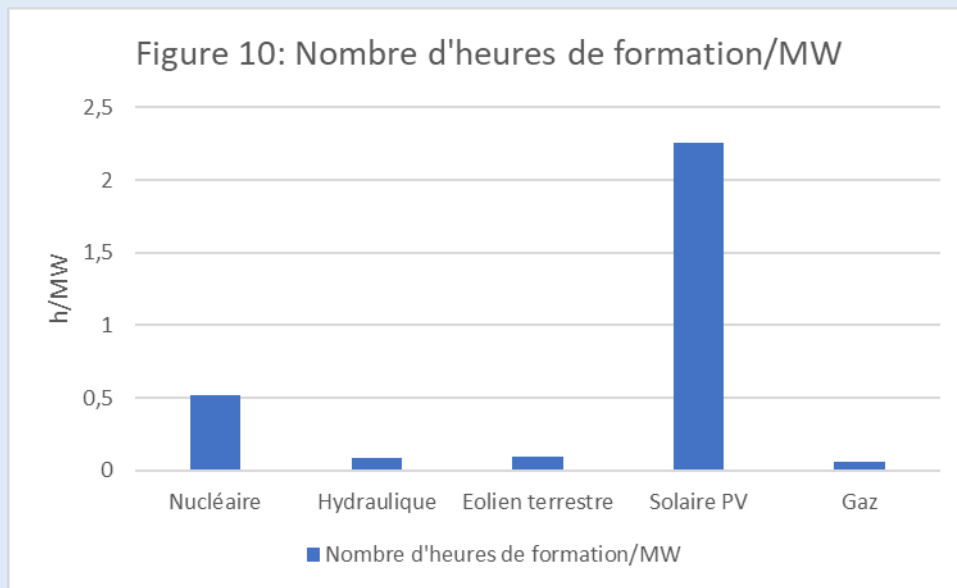
Les résultats de l'étude portent sur les formations professionnelles ayant l'objet d'une demande de financement auprès du Fond d'Assurance Formation Ingénierie et Conseil (FAFIEC²⁷). Au total, 71 000 heures de formation sont recensées pour tous les domaines de formations liés aux énergies (hors formations longues diplômantes). La dispersion entre les filières est forte (figure 9). Par ailleurs, plus de 70 % de ces heures concernent le solaire PV et le nucléaire. Rapporté à la puissance installée en 2018 on obtient un indicateur de formations en heures/MW (figure 10).

Figure 9 : Répartition des heures de formation entre les filières énergétiques



²⁶ Employés, techniciens et agents de maîtrise.

²⁷ Organisme en charge de la formation professionnelle pour les entreprises du secteur.



Deux filières ressortent nettement : le solaire PV et le nucléaire. En outre, 4 fois plus d'heures de formation par MW de capacité installée sont données pour le solaire PV par rapport au nucléaire. Les formations répertoriées dans l'étude portent principalement sur des compétences à dominance opérationnelle immédiate (habilitations sur la pose de panneaux etc.). L'indicateur reste discutable notamment du fait que la répartition des heures de formation sur l'ensemble des entreprises françaises (pas seulement celles du domaine de l'ingénierie) n'est peut-être pas homogène entre toutes les filières.

Ainsi, pour la filière nucléaire dans son ensemble, chaque salarié bénéficie en moyenne de neuf jours de formation par an d'après le CSFN²⁸ soit une moyenne entre 31 et 220 heures de formation par MW de capacité nucléaire installée (selon la durée de la formation entre 1 et 7 heures).

²⁸ Comité stratégique de la filière nucléaire (2019). Sur un total de 220 000 salariés.

PARTIE ANNEXES

ANNEXE 1 : Emplois directs dans la filière nucléaire et les filières EnR

Captures d'écran tirées de la note méthodologique PWC, Octobre 2020

Résumé Nucléaire					
	Amont	Installation	O&M	Démantèlement & déchets	Total
Total emplois	26 000	33 000	55 000	15 000	129 000

Résumé Energies Renouvelables Electriques						
	Etudes	Fabrication	Distribution	Installation	O&M	Total
Eolien Terrestre	4 900	2 771	1 329	5 300	4 500	18 800
Eolien en mer	100	203	97	1 600	-	2 000
Solaire Photovoltaïque	600	439	211	3 100	3 050	7 400
Hydraulique	100	473	227	2 100	9 300	12 200
Biomasse	49	233	112	1 033	4 575	6 001
Biogaz	211	154	74	1 090	1 072	2 602
Total emplois	5 960	4 273	2 050	14 223	22 497	49 003

Comparaison avec les données ADEME, « Marchés et emplois concourant à la transition énergétique dans le secteur des énergies renouvelables et de récupération, Situation 2016-2018 »

	Hydraulique	Eolien terrestre	Solaire PV
GW en 2018	25,5	15,1	8,5
Emplois PWC	11 890	18 800	7 400
Dont O&M	9 300	4 500	3 050
Dont Installation	2 100	5 300	3 100
Emplois ADEME	12 200	15 220	6 220
Dont O&M	9 470	3400	2 240
Dont Installation	1 950	5250	3 260

ANNEXE 2 : Tableau des hypothèses de parc en 2018

	GW opérationnels en 2018 (rapport PWC 2020)	GW/an en installation en 2018 (estimé d'après l'écart 2018-2023)
Eolien Terrestre	15,1	1,8
Eolien en mer	0	0,48
Solaire PV	8,5	2,32
Hydraulique	25,5	0,04
Biomasse	0,6	0,04
Biogaz	0,14	0,026
TOTAL	51 GW	

ANNEXE 3 : Tableau des hypothèses de durée d'installation et d'exploitation et maintenance

	Durée d'installation (an)	Durée d'exploitation et maintenance (an)
Eolien terrestre	1,5	25
Solaire PV	0,5	25
Hydraulique	7	50
Biomasse	2	25
Biogaz	2	30
Nucléaire	7	60

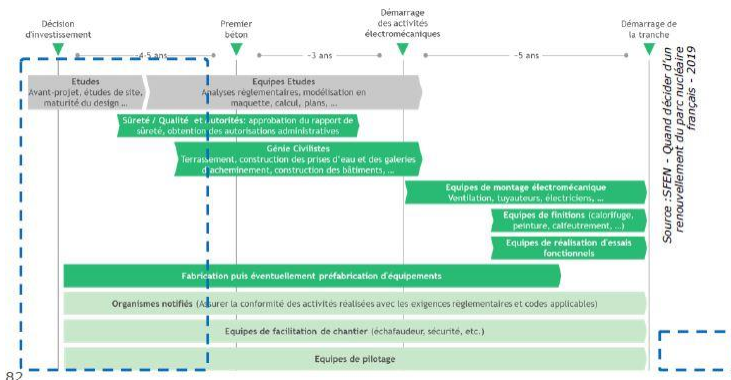
ANNEXE 4 : Tableau des évolutions des parcs éolien terrestre et solaire

Données tirées du Bilan Electrique 2020 de RTE

Année	Parc installé éolien (MW)	Parc installé solaire (MW)	Evolution éolien (MW/an)	Evolution solaire (MW/an)
2001	94	0	94	0
2002	129	0	35	0
2003	219	0	90	0
2004	393	0	174	0
2005	752	0	359	0
2006	1502	4	750	4
2007	2250	7	748	3
2008	3327	61	1077	54
2009	4573	190	1246	129
2010	5762	878	1189	688
2011	6714	2584	952	1706
2012	7536	3727	822	1143
2013	8157	4366	621	639
2014	9313	5297	1156	931
2015	10324	6196	1011	899
2016	11761	6773	1437	577
2017	13550	7654	1789	881
2018	15133	8546	1583	892
2019	16511	9567	1378	1021
2020	17616	10387	1105	820

ANNEXE 5 : Hypothèse pour les besoins en emplois de la filière nucléaire sur la période 2019-2023

Captures d'écran du rapport de l'étude OPIIEC-EY



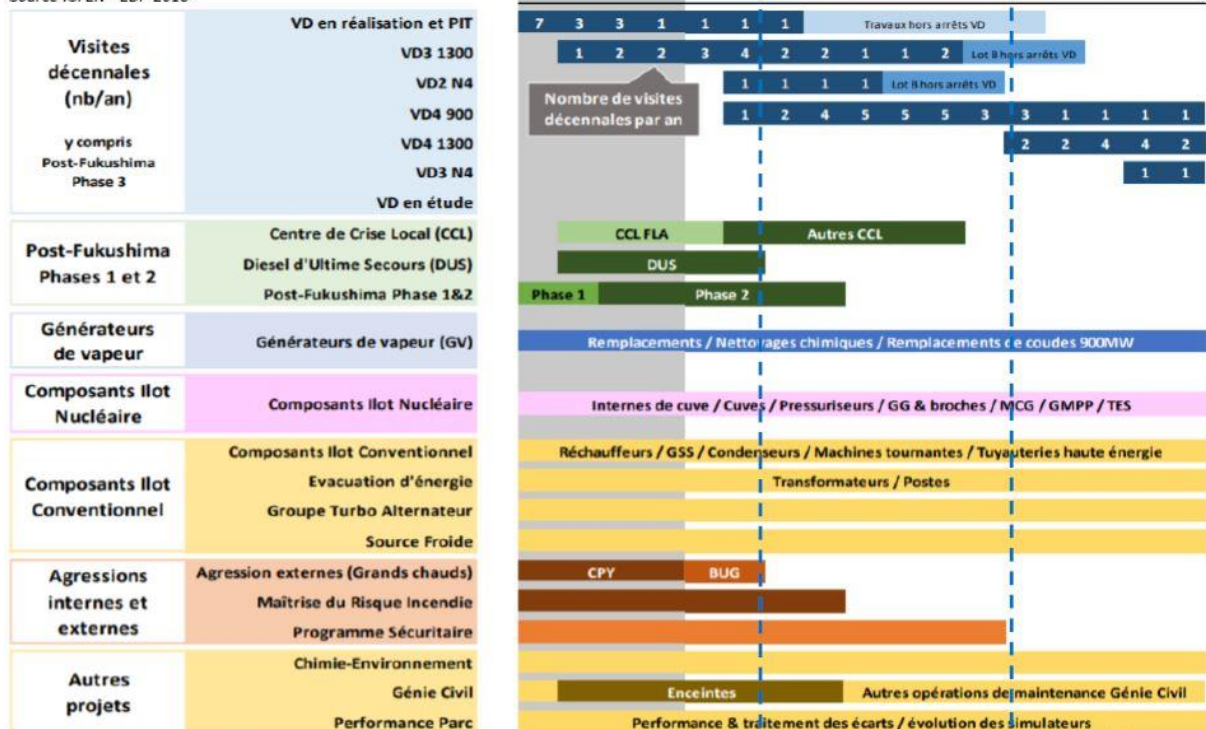
Précisions :

- Ces projections tiennent compte de l'ensemble des marchés d'ingénierie nucléaire France+International
- Elles tiennent notamment compte de la continuation du plan Grand Carénage connu et des études EPR2 (sur une base de 2 paires de 2 tranches concernées sur la période de référence).

Projets retenus pour la quantification des besoins sur la période de référence



Source : SFEN - EDF-2018



Projets retenus pour la quantification des besoins sur la période de référence



OBJECTIFS FIXÉS AUX DIFFÉRENTES FILIÈRES EN FRANCE MÉTROPOLITAINE

Les DOM et la Corse sont tenus de programmer leurs propres PIPE

ÉLECTRICITÉ (en MW)			
Energie	Puissance installée au 31/12/2014	Puissance installée au 31/12/2018	Puissance installée au 31/12/2023
Eolien terrestre	9 313	15 000	De 21 800 à 26 000
Solaire	5 297	10 000	De 18 200 à 20 200
Hydroélectricité	25 000	25 300	De 25 800 à 26 050
Eolien en mer posé	0	500	3 000 (plus 6 000 attribués)
Energies marines	0	0	100 (entre 200 et 2 000 attribués)
Géothermie	1,5	8	53
Bois énergie	Moins de 300	540	De 790 à 1 040
Méthanisation	93*	137	De 237 à 300

Source : ecologique-solidaire.gouv.fr-2018

Projets retenus pour la quantification des besoins sur la période de référence

ANNEXE 6 : Méthodologie pour l'extrapolation à 2030 dans l'étude PWC

Capture d'écran tirée du rapport PWC, Octobre 2020

Etude quantitative

Méthodologie de projection

Méthodologie retenue pour estimer l'évolution des emplois de la filière électrique

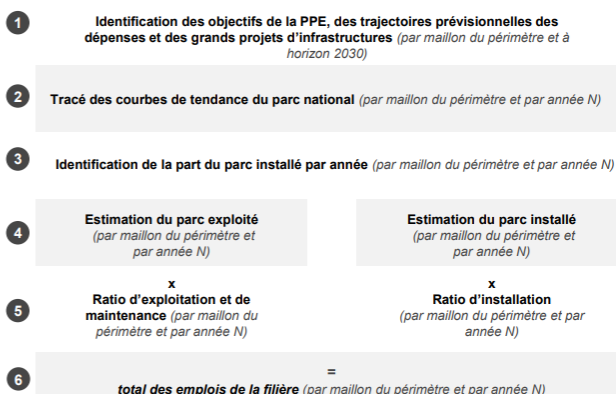
Le diagnostic à date réalisé sur l'ensemble du périmètre et par maillon de chaîne de valeur permet d'avoir une analyse à maillage fin et une meilleure visibilité sur les perspectives d'évolution de la filière par secteur d'activité.

L'identification des objectifs de la PPE, complétée par les trajectoires prévisionnelles de dépenses dans les réseaux électriques et les projets d'infrastructures, a permis d'estimer l'évolution annuelle de parc installé (nombre de bâtiments résidentiels, km de lignes, parc renouvelable installé, nombre de bornes de recharges pour véhicules électriques etc.), tout en distinguant le parc installé du parc exploité.

Pour chaque segment, des ratios clés ont été identifiés (emploi par base installée, emploi/MW ou emploi/bâtiment etc.) par maillon de chaîne de valeur.

Les ratios multipliés par le parc installé et exploité permettent de déterminer les volumes d'emplois par année et par maillon du périmètre.

Base installée (parc bâtiment, parc renouvelable, nucléaire etc.) en 2018



PwC | Etude prospective emplois et compétences de la filière électrique

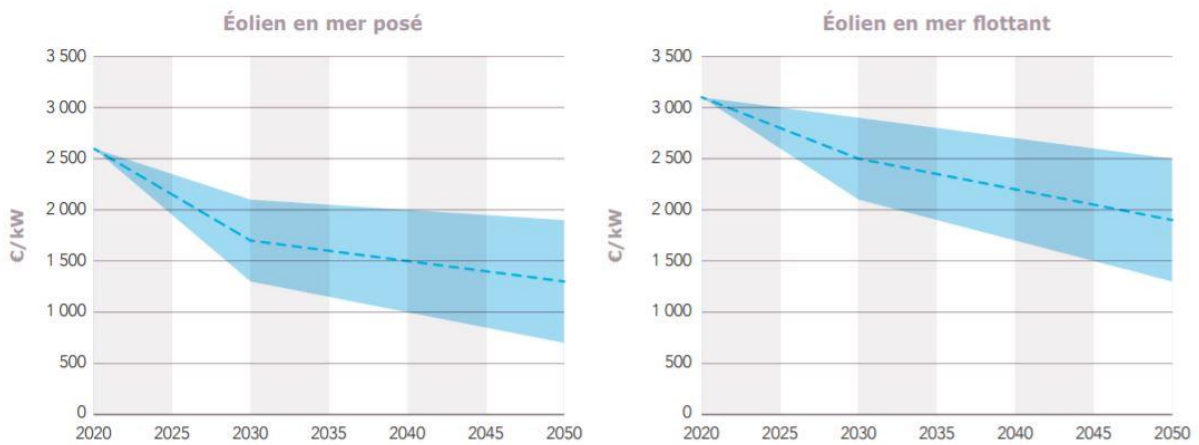
36

ANNEXE 7 : Evolution du CAPEX et de l'OPEX de l'éolien offshore dans les scénarios RTE

Capture d'écran tirée du document de cadrage RTE du GT coûts du 30/06/20

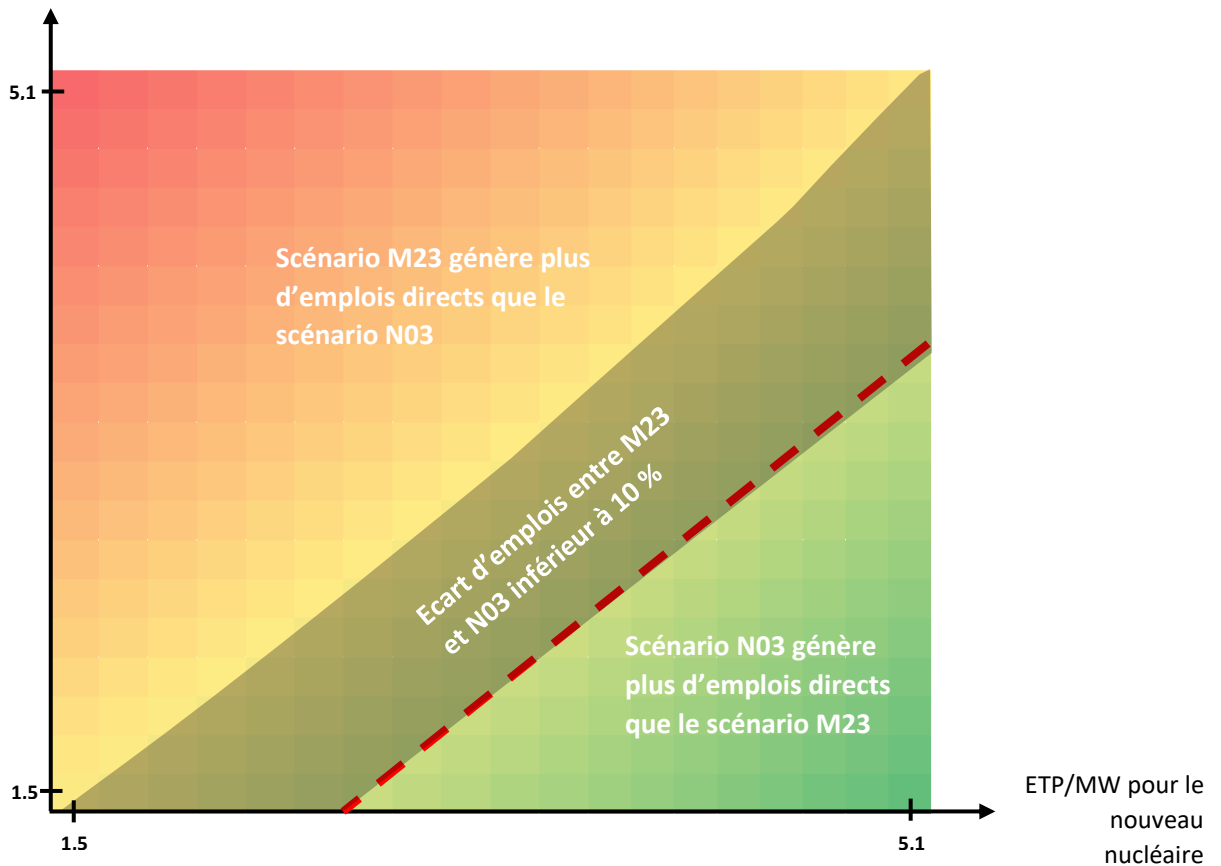
Eolien en mer posé		Trajectoire	2020	2030	2040	2050
CAPEX (hors raccordement)	€2018/kW	Haute	2600	2100	2000	1900
		Centrale	2600	1700	1500	1300
		Basse	2600	1300	1000	700
OPEX	€2018/kW/an	Haute	80	65	60	55
		Centrale	80	58	47	36
		Basse	80	54	38	28
Eolien en mer flottant		Trajectoire	2020	2030	2040	2050
CAPEX (hors raccordement)	€2018/kW	Haute	3100	2600	2550	2500
		Centrale	3100	2200	2050	1900
		Basse	3100	1800	1550	1300
OPEX	€2018/kW/an	Haute	110	90	80	70
		Centrale	110	80	60	50
		Basse	110	75	50	40

Figure 11.9 Évolution des coûts d'investissement de l'éolien en mer à l'horizon 2050 (hors raccordement)



ANNEXE 8 : Comparaison des emplois directs générés les scénarios M23 et N03

ETP/MW pour l'offshore



L'annexe 8 compare le nombre d'emplois directs entre le scénario N03 et le scénario M23. La ligne rouge de partage en pointillée, sépare l'espace en deux : d'une part les univers dans lesquels le scénario M23 génère plus d'emplois que le scénario N03, d'autre part ceux où le scénario N03 génère plus d'emplois que le scénario M23. Ces univers sont paramétrés par l'intensité emplois (ETP/MW) des filières (nouveau) nucléaire et éolien offshore.