



Compte-rendu intégral  
Réunion publique  
À quels défis l'éolien en mer peut-il répondre ?  
Samedi 22 juillet 2020

<b>SALLE/ADRESSE :</b>	ESAT Viala-Bastille, Salle Faubourg, 29 rue du Faubourg Saint-Antoine, 75 011 Paris
<b>PARTICIPANTS :</b>	88 personnes (18 personnes en salle et 70 en ligne)
<b>DÉBUT &gt; FIN :</b>	18h – 20h15
<b>QUESTIONS-RÉPONSES :</b>	11 questions

**Intervenants :**

<b>M.</b>	<b>Thomas</b>	<b>DURAND</b>	<b>Animateur</b>
<b>M.</b>	<b>Paul</b>	<b>NEAU</b>	<b>Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt</b>
<b>M.</b>	<b>Philippe</b>	<b>QUIRION</b>	<b>Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie</b>
<b>M.</b>	<b>Jacques</b>	<b>TREINER</b>	<b>Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project</b>



**M. Thomas DURAND, Animateur**

Bienvenue pour ce débat qui est un peu une nouveauté pour nous et aussi pour la Commission qui organise.

L'énergie la plus propre, c'est celle qui a le moins d'impact sur notre environnement, c'est celle que l'on ne consomme pas. Fin du débat. Cette solution parfaite a quelques inconvénients dans la mesure où toutes les activités humaines requièrent de l'énergie. Conséquences : nous avons besoin d'énergie. Ce qui n'empêche pas la sobriété et les stratégies d'économie. L'idée d'une solution parfaite – c'est un sophisme – est généralement une illusion logique, voire un sophisme qui sert à discréditer les solutions imparfaites, mais disponibles, qu'il faudrait sans doute mettre en œuvre, plutôt que de ne rien faire.

Le thème d'aujourd'hui, c'est l'énergie éolienne. En particulier, les installations maritimes. C'est l'objet du débat sur le site [normandie.debatpublic.fr](http://normandie.debatpublic.fr), où vous pouvez aller consulter et donner votre avis. Et nous devrions éviter de reprocher individuellement à l'éolien, au solaire, au géothermique, à l'hydroélectrique, au nucléaire, à la biomasse, aux énergies fossiles, de ne pas répondre à tous nos besoins parfaitement. L'imperfection des solutions disponibles, qui ont chacune leurs points forts et leurs points faibles, amène à la conclusion raisonnable que ce que nous devons rechercher est une combinaison optimale, le mix énergétique le mieux adapté aux ressources et aux usages selon les lieux.

La réflexion doit donc être menée sur les avantages et les inconvénients des mix plutôt que des ressources isolées. Et nos trois spécialistes pourront nous éclairer sur la place que l'énergie éolienne peut avoir dans ces mix. Dans la conversation d'une heure que nous aurons ici, suivie d'une demi-heure d'échanges avec vous, je tâcherai de poser des questions naïves, mais pas trop, dans le but de comprendre à quel défi nous voulons répondre. Qu'est-ce qui peut motiver le choix du meilleur mix énergétique ? Est-ce l'urgence climatique, pour laquelle il faut s'orienter vers le mix le plus décarboné ? Et la réponse n'est sans doute pas évidente. Est-ce un défi économique ? Consommer l'énergie la moins coûteuse ? La réponse risque de vous surprendre. Est-ce un défi géopolitique centré sur la recherche de l'indépendance énergétique et/ou sur la cohésion du réseau à l'échelle d'un continent ? Ou encore focaliser sur la gestion des futurs besoins en matériaux, en personnel et en technologie ? Je n'ai pas la réponse, mais nous poserons la question.

Il faut aussi savoir à quelle échelle de temps et d'espace nous raisonnons. Les besoins d'aujourd'hui et du futur proche sont sensiblement différents, selon que nous regardons la France, l'Allemagne, le Danemark ou l'Europe dans son ensemble. Le contexte de la conversation d'aujourd'hui est le projet français de déployer un champ éolien *offshore* sur les côtes de Normandie. Et c'est donc à l'initiative de la Commission nationale du débat public que nous sommes réunis afin de contribuer à la conversation générale publique, démocratique, ouverte, qui peut, je l'espère, informer les Français – c'est vous – sur les tenants et aboutissants de ces questions et les aider à se forger une opinion solide.

Je vais laisser la parole à nos trois intervenants, dans l'ordre. D'abord, je vous les présente. Nous aurons d'abord M. Paul NEAU, qui est ingénieur, fondateur du bureau d'études Abies, qui est consultant sur les énergies renouvelables. Il est membre de l'association négaWatt, qui – je caricature – est antifossile et antinucléaire. Il m'a dit : « Ne fais pas cela », mais je le fais tout de même, parce qu'il pourra dire pourquoi ce n'est pas cela.

Ensuite, nous aurons Philippe QUIRION, qui est docteur en économie, chercheur en économie de l'environnement et en économie de l'énergie au CIREC. Il est membre de négaWatt également et membre du Réseau Action Climat.

Et enfin, Jacques TREINER, qui est à l'autre bout, qui est professeur des universités en physique théorique, auteur d'ouvrage de vulgarisation – vous pourrez voir sa page Wikipédia – et qui est Président du Comité d'expert du Think Tank Shift Project, qui est un *lobbying* en vue de l'atténuation du changement climatique par la sortie des énergies fossiles.



Pas trop d'erreur, jusqu'à présent ? Je laisse la parole à Paul NEAU, qui va prendre 10 minutes, pour vous exposer son point de vue. Et moi, je vais surveiller que le temps n'est pas dépassé.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Bonjour tout le monde. J'ai quelques diapositives, je donnerai les tops pour qu'elles circulent. Effectivement, je suis un professionnel des énergies renouvelables, j'interviens depuis 1991 maintenant.

J'ai proposé d'articuler ma présentation en plusieurs parties. La première partie, c'est « quoi ? » quand on parle d'éolienne. Une éolienne, c'est plusieurs choses : c'est un rotor, donc quelque chose qui tourne ; c'est une nacelle derrière, qui abrite une génératrice électrique, en particulier un transformateur éventuellement ; c'est une tour, c'est un mât qui est creux, qui est tubulaire ; puis, ce sont des fondations. L'ensemble s'oriente face au vent, les pales tournent toujours dans le même sens, à des vitesses relativement faibles, et la pale elle-même se vrille sur elle-même, pour offrir une plus ou moins grande résistance au vent.

Ce qui différencie les éoliennes en mer des éoliennes sur terre, c'est une seule chose : c'est la fondation. La partie supérieure, c'est la même chose. Il y a trois types de fondations qui sont utilisées dans les éoliennes en mer. À gauche, vous avez les éoliennes que l'on rencontre le plus souvent, qui sont des éoliennes où le mât se poursuit. Ce sont des éoliennes monopieu, où le mât, quelque part, se poursuit dans le fond de la mer, que l'on rentre dans le sol de la mer par un procédé que l'on appelle « par battage ». On rentre donc l'autre partie de la tour dans la mer. C'est le mode le plus répandu de fondation. Le deuxième, c'est gravitaire, donc c'est quelque chose qui est lourd. C'est posé au fond de la mer. Et le troisième, c'est jacket, où vous avez un système comme des pylônes électriques, qui sont rentrés au fond de la mer, avec quatre petits ancrages. Ce sont les trois types de fondations pour les éoliennes en mer. Nous avons aussi des éoliennes flottantes : ce n'est pas l'objectif du débat, mais comme nous devons parler de tout l'éolien en mer, ce sont des éoliennes donc flottantes. Cela ne veut pas dire qu'elles se promènent n'importe où. Ce qui est le plus répandu, c'est la partie centrale semi-submersible. La diapositive suivante doit montrer des vues. Vous avez une partie qui flotte, soit en béton, soit en acier. Dans tous les cas – je le répète –, ce sont les mêmes éoliennes que sur terre.

Un parc éolien en mer est une installation conséquente. C'est plusieurs dizaines ou plusieurs centaines d'éoliennes. Nous sommes avec des puissances qui vont atteindre 1 000 MW ou plus, donc qui sont dans le même registre de puissance qu'un réacteur nucléaire, pour donner un ordre de grandeur.

Où plante-t-on les éoliennes ? On plante les éoliennes en mer et sur terre, dans les endroits où il y a du vent. Vous avez sur cette carte les zones les plus ventées en mer, en Europe. Nous, nous sommes dans cette zone orange – quand je dis « nous », c'est le projet d'éolien en mer en Normandie. Nous sommes dans des zones qui sont ventées. Les autres parties qui sont ventées sont sur la côte occitane, en Méditerranée, où nous avons des vents forts, mais qui sont plutôt destinées à être équipées d'éoliennes flottantes, parce que les fonds marins sont profonds.

Quand nous disons « où », quels sont les pays pionniers dans l'éolien en mer ? Le pays pionnier en éolien en mer est le Danemark, avec le célèbre parc éolien de Middelgrunden au large de Copenhague. Il est à 2 ou 3 kilomètres des côtes. Il occupe l'essentiel du panorama depuis le port de Copenhague et comprend une vingtaine d'éoliennes. C'est le parc le plus connu. Le pays aujourd'hui le plus équipé en éolien en mer, c'est le Royaume-Uni, un pays tourné vers la mer et qui connaît donc la mer. Et il a une industrie à l'origine pétrolière et gazière, qui connaît la mer et qui a permis ce développement conséquent de l'implantation de parcs éoliens en mer. Vous avez sur la partie droite une douzaine de parcs éoliens qui sont présentés, en ce qui concerne des détails sur la façon dont ils sont constitués. Mais vraiment, si un pays est leader au monde, c'est le Royaume-Uni.

Et nous avons le deuxième pays leader en termes d'éolien en mer qui est l'Allemagne, avec une partie en mer Baltique et une partie en mer du Nord.

Nous avons une puissance installée en Europe qui dépasse 22 000 MW, c'est-à-dire 22 GW. C'est les commentaires qui sont sur la droite avec 22 000 MW et quelques. Et sur la gauche, vous avez la capacité annuelle installée. Par exemple, en 2019, il s'est installé près de 3 500 MW. Et c'est quelque chose qui est en croissance. C'est une filière en croissance conséquente, en croissance forte, et qui profite tous les jours de l'expérience des premiers parcs éoliens.



L'essentiel des parcs éoliens en mer en Europe est concentré dans cinq pays : le Royaume-Uni, l'Allemagne, le Danemark dont j'ai parlé, mais aussi la Belgique et les Pays-Bas. Et il y a plus de 5 000 éoliennes qui sont installées en mer en Europe, donc 5 000 éoliennes qui sont autant de retours d'expérience, autant de fonctionnements sur lesquels nous apprenons tous les jours.

Au niveau un peu plus large, la Chine pointe son nez. C'est le troisième pays en termes de puissance installée. Ce sont les graphiques bleus. Et vous avez les points jaunes qui indiquent la part couverte par l'éolien en mer, dans ces différents pays. Là, ce sont des chiffres de 2018. Aujourd'hui, près de 20 % de la consommation électrique danoise est couverte par de l'éolien en mer.

Pourquoi développe-t-on de l'éolien en mer ? Quelque part, c'est un résumé de la situation énergétique mondiale. Aujourd'hui, lorsque nous regardons la consommation d'énergie finale, nous avons 80 % au niveau mondial, qui sont des énergies fossiles. 2,2 %, c'est le nucléaire. Près de 7 % de la biomasse traditionnelle et 11 % des énergies renouvelables modernes, avec dedans l'éolien, l'hydroélectricité, la biomasse, etc. C'est intéressant de le resituer : l'essentiel de ce que nous consommons sur notre planète est des énergies fossiles qui, lorsqu'elles sont brûlées, finissent en CO2 et en augmentation de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère.

Cette illustration est sans échelle. Sur la gauche, il est marqué « hauteur ». Son but est de montrer que plus on monte en altitude, plus les vents seront importants. C'est pour cela que l'on construit des éoliennes qui vont chercher le vent de plus en plus haut, parce que plus l'on va chercher le vent plus de plus en plus haut, plus la ressource est importante. Et si l'on va chercher le vent plus haut, les mâts sont plus hauts et nous pouvons avoir des diamètres plus importants. C'est tout l'intérêt des grandes éoliennes, c'est tout l'intérêt de l'éolien en mer, de pouvoir aller chercher le vent plus haut et de mettre des éoliennes de plus grand diamètre pour exploiter le vent de manière plus importante.

À retenir : en mer, les vents sont plus réguliers, plus forts. Et 1 MW installé en mer permettra de produire deux fois plus d'électricité que 1 MW éolien installé sur terre. C'est tout l'intérêt de développer des parcs éoliens en mer, cette meilleure utilisation, cette meilleure production.

Et l'autre chose – nous en parlerons – est qu'aujourd'hui, l'éolien en mer, du fait de progrès très conséquents, de progrès significatifs, c'est un prix de revient qui est nettement inférieur à celui, par exemple, des autres énergies, en particulier du nucléaire, puisque lorsque l'on compare le nouveau nucléaire à l'éolien en mer, c'est un rapport d'environ 1 à 2. Là, cette illustration est pour dire qu'il y a le projet d'EPR au Royaume-Uni, où c'est plus de 100 euros le MWh. Tandis que l'éolien *offshore* en France, c'est moins de 50 euros. C'est une autre des raisons du développement de l'éolien en mer, que ce soit en France ou ailleurs.

Maintenant, le « comment ? » : je terminerai par des illustrations sur ce « comment ». C'est un assemblage. Nous avons des rotors qui sont amenés en mer, qui sont installés. C'est toute une industrie qui est connue, avec des professionnels, avec des personnes qui les installent quotidiennement en Europe. Une éolienne en mer, comme je le disais tout à l'heure, c'est comme une éolienne sur terre. Pour la petite histoire, sur cette photo, vous voyez sur l'arrière de la nacelle, ici – c'était un premier par éolien en mer – ils avaient installé de quoi recevoir une pause d'agents de maintenance par hélicoptère, mais c'est quelque chose qui a été abandonné par la suite. C'est aussi une preuve par l'image des premières générations d'éoliennes. Vous avez sur la gauche ce à quoi ressemble le pied de l'éolienne. Vous avez des câbles sombres qui sortent de l'éolienne : ce sont les câbles électriques qui vont ensuite parcourir le fond de la mer. Et vous avez un bateau de maintenance qui accoste et qui va permettre aux techniciens de monter dans l'éolienne et d'assurer la maintenance. Ce sont des technologies, au final, simples, qui se sont répandues et qui fonctionnent. Donc, des postes de transformation. Là, ce sont deux photos de parc éolien de Horns Rev 2 et Horns Rev 1 au Danemark. Sur la deuxième, qui est la photo de droite, vous avez aussi des hébergements pour le personnel de maintenance, puisque c'est un parc éolien qui est loin de la côte. Et donc, la maintenance se fait en été, à l'époque où les vents sont moins forts, où la mer est moins démontée et où les jours sont plus grands. Il y a des hébergements du personnel de maintenance dans cet endroit-là, avec toute une industrie qui tourne autour de cette filière éolienne en mer.

Je conclus par une devinette en demandant quel est le point commun entre ces deux parcs éoliens. À gauche, vous avez le parc éolien de Vindeby au Danemark, *offshore*, et à droite le parc éolien de Port-La-Nouvelle dans l'Aude. Le point commun, c'est une année, les deux parcs éoliens étant installés en 1991. Au Danemark, ils ont installé leur premier parc éolien en mer en 1991, et nous, notre premier parc éolien sur terre. Eux, au Danemark, ont appris à construire un parc éolien, à



l'exploiter pendant une vingtaine d'années et à le démanteler. Ils ont donc une avance considérable. Ils ont une avance, mais ont aussi essuyé les plâtres. Aujourd'hui, nous nous retrouvons avec des objets, des machines, des éoliennes qui sont au point, et qui permettent de produire une électricité fiable, moderne et pas très coûteuse.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Merci Paul NEAU. Nous comprenons déjà un peu mieux les choses. Et là, nous allons avoir un regard plus économiste, avec Philippe QUIRION.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Merci pour l'invitation. Nous pouvons passer les diapositives. Je vais vous présenter quelques éléments d'analyse économique de l'éolien en mer.

Bien sûr, la principale justification de l'éolien, comme des autres énergies renouvelables, c'est la lutte contre le changement climatique. L'un des points principaux de l'Accord de Paris sur le changement climatique est que les États qui ont ratifié ce texte s'engagent à parvenir à un équilibre entre les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre. L'Accord de Paris dit : « au cours de la deuxième moitié du siècle ». La France s'est engagée à atteindre cet équilibre ou cette neutralité en 2050, par une loi adoptée l'an dernier.

Le GIEC a présenté, il y a deux ans, un rapport sur les implications d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C. Ici, je vous ai projeté un extrait du *Résumé pour décideurs*, qui, lui, est en français. Dans ce résumé, nous pouvons lire que « Dans les trajectoires axées sur l'objectif de 1,5 °C sans dépassement ou avec un dépassement minime, les énergies renouvelables représentent 70 à 85 % de la production d'électricité en 2050. »

Il y a trois familles de sources d'électricité qui sont à peu près sans émission de CO<sup>2</sup>, qui sont les énergies renouvelables, le nucléaire et les énergies fossiles, mais à condition de capter et de stocker géologiquement le CO<sup>2</sup>. Ce rapport du GIEC analyse les progrès faits dans ces trois domaines. Là, c'est ma traduction, puisque le rapport lui-même est en anglais. Il nous dit que « la faisabilité politique, économique, sociale et technique du solaire, de l'éolien et du stockage de l'électricité s'est considérablement améliorée ces dernières années, tandis que celle de l'énergie nucléaire et du captage et du stockage du CO<sup>2</sup> n'a pas connu d'améliorations similaires. »

Sur la diapositive suivante, nous voyons cela déjà dans les chiffres, dans les observations au niveau mondial de la production d'électricité. Sur ce graphique, vous voyez la part des différentes sources d'énergie dans la production d'électricité dans le monde. C'est tiré de la *BP, Statistical Review of World Energy*, qui a l'avantage de paraître plus tôt que d'autres sources. Malheureusement, c'est le charbon la première source, même si cela baisse un peu dans les dernières années, mais pas du tout assez vite. Et le gaz naturel augmente, ce qui n'est pas non plus une bonne nouvelle. Certes, le pétrole diminue, mais il ne représente plus grand-chose sur l'électricité. Ce qui est intéressant, c'est que nous voyons que l'hydroélectricité et le nucléaire étaient au même niveau, autour de 2000. Aujourd'hui, le nucléaire, c'est seulement 10 % de la production d'électricité au niveau mondial. L'hydroélectricité, c'est un peu au-dessus de 15. Et surtout, nous avons les autres renouvelables (la courbe orange) qui ont monté très vite ces dernières années et qui atteignent le même niveau (10 %) que le nucléaire en 2019. Si nous zoomons sur ces renouvelables, hors hydraulique, c'est avant tout l'éolien. De plus en plus de solaire, mais qui reste minoritaire. Et dans les autres, vous avez entre autres de la biomasse.

Si nous regardons sur l'Europe, la part des renouvelables est plus élevée, puisque nous sommes à 37 % en 2019. Sur le premier semestre 2020 – les chiffres sont sortis aujourd'hui –, nous sommes à 40 %. Ce qui est plus que l'ensemble des fossiles. Donc, encore une fois, c'est sur le premier semestre 2020, qui est très particulier, comme chacun sait. Et le nucléaire, c'est 23. Le gaz, 19 et le charbon, 17. Évidemment, c'est encore trop, même si c'est moins qu'au niveau mondial.

Je vais vous parler de coûts, bien sûr. L'éolien en mer, jusqu'à une époque récente, était cher. Nous voyons sur le graphique de gauche, tiré d'un rapport de l'Agence internationale de l'énergie. L'Agence internationale de l'énergie est une émanation de l'OCDE, donc une organisation intergouvernementale. Quelque part, c'est le club des pays acheteurs de pétrole. Maintenant, c'est au-delà de cela. Donc, ils ont fait un rapport très complet, le *Offshore Wind Outlook*, qui est en libre accès d'ailleurs, mais en anglais. Nous voyons sur ce graphique le LCOE (*Levelized cost of electricity*) : c'est la somme des coûts d'investissement et de fonctionnement actualité, divisé par la somme de la





production sur la durée de vie d'une installation. Sur ce graphique, les projets sont listés par année de mise en service prévue. Nous voyons que, dans les années 2010, nous étions autour de 150 dollars par MWh. Ce qui est plus que le coût moyen de l'électricité aujourd'hui. Mais dans les années récentes, nous avons vraiment une baisse très nette du coût. À droite, vous avez par exemple tout en bas le projet de Dunkerque qui est à 50 dollars (44 euros) le MWh. Mais nous retrouvons également cette baisse au Danemark, au Royaume-Uni, dans tous les processus compétitifs du type appel d'offres, qui permettent de faire parler les investisseurs, de leur faire révéler les vrais coûts de production. Pour l'éolien *offshore*, nous sommes passés en très peu de temps d'une technique chère à une technique parmi les moins chères.

Il y a deux autres intérêts à l'éolien en mer, comparé aux autres énergies renouvelables. D'abord, c'est un facteur de capacité plus élevé. Nous le voyons ici. Pour l'Europe, nous sommes autour de 45, 50 % de facteur de capacité. C'est-à-dire que le parc produit 45 à 50 % de ce qu'il produirait si le vent était toujours au niveau qui permet à l'éolienne de produire le maximum. Alors que pour le solaire, nous sommes plutôt autour de 15. Bien sûr, cela dépend des localisations précises. Et pour l'éolien terrestre, nous sommes plutôt autour de 25.

Autre intérêt, c'est qu'en Europe ce facteur de capacité a une saisonnalité complémentaire à celle du solaire. Nous le voyons ici pour le Royaume-Uni. En jaune, nous avons le facteur de capacité au cours de l'année, de la première semaine à la dernière. Évidemment, il y a plus de soleil en été, mais il y a plus de vent en hiver. Donc, les deux sont complémentaires. Pour la France, c'est pareil, sauf qu'évidemment nous avons un peu plus de soleil et un peu moins de vent.

Le deuxième intérêt de l'éolien maritime, c'est qu'il a un potentiel énorme, surtout à partir du moment où l'on prend en compte la possibilité de l'éolien flottant. Ce rapport de l'AIE (Agence internationale de l'énergie) nous indique qu'en Europe le potentiel d'installation et de production de l'*offshore* est 10 fois supérieur à la consommation d'électricité que l'on projette à l'horizon 2040. Avec mon collègue et doctorant, Behrang SHIRIZADEH, nous avons développé une famille de modèles d'optimisation du parc électrique pour la France. C'est un modèle qui optimise à la fois l'investissement et le fonctionnement dans des installations de production et de stockage d'énergie, encore une fois pour la France. Nous optimisons simultanément investissement et fonctionnement, sous une série de contraintes qui sont, d'abord, que pour chaque heure nous devons avoir une production au moins égale à la demande. Nous la faisons tourner sur 19 ans simultanément. Là, ce que je vais vous montrer, c'est sur une année qui est la plus représentative de la période récente. Nous ne nous autorisons aucune heure avec du délestage. Ce qui est plus dur que les critères de RTE, qui s'autorise 3 heures. Nous ne nous autorisons pas à importer de l'électricité. Là encore, nous nous compliquons la vie. Nous ne nous autorisons pas de flexibilité de la demande, de la même manière. Pour la demande, ici, nous avons pris le scénario ADEME 2050, parce que les données étaient disponibles au pas de temps horaire. Il faut savoir qu'il y a une grande incertitude sur le niveau de consommation futur de l'électricité en France. Dans le débat national de 2020, il faut savoir qu'aujourd'hui la consommation est d'environ 450 TWh par an. Dans les scénarios, cela va d'un peu moins de 300 à un peu plus de 650 à l'horizon 2050. En fait, il y a différents futurs possibles au niveau de la consommation d'électricité. Nous avons fixé ici une limite à la capacité de l'éolien terrestre. Nous avons dit que nous ne pouvions pas installer plus de 34 GW, ce qui est deux fois la capacité actuelle en France. Ce qui n'est pas une limite technique. Nous nous disons que, s'il y a beaucoup d'oppositions pour différentes raisons, nous ne pouvons pas installer autant d'éolien terrestre. Nous voyons ici l'intérêt particulier de l'éolien maritime. Nous pouvons utiliser un peu de biogaz dans l'électricité, mais peu – 15 TWh par rapport à 422. Mais cela aide beaucoup à passer les pointes. Et pour l'hydraulique, nous ne nous autorisons pas plus de barrages que ceux d'aujourd'hui, sauf un peu plus de stations de pompage qui sont déjà dans les cartons.

Sur les hypothèses de coûts techniques, nous ne voulions pas être accusés d'aller chercher à droite, à gauche, des hypothèses de coûts comme nous le voulions. Nous nous sommes donc basés sur le centre de recherche de la Communauté européenne, l'EU JRC. Ce sont des hypothèses qui datent de 2014 ou 2017, qui, à mon avis, sont un peu dépassées. Mais je vais vous les présenter. En particulier, le JRC suppose pour le nouveau nucléaire un coût d'installation, un capital, un CAPEX, qui est divisé par deux par rapport aux chantiers actuels, c'est-à-dire Hinkley point C, au Royaume-Uni, Flamanville 3 et Olkiluoto 3 en Finlande. Sur ces trois chantiers, nous sommes à peu près à 7,5 euros par Watt. Là, nous supposons exactement la moitié. Sur le photovoltaïque, nous supposons une baisse de 60 % par rapport aux observations sur Lazard 2019. Ce qui paraît beaucoup, mais quand on voit l'effondrement du coût du PV sur les dernières années, finalement ce n'est pas si énorme. Et sur l'éolien en mer, seulement une baisse faible : -10 %, par rapport à ce que Lazard considère



comme étant la situation aujourd'hui. Sachant que, à mon avis, nous sous-estimons ici la baisse de coût pour l'éolien. Et nous surestimons celle pour l'EPR. En tout cas, ce sont les hypothèses JRC qui sont dans le modèle. Puis, nous faisons varier ce que l'on appelle le coût social du CO<sup>2</sup>, c'est-à-dire la valeur que la société accorde au fait de réduire les émissions d'une tonne. Entre 0, c'est-à-dire que l'on se moque du changement climatique, jusqu'à 500 euros par tonne, où là c'est du sérieux.

Là, vous avez le document de travail que vous pouvez télécharger. Et le modèle et les données sont en libre accès pour les plus *geeks* d'entre vous.

Cela, c'est un peu l'image du modèle. Nous avons donc de nombreuses technologies de production. Nous avons des technologies de stockage. Éventuellement, nous pouvons faire de la capture stockage du CO<sup>2</sup>.

Voilà les résultats. Nous avons un coût annualisé du système, à la fois production et stockage, qui revient à 49 euros par MWh, ce qui est à peu près le coût de production de l'électricité aujourd'hui pour la France, d'après la CRE. Nous avons besoin de capacités de stockage, un peu. Dans cette simulation, nous avons juste besoin de batteries. Nous en avons d'autres qui peuvent être utilisés dans le modèle. Puis, les stations de transfert d'énergie par pompage, donc de l'hydraulique.

Il se trouve que le mix optimal est à peu près trois quarts de renouvelable. Et le quart qui reste, si nous ne prenons pas en compte le changement climatique, c'est un mix de gaz naturel et de nucléaire. Si nous prenons en compte le changement climatique, nous sortons le gaz naturel. Et concernant l'éolien maritime, qui nous occupe ici, nous installons à peu près 10 GW de capacité. Nous avons une production qui est à peu près 12 % de la production électrique – l'éolien maritime est le bleu foncé, tout en bas. Et nous avons un coût moyen de la production maritime, qui est de 41 euros par MWh. Vous allez me demander : « Mais pourquoi n'en faisons-nous pas plus si cela coûte moins cher que la moyenne ? » C'est parce que ce n'est pas pilotable, cela ne produit pas aux heures que nous voudrions idéalement. D'où le besoin de stockage d'ailleurs. C'est pour cela que nous n'allons pas plus loin.

Dernière diapositive et je m'arrête là. Merci pour votre attention, et désolé d'avoir un peu dépassé.

#### **M. Thomas DURAND, Animateur**

Je vais être très exigeant avec le dernier intervenant, pour que nous ne dépassions pas le temps. Merci beaucoup. Jacques TREINER, Monsieur le Physicien. Prenez votre micro, s'il vous plaît.

#### **M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

C'est quelques interrogations critiques sur l'éolien en mer et les renouvelables de façon générale. Je vais essayer d'insister sur le fait qu'il faut être spécifique, c'est-à-dire la situation française – l'Allemagne, l'Angleterre, etc., ce n'est pas la même chose, et donc les problèmes ne se posent pas de la même façon et les solutions ne sont pas les mêmes.

Une introduction sur le contexte climat énergie. Mais là-dessus, tout le monde est d'accord. Ensuite, 5 points :

- En France, quels secteurs sont les plus émetteurs de CO<sup>2</sup> ? Vraiment, le traitement climatique, c'est décarboner, sortir du fossile. Quels sont les secteurs émetteurs, c'est-à-dire là où il faut faire le plus d'efforts ?
- Ensuite, un point sur les énergies renouvelables. Sont-elles vraiment renouvelables ? Et vous verrez qu'il y a des bémols.
- Ensuite, un point important à mon avis sur l'intermittence. Que signifie l'intermittence ? C'est-à-dire le fait que l'on ne peut pas commander à Éole de souffler lorsque nous avons besoin d'électricité, il n'en fait qu'à sa tête. De même, pour le soleil, il n'y a pas un bouton sur les réactions thermonucléaires qui ont lieu au sein du soleil pour en faire plus ou pour en faire moins, suivant les besoins. Ils n'en font qu'à leur tête. Et il faut tenir compte de cela.
- Un point sur l'éolien *offshore*, pour savoir s'il est compétitif. Vous verrez que les chiffres que j'ai ne sont pas tout à fait ce qui a été dit là.
- Puis, un point qui me semble très important, c'est que nous avons un exemple en vraie grandeur avec l'Allemagne. Et cela vaut le coup de regarder ce qu'ils ont fait depuis une quinzaine d'années, où l'on en est, et ce que cela a donné. Et il me semble qu'un grand pays qui décide de doubler sa capacité installée, d'installer 120 GW d'éolien et de photovoltaïque, cela vaut le coup de regarder ce qui se passe du point de vue des émissions de CO<sup>2</sup>.



Cela, c'est la courbe de température, c'est pour dire que le changement climatique et la sortie des combustibles fossiles sont des choses vraiment liées l'une à l'autre. Mais là-dessus, tout le monde est d'accord.

Ensuite, voilà notre consommation d'énergie au monde, énergie primaire. Et vous voyez que, depuis 1900, nous avons changé le mix, mais nous n'avons jamais substitué une forme d'énergie à une autre. Chaque fois que nous avons quelque chose de nouveau, c'est venu se rajouter à ce qu'il y avait auparavant. Quand nous avons eu du pétrole, nous n'avons pas diminué le charbon. Regardez le charbon, en noir, et notamment le *boost* de la Chine à partir des années 2000. Et ensuite, le gaz n'est pas venu se substituer au pétrole, etc. Et les renouvelables sont en vert, tout là-haut. Vous voyez, c'est tout petit. Et le problème est de substituer ces 80 % d'énergie primaire, d'origine fossile, ce que l'on n'a jamais fait dans l'histoire de l'humanité pour le moment. C'est pour dire que c'est un énorme problème de réussir à faire cela. Nous ne nous sommes jamais posé cette question-là, de substituer. Nous avons toujours additionné, y compris le nucléaire, y compris le reste, etc.

Ceci est une comparaison entre 1973 et 2017 : pétrole, charbon, gaz, total fossiles, 80 %, en gros. Et ensuite, le nucléaire qui a augmenté avec les parcs qui ont été installés dans les années 80, 90. Hydroélectricité, à peu près stable. La biomasse, à peu près stable. Et le reste, dont on parle, les énergies renouvelables, vous voyez, c'est presque dans l'épaisseur du trait pour le moment. Donc, ce n'est pas une petite affaire d'arriver à substituer les 80 % en question.

En ce qui concerne le non carboné actuel, la biomasse, c'est plus de la moitié. Le nucléaire, c'est 25 %. L'hydroélectricité, 13 %. Et le solaire, l'éolien, les déchets, tout le reste, c'est à peu près 10 %.

En France, que décarboner ? Là, vous avez la part des émissions de CO<sup>2</sup> par secteur d'activité. Vous voyez, en démarrant à gauche, vous avez le secteur de l'énergie, c'est la production d'électricité notamment. Ensuite, l'industrie, le résidentiel, l'agriculture et le transport. Entre 2000 et 2017. Vous voyez que l'industrie peut optimiser ses processus de production, essayer d'utiliser moins d'énergie, etc. Mais il y a beaucoup de processus qui ont déjà été optimisés, parce qu'ils ont subi les chocs pétroliers dans les années 70, qui font qu'ils regardent vraiment comment ils dépensent l'énergie. Il y a certainement des progrès possibles, mais ils font déjà des choses. L'agriculture, par exemple, est moins optimisée du point de vue des intrants et de l'utilisation de l'énergie. Le résidentiel tertiaire, c'est un poste important. L'agriculture, c'est drôle, parce que cela émet beaucoup de gaz à effet de serre, notamment du méthane, des oxydes nitreux, etc., mais cela ne consomme pas beaucoup d'énergie. Donc, en fait, si vous voulez perturber complètement le système, mettez de l'agriculture partout. C'est le meilleur moyen, à moindre coût, de tout perturber, y compris la biodiversité, etc. Puis, vous le voyez le transport, qui est le « gros machin ».

En France, la situation est comme cela. La production d'électricité, l'électricité est décarbonée à 90, 95 %. Donc, les bons dossiers – et ce n'est pas moi qui l'invente, vous pouvez regarder les rapports de la Cour des comptes, le rapport critique de la SNBC (Stratégie nationale bas carbone), qui le disent très clairement – sont le transport et le résidentiel tertiaire. La logique, dans la mesure où nous avons une électricité qui est déjà décarbonée, est d'électrifier les usages, pour profiter d'une électricité qui est déjà décarbonée. Or, ce qui est bizarre, pour moi, c'est de voir que l'on met énormément d'efforts, des milliards d'euros, sous la forme d'investissements, de soutiens, etc., pour des politiques de tarif d'achat, sur un secteur qui est déjà décarboné, sur lequel nous avons déjà fait les choses. C'est tout à fait bizarre, cette affaire-là. Le résidentiel tertiaire, la rénovation thermique des bâtiments, François HOLLANDE avait comme objectif, quand il a été élu en 2016, 500 000 logements par an. Mégawatt propose 780 000 rénovations thermiques. Quand vous regardez les rénovations qu'ils ont vraiment faites, qui sont contrôlées, etc., c'est moins de 100 000. La mobilité, c'est la structure des villes, c'est le périurbain. C'est un dossier extrêmement difficile. Une ville dure 100 ans. C'est donc là, dans la structure des villes, qu'il faut mettre de la matière grise, de l'argent, etc., pour voir comment décarboner ces choses-là. Comment traitons-nous le périurbain ? Alors que toute la politique foncière a été justement dans le sens de faire sortir les personnes des centres-villes, de les mettre en périurbain, ce qui crée du jour au lendemain un besoin de mobilité. Ce sont des dossiers massifs, importants, qui demandent l'essentiel des efforts. Et là, nous sommes en train de discuter de quelque chose qui sera epsilon sur les émissions de CO<sup>2</sup> en France, qui est l'éolien en mer, pas en mer, le solaire, le photovoltaïque ou pas le photovoltaïque, etc., qui sur le plan de la production d'électricité n'est rien.

Maintenant, les renouvelables sont-ils renouvelables ? Ce qui est inépuisable – ce n'est même pas renouvelable, mais inépuisable –, c'est l'énergie solaire et le vent. Ils sont là et ils sont là pour longtemps. 4 milliards, 5 milliards d'années encore devant nous. Le système terre, le système





solaire, etc., c'est stable à l'échelle de l'humanité. Mais cela, c'est bon pour se bronzer au soleil avec une petite brise dans les cheveux. Mais si vous voulez faire de l'électricité avec cela, il faut des matériaux. Et ces matériaux ne sont pas renouvelables, ni inépuisables. Il est intéressant de regarder cela. C'est une étude du *Department of Energy* des États-Unis, dans laquelle nous regardons la quantité de matériaux nécessaires pour produire 1 kWh. Vous voyez que le solaire – PV est à gauche, ensuite vous avez l'hydro, le vent, la géothermie puis le nucléaire. Vous voyez qu'en termes de matériaux à mobiliser pour produire une unité d'énergie, les soi-disant renouvelables, c'est entre 5 et 20 fois plus de matériaux que le nucléaire. Et nous disons toujours que ce sont des « énergies renouvelables ». Il faut parler d'énergie décarbonée. Oui, le vent, c'est décarboné. Mis à part le béton, mais il en faut aussi pour le nucléaire, pour soutenir les éoliennes *on shore*, etc. Mais sinon, dans le fonctionnement, c'est décarboné et c'est très bien. Restons à « décarboné ». Mais attention au terme. Vous avez compris l'idée.

Maintenant, les fluctuations. Y a-t-il toujours du vent quelque part ? Cela, c'est la production éolienne européenne, c'est-à-dire l'ensemble des éoliennes installées en Europe, jour après jour. Un point, c'est une journée. C'est le site européen de production d'éolienne. Cela montre les fluctuations de la production. Parce que l'idée, à mon sens, pourrait être de dire : si je n'ai pas de vent ici, j'en ai à côté. Si je relie tout cela, la plaque électrique, etc., je vais compenser une sous-production ici par une surproduction là. En fait, non. Vous voyez que les fluctuations sont énormes. Elles sont beaucoup plus importantes que les fluctuations de la consommation lors d'une journée, qui représentent à peu près 10 %, ou même les fluctuations entre l'été et l'hiver. Ici, vous avez des fluctuations qui sont énormes. Pour le soleil, évidemment, c'est énorme, parce que c'est entre 0, la nuit, et le maximum vers midi. Et sur le vent, vous pouvez avoir des fluctuations de l'ordre de plusieurs dizaines de GW d'une journée à l'autre, parce que le régime de vent est le même sur toute l'Europe. Vous voyez bien la météo le soir, à la télévision. Vous avez des régimes de vent, de basse pression et de haute pression, qui s'étendent sur des centaines ou des milliers de kilomètres. En fait, l'intermittence, c'est cela.

Si vous ne gérez pas cela, que quoi est-ce que cela pointe ? Cela pointe sur le fait que 1 kWh aléatoire, ce n'est pas le même produit que 1 kWh garanti. Les réseaux électriques fonctionnent avec de la puissance garantie et pas avec de la puissance aléatoire. Sinon, le train ne fonctionne que lorsqu'il y a du vent. Il faut donc gérer cela, et dire comment on pallie les fluctuations de ces sources intermittentes. Et nous ne pouvons pas regarder juste le coût de production de 1 kWh aléatoire, parce qu'encre une fois ce n'est pas comparable avec 1 kWh garanti, délivré par des puissances pilotables.

Est-ce compétitif par rapport au nucléaire ? Le 20 juin 2018, Nicolas HULOT a annoncé la décision du gouvernement de soutenir 6 parcs éoliens *offshore*. C'est 25 milliards d'euros, dont 15 milliards qui ont été enlevés – c'était 40 milliards initialement, mais ce sont les coûts de raccordement qui ont été reversés à RTE. Cela veut dire que c'est nous qui payons RTE. Pour 3 GW de puissance installée. Cela fournit 1,2 à 1,3 GW moyen. Vous calculez combien cela représente par MWh produit, en faisant fonctionner cela pendant 25 ans avec un bon facteur de capacité, etc. C'est en gros 100 euros par MWh et 160 si vous ajoutez les coûts de raccordement. Si vous comparez cela maintenant au « Grand carénage » – ce sont ces mesures qui ont été décidées par l'agence de sûreté nucléaire –, les mesures de renforcement de la sécurité suite à Fukushima, cela représente en gros 100 milliards d'euros pour prolonger de 10 ans la durée de vie du parc au-delà des 40 ans. Si vous regardez ce que cela représente, c'est 24 euros par MWh, à rajouter aux 40 euros par MWh. Donc, c'est un facteur 2 – je ne parle pas de l'EPR, je parle de « Grand carénage » – pour prolonger de 10 ans les centrales existantes. C'est un facteur 2, moins cher que l'éolien *offshore*.

Ensuite, comparaison France / Allemagne. L'Allemagne, comme je vous le disais, c'est 120 GW d'éolien et de solaire – PV. Cela a coûté 350 milliards d'euros dépensés déjà et engagés d'ici 2025. C'est une étude de l'université de Düsseldorf qui a montré cela. Cela produit 25 % de l'électricité. Le prix du kWh est double du prix français pour les particuliers. Si vous regardez en Europe, c'est tout à fait étonnant. Regardez le prix du kWh pour les particuliers. C'est le plus cher là où il y a le plus de renouvelable : c'est au Danemark, en Allemagne. Apparemment, on ne le dit pas. Il n'y a quasiment pas de diminution des émissions de CO<sup>2</sup> en Allemagne, depuis 15 ans. Rien. Ils ont simplement doublé la puissance, mais la puissance pilotable n'a pas changé. Et si le charbon a tendance à diminuer – il va continuer à diminuer –, c'est parce qu'ils installent du gaz. Le gaz émet moins à la combustion pour produire de l'énergie, etc. Mais il faut tenir compte des fuites – en général, ce n'est pas pris en compte – à la production du gaz et des fuites à l'utilisation du gaz. Et comme le gaz est 20 fois plus efficace que le CO<sup>2</sup> comme gaz à effet de serre, à l'échelle de 100 ans, en gros, vous n'avez aucun avantage. Sauf purement dans la communication, parce que ces fuites ne sont pas



toujours prises en compte. Or, quand on regarde les émissions de méthane, on voit qu'elles ont tendance à augmenter depuis une dizaine d'années.

Si l'on compare les émissions de CO<sup>2</sup> par kWh, vous voyez que la France est en bas à gauche. Et l'Allemagne, c'est 8 fois plus par kWh produit. 8 fois plus.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

On rebondit sur l'Allemagne, cela me paraît bien.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Je vais m'arrêter là. C'est 8 fois plus, je vous le rappelle, avec 120 GW d'éolien et de photovoltaïque, installés depuis 15 ans. C'est toujours...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, la grande nuance est entre installé et efficace, produit, garanti ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, c'est simplement le fait que, comme c'est intermittent, vous avez des fluctuations de la production qui sont énormes, et avez donc besoin de garder de la puissance de réserve du *back-up*, et cette puissance installée, elle, n'a pas diminué.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

M. NEAU, M. QUIRION, pourquoi l'Allemagne devrait-elle nous inciter à faire plus d'éolien ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Déjà, ce n'est pas que l'Allemagne. Le pionnier de l'éolien, c'est le Danemark. Mais aujourd'hui, vous avez l'Irlande qui est à 40 % d'éolien et solaire, et essentiellement de l'éolien. Il faut voir que pour les renouvelables, comme pour toute technologie au fond, au départ c'est cher. Parfois, cela reste cher. Parfois, le coût diminue. Lorsque le Danemark, puis l'Allemagne se sont lancés dans l'éolien, cela a été cher pour eux, c'est vrai. Mais ils ont donné un cadeau énorme au reste du monde en faisant baisser les prix. S'il n'y avait pas eu cet investissement du Danemark, de l'Allemagne, de quelques autres pays, la Chine ne serait pas aujourd'hui, de très loin, le premier pays à la capacité installée en solaire, en photovoltaïque. Et en Chine, cela remplace du charbon. Aujourd'hui, le Vietnam se lance très fortement dans l'éolien, dans le photovoltaïque. Et c'est pareil : il est en compétition avec le charbon. C'est un problème mondial, ce n'est pas juste la question des émissions en Allemagne. Cet investissement précoce dans les renouvelables de pays comme l'Allemagne a rendu un service énorme au monde en créant ce que l'on appelle du progrès technique induit. Il y a un économiste britannique, très connu en économie d'énergie, qui s'appelle David NEWBERY, qui pourtant d'ailleurs est pour le nucléaire. Ce n'est pas du tout un fervent défenseur des renouvelables. Mais il a quantifié dans un article publié dans *Energy Policy* ce gain en termes de progrès technique induit, généré par l'investissement précoce dans les renouvelables. Sa conclusion est que c'est effectivement rentable si l'on prend en compte le bénéfice pour le monde entier.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Si je peux me permettre, vous nous parlez du Vietnam et de la Chine. Nous sommes en Normandie.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Oui, mais le climat n'est pas fait par les émissions en France.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Le débat porte sur l'intérêt de faire de l'éolien.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Mais puisque l'on parlait de l'Allemagne, je vais vous répondre sur l'Allemagne. L'Allemagne qui est à côté de nous...



**M. Thomas DURAND, Animateur**

Mais *a priori*, cela ne se passe pas aussi bien que l'on aurait pu l'espérer. Ou alors on se trompe, quand on dit, comme M. TREINER, que cela se passe mal.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Alors, cela ne se passe pas bien... Je ne dis pas qu'ils ont tout fait de la manière idéale, mais nous non plus. Nous avons trop dépensé dans le solaire en donnant des primes trop fortes, par exemple, à ce que l'on appelait le solaire intégré ou le bâti. Ça, c'était absurde. Nous aurions pu installer de l'électricité pour moins cher.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Nous sommes d'accord là-dessus.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Un point d'accord. Maintenant, citez-moi une politique qui a été faite parfaitement. C'est tout de même rare.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Non, mais ce n'est pas cela, le problème. Le problème peut se formuler de façon extrêmement simple : ils ont mis en priorité la sortie du nucléaire par rapport à la sortie des fossiles.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

En Allemagne ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

En Allemagne. Mais il y avait une raison.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Et ils l'ont fait très clairement et très consciemment. On peut décider de faire cela. Mais dans ce cas, il ne faut pas dire que l'on agit en faveur du climat.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Le problème ne se pose pas en ces termes. Les centrales nucléaires en France vont s'arrêter un jour. Au bout de 40 ans, de 60 ans, de 80 ans. Nous pouvons en discuter, mais...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Ou dans 2 jours si cela explose.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Mais quoi qu'il en soit, il faut prévoir la suite, parce que le problème climatique sera toujours là en 2050, en 2100. Nous devons arriver à des émissions nettes nulles. Sinon, nous continuons à avoir une dérive du climat. Et il faut tout de même se trouver, il faut se décider sur ce que nous allons faire pour remplacer les centrales existantes. Il y a en gros deux solutions : soit nous refaisons des centrales, ou plutôt il y a une part de ces deux solutions. Soit, nous refaisons des centrales, soit nous faisons des renouvelables, et bien sûr nous pouvons faire un mix des deux. Aujourd'hui, les projets de nouvelles centrales nucléaires en Europe sont autour de 120 euros le MWh. Ce que les investisseurs demandent pour réaliser l'éolien en mer, c'est de l'ordre de 50 euros le MWh. Il faut un peu de stockage en plus, mais ce n'est pas du tout un doublement du prix. Nous, nous quantifions ce besoin de stockage, il est modéré. C'est peut-être 10 ou 15 % de surcoût. Ce n'est pas tellement plus.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Il y a plusieurs choses pour répondre à mon voisin. Première chose, il y a un certain nombre de données qui ont été présentées en énergie primaire. Donc, quand on présente les données en énergie primaire et pas en énergie finale utile, on multiplie par trois la proportion du nucléaire, puisqu'on inclut tout ce qui est pertes de rendement. Parce que dans une centrale thermique, qu'elle soit nucléaire ou pas, les deux tiers sont perdus pour réchauffer le fleuve, la mer, etc. Quand les



chiffres sont présentés en énergie primaire, pourquoi pas ? Mais nous, nous les présentons toujours en énergie finale. Et c'est pour cela que tout à l'heure nous montrions des parts d'énergie renouvelable beaucoup plus importantes que vous l'avez présenté, parce qu'on les présente en énergie fossile.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Il y a cet aspect-là. Il y a l'aspect que vous avez mis du relatif, et M. Jacques TREINER a mis du cumulatif, dans la manière de présenter. Donc, déjà, par rapport à ce que vous voulez montrer, nous voyons bien que les graphiques ne sont pas du tout les mêmes.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Oui, tout à fait. Mais l'épaisseur du trait énergies renouvelables est quelque part trois fois plus important à cause de cela.

L'autre chose aussi, dans le débat intermittent, sachez que le mot intermittent employé par un certain nombre de personnes – je n'ai pas de valeurs de jugement en la matière –, nous parlons, nous, d'énergie prévisible. C'est-à-dire que l'éolien et le photovoltaïque, le solaire, sont des énergies qui sont variables. Nous le reconnaissons à 100 %. Mais c'est totalement prévisible. Cela veut dire que RTE, le gestionnaire des réseaux de transport d'électricité, sait aujourd'hui combien produira l'éolien, combien produira le photovoltaïque et il va le compléter.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Par quoi ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Il va le compléter, si je me projette dans le scénario négaWatt ou dans d'autres scénarios, avec un mix. Le mix, c'est de l'éolien, du solaire, de l'hydroélectricité.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Où les personnes peuvent-elles trouver l'information pour savoir comment les mix sont composés ? A, B, C, qu'est-ce que c'est ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

En tout cas, vous avez des sites internet qui donnent en permanence... par exemple, vous avez le site de RTE éCO2mix, qui donne en permanence la production d'électricité, donc les différentes sources. Du fait que c'est prévisible, c'est complété par de l'hydroélectricité, c'est complété par du gaz, et dans le scénario de négaWatt, c'est par du gaz renouvelable. Parce qu'aujourd'hui, il y a trop de grandes tendances à sectoriser, en disant « Il y a l'électricité d'un côté, il y a le gaz de l'autre, il y a la chaleur ». Et nous, dans le scénario négaWatt, nous tenons compte des réseaux interconnectés, mais en cette manière-là. Quand il y a des surproductions, par exemple, d'électricité éolienne et photovoltaïque, on produit du gaz renouvelable – je ne veux pas expliquer, par le procédé en particulier de M. SABATIER, donc une transformation des surplus en hydrogène, et après en gaz renouvelable. Et ce gaz renouvelable est brûlé à d'autres moments, lorsqu'il y a des baisses de vent, d'électricité. Donc, nous sommes dans un mix avec de l'éolien, du solaire, de l'hydroélectricité, du gaz et d'autres moyens qui font que nous avons cela, puisque nous sommes avec un caractère prévisible.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

D'accord. Ce n'est pas 100 % éolien.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Ah non, ce n'est jamais 100 % éolien. Vous ne verrez aucun professionnel des énergies renouvelables qui dira : « Nous voulons un scénario 100 % éolien ou 100 % solaire. » Nous sommes dans le mix, et je dirais que le mix est le b.a.-ba de la sécurité énergétique. C'est un élément. Et l'autre élément qui est important, c'est aussi l'indépendance énergétique. Aujourd'hui, nous dépendons donc du pétrole. Nous l'avons vu pour l'énergie. Du pétrole qui vient de pays que l'on ne contrôle pas, évidemment. Et aussi de l'uranium, qui n'est plus produit dans notre pays. Donc, nous dépendons d'importations.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Si nous passons à la surgénération du nucléaire, nous avons des millions d'années de stock.



**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Si, si, si, si. Si nous passons avec le solaire, nous sommes avec des millions d'années aussi, ou des milliards d'années. Donc...

*Intervention hors micro*

**M. Thomas DURAND, Animateur**

M. TREINER, il faut prendre votre micro, si vous voulez intervenir. En fait, j'aimerais faire une parenthèse. En gros, c'est le cœur du sujet, mais nous n'allons pas évoquer le reste, si je ne vous force pas à le faire. Donc, nous allons le faire vite fait et nous reviendrons à cela. En termes de ce qui est d'impact environnemental, on nous parle d'un danger pour les oiseaux. Votre avis peut n'être donné qu'en 30 secondes, sur le danger de l'éolien sur les oiseaux. Réel, pas réel ? Important, pas important ? Compensé, pas compensé ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Ce que je peux dire, c'est que j'ai un bureau d'études avec trois ornithologues. Nous travaillons tous les jours sur ces questions-là. Ce que nous savons, c'est que nous avons – c'est répété dans beaucoup d'endroits – la méthode, la séquence PRC. Nous évitons, nous réduisons, et nous compensons. Nous évitons : nous allons éviter les sites qui sont à enjeu pour les oiseaux. Et après, nous avons des moyens pour limiter les impacts de ces oiseaux, de ces chauves-souris aussi, parce que l'on parle de faune volante. Il y a des moyens automatiques, des moyens préventifs d'éviter ces collisions. C'est quelque chose que l'on maîtrise. Je peux vous dire que nous passons aussi notre temps à faire des suivis de mortalité sur des parcs éoliens. Nous parcourons le pied des parcs éoliens pour chercher s'il y a des oiseaux tués ou blessés, s'il y a des chauves-souris tuées ou blessées. Donc, nous avons un retour d'expérience et nous savons que c'est quelque chose qui est minime, quelque chose qui est contrôlé. Et nous savons aussi que nous pouvons faire mieux et c'est l'objectif de...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

La LPO dit qu'il y a un danger, mais qu'il n'est pas très élevé. Je n'ai pas les chiffres.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait. Je peux donner des chiffres, mais après on va mélanger des poireaux et des carottes. Mais si nous avons un chiffre sur la mortalité des oiseaux par les éoliennes, c'est un ordre de grandeur de 2 à 10 oiseaux par éolienne et par an.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Ah, tout de même.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Alors que 1 km de route, c'est aussi 10 à 100. Et 1 km de ligne électrique haute tension, c'est aussi de 10 à 100. La chasse, c'est beaucoup plus, etc.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Les chats... C'est terrible, les chats.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait, mais ce n'est pas les mêmes oiseaux. Tout cela pour dire que nous avons un gros retour d'expérience et nous savons comment diminuer ces impacts.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Là-dessus, vous êtes tous d'accord. Ce n'est pas un enjeu... enfin, c'est important, mais ce n'est pas là-dessus que se fait le problème... l'éolien ne pose pas de problème là-dessus.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Peut-être y a-t-il un problème, qui est un peu lié, mais ce n'est pas directement les oiseaux. C'est les surfaces mobilisables. Le vent est une forme d'énergie extrêmement diluée puisque l'air, c'est 1 000 fois moins dense que de l'eau. Donc, il faut brasser beaucoup d'air pour produire 1 kWh. Les surfaces qu'il faut mobiliser sont donc gigantesques.





**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

C'est pour cela que l'éolien en mer a un avantage.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui, de ce point de vue-là, bien sûr. C'est sûr que l'éolien en mer a des avantages. C'est certain. Le facteur de charge est bien meilleur, les surfaces à mobiliser, etc. C'est tout à fait vrai, il n'y a pas de problème.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

L'éolien ne consomme pas beaucoup de terre, d'emprise au sol sur terre. Ce sont des choses qui sont tout de même dérisoires.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Cela prend de la place dans le paysage, mais sur terre, c'est...

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Exactement. Parce que nous sommes dans un aménagement qui est vertical, et pas un aménagement qui est horizontal. Et ce qu'il faut dire, puisque la remarque est faite par rapport au photovoltaïque, c'est que l'idée est de le placer sur ce que l'on appelle les « délaissés ». L'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie) a fait une étude là-dessus et elle montre que le potentiel des délaissés, donc des surfaces qui ne sont pas agricoles, des surfaces qui sont perdues, de surfaces qui sont transitoires, c'est beaucoup plus. Cela doit être 10 fois plus ou 8 fois plus que ce que nous avons aujourd'hui comme photovoltaïque. Sans parler des toits. Donc, nous n'avons pas un problème de surface pour le développement des énergies renouvelables.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Ce serait plus le matériau, et je vais y revenir juste après. Mais avant le matériau, nous avons aussi cette suspicion *green washing*, puisque – je crois que c'est JANCOVICI qui le disait – je cite un message que l'on m'a envoyé : « En Espagne, quand le vent baisse, il faut compenser par du fossile, notamment le gaz. Les gaziers ont beaucoup à gagner avec l'éolien. » Et JANCOVICI disait, lors d'une réunion, que beaucoup de gaziers disaient : « Oui, oui, à fond pour l'éolien », et cela paraît hypocrite. Est-ce hypocrite ? Ou est-ce qu'en fait il n'y a pas de problème ? Est-ce que le gaz gagne avec l'éolien ? Est-ce un problème ? Est-ce une suspicion qu'il faudrait lever ? Qu'est-ce que l'on en pense ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

C'est un problème par rapport à la décarbonation. Nous voulons sortir du fossile. Nous mettons le gaz qui, compte tenu des fuites, n'est pas meilleur que le pétrole ou le charbon. Donc, je ne vois pas l'intérêt.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Aujourd'hui, nous avons une substitution du charbon par les énergies renouvelables et par le gaz. Mais ce que nous promovons, ce que nous défendons et ce que nous pensons, c'est que ce sera du gaz renouvelable. Dans ces cas-là...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Il n'y aura pas de fuites, alors ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Si, il pourra toujours y avoir des fuites. Mais ce n'est pas la même chose que de prendre du gaz naturel qui a été produit il y a des millions d'années. Et quand il est brûlé, il est remis dans le cycle aujourd'hui. C'est-à-dire que lorsque c'est du gaz renouvelable, il fait partie du cycle naturel, donc biologique, qui peut exister. Ce n'est pas du tout le même type d'impact de CO<sup>2</sup>. Ce n'est pas du tout pareil.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Le gros des fuites qui ne concerne pas que le gaz, mais tous les fossiles – sur le charbon, il y a énormément de fuites de méthane aussi, au niveau des mines, et pour les puits de pétrole également –, c'est d'ailleurs très sous-estimé dans les chiffres officiels. Nous le voyons avec les



images satellites aujourd'hui, et particulièrement pour les gaz de schiste et le pétrole de schiste aux États-Unis, c'est essentiellement à l'extraction. Donc, ce n'est pas le cas pour du biogaz. Cela peut être le cas, il faut faire attention. Mais nous ne pouvons pas appliquer les mêmes chiffres. Ce n'est pas dans les réseaux de gaz que l'on a en France, en tout cas.

Enfin, nous avons les terres rares. Alors, rares ou pas rares, il faut beaucoup de matériaux, en particulier pour l'*offshore*, parce qu'il y a cette idée qu'il faudrait beaucoup de terres rares terrestres. Et en fait, ce n'est pas nécessaire. Nous parlons de technologies qui ne l'utilisent pas. Mais en mer, parce que c'est plus exigeant en termes de construction, il faut des terres rares. Alors, je n'ai pas les détails. Mais est-ce que cela n'est pas un problème écologique ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Il y a plusieurs choses. Pour expliquer les terres rares, elles sont utilisées dans les génératrices des éoliennes. Il y a des types de génératrices que l'on appelle à aimant permanent. Dans celles à aimant permanent, il y a moins besoin d'engrenages ou de boîtes de vitesse. Donc, elles sont plus adaptées à l'éolien en mer. Ces aimants permanents en particulier aujourd'hui utilisent des terres rares. Et donc, l'extraction des terres rares, c'est une industrie minière qui n'est pas très propre, en particulier en Chine. Mais c'est quelque chose où il y a des alternatives à ces terres rares. Dans ces cas-là, nous avons des machines moins performantes, mais nous ne dépendons pas – pas comme un minerai – du charbon, de l'uranium. Il y a des alternatives.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Si l'on retire les terres rares des éoliennes *offshores*, est-ce que cela reste performant ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Elles seront un peu moins performantes, mais elles seront performantes. En plus, c'est quelque chose qui, à partir du moment où, si je suis optimiste en termes de sciences, en termes de recherche et développement...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Là, vous allez faire un « et si ». Attention !

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait. Mais nous savons aussi que lorsqu'il y a un marché, lorsqu'il y a un besoin, nous investissons et nous trouvons des solutions.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Tous ces métaux sont recyclables en fin de vie. La concentration de ces métaux dans les objets en fin de vie est énormément supérieure à celle dans les minerais. Donc, c'est beaucoup plus intéressant de les récupérer.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Mais c'est beaucoup plus difficile de les séparer.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Cela dépend. Pas forcément.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Enfin, je ne suis pas expert.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

En tout cas, les métaux... je ne dis pas que ce n'est pas un problème. Mais les métaux que nous mettons dans les renouvelables ou dans autre chose, en fin de vie, nous allons les récupérer. Ils pourront être recyclés. Le cuivre, par exemple, si nous prenons, disons, le métal pour lequel nous avons...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Le cuivre n'est pas trop rare, ça va.



**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Mais si. Enfin, il est rare au sens où on l'utilise pour beaucoup de choses. Et il y a des substituts partiels. Mais il n'y a pas un substitut pour tous les usages du cuivre. Mais c'est recyclable. Ce n'est pas comme quand on brûle du pétrole, du gaz, du charbon. Une fois qu'on l'a brûlé, il n'est plus là. Et par ailleurs, je dirais que d'une manière générale, les mouvements « écolos » depuis leur origine, je trouve, ont mis trop l'accent sur les problèmes de ressources et pas assez sur les problèmes de déchets – pas au sens des déchets solides, mais au sens avant tout gaz à effet de serre, mais aussi polluants atmosphériques ou autres –, sur cet aspect des effluents. Et c'est encore le cas aujourd'hui. Nous n'allons pas sortir des fossiles par manque de fossile. J'espère que nous en sortirons, mais à cause des problèmes qu'ils causent. Et c'est la même chose pour l'essentiel des minéraux.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Je sais que vous avez beaucoup de choses à dire. Mais deux mots pour ceux qui nous écoutent. Vous avez le site qui s'appelle « normandie.debatpublic.fr ». Le but de notre discussion est que vous vous intéressiez au sujet et que vous alliez donner votre avis sur le site où la commission fera un rapport au gouvernement. Je n'ai pas les détails, parce que je n'y connais rien, mais cela servira à quelque chose. Donc, n'hésitez pas à le faire. Vous vouliez dire quelque chose ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

C'était sur l'Allemagne, pour bien préciser certaines choses. L'Allemagne a effectivement... des chiffres ont été cités. Moi, j'ai des chiffres de la part des énergies renouvelables de la production d'électricité en Allemagne. Parce que lorsque l'on cite des émissions de CO<sup>2</sup>, on totalise tout. Après, il faut bien voir si l'on parle de l'électricité ou si l'on parle de tout. Et donc, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité en Allemagne, en 2002, était de 9 % ; en 2008, c'était 16 % ; en 2014, c'était 30 % ; et en 2017, c'était 38 %. Je dirais que, mathématiquement, à partir du moment où cette part d'énergie renouvelable augmente, la part de CO<sup>2</sup> diminue, puisque cette part est de plus en plus importante.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Je n'ai pas compris la logique.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Si vous avez de plus en plus...

*Intervention hors micro*

**M. Thomas DURAND, Animateur**

M. TREINER, le micro.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Il faut regarder les données fournies par les Allemands eux-mêmes.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Regardez l'électricité y compris sur les dernières années, parce que les chiffres que vous nous avez montrés...

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

C'est 2014.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Oui, c'est cela. Nous avons aujourd'hui des chiffres sur la production jusqu'au premier semestre 2020, et vous verrez qu'en Allemagne, cela a bougé. La part des renouvelables a augmenté énormément et la part du charbon a nettement diminué au cours des 6 dernières années.



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Celle du gaz a augmenté. Et dans les renouvelables, vous comptez la biomasse, une biomasse qu'ils ne peuvent... il faut faire les règles de trois. La biomasse qu'utilisent les Allemands, ils l'importent. Ils importent de la biomasse pour l'utiliser chez eux. Ce n'est pas de la biomasse locale utilisée, j'ai un champ, je prends les déchets et je fais du gaz et je fais avec cela. Ils l'achètent. Il faut faire les règles de trois. Il faut avoir les bons ordres de grandeur. Si vous comptez une biomasse importée de je ne sais où comme de l'énergie renouvelable, cela ne va pas. Il ne faut pas faire les choses comme cela.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

La biomasse, c'est marginal, puisque l'essentiel aujourd'hui en Allemagne est l'éolien et le photovoltaïque dans ces énergies renouvelables.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Dans ce cas, vous n'arrivez pas à 38 %.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Pour les six premiers mois de 2020, juste pour donner les chiffres...

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

2020 ? Vous êtes dans la crise.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

C'est juste pour préciser aussi que c'est tout de même intéressant de voir cela, parce que lorsqu'il y a une crise comme cela, les énergies renouvelables sont résilientes. On peut continuer. Il y a des centrales qui se sont arrêtées. Et les six premiers mois de 2020, la part de l'énergie renouvelable en Allemagne, c'était 56 %, parce qu'elles ont continué à produire...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Parce que la consommation générale baisse et que ces sources-là sont prioritaires sur les réseaux.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Et dans un monde qui est plus sobre et plus efficace, nous consommons moins. Et cette part de production d'énergie renouvelable augmente, parce que...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Cela, c'est l'hypothèse où nous restons tous chez nous avec un masque.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Non, non. C'était pour bien préciser aussi qu'un élément qui est important dans tous les raisonnements et que nous, nous promovons au niveau de négaWatt, c'est la sobriété énergétique. Nous sommes dans un monde qui gaspille d'une part, en termes de comportement, que ce soit pour l'électricité ou autre, et d'autre part, un monde qui n'est pas efficace. Lorsque nous regardons cela, c'est un peu les petits gestes, mais c'est beaucoup les grandes décisions politiques, nous aboutissons à des besoins qui sont nettement moins importants.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Il faut plus de télétravail ? Je dis cela, par exemple. Il faut des décisions politiques pour cela, et c'est la sobriété qui nous sauvera ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

C'est l'aménagement du territoire, c'est un certain nombre de choses, c'est la rénovation des bâtiments.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Je voudrais dire un mot sur l'Allemagne, parce qu'en France les personnes se saisissent de l'exemple de l'Allemagne. Juste pour parler de l'électricité, le gros échec, pour l'instant, du tournant énergétique allemand, c'est sur les transports. Et pourquoi ? C'est largement à cause du poids des constructeurs automobiles allemands. C'est largement à cause d'eux que l'on n'a pas réussi à avoir une baisse des émissions des voitures...



**M. Thomas DURAND, Animateur**

Un grand « bouh » pour BMW, Mercedes...

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Si les personnes qui critiquent tout le temps l'Allemagne pour son tournant énergétique se souciaient d'abord et avant tout du climat, elles mettraient le point là-dessus. Et il n'y en a pas beaucoup. Le problème est là. Après, M. TREINER parlait des différents secteurs. Je suis complètement d'accord pour dire que le plus gros problème est l'agriculture, le transport longue distance, l'industrie lourde. Ce n'est pas l'électricité. C'est relativement facile de produire de l'électricité avec très peu d'émissions. Nous avons beaucoup de techniques.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

C'est ce que disait M. TREINER tout à l'heure.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Ce n'est pas vrai, ce n'est pas plus facile.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est beaucoup plus facile que le transport longue distance.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

C'est plus facile que le transport. Relativement.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Relativement. C'est plus facile parce que nous avons plusieurs techniques. Donc, prenons les techniques les plus intéressantes...

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Ce n'est pas si facile que cela puisque l'Allemagne a installé 120 GW et a marginalement diminué ses émissions. Il ne faut pas dire que c'est facile. Regardez ce qu'il se passe.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est relativement plus facile. Regardez sur le transport longue distance ce que l'on fait. Regardez ce que l'on fait sur l'agriculture, sur l'élevage.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, mais je suis bien d'accord. C'est précisément mon point. C'est-à-dire qu'il faut regarder les gros dossiers. En revanche, en Allemagne, l'électricité est un gros dossier aussi.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Il n'empêche que comme nous sommes ici pour parler électricité, il faut tout de même se poser la question de par quoi nous allons remplacer nos centrales. Donc, regardons l'économie, regardons les différents impacts sur le bilan.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Il y a une notion que j'ai découverte en préparant l'émission – d'ailleurs, je remercie Rodolphe de la chaîne Le Réveilleur, abonnez-vous à sa chaîne sur YouTube, il parle d'énergie, c'est très bien –, c'est le couplage sectoriel. Est-ce que cette notion est utile pour que nous comprenions un peu pourquoi l'éolien pourrait être d'un intérêt dans le mix à venir ? Est-ce que l'on peut expliquer aux personnes ce qu'est le couplage sectoriel ? Ou n'est-ce pas du tout le sujet et nous l'évacuons parce que j'ai tort ?





**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est complètement le sujet. Le couplage sectoriel consiste à convertir une forme d'énergie en une autre pour l'utiliser dans différents secteurs. Je vais prendre un exemple. Aujourd'hui, nous faisons de l'acier surtout à partir de charbon. Forcément, c'est très émetteur. Il y a des alternatives. Nous pouvons faire de l'acier avec de l'hydrogène. Les Suédois et les Autrichiens s'y mettent. ArcelorMittal n'a pas l'air de trop suivre, mais peut-être que cela viendra. Évidemment, d'où vient l'hydrogène ? Aujourd'hui, l'hydrogène qui est utilisé vient des fossiles avec des émissions qui sont pires, du coup. Il est utilisé dans le raffinage, dans la chimie. Donc, cela n'aurait pas de sens de faire de l'acier avec ce type d'hydrogène. En revanche, nous pouvons en faire à partir d'électrolyse de l'eau et avec de l'électricité. Mais là encore, cela n'a de sens que si cette électricité n'est pas faite avec des fossiles. En tout cas, pas sans capture et stockage. Donc, à partir de renouvelable ou de nucléaire. C'est un exemple de couplage sectoriel.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Nous pouvons impacter un secteur qui n'est pas directement électrifié aujourd'hui grâce à l'énergie que nous pourrions transformer, enfin coupler entre les secteurs.

Nous avons aussi les barrages, les STEP... les stations d'émission... j'ai oublié le nom.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Le transfert d'énergie par pompage.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Voilà. Sur les barrages quand on a trop de courant, on pompe, et quand on n'en a pas assez, on largue et on a les turbines. Est-ce que ces stratégies-là... M. TREINER, vous qui êtes critique de l'éolien, qu'en pensez-vous ? N'est-ce pas intelligent d'avoir de l'éolien si, en face, nous avons un couplage efficace ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Mais les stations de transfert d'énergie par pompage, c'est la meilleure façon de stocker l'énergie. C'est la meilleure façon. Il n'y a pas meilleur. Mais pour cela, il faut avoir des sites, c'est-à-dire la Suisse, par exemple...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Ce n'est pas en mer.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, ce n'est pas cela. Par exemple, les sites de barrage en France, les sites possibles ont déjà été équipés. Donc, nous pouvons faire un peu plus de remontées, de captage en bas pour remonter l'eau, etc. Les Suisses sont des champions de cela. Ils achètent de l'électricité d'origine nucléaire bon marché quand c'est le soir – il y en a trop en France, etc. Et ensuite, ils nous revendent de l'électricité turbinée par leurs barrages quand il y a un besoin d'électricité en France. C'est formidable, ils font cela très bien, très efficacement. C'est le meilleur truc. Ou la Norvège, si vous voulez. La Norvège est à 98 % hydraulique. Et donc là, il y a beaucoup de sites, etc. Mais c'est très dépendant du pays dans lequel vous êtes. Et en France, c'est déjà saturé. Donc, nous avons 25 GW installés de barrage hydraulique. Nous avons 5 GW de STEP. Et nous pouvons peut-être, certainement d'ailleurs, l'augmenter un peu, mais nous n'augmenterons pas suffisamment pour gérer les fluctuations que je vous ai montrées des renouvelables, du solaire et de l'éolien.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Je vous invite à lire l'article que je mentionnais. Parce qu'avec 9 GW de STEP, un peu de batterie, éventuellement du *power to gas*, mais cela dépend des cas, nous arrivons à satisfaire la demande heure par heure, y compris avec du 100 % renouvelable. Nous y arrivons. Et ceci, sur 19 ans. Et nous prenons les données météo, nous travaillons avec des climatologues. Je suis prêt à en discuter avec vous.



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Je suis prêt à en rediscuter aussi, parce que je ne crois pas que ce soit vrai.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Tout est en libre accès : modèles, données. Faites-vous plaisir.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Sur l'hydrogène... Allez-y, je parlerai avec vous.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Les STEP, c'est juste pour dire qu'aujourd'hui à 2050, c'est dans 30 ans, beaucoup de choses peuvent se développer. Et il y a des personnes qui travaillent sur les STEP marines. Les STEP marines, dans ce cas, on prend une masse. C'est une masse en béton ou en acier, que l'on monte et descend, comme dans les STEP. Dans les stations de transfert d'énergie par pompage, on prend de l'eau. Mais l'idée est de prendre une masse, de la monter du bas vers le haut. Mais nous pouvons faire la même chose avec une masse lourde. Et donc, des personnes travaillent sur des STEP marines où l'on déplace cela. Cela peut être...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, on mettrait des blocs en béton dans l'eau. Et avec l'énergie potentielle en...

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait. Et à la limite, cela peut être couplé. Donc, c'est juste pour dire que, s'il y a un besoin, nous pouvons aussi inventer des choses en fonction des coûts.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Je voudrais tout de même ouvrir un chapitre différent, parce que le temps tourne. Un mot, M. TREINER, mais juste un mot.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui, je voulais dire juste une chose sur l'hydrogène. D'abord, je voulais juste dire que je n'ai qu'une obsession, c'est la règle de trois, pour évaluer les ordres de grandeur en jeu. Le nucléaire, je m'en moque. L'éolien, je m'en moque. Tout cela, je m'en moque. C'est de la plomberie.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Il ne fallait pas venir, alors.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Et je ne mets pas de valeur dans la plomberie. Je mets des valeurs là où il faut les mettre, c'est-à-dire les relations entre les personnes, ce que l'on fait, ce que l'on dit, la culture, tout ce que vous voulez, etc. Je n'ai aucun intérêt au nucléaire. Mais j'ai un fort intérêt, parce que cela a été mon travail dans ma vie, d'évaluer les ordres de grandeur et, lorsque quelque chose est du *whishful thinking*, de la post-vérité par rapport à de la vérité, cela me dresse les cheveux sur la tête, et je deviens furieux. C'est pour cela que je suis un peu véhément, parce qu'il y a des contre-vérités.

Sur l'hydrogène, je veux juste citer...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Oui, mais là, vous avez dit beaucoup de mots.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui, mais c'était juste pour dire...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Alors, ne vous égarez pas.



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Sur l'hydrogène, sur la règle de trois. Il y a une étude récente qui a été publiée dans Enerpresse, par un groupe d'Académiciens des technologies, sur l'hydrogène, le stockage d'hydrogène. Il faut lire cela.

Ensuite, trois études ont été faites par trois institutions très différentes. L'une, c'est le NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) sur les coûts de l'énergie. Ensuite, c'est le Fraunhofer en Allemagne. Et ensuite l'Agence internationale de l'énergie. Le plus drôle, c'est le cas de l'Allemagne, parce qu'*a priori* c'est eux qui ont le plus besoin de stockages massifs, puisqu'ils ont développé beaucoup de renouvelable, variable, prévisible, mais tout de même intermittent. Les conclusions de cette étude qui a été commandée par le gouvernement fédéral sont que l'Allemagne n'a pas besoin de se préoccuper de stockage d'électricité, il lui suffit d'exporter son électricité excédentaire, et d'importer en cas de déficit. L'Allemagne, consciente des limites de la production d'hydrogène à partir d'énergie renouvelable produite sur son territoire envisage d'importer l'hydrogène. Tout simplement.

Vous voyez, chaque fois, nous ne pouvons pas opposer...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

On externalise les problèmes.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui. Parce que les personnes sont prises dans des choses et il faut regarder où c'est pris. Sinon, vous ne pouvez pas tracer de trajectoire. Il faut regarder où ils sont, ce qu'ils font, quels sont leurs intérêts, etc. On ne peut pas opposer une idée de recherche au fonctionnement concret d'une société à un moment donné.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Nous avons un problème que l'Allemagne serait hypocrite. Moi, j'aimerais que l'on revienne après sur l'assiduité des réseaux électriques, parce que j'ai appris des choses en préparant et j'ai des questions. En deux mots, sur cette idée que l'Allemagne serait un peu hypocrite, que se passe-t-il ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Si je réponds par rapport à cela, et si j'ai bien compris, nous, la France, en termes d'exportation de la position nucléaire, nous sommes exactement pareils. Parce que si nous n'avions pas le marché européen, nous n'aurions jamais pu avoir autant de production en nucléaire : il y a beaucoup de moments où nous avons eu des surproductions. Nous sommes, pour le nucléaire en France ou pour les énergies renouvelables en Allemagne, dans la même logique d'un marché...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Nous en importons moins tout de même...

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Nous sommes dans un marché, dans une interconnexion...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Nous sommes plus autonomes en France, tout de même. Non ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Nous exportons beaucoup, de manière générale. Mais le bilan avec l'Allemagne est globalement que nous importons de l'électricité depuis l'Allemagne, sur un bilan annuel.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Très bien. J'ignorais cela.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Moi, je n'ai aucune envie de défendre les choix politiques qui ont été faits en Allemagne. Je n'aurais pas fait les mêmes. Mais il faut sortir de l'obsession allemande. Nous pouvons regarder également l'Irlande, le Portugal. Il y a tout de même beaucoup de pays qui sortent du charbon aujourd'hui en Europe. Heureusement, enfin ! Donc, la réponse est...



**M. Thomas DURAND, Animateur**

Le projet français n'est pas le projet allemand.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Encore une fois, moi je ne suis pas là pour défendre le projet français...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Moi non plus.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Je sais que nous pouvons faire du 100 % renouvelable en France, parce que c'est un de mes sujets de recherche. Mais je ne dis pas que c'est le projet français. Je ne me suis pas engagé par cela.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Il est en France. Je veux dire le projet « en France. »

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

En tout cas, nous pouvons avoir ce projet en France.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Ce qui est intéressant également, c'est la Grande-Bretagne. Parce que l'Allemagne est montrée, c'est un gros pays. Puis, il y a la Grande-Bretagne. Ou le Royaume-Uni. Le Royaume-Uni est sorti du charbon en quelques années. Philippe pourra expliquer comment sur le plan...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Nous n'aurons pas le temps de développer tout cela.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Non, mais juste deux choses. Ils ont taxé les émissions de CO<sup>2</sup> du secteur électrique et ils ont développé les renouvelables massivement. Donc, des taxes et du renouvelable.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Et donc, ils ont réussi.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Et il développe le nucléaire aussi.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Oui, mais la part du nucléaire baisse en Grande-Bretagne depuis un certain nombre d'années.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

En proportion ou en quantités cumulées ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

C'est la même chose.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

En part. Aujourd'hui, le gros boom, c'est le développement de cette énergie renouvelable. On le montrait tout à l'heure, c'est un pays qui produit beaucoup d'électricité éolienne en mer. Beaucoup.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

J'ai lu des choses, on m'a envoyé des informations. Je suis très ignorant, donc je ne sais pas si c'est vrai. On me dit qu'au-delà de 30 % d'énergie renouvelable dans le circuit français, il y a un problème de stabilité, parce que nous, nous voulons du 50 Hz à la prise. Pour cela, nous avons de gros moteurs qui tournent dans de grosses centrales – vous me direz si je me trompe –, et lorsqu'il y a une grosse demande, l'énergie cinétique est un peu pompée du système. Cela ralentit. Nous avons donc besoin



d'avoir de grosses machines qui tournent pour pouvoir recevoir ces demandes sans faire de *black-out*. Les énergies renouvelables actuelles coûtent peu cher, parce que le système est stable grâce à ce qui est déjà présent ; et lorsque nous remplacerons ce qui était présent par du renouvelable, nous n'aurons plus cette capacité de stabiliser. Ou alors, il faudra installer d'autres choses en plus. En tenons-nous compte dans les coûts ? Le coût de 1 % de renouvelable aujourd'hui n'est pas forcément le même que dans 20 ans, quand nous serons à 60 %.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Je peux répondre pour partie. Le chiffre de...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Est-ce clair, ce que j'ai dit ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Je peux le reformuler un peu, en disant que cette part de 30 % d'énergie renouvelable variable est appliquée dans les îles, que ce soit la Corse ou les départements et territoires d'outre-mer. Mais sur le territoire européen, c'est quelque chose, si nous considérons le territoire européen, qui pourrait être envisagé. Mais aujourd'hui, nous avons des pays qui ont bien plus que 30 %. Beaucoup plus.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Par exemple ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

L'Irlande. L'Irlande est une île, et pourtant ils sont à 40 %.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Ils ont du géothermique ou de l'hydroélectrique, en Irlande ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Pas beaucoup.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Parce que, normalement, c'est cela qui compense.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Et le deuxième élément de réponse est qu'aujourd'hui nous sommes en 2020. 2050, c'est 30 ans devant nous. 30 ans en arrière, c'était 1990. Il n'y avait aucune éolienne, aucun photovoltaïque. Il n'y avait pas internet, il n'y avait pas de téléphone.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Justement. Ce que je veux dire, c'est que les premiers pourcents bénéficient du réseau déjà en place...

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Oui, mais ma réponse est de dire qu'il y aura, il y a déjà des progrès techniques qui se font. Il y a beaucoup de choses qui...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Là, vous faites un « et si ». Vous me l'avez tellement reproché, que vous l'avez « dans les dents ».

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Non, mais c'est pour dire que... Je peux donner des exemples, mais Philippe peut-être également. Aujourd'hui, par exemple, nous pouvons – c'est envisagé par des fabricants – avoir une éolienne qui pourrait produire à 100 % de sa puissance. Elle ne produira pas à 100 %, mais à 95 %, pour avoir 5 % de marge de manœuvre, pour justement encaisser, pour produire ce dont vous parlez.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

D'accord. Au lieu d'être à 30 % de charge, elle sera à 25.





**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Au lieu d'être à 100 % à pleine puissance, elle sera un peu moins pour avoir...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Mais le 100 %, ce n'est pas...

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Oui, mais pour avoir une réserve de puissance à un moment, pour...

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Il n'y a pas d'éoliennes qui fonctionnent avec un facteur de charge de 90 %. Cela n'existe pas. Qu'est-ce que vous racontez ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Par rapport à l'instant donné. Imaginons qu'elle doit produire 100 d'une unité. Nous ne lui demandons de ne produire que 95. Elle a 5 unités de disponibles pour...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, on les ralentit, même quand elles ne sont pas à 100 %.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait. J'ai été imprécis, mais c'est l'idée. Il y a un certain nombre de choses sur lesquelles nous travaillons. Et cela dépend de ce que nous demandons aux éoliennes. Si nous leur demandons dorénavant de faire autre chose, elles peuvent le faire.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Aujourd'hui, est-ce que les réseaux peuvent le supporter ? Est-ce qu'il faut des installations nouvelles, est-ce qu'il faut dépenser plus pour avoir déjà des rotors qui pourraient compenser ces problèmes ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Aujourd'hui, ce sont ces machines tournantes qui garantissent cette stabilité du courant. Il y a des moyens de s'en passer, soit d'avoir ces rotors qu'il faut payer, soit d'utiliser des batteries. En Australie du Sud, cela existe déjà.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Comme vous l'avez dit deux fois, il faut que nous parlions des batteries. Parce que les personnes disent que c'est polluant. Nous allons en parler après.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Mais restons là-dessus. Cela existe déjà en Australie du Sud. Vous avez des opérateurs de batterie qui sont payés pour cela.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Là où ils ont eu un *black-out* récemment ? Est-ce cela ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Non. Au contraire, cela a évité un *black-out*. RTE va sortir un rapport sur ce thème à la rentrée en commun avec l'agence internationale d'énergie. Là, je pense que nous aurons les règles des chiffrages économiques. Mais que ce soit là-dessus ou le renforcement du réseau qui est nécessaire pour intégrer ces renouvelables, ce n'est pas du tout dans le même ordre de grandeur. Cela va créer un surcoût, mais beaucoup plus, mais très faible en proportion du coût des installations de production. Cela va continuer à être cela, l'essentiel du coût : le coût des installations de production.



**M. Thomas DURAND, Animateur**

D'accord. Donc, il ne faut pas trop s'inquiéter. Il nous reste 4 ou 5 minutes. Le volet politique. M. TREINER a dit quelque chose qui me semble intéressant : en Allemagne, ils ont pris des décisions pour sortir du nucléaire. Pas nécessairement pour le climat, mais pour sortir du nucléaire, pour d'autres raisons qui sont parfaitement justifiées ou pas, mais qui sont des raisons politiques. Nous avons ainsi une question d'acceptabilité sociale qui se pose. C'est un peu l'objet du débat également. Est-ce une fin en soi ? Comment faisons-nous pour marier les données scientifiques, les choses que nous savons et les projections, avec des programmes politiques de personnes dont le but est de se faire élire – et je ne veux pas les accabler –, avec des pas de temps qui ne sont pas... Les personnes élues aujourd'hui ne seront pas là en 2050. Donc, par rapport aux décisions qu'elles prennent aujourd'hui, elles ne seront pas redevables des conséquences en 2050. Comment en tenons-nous compte, lorsque comme vous, vous êtes tous intéressés par le climat, nous essayons de peser dans la balance démocratique ? Comment gérez-vous le lien entre la technique, la science et le politique ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

De toute façon, si nous le voyons – cela a été dit –, la France travaille sur des schémas « bas carbone », le schéma national bas carbone, sur la programmation pluriannuelle de l'énergie. Cela intègre les différentes possibilités, le fait d'avoir un mix énergétique, d'avoir une indépendance énergétique meilleure. Cela se traduit par, justement au-delà de l'élection, du court terme, pour avoir une vision à moyen terme, parce que je crois qu'il y a un consensus. Ce sont des investissements, il faut donc avoir une vision. Il y a des installations existantes qui vieillissent. Il faut les renouveler, il faut les remplacer, il faut les réparer. Cela se programme et c'est l'objectif de tous ces plans qui sont mis en place.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Sauf que la stratégie nationale bas carbone n'est pas suivie. Cela répond à la préoccupation.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait. Puis, vous avez des...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Est-ce que nous voyons des choses qui vont dans le sens de... Parce qu'avoir plus... Moi, j'ai entendu beaucoup M. JANCOVICI. Vous, beaucoup moins. C'est sa parole, que l'on connaît. Et M. TREINER l'a rappelé. Au cours de l'histoire, lorsque nous avons rajouté une nouvelle forme d'énergie, nous n'avons pas retiré les autres. Elles se sont toujours ajoutées. Même si peut-être cela peut ralentir l'émission de CO<sup>2</sup>, cela ne la diminue pas, de ce que j'ai pu voir. Est-ce que je me trompe ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Aujourd'hui, le charbon baisse en Europe.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Et le gaz augmente.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Non, non. En Europe, ce n'est pas vrai. En Europe, pour les émissions du secteur électrique, ce n'est pas vrai. Mais ce que nous voyons, c'est qu'il y a une substitution du charbon, une disparition du charbon en Europe. Ce n'est pas du tout vrai en Inde, ce n'est pas du tout vrai dans beaucoup d'autres pays, j'en conviens. Et c'est terrible.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, chez nous, il y a tout de même une transition qui s'opère.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Complètement.



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Attendez, attendez ! Il faut tenir compte des émissions de CO<sup>2</sup> associées à la consommation et pas seulement à la production. Si vous délocalisez des industries fortement consommatrices d'électricité, cela se fabrique en Chine, qui est devenu l'atelier du monde, et ensuite vous l'achetez. Ces choses-là sont consommées ici. Normalement, pour faire le bilan des émissions de CO<sup>2</sup> de l'Europe, il faudrait tenir compte de cela. Il faut l'attribuer à l'Europe.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Il y a un bon côté, c'est que j'ai appris... Alors, ce n'est pas encore décidé. Mais autant les éoliennes terrestres sont fabriquées en Chine.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Non, non.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Ah non. 0 %.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Alors, j'ai raté mon coup. Mais j'ai cru comprendre que pour les éoliennes marines, il y avait vraiment des filières françaises, pour le coup.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Européennes.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Voilà. Donc, nous aurions une production locale. Alors que le solaire est tout de même fait en Chine.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Les modules photovoltaïques sont fabriqués, pour 70 %, en Asie. Après, cela a été de mauvais choix politiques qui sont faits. Nous pouvons penser que...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

J'y reviens, voilà c'est cela.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Mais dans la filière de production photovoltaïque, il n'y a pas que les modules. Il y a des onduleurs, des supports, d'autres choses qui font qu'une partie, le cœur, est effectivement produite en Asie du Sud-Est, mais pas tout.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est un cœur qui représente 25 % du coût complet.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

25 à 30 % de la valeur ajoutée économique.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Le module lui-même.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Le module ?



**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Le module au sein d'un système photovoltaïque sur le coût complet. Mais pour revenir à votre question, qui est tout de même une question difficile, il est évident qu'il n'y a pas de réponse simple à cette question. Maintenant, je trouve que cela vaut vraiment le coup de regarder l'expérience de la convention citoyenne. Parce que si nous demandons à des personnes si elles sont prêtes à ce que nous prenions telle ou telle mesure sans leur laisser le temps de réfléchir, souvent elles disent non. Si nous demandons à des politiques, ils disent encore plus non. Mais si nous informons les citoyens, si nous laissons débattre pendant longtemps, une fois qu'ils se rendent compte de la gravité du problème, ils se mettent d'accord sur des propositions qui sont évidemment imparfaites, mais qui sont tout de même assez radicales. Et moi, je dis chapeau et je dis merci aux citoyens qui se sont mobilisés, qui ont passé leur week-end à faire cela. Je trouve que c'est tout de même une expérience à méditer : lorsque nous informons les citoyens, lorsque nous leur donnons le temps de débattre, il y en a tout de même beaucoup qui prennent position en faveur de mesures ambitieuses, qui sont nécessaires.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Êtes-vous d'accord ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Je pense que votre question pose un autre problème. C'est la question de : « Qu'est-ce que l'énergie ? » Faire gérer les problèmes de l'énergie par le marché, je pense que c'est cela qui ne va pas. Parce que vous jouez une industrie contre une autre, un lobby contre un autre, etc. Le climat est un bien commun. L'atmosphère et le climat devraient être considérés comme un bien commun. Comme c'est directement relié à la consommation d'énergie, nous pourrions aussi considérer que l'énergie est un bien commun, qui donc relève d'instances politiques unifiées, c'est-à-dire une certaine planification. Si vous n'envisagez pas une reprise en main du secteur énergétique par l'État – et il ne s'agit pas de faire de la planification à la soviétique, nous n'allons pas rentrer dans le détail de cela... mais une reprise en main du secteur énergétique par l'État, pour orienter les choses. Vous avez des politiques qui sont incohérentes, parce que chaque secteur tire de son côté. Pour avoir quelque chose de cohérent, il faudrait...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Oui, mais le libéralisme, c'est la vie, c'est comme cela, les personnes ont voté pour.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, non. Cela dépend des choses. Il y a des choses qui sont bien gérées par le marché, il y en a qui sont mal gérées par le marché. Et la politique climatique est mal gérée par le marché.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

En tout cas, la production d'électricité et d'énergie, il y a la PPE, la promotion pluriannuelle de l'énergie, qui est un bon exercice. Mais comme vous dites, est-ce que c'est respecté ou non respecté ? La France a pris des engagements, par exemple, européens en termes de part des énergies renouvelables, qu'elle ne respecte pas. Les différents gouvernements l'ont pris, mais ne les respectent pas.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui, mais pour moi, ce n'est pas le bon critère.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Mais pourquoi pas ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

C'est les émissions de CO<sup>2</sup>. Parce que le climat, ce n'est pas les renouvelables ou pas les renouvelables. C'est carboné ou pas carboné.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Les énergies renouvelables par définition sont décarbonées.



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Mais non.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Mais l'essentiel.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Mais non.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Si.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Les panneaux photovoltaïques sont fabriqués avec un mix énergétique chinois. Donc, c'est complètement carboné.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Je dirais, il suffit qu'il y ait une politique européenne de production. Cela fait partie de...

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Même en Chine, le bilan CO<sup>2</sup> est très faible pour le solaire.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Parce que dans le PIB général de la Chine, le solaire, c'est un « petit truc ». C'est sûr. Mais cela ne fait rien, c'est ce que l'on regarde.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

J'aimerais que les personnes qui sont là puissent poser des questions. Il faudrait faire circuler un micro. Vos questions brèves. La conférence, c'était ces Messieurs. Vous posez une question, éventuellement deux courtes. Mais je ne veux pas de commentaires qui durent deux minutes. Vous avez 20 secondes pour la question.

**Intervenant**

Je vais essayer de faire court, mais j'avais prévu pas mal de choses à demander. Tant pis.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Deux questions.

**Intervenant**

Aujourd'hui, nous voyons des études sur les coûts en CO<sup>2</sup> au kWh pour les différentes sources d'énergie. Et pour le kWh nucléaire français, nous sommes environ à 6 grammes de CO<sup>2</sup> par kWh. Pour l'éolien terrestre, nous sommes à 11 grammes de CO<sup>2</sup> par kWh. Et pour le maritime, nous sommes à 12 grammes. Vous voudriez que nous remplacions du nucléaire à 6 grammes par de l'éolien à 12 grammes, donc doubler nos émissions de CO<sup>2</sup>. Je ne comprends pas l'intérêt.

Seconde question : quels sont les rendements au niveau des *back up to gas*, enfin des gaz utilisés, soi-disant renouvelables pour l'éolien ? Parce que vous prenez de l'énergie éolienne pour fabriquer du gaz. Donc, déjà, vous transformez du mécanique en chimique, vous avez une perte. Ensuite, vous devez stocker ce chimique, vous avez des pertes. Et ensuite, vous transformez du chimique en électrique, vous avez encore des pertes. Donc, quel est le rendement, sachant que cela va devoir...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Mais ne vous énervez pas comme cela.

**Intervenant**

Je ne suis pas énervé, je parle vite, désolé. Quel est le rendement ?

**M. Thomas DURAND, Animateur**

D'accord. Il y a forcément des pertes, nous les connaissons...





### **Intervenant non identifié**

Et combien de surproduction d'électricité est-ce que cela implique pour pouvoir lisser juste 100 % de la demande ?

### **M. Thomas DURAND, Animateur**

J'ai oublié la première question, mais elle était importante.

### **M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'était sur les 6 grammes. Déjà, donner un chiffre comme cela... il y a tout de même une fourchette d'incertitude. Dire que c'est 6 ou 11, dans tous les cas c'est tout de même très peu. Plus nous sommes bas, mieux c'est. À la limite, le plus bas, c'est de faire des émissions négatives, donc c'est de faire des centrales qui utilisent de la biomasse et de la capture stockage du CO<sup>2</sup>.

### **M. Thomas DURAND, Animateur**

J'ai des comparatifs. Charbon, c'est plus de 1 000. Gaz naturel, c'est 400. Hydroélectrique, c'est variable, cela peut être jusqu'à 100. Et la différence entre le nucléaire et l'éolien est faible par rapport aux autres énergies.

### **M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Elle est dans l'épaisseur du trait statistique. Et si nous voulons faire le minimum, faisons des émissions négatives, mais après...

### **M. Thomas DURAND, Animateur**

Négatives ?

### **M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Oui, on brûle de la biomasse et l'on envoie le CO<sup>2</sup> dans le sous-sol. Attention, je ne dis pas que c'est ce qu'il faut faire, parce que cela pose de nombreux problèmes sur la stabilité, etc. Mais si nous voulons juste regarder un chiffre, nous faisons cela.

Sur le rendement, évidemment nous avons des pertes chaque fois que nous stockons, chaque fois que nous faisons des conversions.

### **M. Thomas DURAND, Animateur**

Il faut dire un mot des batteries, j'y tiens.

### **M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Sur les batteries, les pertes sont nettement plus faibles. Oui, elles sont significatives si nous faisons du *power to gas*. Maintenant, est-ce intéressant ou pas ? Nous, nous disons, pour du 100 % renouvelable, lorsque nous optimisons sur les coûts : « Oui, un peu ». Mais vraiment un peu. Cela aide à passer typiquement des périodes avec peu de vent et peu de soleil. Maintenant, ces pertes sont limitées. Si vous voulez voir les chiffres, je vous ai donné le lien, vous pouvez aller voir. Ce n'est pas un drame.

### **M. Thomas DURAND, Animateur**

Il faudrait m'envoyer le lien à moi par mail, parce que j'ai oublié de vous le demander. Demandez-moi de mettre le lien et je le demanderai à M. QUIRION. Comme cela, vous aurez le lien.

Donc, il y a des pertes, mais vous dites que ce n'est pas grave.

### **M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Ce n'est pas grave si c'est sur de petites quantités. Vous voyez, par exemple, le biogaz, nous en avons pour 3 %. Nous pouvons dire que 3 %, ce n'est rien. Mais avoir 3 % de biogaz dans nos modèles pour produire de l'électricité, c'est intéressant, parce que nous l'utilisons à des moments où nous en avons vraiment besoin.



**M. Thomas DURAND, Animateur**

D'accord. C'est des soupapes pour que ce soit stable.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

La chaîne *power to gas to power*, c'est-à-dire électricité, on fait de l'électrolyse, l'hydrogène, etc., puis on refait de l'électricité dans une pile à combustible. Cette chaîne-là a un rendement de 25 % aujourd'hui. C'est-à-dire que pour déstocker 1, il faut avoir stocké 4. Il y a un rapport de l'Académie des technologies qui vient de sortir. Ce sont des chiffres qui sont connus. Les personnes pensent que d'ici 2050 nous pourrions augmenter le rendement, jusqu'à 30 ou 35 %. Et tout le monde est d'accord là-dessus. Je vous lis quelque chose de l'Agence internationale de l'énergie : « ... souligne le difficile défi posé par le faible rendement de la chaîne de conversion [c'est pour l'hydrogène]. Elle rappelle les capacités limitées des formations salines pour le stockage d'hydrogène ainsi que l'absence de qualification des aquifères et champs gaziers déplétés. » Donc, nous pouvons en faire un peu, mais cela ne donne pas, à cause de cela, de ce rendement qui est faible. Le rendement des batteries est meilleur, ou le rendement des STEP – c'est 80 %. Mais à cause de cela, il faut surdimensionner les parcs. C'est-à-dire qu'il faut avoir des parcs éoliens ou photovoltaïques dédiés à cela. Cela change, ce n'est plus une technologie qui va lisser les fluctuations. C'est quelque chose que l'on installe en soi.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Un mot sur les batteries. Vous pouvez rebondir là-dessus. Les personnes disent : « Oui, mais l'éolien, c'est sale, parce que comme l'on ne peut pas stocker, il faut stocker dans des batteries. Les batteries, c'est polluant, ce n'est pas au point. » Il me semble que c'est plutôt vrai. Dans quelle mesure serait-ce faux ? Et que pouvons-nous espérer dans les prochaines années en termes de technologies pour que la batterie soit efficace et rentable.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Je peux donner un chiffre. Imaginez que nous voulions stocker 1 % de la production d'électricité. 1 %, c'est 3 jours. Un jour d'hiver où le soleil ne fonctionne pas et un jour d'hiver où il n'y a pas de vent, l'anticyclone des Açores est à un endroit tel qu'il n'y a pas de vent. Vous avez besoin de stocker 3 jours d'électricité. 3 jours d'électricité, 1 %, c'est 5 TWh. 5 TWh, c'est un peu plus que toute l'énergie contenue dans toutes les batteries du monde. Les batteries au plomb, les batteries au lithium...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

3 jours en France ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui, 3 jours en France. Toutes les batteries du monde, à l'heure actuelle, c'est un peu moins de 5 TWh. Donc, c'est pour dire que quand on réfléchit à l'électrification des transports, c'est un problème. Nous pouvons envisager de faire des flottes de millions de véhicules, etc. Mais le problème de la gestion des fluctuations de la production des éoliennes, c'est un autre problème, c'est un autre ordre de grandeur.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est un autre ordre de grandeur nettement plus faible. Nous faisons le calcul, encore une fois. Nous passons les périodes avec peu de vent. La quantité de batteries dont nous avons besoin est beaucoup plus faible que celle que nous voulons, à juste titre à mon avis, installer dans les véhicules électriques. Et en plus, c'est plus facile à gérer, c'est tout de même sur des sites, c'est stable. Mais les quantités de batteries que nous aurons sur les véhicules électriques sont beaucoup plus importantes que celles dont nous aurions besoin, dont nous pourrions avoir besoin dans un système électrique 100 % renouvelable pour la France.

Et par ailleurs, si nous électrifions les transports, quel que soit le moyen de production d'électricité que nous voulons, que ce soit du nucléaire, fossile ou renouvelable, nous avons besoin de gérer la demande de manière intelligente. Si nous laissons tout le monde remplir sa batterie de voiture au moment où ils rentrent du travail à 18 h, cela ne passe pas.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Nous avons fait les heures creuses pour gérer la demande.



**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Justement, il faut... mais cela montre bien que, quels que soient les choix que nous faisons sur la production d'électricité, nous avons besoin d'être intelligent sur la gestion de la demande. C'est vrai en particulier pour les transports, mais c'est vrai sur le reste de la demande aussi. Ce n'est donc pas seulement un problème de renouvelable d'avoir besoin de cette flexibilité de la demande.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Oui, mais les personnes qui vous regardent, qui sont peut-être *a priori* antiéolien, se disent : « Je n'ai pas ma réponse sur : combien faut-il de batteries ? Qu'est-ce que cela pollue par rapport au reste ? » Il faut tout de même penser à une chose, c'est qu'il faut comparer aux autres. Dans quelle mesure, la solution avec batterie est plus ou moins polluante que les autres solutions ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Dans l'optimisation que je vous montrais, c'était 11 GW en puissance, 22 GWh de capacité de batterie. Ce n'est pas... Nous avons 180 GWh de STEP, de station de transfert d'énergie par pompage.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, cela, c'est des retenues d'eau ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Oui, en énergie.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

180 ? Il y a beaucoup de chiffres. Pardon, je découvre.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Oui, c'est cela. Vous nous avez demandé des chiffres, alors je vous en donne.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Moi, je veux des comparaisons pour comprendre. Les chiffres en soi, c'est...

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est moins que les véhicules électriques, si tant est que nous réussissions à développer la voiture électrique, ce que j'espère.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Là, c'est pour gérer les fluctuations de la consommation. C'est le pic de 19 h.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Non, non.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Vous avez besoin de... si vous mettez 100 %...

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est pour gérer les deux. Chaque heure de l'année...

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

C'est 80 ou 90 GW dont vous avez besoin.



**M. Thomas DURAND, Animateur**

Moi, je suis largué. Je vous le dis clairement. Donc, on passe à la suite. Je n'ai pas la réponse à ma question, je n'ai pas compris. C'est peut-être de ma faute.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Alors, je peux le reformuler en disant que nous n'avons pas besoin de stocker 3 jours de consommation.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Pourquoi ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Parce qu'il y a d'autres moyens. Il n'y a pas zéro production. Il n'y a pas panne de vent, panne de soleil, il y a l'hydroélectricité, il y a beaucoup d'autres choses. Donc, nous n'avons pas besoin de ce 1 % de 3 jours, parce qu'il y a les interconnexions et beaucoup d'autres choses. C'est quelque part ce message.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Savez-vous quel est le facteur de charge aujourd'hui de l'éolien européen ?

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Non, mais M. TREINER.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Nous sommes aussi dans l'hypothèse, et c'est tout de même une tendance, où nous allons utiliser de plus en plus efficacement l'énergie, l'électricité. Nous avons des pointes qui seront moins importantes. Nous verrons des choses beaucoup plus stables en termes de consommation. Et nous sommes dans quelque chose qui sera plus raisonnable. Parce qu'aujourd'hui, un des problèmes, par exemple, du système français, c'est que nous avons le chauffage électrique qui crée des pointes. Et le chauffage électrique est en place pour des raisons que l'on connaît et qui font que cela crée d'autres problèmes.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Faut-il arrêter le chauffage électrique ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Le chauffage électrique que l'on appelle le « grille-pain », par convecteur électrique, oui. C'est un mauvais système. C'est quelque chose qui a de nombreuses conséquences.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Louise, s'il y a des questions sur Zoom, est-ce que vous me les envoyez par mail ? Je crois que je ne les ai pas reçues.

*Intervention hors micro*

Par portable ? C'est pour cela que je ne les ai pas reçues. Oui, j'ai des messages.

Madame a une question.

**Hermine DURAND, Ministère de l'Écologie, responsable de l'éolien en mer**

Bonsoir. Hermine DURAND. Je travaille au Ministère de l'Écologie et je suis responsable de l'éolien en mer. Déjà, merci beaucoup d'être tous présents pour cette session qui s'inscrit dans le débat public en Normandie. J'ai trouvé que c'était des échanges très intéressants, qui montrent bien finalement l'importance de la planification, donc réfléchir en amont sur l'énergie. Et la programmation pluriannuelle de l'énergie qui a été citée par un des intervenants fait bien cela, c'est-à-dire qu'elle essaie de prévoir, dans 10 ans, à quoi ressemblera notre mix électrique et comment nous pouvons faire pour atteindre ces objectifs. Pour nous, les énergies sont complémentaires. Il y a l'éolien en mer, nous en avons parlé. Vous citez le chiffre de 10 GW, qui serait une cible intéressante pour vous. Pour nous, notre objectif dans mon bureau, c'est d'atteindre 6 GW d'appel d'offres d'ici la fin de la PPE. Mais vous citez également les STEP. Et dans la PPE, il y a aussi des objectifs d'augmentation de la capacité des barrages et de la création de STEP. Pour nous, tout cela est donc complémentaire. Je voulais simplement insister sur le fait que nous avons vraiment besoin d'une participation dans le



cadre de ce débat public, et en particulier sur la zone Normandie, puisqu'aujourd'hui, parmi les questions du débat public, il y a la question de la planification. Est-ce que nous voulons faire 1 GW ou plus en Normandie ? Et si oui, à quel endroit devons-nous le faire ? Nous avons vraiment besoin, au niveau de l'État, d'avoir votre ressenti sur les zones de moindre contrainte, en tenant compte de l'ensemble des enjeux. Et à ce titre, je m'excuse d'être sortie deux fois de la salle, parce que nous avons – peut-être l'avez-vous vu dans la presse – des problèmes sur le parc éolien de Dieppe – Le Tréport, avec des manifestations de pêcheurs qui font que les travaux sont freinés. C'est vrai que nous, nous sommes à Paris, et nous réfléchissons sur les grandes orientations énergétiques de la France. Mais concrètement, nous avons aussi besoin que chacun s'implique et fasse valoir son point de vue, que ce soit proéolien en mer ou contre.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Des personnes qui vivent en Méditerranée doivent aller voter pour un parc en Normandie...

**Hermine DURAND, Ministère de l'Écologie, responsable de l'éolien en mer**

Bref. En tout cas, merci d'être présents. Impliquez-vous, donnez votre avis, y compris précisément sur la localisation des parcs éoliens, parce que tout ce travail que nous faisons en commun, c'est aussi préparer l'avenir et avoir des décisions qui soient concertées avec les citoyens, et pas seulement décidées à la Défense.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

D'accord. Merci beaucoup. Je vais prendre une question que j'ai reçue ici, qui est par rapport à la dépendance énergétique : pourquoi est-ce que l'uranium poserait plus de problèmes que les terres rares qui, elles, viennent de Chine ? Et je vais annexer cela à un thème que nous n'avons pas abordé, qui est celui de la sécurité et du risque. Est-ce pour cela ? Est-ce parce qu'avec le nucléaire il y a du risque et que, au-delà de la dépendance que nous aurions envers des minerais, c'est à cause du risque qu'il faut se débarrasser du nucléaire ? Parce qu'il y a deux personnes ici qui pensent qu'il faut se débarrasser du nucléaire. Non ? NégaWatt, n'est-ce pas cela ? Ce n'est pas le sujet, mais un mot là-dessus.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Quand on regarde les travaux au niveau mondial, qui sont synthétisés dans ce rapport du GIEC, en gros, si nous voulons être sérieux dans la lutte contre le changement climatique, si nous voulons être ambitieux, les trois quarts de la production d'électricité viendront des renouvelables. Après, qu'il reste une part pour le nucléaire, peut-être. Mais ce n'est pas l'essentiel. L'essentiel est que nous avons besoin des renouvelables, y compris de l'éolien maritime. Et c'est pour cela que nous sommes là aujourd'hui.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Alors, vous êtes d'accord avec M. TREINER. Non ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Sur beaucoup de choses, mais...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Moi, j'étais parti du fait que, pour vous, le nucléaire était...

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Après, je pense que le nucléaire pose des risques sérieux en termes de risques d'attentat, en termes de... parce que tout de même, nous nous engageons... si nous voulons construire de nouvelles centrales aujourd'hui, minimum 10 ans de chantier, nous annonçons une durée de vie de 60 ans, nous nous projetons dans 70 ans. À quoi ressemblera l'Europe dans 70 ans ? D'un point de vue géopolitique, nous ne savons pas trop. Nous pourrions en reparler, mais c'est un autre débat. Cela crée tout de même une vulnérabilité. Regardez le problème d'enrichissement d'uranium iranien saboté par un virus créé par les services secrets israéliens et américains. Ceci peut nous arriver demain, le jour où un pays pas très ami, avec une grande capacité technologique, situé à l'Ouest de l'Europe...





**M. Thomas DURAND, Animateur**

On ne peut pas saboter des éoliennes ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Franchement, ce n'est tout de même pas les conséquences.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Moi, je fais tout de même une différence entre l'uranium et les terres rares. Comme je le disais tout à l'heure, il y a des alternatives aux terres rares. C'est-à-dire que dans une génératrice d'éolienne en mer, s'il n'y a pas de terres rares, il y a d'autres solutions. Aujourd'hui...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Est-ce que l'on a du stock d'uranium en France ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tandis que pour l'uranium aujourd'hui, nous dépendons de pays extérieurs. Nous dépendons du Niger, nous dépendons des pays en [mots incompris] – il y en a beaucoup –, et également du Canada et autres. Ce ne sont pas des productions françaises.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

M. TREINER, très bref, parce que ce n'est pas le cœur du sujet, mais juste un mot là-dessus.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Si nous voulons envisager le nucléaire à long terme, ce n'est pas le nucléaire de troisième génération qui assure une pérennité. C'est le nucléaire de quatrième génération, dans lequel, au lieu d'utiliser simplement 0,7 % du minerai qui est constitué de l'isotope 235 de l'uranium, nous utilisons l'entièreté du minerai, donc l'uranium 238. C'est une autre filière technologique, ce n'est pas la même chose. C'est ce que nous faisons en France, ce que nous avons commencé à faire avec Phénix et Superphénix. À l'heure actuelle, il y a des réacteurs comme cela, dits à neutrons rapides, qui existent au monde. Ce sont les Coréens qui les fabriquent. Les Russes, etc.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, cela fonctionne ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui, oui, cela fonctionne.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Et nous, nous ne savons pas les faire ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, non. Cela a été négocié par Lionel JOSPIN, pour avoir le soutien des Verts en 2000. Clairement, c'est cela.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Attendez. Où est-ce que cela fonctionne ? Combien est-ce que cela produit ailleurs dans le monde ? Tous les programmes de surgénérateur sont des échecs.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non. Ce n'est pas vrai du tout.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Combien est-ce que cela produit ?



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Il y en a très peu, bien sûr. Mais ce n'est pas parce qu'il y en a peu, que cela ne peut pas se développer. Enfin, c'est autre chose.

Si les personnes décident d'aller dans une décision où, à terme, nous nous passons du nucléaire, les neutrons rapides, ce n'est pas la peine d'en parler. Mais si nous considérons que cela sera important dans la décarbonation et la sortie des fossiles, alors il faut se poser la question. Et là-dessus, il y a une expérience qui existe, il y a un forum international représentant 10 puissances qui travaillent à ce genre de choses, etc. Et ce serait beaucoup plus important de mettre de l'argent là-dedans que de mettre de l'argent dans ITER, le projet de fusion dont vous avez entendu parler, qui à mon sens n'est pas du tout dans les échelles de temps de l'urgence climatique. Tandis que le nucléaire de quatrième génération, oui. Et là, du point de vue des ressources, vous n'avez plus aucun problème de ressources, parce que vous multipliez les ressources actuelles par le rapport des concentrations de 238 à 235, c'est-à-dire 99,3 divisés par 0,7, c'est 140. Donc, si vous avez des réserves d'uranium 235 de 50 ans, vous avez 140 fois 50 ans d'uranium pour faire des neutrons rapides.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, nous aurons la solution quand nous aurons la solution, finalement.

Monsieur, une question ?

**Intervenant**

Merci à tous pour votre expertise. Merci à Mme DURAND de reporter sur le sujet sur le débat en Normandie. En plus, ma question est par rapport à cela. Je voulais savoir quelle est la superficie d'un parc éolien de ce type-là, que l'on nous propose. Est-ce que dans cette superficie de projet c'est soumis à une interdiction de la pêche ? Et je ne savais pas que c'était en lien avec l'actualité sur Dieppe. Et je voulais également savoir quelle est la superficie totale de pêche en Normandie, pour avoir des éléments de comparaison. Et savoir après, s'il n'y a pas un réel faux problème en regard du positif qui pourrait être généré en termes de réserve naturelle et de biodiversité, qui serait généré avec un parc éolien. Et surtout, est-ce que nous ne perdons pas du temps ? Parce que cela fait deux doubles pages sur tous les prospectus. Je me demande si cette histoire de pêche n'est pas un faux problème. Merci.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Je ne ferai pas toute la réponse précise, mais dans le dossier du maître d'ouvrage – je n'en suis pas l'auteur –, qui est très bien fait, vous avez des réponses en la matière sur le nombre de km<sup>2</sup> qui sont nécessaires et les impacts sur la pêche. L'avantage de ces questions-là est que nous avons des retours d'expérience d'autres parcs éoliens, et c'est cité dans le document du maître d'ouvrage, il y a des retours d'expérience de parcs qui sont en Belgique et qui montrent que l'effet sur la pêche est globalement neutre. Il est légèrement positif ou légèrement négatif, c'est très difficile à apprécier. En tout cas, il y a aussi, ponctuellement, un effet récif, puisque nous avons des structures qui sont immergées. Elles ne sont pas nécessairement conçues pour cela, cela veut dire qu'elles n'ont pas un effet maximum, mais il y a des effets récifs qui peuvent exister.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

L'effet récif, c'est que cela augmente la biodiversité localement.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait, c'est un point de...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Donc, la technologie peut améliorer la biodiversité. C'est fou (*Rires*). Mais ce n'est pas naturel, ce n'est pas bien.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Enfin, tout ce qui est récif, c'est des enrichissements. Notre planète est tout de même beaucoup façonnée par l'homme.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Enfin, si le récif est plein de plomb, de chlore ou de « machin »...



**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Non, non. Nous sommes avec des structures qui sont inertes.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

D'accord.

**Intervenant**

Est-ce que ces zones sont interdites à la pêche ?

**M. Thomas DURAND, Animateur**

*A priori*, non. Mme DURAND ?

**Hermine DURAND, Ministère de l'Écologie, responsable de l'éolien en mer**

Par rapport à la pêche, certains pays ont décidé de ne pas combiner les usages, c'est-à-dire qu'ils disent : « Là, nous faisons de l'énergie. À côté, nous faisons de la pêche. » En France, nous essayons d'avoir une approche plus inclusive, c'est-à-dire qu'en fonction de l'agencement du parc, nous pouvons ou non prévoir de la pêche, sachant que forcément ce que l'on appelle les arts dormants, c'est-à-dire la pêche aux casiers, où ce sont des casiers qui sont laissés et qui peuvent être juste collectés, c'est plus facile de le faire, que de faire des arts trainants avec de gros chalutiers. Mais tout cela, ce sont vraiment des choses qui peuvent être discutées dans le cadre du débat public : « Nous, nous pensons que ce serait mieux que cela puisse cohabiter avec le parc éolien », ou au contraire « Nous trouvons qu'il faudrait faire des zones plus exclusives. » Cela a tout à fait sa place. Et les cartographies qui sont en ligne sur le site internet permettent justement de superposer les enjeux, c'est-à-dire de dire : si nous prenons les enjeux pêche, quels sont les enjeux... ? Là, je ne peux pas vous dire, comme cela, où sont les zones les plus poissonneuses en Normandie, mais tout cela est en ligne sur le site du débat public. Et par-dessus, vous pouvez aussi superposer le trafic maritime, par où passent les bateaux. Et par-dessus, les enjeux défense. Où sont les radars ? Et par-dessus, les enjeux environnementaux, où sont les zones avec des espèces, etc. C'est vraiment l'intérêt de ce débat d'échanger en amont. J'en profite juste pour signaler que ce n'est que depuis 2018 que nous faisons bien un débat public au moment où la zone n'est pas encore choisie par l'État. Avant, nous le faisons après et à un moment où les options étaient beaucoup plus fermées.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

C'est bien de laisser plus d'options aux personnes, bravo.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Comme moi, je ne travaille pas au Ministère de l'Écologie, je peux dire que si ces parcs permettent d'arrêter le chalutage et de passer à des techniques de pêche plus écologiques, ce sera un énorme gain écologique. Avoir un impact négatif sur la pêche n'est pas forcément avoir un impact négatif sur certains types de pêche.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Une question ?

**Intervenant**

Je voulais remercier l'État et la Commission pour l'organisation de ce débat. L'énergie est quelque chose qui m'intéresse particulièrement. Je travaille pour les énergies renouvelables. J'ai cru, au début de cet échange, que je travaillais pour me bronzer avec une brise de vent dans les cheveux, mais finalement le débat a fait évoluer ce qui a été dit initialement. Beaucoup de choses ont été évoquées sur les différentes énergies qui constituent notre mix énergétique, notamment sur les coûts de production et les émissions de CO<sup>2</sup>. La question du démantèlement n'a pas été abordée. Je n'ai pas entendu le mot démantèlement ce soir, le cycle de vie. La comparaison de ces modes de production d'énergie d'un point de vue du démantèlement n'a pas été évoquée et je me demandais si c'était parce que c'est quelque chose qui ne fait pas débat.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Normalement, c'est intégré à tous les chiffres que nous avons vus. Je suppose. Un mot ?



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Sur la question du démantèlement. En mer, je ne sais pas comment cela se présente. Mais sur terre, tout dépend de si vous enlevez le socle de béton ou pas. Parce qu'enlever entre 500 et 1 000 tonnes de béton de l'endroit où vous avez planté votre éolienne parce qu'au bout de 25 ans il faut la changer, cela multiplie le coût du démantèlement par un facteur proche de 10.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Je vais faire la publicité du Ministère également. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet, les règles de démantèlement des fondations des éoliennes ont changé, et maintenant il y a obligation d'enlever intégralement les fondations. Auparavant, ce n'était qu'un mètre, donc nous laissons globalement le socle. Et depuis début juillet 2020, cela vient de changer. Il y a obligation de démantèlement intégral des fondations.

**M. Thomas DURAND, animateur**

Donc, tous les coûts calculés avant ne sont plus valables.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Si, si.

**M. Thomas DURAND, animateur**

Parce que ce n'est pas énorme comme coût ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Non. Cela a déjà été fait. Je peux vous faire visiter des parcs éoliens où il y a eu un démantèlement intégral. C'est un surcoût, mais c'est un surcoût assez faible, sinon très faible par rapport...

**M. Thomas DURAND, animateur**

M. TREINER dit que c'est un surcoût très important. Vous dites que non. Franchement, nous ne pouvons pas savoir.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Disons que moi, je suis dedans. Et je peux vous faire visiter des parcs où c'est arrivé, où des éoliennes ont été entièrement démantelées.

**Intervenant**

Juste pour compléter ma question, mon idée est une comparaison entre les différentes énergies. La question du démantèlement des éoliennes, vous venez de l'évoquer. Mais ma question portait sur le démantèlement aussi des centrales nucléaires, puisque la question de cette soirée portait essentiellement sur la comparaison entre ces différentes énergies qui, je pense, ne méritent pas d'être opposées à ce point-là. Mais si la question de la comparaison a été posée ce soir, j'aimerais bien entendre aussi la réponse que le démantèlement des centrales nucléaires, parce que j'ai l'impression que c'est une question sur laquelle nous avons peu de réponses aujourd'hui.

**M. Thomas DURAND, animateur**

C'est vrai, cela. Combien est-ce que cela coûte ?

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Je vais dire une seule chose, parce que, pour ne pas être caricatural, il faudrait faire un débat là-dessus.

**M. Thomas DURAND, animateur**

Il faudrait 2 heures, que nous n'avons pas.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Oui. Nous ne les avons pas. La seule chose que je vais dire, c'est que la question des déchets est la question des quantités. Le nucléaire – et encore une fois, je me moque du nucléaire, ce n'est pas mon problème, je regarde les faits...

**M. Thomas DURAND, animateur**

Vous n'êtes pas pro nucléaire. Vous n'êtes pas payé par le lobby.



**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, je ne suis pas payé par le lobby. Je suis payé par l'Éducation nationale, etc., pour enseigner la physique à nos chères têtes blondes et brunes. La question est la question des quantités. Combien y en a-t-il ? Le nucléaire, c'est la forme d'énergie la plus concentrée. Qu'est-ce à dire la concentration d'énergie ? C'est la quantité de matériaux qu'il faut transformer pour produire une unité d'électricité par exemple. C'est très concentré. Dans une réaction nucléaire, vous produisez 100 millions de fois plus d'énergie qu'avec une transformation chimique, comme une combustion. Et dans le cas de l'éolien qui est encore plus dilué, le facteur est encore plus grand. Donc, pour produire une unité d'énergie, vous avez besoin de beaucoup moins de matériaux. Et si nous envisageons pour les aimants radioactifs, dont il faut vraiment se débarrasser, c'est-à-dire les mettre loin de la biomasse, un enfouissement, c'est parce que les quantités sont petites. Ce sont de toutes petites quantités, qui sont très dangereuses – il faut donc traiter cela sérieusement. Mais ce sont de toutes petites quantités.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Là, ce sont les déchets. Nous parlons de démanteler les centrales.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Ah non, mais le problème du démantèlement n'est pas le problème. Le problème est la gestion des déchets.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Mais ce n'est pas la question.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Démanteler...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

La question de Monsieur, c'est le démantèlement.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Ah, ce ne sont pas les déchets que vous aviez en tête ? En gros, il y a des expériences. Plusieurs dizaines de centrales ont été démantelées dans le monde, y compris retour à l'herbe, où vous pouvez vous promener avec vos enfants. L'ordre de grandeur, jusqu'à présent, c'était 5 milliards pour la construction, 1 milliard pour le démantèlement. Vous répartissez cela sur la quantité de MWh qui ont été produits pendant 60 années, et vous voyez que c'est quelques euros par MWh, là où le coût représente 40 ou 50 euros le MWh.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Est-ce vrai ? Est-ce faux ?

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

La fourchette de coût est très élevée. C'est-à-dire que nous avons des chiffres très différents selon les centrales démantelées, aux États-Unis où nous avons pas mal d'expériences. Cela peut être beaucoup plus que cela. Dans certains cas, c'est au moins 2 ou 3 fois le chiffre donné par M. TREINER. Qu'est-ce que ce serait en France ? Nous ne savons pas. En tout cas, il y a une grosse incertitude là-dessus. Souvent, si cela paraît peu dans les chiffres que nous donnons, c'est parce que nous nous disons que c'est dans 60, 70 ans. Nous actualisons et donc nous réduisons...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

On donne la somme en argent actuel.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

C'est cela. En valeur présente. Et des dépenses dans plusieurs décennies, cela paraît petit. Mais il n'empêche qu'il y a bien des personnes, à ce moment-là, qui le payeront.





**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Je vais juste répondre, et comme j'ai à côté de moi un physicien, je lui demanderai ses calculs... Mais on m'a dit que la concentration d'énergie produite par 1 gramme de silicium était aussi importante, au final, que ce que nous pouvions produire avec 1 gramme d'uranium. Quand vous avez 1 gramme de silicium, qui va permettre de transformer l'énergie solaire, à travers des photopiles, vous avez une quantité de concentration très importante. Nous en parlerons ensemble, mais il y a une quantité...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

$E = MC^2$ , mais ce n'est pas pareil.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Oui, mais nous ne sommes pas dans le...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Parce que la masse que j'ai, si je vais faire du vélo...

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Attendez. Quand on raisonne en disant : « Avec 1 gramme de silicium, qu'est-ce que je fais ? Avec 1 gramme d'uranium, qu'est-ce que je fais ? » et quand on le fait avec 1 gramme de silicium, on fait beaucoup d'énergie. Donc, on en reparlera, on échangera. Mais c'était pour dire, sur cette concentration...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

J'ai un doute sur cette rhétorique, cela me chiffonne. Il y a plusieurs questions qui reviennent. Une que j'avais déjà notée, de Philippe, qui se reconnaîtra peut-être : « Une bonne partie du financement passe par les sociétés basées à l'étranger, notamment au Luxembourg. Et bien que les projets soient souvent rentables, par chez moi on fait 4 fois la culbute, les retombées économiques pour les acteurs locaux sont très faibles, maximum 5 %. D'un point de vue militant politique, on peut parler d'économie coloniale et de pillage des ressources. À la limite, le nucléaire a plus d'effets économiques et sociaux localement que l'éolien. C'est sans doute une des causes du manque d'acceptation sociale de l'éolien par les politiques locales. » Est-ce que les effets économiques et sociaux – et après, nous prendrons juste une question, parce que nous débordons –, que nous n'avons pas beaucoup évoqués, sont réels ? Est-ce qu'il y a un vrai développement qui accompagne cette transition ?

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Nous montrons que la création d'emploi par MW, même par MWh, est beaucoup plus importante avec les énergies renouvelables qu'avec les énergies traditionnelles. Quand nous investissons 1 million d'euros dans le raffinage, cela produira 2 ou 3 emplois. Quand nous investissons 1 million d'euros dans la production d'énergies renouvelables, cela en produira beaucoup plus. C'est quelque chose qui est créateur d'emploi, beaucoup plus. Nous l'avons vu dans le scénario négaWatt, mais Philippe QUIRION pourra en parler. C'est une transition énergétique qui est créatrice d'emploi. Nous ne consommons plus de carburants, l'argent ne sert plus à financer le Qatar ou la Russie. Il sert à financer des emplois locaux.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Et la Chine. Donc, on détruit des emplois, mais on en crée plus.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Nous en créons beaucoup plus.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

J'ai pas mal travaillé là-dessus. C'était même mon sujet de thèse. L'essentiel de la création d'emploi, ce n'est pas est-ce que l'on prend telle ou telle technique de production d'électricité. C'est d'arrêter d'importer du pétrole. Et après, c'est en isolant des bâtiments, en utilisant les transports en commun – ne l'oublions pas –, etc. C'est là-dessus que nous pouvons avoir des centaines de milliers...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Ce n'est pas la source elle-même, c'est comment...



**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Ce n'est pas tellement sur le secteur électrique en l'occurrence que cela se passe. C'est plutôt sur l'isolation des bâtiments et sur les transports.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Vous aurez la dernière question. Elle a intérêt à être bien.

**Intervenant**

Je ne sais pas si elle sera bien, mais c'est une question. Nous avons parlé au début de l'exemple du Danemark, de l'exemple de la Grande-Bretagne, de l'Irlande. J'ai une question sur le coût que peut avoir la transition d'un mix énergétique actuel, d'un mix énergétique peut-être plus renouvelable, sachant que la contrainte décarbonée fonctionne avec le nucléaire et l'éolien. J'ai cru comprendre – c'est peut-être une erreur – que l'on payait deux fois plus cher le kWh en Allemagne. Le différentiel est assez important. Vers quoi allons-nous ? Parce que pour faire accepter à la population, il faut sans doute prendre en compte l'impact au kWh. Si nous allons vers de l'éolien et du renouvelable, incluant les subventions, puisque nous les payons à un moment donné, quel sera l'impact au kWh qui devra être supporté par le contribuable ?

**M. Thomas DURAND, Animateur**

À l'échelle de ? 2030 ?

**Intervenant**

À l'échelle déjà, peut-être, d'une dizaine d'années, mais surtout de 2050, que nous évoquions tout à l'heure.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Le coût de la transition. Quand on pose le problème comme cela, on a l'impression que les centrales nucléaires sont là et que l'on veut les remplacer... Soit on les garde, soit on les remplace par des renouvelables. Ce n'est pas comme cela que le problème se pose. Le problème est qu'un jour il faudra les remplacer par autre chose. Est-ce que nous les remplaçons par d'autres centrales nucléaires ? Par des centrales à gaz ? Par des énergies renouvelables ? Posé comme cela, nous considérons que c'est moins cher, même à partir des hypothèses de coûts qui sont défavorables au renouvelable, que je vous ai montrées, d'avoir un mix renouvelable avec du stockage, plutôt qu'avoir un parc essentiellement nucléaire comme aujourd'hui.

Sur le prix en Allemagne, il faut savoir que les Allemands favorisent leur industrie. Ce ne sont pas les seuls, mais ils le font tout de même beaucoup. Et ils font payer aux ménages les subventions sur le prix de l'électricité qu'ils accordent à leurs industries, ce qui leur permet d'exporter autant, entre autres. C'est aussi cela, une partie de l'écart de prix. Et après, comme je l'ai dit, les Allemands ont investi beaucoup à une époque où le solaire en particulier était très cher. Ils payent encore pour cela. Mais ces coûts sont là, quoi que nous fassions. Il n'y a pas de machine à remonter le temps.

La question est de savoir, maintenant que les renouvelables sont bon marché, si nous continuons, ce qui nous permet de bénéficier de ces investissements qui ont été faits dans le passé.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

En gros, est-ce que l'électricité coûtera plus cher ? C'est la question.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Est-ce que cela va coûter plus cher à l'avenir ?

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Est-ce que cela va nous coûter plus cher, à nous, dans 10 ans ? Les projections : est-ce plus cher, moins cher ?



**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Non, cela ne va pas... Si nous faisons les choses intelligemment... Nous pouvons faire des choses « débiles », comme nous l'avons fait avec les panneaux intégrés au bâti. Mais si nous ne faisons pas des choses « débiles », le coût de production...

*Brouhaha*

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Et surtout, nous avons une certaine garantie, parce qu'à partir du moment où c'est une production qui ne dépend pas du prix de matières premières, qui ne dépend pas de pétrole, de gaz ou de charbon, nous maîtrisons le coût de production de ces énergies renouvelables. S'il y a quelque chose, une certitude, il y a moins de risques. Nous lissons.

**M. Thomas DURAND, animateur**

Même si cela augmente, il n'y aura pas de crise.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Tout à fait. Tandis que s'il y a un blocus pétrolier dans un endroit ou autre chose, nous aurons obligatoirement un impact. Donc, nous limitons le risque avec une production renouvelable qui, en plus, est une production renouvelable localement.

**M. Thomas DURAND, animateur**

Un mot de la fin, M. QUIRION. L'élément important avec lequel les personnes doivent repartir dans leur tête.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

L'élément important, c'est qu'il faut arriver à des émissions nulles. Entre autres, dans le secteur électrique, parce qu'encore une fois, même si cela paraît compliqué, c'est moins compliqué que dans d'autres domaines. Donc, si nous n'y arrivons pas là, il ne faut pas espérer que nous y arrivions ailleurs. Il y a trois grandes familles de technologie pour le faire. Nous n'avons pas beaucoup parlé du captage stockage de CO<sup>2</sup>. L'ADEME vient de sortir un avis bien éclairé là-dessus. Il ne faut tout de même pas en espérer grand-chose pour un pays comme la France, à mon avis. Reste nucléaire et renouvelable. Un mix nucléaire, avec 80 % ou 70 % comme aujourd'hui, c'est plus cher qu'un mix renouvelable avec stockage. Et c'est plus dangereux. Nous n'avons pas beaucoup parlé des risques du nucléaire, mais il y en a beaucoup. Pour moi, le choix est donc assez clair.

**M. Thomas DURAND, animateur**

Coucou aux 60 ou 70 personnes qui sont sur Zoom actuellement et qui parlent beaucoup entre elles. M. NEAU, un mot de la fin.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Cela a été dit de part et d'autre. Nous sommes tout de même dans une urgence climatique. Il ne faut pas l'oublier. Cela veut dire qu'il faut faire des choses rapidement. C'est pour cela que nous, négaWatt, répétons rénovation, rénovation, nous répétons des mesures urgentes. C'est vraiment essentiel d'agir sur ces grands secteurs-là. Nous savons que ce n'est pas du changement climatique, nous sommes dans du bouleversement climatique. Est-ce que les systèmes énergétiques qui vont être mis en place seront adaptés à ces bouleversements climatiques ? Nous allons avoir des canicules, nous allons avoir moins de ressources en eau. Tout ce qui est productions qui dépendent de fleuves, de rivières, ce sera impacté. Nous en sommes sûrs. Nous savons que nous ne pourrons pas implanter des centrales nucléaires, de moins en moins, en bord des fleuves. Nous avons des limites de ce côté-là. L'autre chose est qu'il y a besoin d'urgence. Et nous savons que nous mettons plus facilement en place des parcs éoliens, des centrales photovoltaïques que des réacteurs nucléaires. Lorsque nous voyons l'exemple de l'EPR, nous attendons depuis des dizaines d'années qu'il produise. Et il n'existe pas. Cela a été des productions qu'il a bien fallu faire autrement, et donc des émissions qui n'ont pas pu être évitées.



**M. Thomas DURAND, Animateur**

M. TREINER, quelle idée importante, sans forcément réfuter tout le monde ? Je vois que vous froncez des sourcils.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, bien sûr. Je vais reprendre ce que j'ai dit au début. Il faut regarder. Nous parlons de la France. Si nous parlons de la France, nous regardons les secteurs émetteurs et nous mettons l'accent là-dessus. C'est tout. Les contrats d'achat de l'électricité, éolienne ou photovoltaïque par EDF, l'ensemble des contrats qui ont été passés avant 2017 représente – c'est un calcul de la Cour des comptes – 120 milliards d'euros. Quand nous discutons de la médecine, c'est 8 milliards d'euros qui ont été donnés sur 5 ans, des choses comme cela. 120 milliards d'euros ! Vous voyez. Il y a des ordres de grandeur qu'il faut... Nous ne pouvons pas...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Les chiffres bruts, c'est toujours compliqué à savoir ce que cela veut dire.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, mais on dit que... L'EPR, c'est une tête de série. Bon. L'EPR pose un vrai problème, qui est la perte de compétences et la désindustrialisation du pays. C'est cela qui s'est passé avec l'EPR. Il y a deux EPR qui fonctionnent en Chine depuis décembre 2018. Ce sont des EPR sur le modèle de...

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Mais là, vous êtes reparti sur autre chose.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, mais c'est pour dire qu'il ne faut pas prendre l'exemple de l'EPR. C'est dramatique, mais il y a beaucoup d'aspects de désindustrialisation de notre pays. Nous n'avons pas su faire des masques pendant des mois. Donc, il y a des problèmes de désindustrialisation. Il ne faut pas raisonner là-dessus comme une question de principe.

**M. Paul NEAU, Ingénieur écologue, fondateur d'Abies, membre de négaWatt**

Mais on sait faire des éoliennes (*Rires*).

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Non, pour le moment on ne sait pas faire d'éoliennes. Elles sont importées, on ne les fait pas en France.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Là, c'est un autre débat, la balance économique française.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Ce que je veux dire simplement, c'est que le point essentiel, c'est que l'on décarbone là où l'on produit du carbone. Et l'on ne décarbone pas, on ne met pas des milliards d'euros là où l'on a déjà décarboné à 95 %. Point.

**M. Thomas DURAND, Animateur**

Ce n'est pas idiot.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

On décarbone, oui. Les autres secteurs, là-dessus, nous sommes d'accord. Mais c'est bizarre de le dire. Intéressons-nous aux autres secteurs et pas à l'électricité, et je vous parle de l'électricité. Parlons des autres secteurs si vous voulez, et nous repartons sur 2 heures.



**M. Thomas DURAND, Animateur**

Non, mais c'est fini. Merci beaucoup à tous les trois. Nous pouvons les applaudir pour avoir été ici ce soir.

Je remercie Louise CABAL qui a été mon contact, qui est celle qui a tout organisé. Merci beaucoup Louise. Je remercie l'initiative. Je trouve que c'est vraiment très bien, car il n'y a pas beaucoup d'échanges comme cela. Je n'en ai pas vu beaucoup. Et je suis très content d'avoir participé à un échange où l'on voit des personnes qui s'y connaissent, qui échangent, qui ne sont pas d'accord, mais qui se respectent. Et je pense que nous repartons avec plus de connaissance que lorsque nous sommes arrivés. Maintenant, êtes-vous plus convaincu ou pas qu'avant ? C'est votre problème à vous. Allez sur le site pour donner votre avis et échanger avec les autres et bonne fin de journée.

**M. Philippe QUIRION, Directeur de recherche au CNRS (CIRED), Chercheur en économie de l'environnement et de l'énergie**

Merci pour l'animation, l'organisation et l'invitation. Et les questions.

**M. Jacques TREINER, Physicien théoricien, Président du Comité des experts du Shift Project**

Merci pour l'organisation.

