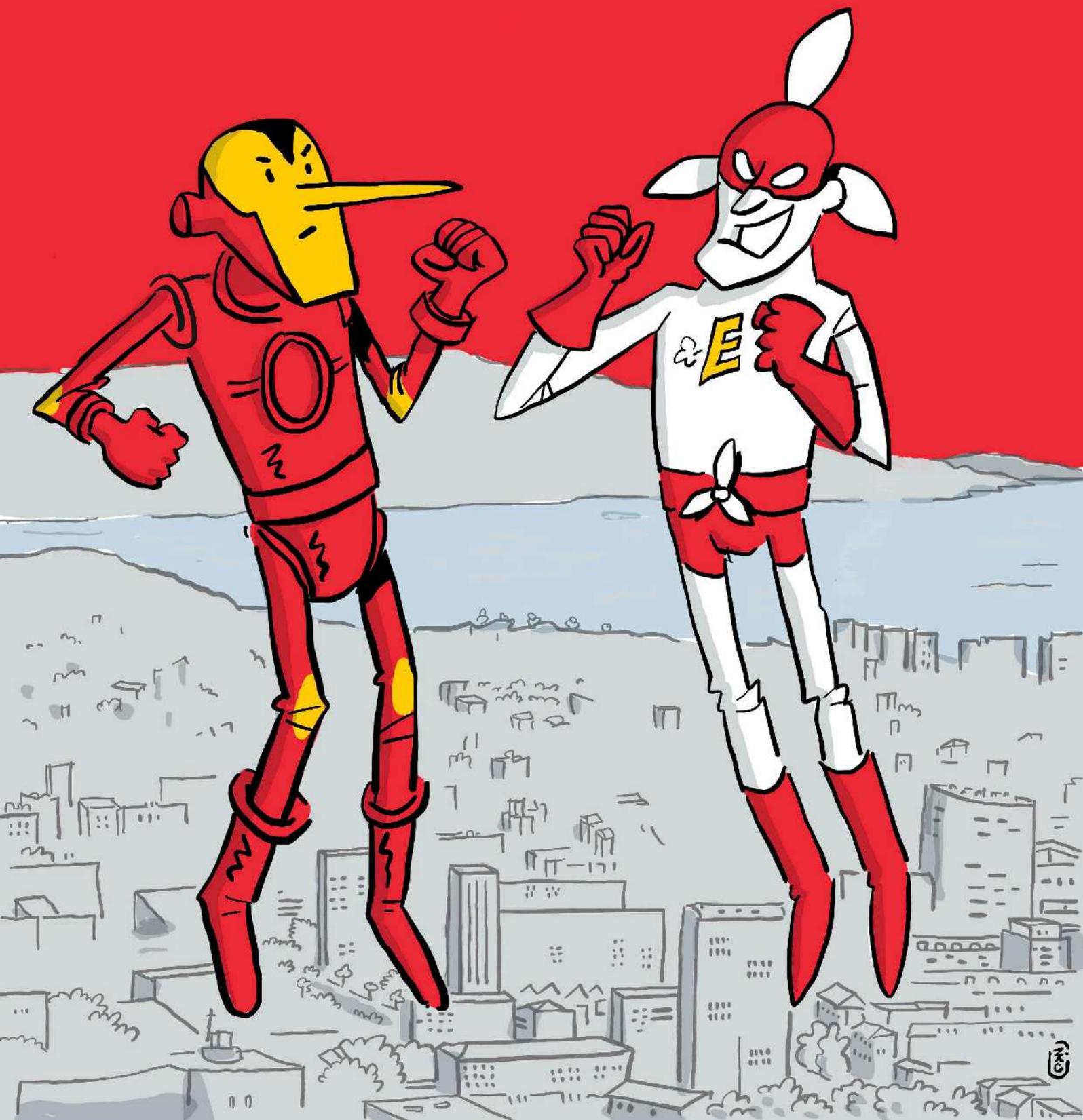


# LE MONDE SANS FIN

# LE CORRIGÉ !

UNE LECTURE CRITIQUE PAR GHISLAIN DUBOIS - ILLUSTRÉE PAR NICOLAS CARUSO



# PRÉAMBULE



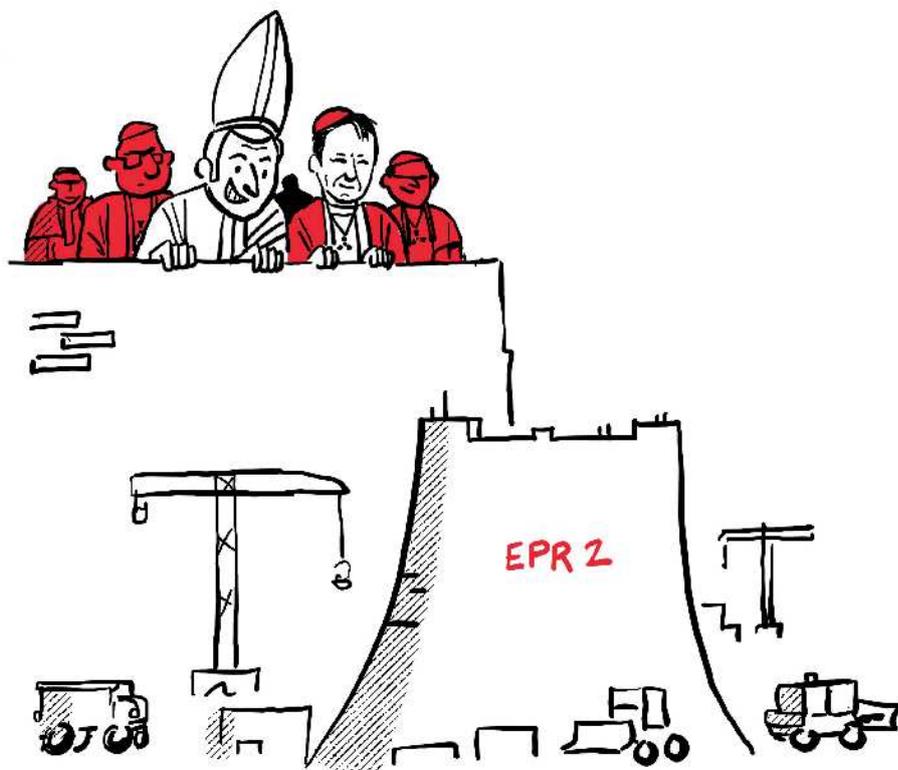
## LA MESSE EST DITE ?

En très peu de temps, tout semble s'être mis au vert pour une relance du nucléaire en France. Il aura suffi d'une « décision » prise en fin de mandat par Emmanuel Macron de relancer les EPR et d'une guerre en Ukraine qui a alerté à la fois sur la dépendance aux énergies fossiles russes (même si la France est peu concernée), le tout couplé à la perspective effrayante de pénuries de tous ordres. Et tout s'inverse : c'est urgent ? Le Président décide avant de débattre, le Sénat légifère avant de programmer, et le débat public sur la construction des EPR est vidé de tout substance. C'est risqué ? On supprime l'IRSN, l'organisme chargé d'expertiser la radioactivité. C'est cher, et personne ne voudra le financer ? On pense puiser allégrement dans le Livret A. Tout argument sur les alternatives semble totalement inaudible, porté par une union sacrée politique et industrielle.

Et pourtant, rappelons-nous : en 2012 nous nous apprêtions à lancer une réduction ordonnée de l'atome, avec une vision de long terme. En 2017 le fraîchement nommé ministre de l'Écologie Nicolas Hulot parlait dès sa nomination de fermer rapidement des réacteurs...

Dans le même temps, la Chine met en service chaque année, uniquement en photovoltaïque, plus que l'ensemble de la puissance nucléaire installée en France en 30 ans. Les coûts de l'éolien et du solaire sont divisés par 10, ceux des batteries par 6. L'Europe et le monde lancent la révolution de l'hydrogène et du stockage. Nos voisins européens développent aussi à un rythme incroyable les énergies renouvelables, tout en maintenant, par exemple pour l'Allemagne ou l'Italie, leur choix de sortie du nucléaire. Le GIEC ne voit clairement pas dans le nucléaire une partie substantielle de la solution.

Mais quelle est donc la raison de cette exception nationale et de cette bizarrerie démocratique ? Sommes-nous différents des autres, ou simplement guidés par des données et un « logiciel » obsolètes ? Sur quels constats techniques cette orientation pour une relance du nucléaire en France semble se jouer ? Nous souhaitons démontrer, à l'occasion d'une lecture critique de Le monde sans fin, quelques mécaniques à l'œuvre, dans ce livre et au-delà.



# LE MONDE SANS FIN - LE CORRIGÉ !

UNE LECTURE CRITIQUE PAR GHISLAIN DUBOIS ET NICOLAS CARUSO

Nous n'avons malheureusement pas le droit de reproduire les vignettes de Le Monde sans fin. Nous la citons cependant dans le texte. Le lecteur pourra acheter l'ouvrage de Christophe Blain et Jean-Marc Jancovici, ou se le faire prêter pour mieux mettre en perspective notre texte.



Depuis qu'à 12 ans j'ai commencé à lire Sciences et Vie, en 1986 (celui des grands, pas le Junior !), j'ai toujours été intéressé par la science. Ça a d'abord été l'océanographie, puis l'astrophysique (au primaire c'était l'égyptologie !),

Quand j'ai été grand j'en ai fait mon métier. D'abord la science politique, l'économie, puis la climatologie, la prospective et la modélisation, sous toutes ses formes. Que ce soit dans mes petites contributions pour le GIEC, dans mes grandes recherches sur les transports, l'habitat et les modes de vie face au carbone, ou dans mes projets de consultants en France et à l'étranger sur les conséquences du réchauffement, j'ai toujours pris le changement climatique comme une question scientifique et technique plutôt que comme un problème politique.

Je croise Jean Marc Jancovici professionnellement depuis ses débuts. Au-delà de son ton souvent péremptoire, j'aime son engagement, sa double casquette associative et professionnelle. Il mène des combats en pointe sur le besoin de sobriété... Il a contribué à conscientiser la société française sur la question du climat et je

l'en remercie. Mais j'aime aussi la découverte, la connaissance, et au-dessus de tout la vérité. Et je crois qu'avant un quelconque engagement sur les conséquences que peut avoir un livre comme « Le monde sans fin » sur le débat public et la politique énergétique de la France, ce sont les approximations coupables, les raisonnements partiels et les contre-vérités – faut-il oser le mot « mensonges\* » ? - que je découvre dans les prises de position de Jean Marc sur le rôle du nucléaire dans l'équation climatique, qui m'ont poussé à écrire ce démenti, puis à proposer à Nicolas de l'illustrer.

Et je le dis très officiellement : ce n'est pas sans appréhension que je m'attaque au « livre le plus vendu de 2022 ». Et vous imaginez que me replonger dans les dizaines de publications scientifiques et rapports officiels que j'avais dû analyser en 2020<sup>1</sup>, lors de mes premières controverses, me réjouit ! Jean marc produit beaucoup, source peu et aime bien auto-citer ses calculs (vous comprenez, y a urgence et faut agir ! ) et le contredire rigoureusement demande une certaine... énergie.



Mais d'ailleurs, pourquoi se focaliser sur cette question de la production d'électricité et du nucléaire, alors que Jean Marc dit plein d'autres choses intéressantes ? Parce que s'il y a un truc sur lequel tout le monde est d'accord, c'est qu'il va falloir moins et mieux consommer d'énergie (c'est la sobriété), mais aussi massivement électrifier la mobilité (voiture électrique, transports en commun, vélos) et l'habitat (abandon du fuel et du gaz et passage au chauffage électrique) si l'on veut sauver le climat. Il va donc falloir économiser de l'énergie, et produire beaucoup d'électricité dans le futur. Le tout est donc de savoir comment ! La production électrique est en quelque sorte « la mère des batailles », même s'il y en a d'autres<sup>2</sup>.

Enfin, ne nous y trompons pas. Les arguments utilisés dans Le Monde sans fin, même caricaturaux, se retrouvent dans une version légèrement édulcorée dans les débats actuels sur les choix énergétiques de la France. Nous espérons que ce Corrigé y contribuera utilement !

Mais entrons dans le vif du sujet....



\*[https://www.francetvinfo.fr/vrai-ou-fake/vrai-ou-fake-la-bd-le-monde-sans-fin-de-jean-marc-jancovici-est-elle-mensongere\\_5624627.html](https://www.francetvinfo.fr/vrai-ou-fake/vrai-ou-fake-la-bd-le-monde-sans-fin-de-jean-marc-jancovici-est-elle-mensongere_5624627.html)

# Partie 1

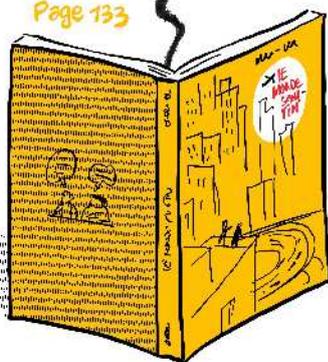


# Partie 1

## Le nucléaire c'est vraiment super ?

Le nucléaire est plus efficace...

Page 133



« Le nucléaire est plus efficace » est l'un des arguments forts du livre : le nucléaire est plus efficace pour produire beaucoup d'énergie de manière concentrée, c'est un fait. Mais est-ce que c'est vraiment ça l'objectif ? On va voir que c'est aussi : très cher (en ce qui concerne les nouveaux réacteurs), pas si sûr (voire carrément risqué selon comment on voit le problème), pas à la hauteur des enjeux et hyper long à mettre en œuvre.

Allons-y et surtout, essayons de voir cette question avec les données et enjeux de demain et pas d'hier !

C'est risqué. Pour commencer en se faisant bien peur, remettons en cause le « rassurisme<sup>3</sup> » de Jean Marc sur le nucléaire.

Voici quelques risques complètement mis de côté dans le livre :

- Un crash d'avion lancé volontairement<sup>4</sup> qui viendrait briser, l'enceinte et faire fondre le cœur d'un réacteur
- Du terrorisme ou une prise d'otage à l'intérieur d'une centrale
- Le vol de matières très radioactives
- Une guerre de haute intensité dans un pays doté de centrales nucléaires (mais c'est vrai que la France n'a jamais été envahie !)
- Une baisse drastique du niveau d'une rivière lors d'une « super sécheresse » ou le dépassement des bornes de fonctionnement d'un réacteur<sup>5</sup> qui empêcheraient de le refroidir.



Est-on vraiment prêt à accepter ça ? Ça vaut quand même le coup d'en discuter, non ?

## CE N'EST PAS À LA HAUTEUR DES ENJEUX ?

D'après l'agence internationale de l'énergie atomique et l'agence de l'énergie nucléaire, les réserves d'uranium représentent entre 80 et 140 ans de production nucléaire estimée d'ici 2040 selon les scénarios<sup>6</sup>, et non pas « assez pour faire fonctionner le parc actuel plusieurs centaines d'années ». Le tout pour 4% de l'énergie primaire et 10% de la production d'électricité mondiale (une part qui diminue depuis 2010, ne l'oublions pas<sup>7</sup>). Soyons clairs : le nucléaire « classique » (dont les EPR font partie) ne va pas résoudre notre problème : les ressources en uranium sont insuffisantes, et c'est un peu ce que dit le livre entre les lignes (mais alors vraiment entre les lignes !). C'est aussi très, très lent à mettre en œuvre<sup>8</sup> : avec 5 ans de conception et au moins 9 ans de construction, les premiers EPR de deuxième génération ne seraient pas attendus avant... presque 2040<sup>9</sup>. Les technologies ne sont ni disponibles ni prêtes à être mises en œuvre.

Il reste assez d'uranium pour faire fonctionner le parc actuel quelques centaines d'années

Page 148



## CE SERAIT INCERTAIN ET HYPER LONG À METTRE EN ŒUVRE.

Qu'à cela ne tienne, les surgénérateurs, ou réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération vont prendre le relais, nous dit-on !

Ces réacteurs génèrent plus de matière fissile (de carburants) qu'ils n'en consomment. Ça « existe déjà dans le monde en exploitation courante... C'est une technologie maîtrisée » ; nous dit Jean Marc).

Problème : « en vrai », on ne sait pas vraiment le faire, et c'est hyper long à mettre en œuvre. La surgénération on connaît d'ailleurs : elle a été jugée coûteuse, risquée et non aboutie dans le passé :

- le projet américain de Clinch River a été arrêté en 1983 car « il portait un risque potentiel pour la sécurité » ;
- le réacteur allemand de Kalkar a été arrêté en 1991 pour des problèmes de coût et de sécurité ;



- le réacteur Superphénix a été arrêté pour les mêmes raisons de sécurité et de rentabilité en France en 1997, et attend depuis d'être démantelé...

Et aujourd'hui ? Les seuls projets sont expérimentaux, avec la technologie des sels fondus, en Russie, en Inde, en Chine, au Canada, en Norvège, au Japon, ou des neutrons rapides en France<sup>10</sup>? Aucun n'est en exploitation, on en est encore à étudier leur dangerosité<sup>11</sup>. Notons aussi un intéressant projet, « pas du tout dangereux », de réacteur nucléaire

à sel fondu, flottants sur des barges ! Mais surtout, il n'y a aucun plan ni date de déploiement possible à grande échelle. On voit bien la complexité que représenterait ce déploiement, et le temps nécessaire, d'au moins plusieurs décennies... à comparer à l'urgence de réduire nos émissions. Le lent déploiement d'une technologie relativement simple comme l'EPR, doit nous inciter à la modestie ! Il ne suffit pas de déclarer une solution « possible » pour qu'elle le soit en réalité. Comme on dit, « les faits sont têtus ».

## LE NUCLÉAIRE C'EST CHER !

Celui-là est facile et me repose un peu.

Les vieilles centrales, qu'on a déjà amorties, c'est pas cher, et même si c'est un peu risqué, cela semble avoir du sens de les prolonger, le temps de « transitionner ». Mais ce n'est pas l'avenir !

Car tout le montre<sup>12</sup> :

- en 2020, il est déjà moins cher de produire dans le monde de l'électricité par du photovoltaïque, de l'éolien terrestre et marin, que par le nucléaire ;



- depuis 2010, les exigences de sécurité et de sûreté ont et vont continuer à faire plus que double le prix du Kwh nucléaire<sup>13</sup> d'ici à 2030, qui a déjà augmenté de 28% entre 2009 et 2019.

Le « nouveau nucléaire » (en gros les EPR) est donc coûteux par rapport aux énergies renouvelables, et ce **même en ajoutant les contraintes de la gestion de l'intermittence des enr**, on le verra plus tard.

Et en plus, ces coûts ne sont pas maîtrisés : faut-il rappeler que :

- Le coût de l'EPR de Flamanville est passé de 3,3 à 19,1 milliards d'euros<sup>14</sup> une fois intégré le coût du financement ?
- Le vrai coût des EPR de deuxième génération en cours de discussion reste hyper incertain. Flamanville en est à 8100 € pour chaque Kw de puissance construite, l'EPR de Sizewell C à 7400 kw, alors qu'on ne peut plus parler de têtes de séries. Faut-il croire l'optimiste EDF dans ses estimations futures ?
- Personne ne sait estimer les véritables coûts du futur démantèlement des réacteurs existants (ni parfois comment le faire), ce qui est une vraie bombe au-dessus de la tête d'EDF<sup>16</sup>.
- Et ne parlons pas des coûts du déploiement d'un futur programme de réacteurs à sels fondus.

Tout ça fait que les partisans du nucléaire voient comme seule solution la nationalisation, pour échapper aux « forces néfastes du marché ». Mais même dans ce cas, comment trouverait-on les énormes financements nécessaires ?



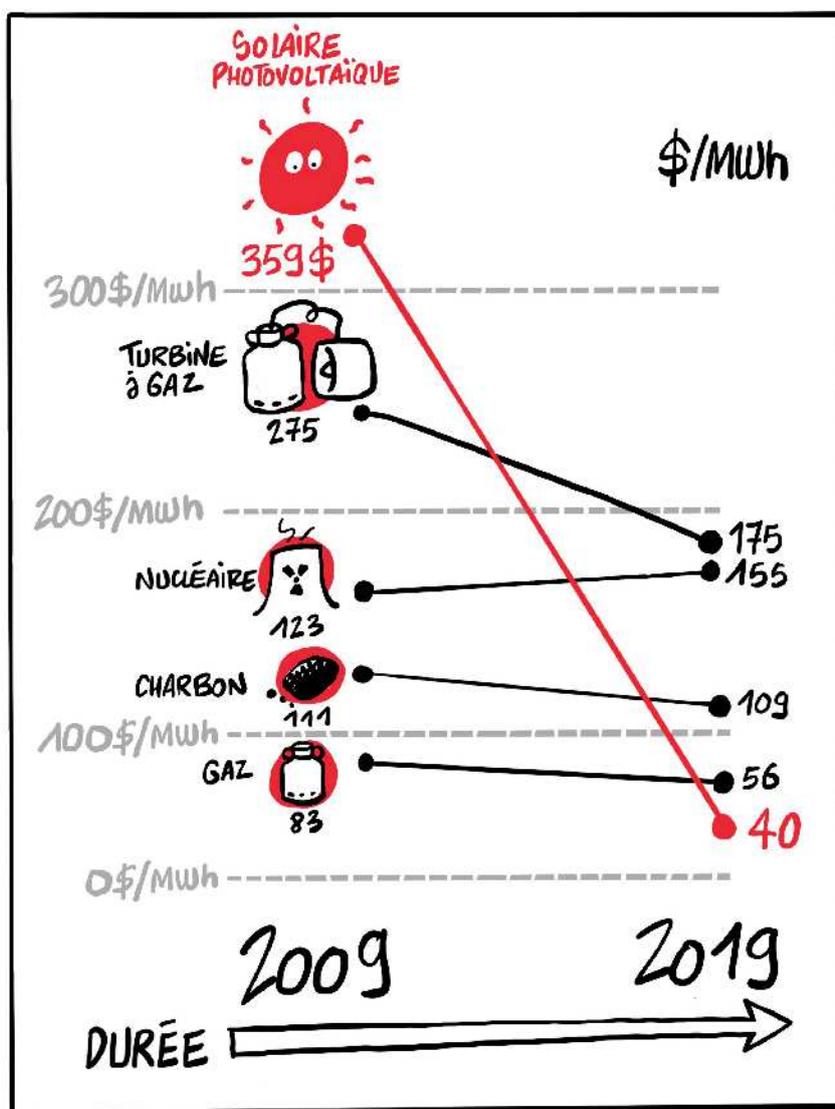
Je ne sais pas vous, mais si j'étais le méchant banquier du Monde sans fin (p. 152), je serais aussi un peu inquiet de financer des centrales dans cette incertitude. Notons au passage la « Tête sympa du gentil-scientifique-qui-veut-construire-une-centrale-nucléaire », face au méchant banquier !



En comparaison, les coûts de l'éolien (LCOE) ont baissé de 70% entre 2009 et 2019, ceux du solaire de 89% (99% pour les seules cellules !) quand ceux du nucléaire augmentaient de 26%. Les batteries quant à elle passeront bientôt sous les 50 euros par Kw<sup>17</sup>.

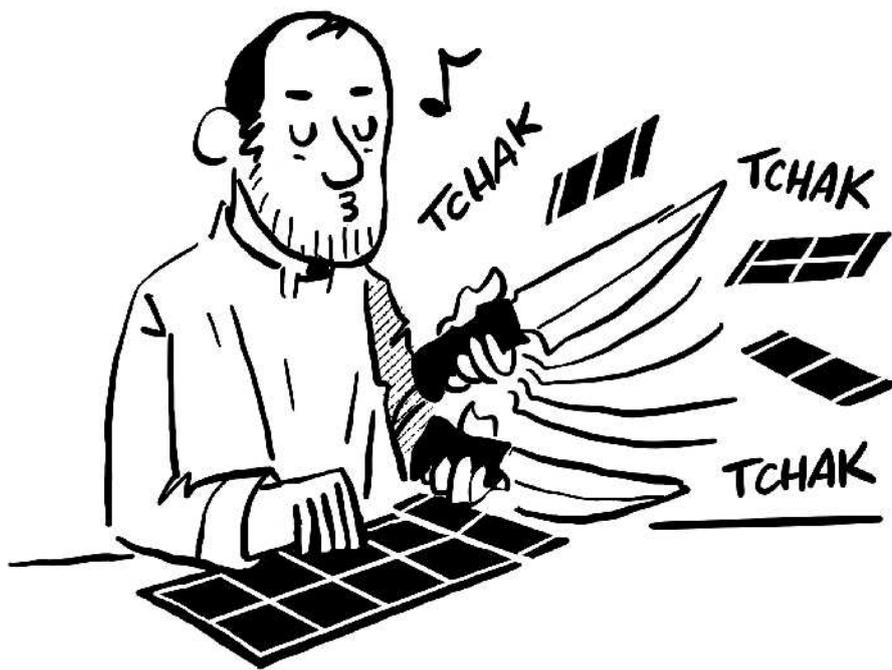
Selon une autre source (Lazard), l'éolien revient en 2021 entre 26 et 50 \$ par MWh, le photovoltaïque « industriel » entre 30 à 41 \$/MWh, le nucléaire... entre 131 et 204 \$/MWh. Et n'oublions pas que cela va avoir tendance à encore baisser pour les renouvelables, pendant que ça monte pour le nucléaire<sup>18</sup>.

## LE PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE SOLAIRE À BAISSÉ DE 89% SUR CES 10 ANNÉES



Source : <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>

# Partie 2



# Partie 2

## LES ÉNERGIES RENOUVELABLES, EST-CE VRAIMENT VOUÉ À L'ÉCHEC ?

Après avoir restauré la place du nucléaire, on entreprend dans Le Monde sans fin de détruire systématiquement les renouvelables. Ce qui malheureusement semble marcher en France : depuis 20 ans on critique, on débat, on retarde, on retarde<sup>19</sup>, et au final on installe beaucoup moins de moyens de production renouvelables que chez nos voisins<sup>20</sup>. Le tout peut-être pour nous mettre devant le fait accompli, et nous faire avaler la pilule nucléaire ? Mais prenons les arguments un par un...

### Est-ce que ça émet du CO2 ?

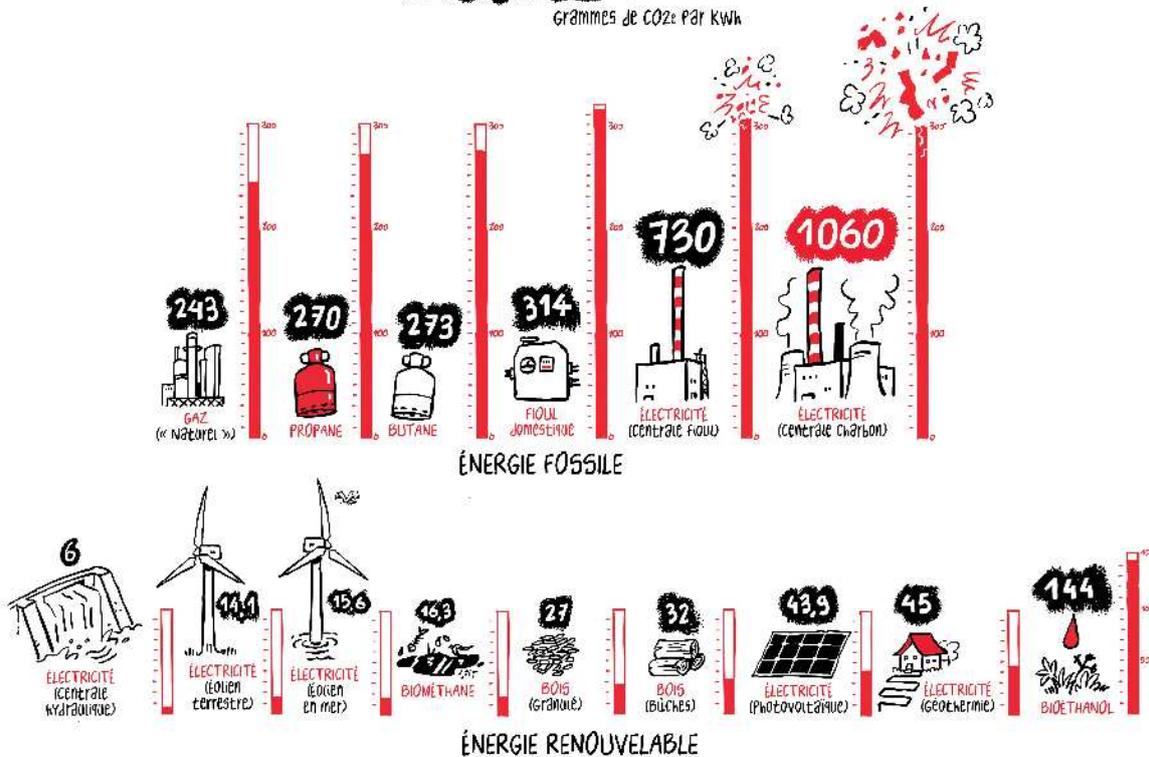
Les ENR, ça émet en fait zéro CO2 directement. Mais, semble-t-on nous dire dans le livre, ça émet plein de CO2 indirectement, « caché », puisque pour les construire il faut plein de matières premières<sup>21</sup>.

Mais non ! Les spécialistes parlent justement d'émissions de CO2 sur l'ensemble du cycle de vie : l'énergie nécessaire pour produire le ciment et le métal dont parle Jean Marc sont pris en compte. Le résultat, qui donne les émissions de grammes de CO2 émis par Kwh produit, pour toute la durée de vie (en « analyse de cycle de vie »), est ci-après.



### ÉMISSIONS DE CO2

Grammes de CO2e par KWh





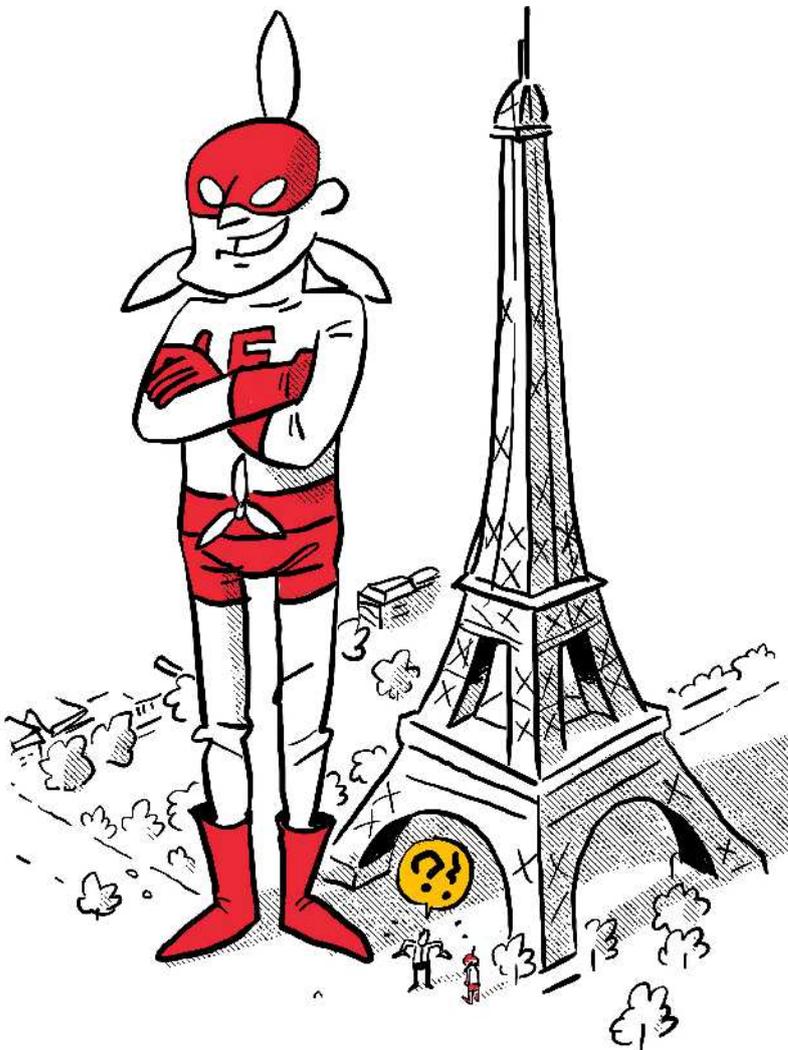
## Est-ce que ça ne produit vraiment pas souvent ?

Aaah ! L'intermittence et le pilotable, deux mots qui ont réponse à tout : si ce n'est pas pilotable, c'est qu'il faut plein de batterie et plein de centrales à charbon pour y pallier, et c'est la catastrophe !

Voyons ça.

Mais j'ai peut-être oublié de vous présenter « Eolienator », ou l'avenir de l'éolienne. Haliade X<sup>22</sup>, c'est une éolienne produite par General Electric, de... 248 mètres de haut, avec des pales de plus de 100 mètres, une puissance de 14,7 MW (dans les années 1950 c'était 0,2 MW), et une production de 74 GWh (de quoi éviter les émissions de l'équivalent de 52000 voitures), soit... 56% de

facteur de charge. Mais on a aussi sur les étagères « V236<sup>23</sup> », produite par Vestas Energies au Danemark, 280 mètres de haut des pales de 115 mètres, 80 Gwh par an et 20 000 foyers alimentés, avec un facteur de charge de 60%. Le vent étant plus stable en altitude, et l'effet de levier plus important, ça veut dire qu'on produit 60% du temps... et pas 40%.



Toutes les dernières éoliennes installées ces trois dernières années ont d'ailleurs déjà un facteur de charge entre 30 et 42%, et pas 20 à 30%<sup>24</sup>.

L'avenir de l'éolien c'est ça : une production puissante, assez stable dans le temps, consommant moins d'espace, et pas très coûteuse. Je vous propose dans les pages qui suivent de faire quelques calculs en utilisant ces valeurs actuelles et futures, et pas celles du passé.

Le solaire c'est un peu différent : les rendements augmentent, les coûts s'effondrent, on parviendra sans doute à suivre un peu plus le mouvement du soleil. Mais la situation qui se profile est la suivante : on va se retrouver avec certaines heures de la journée avec **beaucoup d'énergie pas chère du tout**, proche de chez nous, avec laquelle on pourra faire beaucoup de choses,

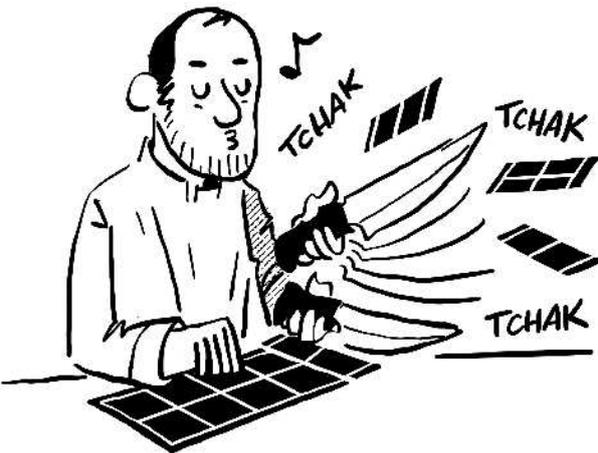
comme stocker de l'électricité ou produire des carburants de synthèse par exemple. Et avec beaucoup d'installations petites à moyenne, sur les toits de parking, d'usines, les canaux, voire les façades et les vitrages.



# Est-ce que ça prend beaucoup de place ?

« Une éolienne tous les km<sup>2</sup> ». Ici on reconnaît une des règles de 3 de Jean Marc. Dont j'imagine le raisonnement :

- La puissance nucléaire installée en France est de 63 Gw, soit 63 000 MW
- Une éolienne moyenne à terre à une puissance de 1,8 MW
- Comme taux de charge est de « 20 à 30% » disons 25%, contre disons 75% pour le nucléaire<sup>25</sup>, il en faut trois fois plus pour produire autant
- Pour remplacer le nucléaire, il en faudrait donc  $(63000 / 1.8) \times 3$ , soit 105000, soit une tous les 5 km<sup>2</sup> (j'ai beau chercher je n'arrive pas aux « une tous les km<sup>2</sup> » de Jean Marc.



Sauf que....

- il n'a jamais été question de couvrir toute la demande par de l'éolien : disons qu'on ne souhaite couvrir que 40% de la puissance installée soit 31 GW (le reste venant d'autres sources : photovoltaïque, biomasse) ;
- on va de plus en plus mettre les éoliennes en mer, dans des parcs regroupés, et utiliser de grandes éoliennes, de type « Eolienator » : disons 300 mètres de haut, 15 MW et 60% de charge ;
- il ne faut cette fois que 2000 à 2500<sup>26</sup>, par exemple regroupées en 50 parcs de 50 éoliennes, chacun occupant environ 50 km<sup>2</sup>, bien loin des côtes.

Ça tient déjà plus la route,

non ? Allez je vous les mets sur une carte pour donner une idée, une partie à terre et une partie en mer, dans les zones de vent.

Le solaire artificialise des surfaces importantes. La France prévoit de remplacer des champs agricoles et la forêt sur une superficie équivalente à 3 fois la ville de Paris



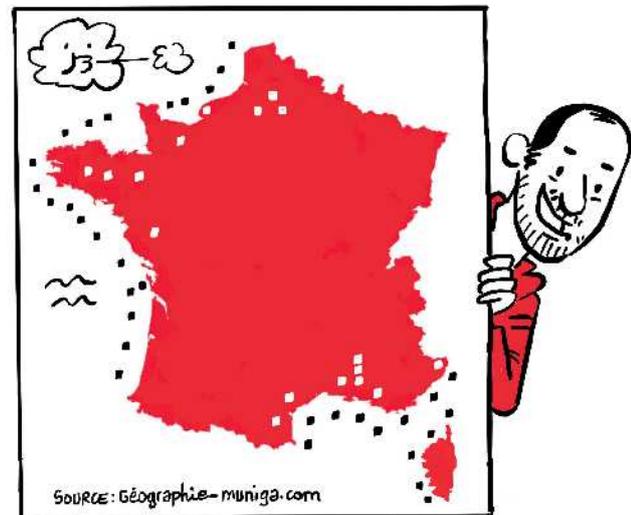
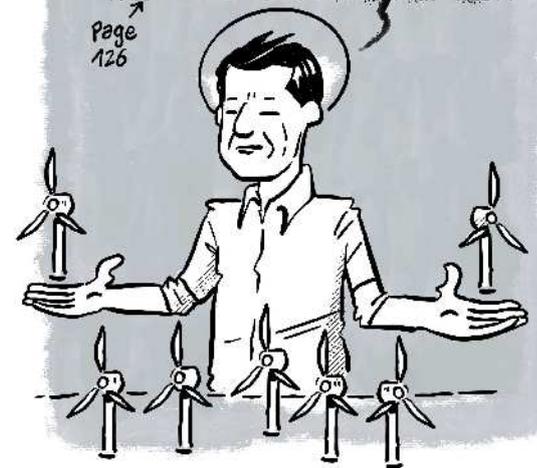
Passons au photovoltaïque. Trois fois la surface de Paris nous dit-on. Ça paraît énorme, dit comme ça, mais ce ne sont que 300 km<sup>2</sup>. Rappelons-nous que la France, ce sont 550 000 km<sup>2</sup>, et que les surfaces artificialisées y représentent déjà et

malheureusement 9%, soit 49 500 km<sup>2</sup>. Les parkings, les toits industriels et résidentiels, mais aussi certaines routes et canaux sont autant d'occasion de mettre des panneaux solaires...

Allez, pour voir quand même, je vous mets sur la carte ces 300 km<sup>2</sup> (les petits carrés jaunes), même si en réalité ils seraient plus dispersés et je rajoute plein de petits points verts pour les unités de méthanisation et les électrolyseurs dont on va parler plus loin<sup>27</sup>.

Une dernière source : Tim Tröndle, un chercheur allemand, estime la consommation d'espace d'un scénario 100% renouvelable en Europe à... 1% de sa surface<sup>28</sup>.

Si l'éolien devait fournir la totalité de l'énergie en France, il faudrait quadrupler le territoire avec une éolienne tous les km



# Est-ce que c'est tellement intermittent, que ça va demander de créer plein de centrales à charbon et à gaz, ou remplir nos caves de batterie ?

Je crois qu'en faisant des raisonnements partiels comme celui de la citation ci-contre, présents partout dans le livre, on a tendance à induire totalement en erreur le lecteur.

Reprenons à zéro... Ce dont a vraiment besoin un pays, c'est un système énergétique qui :

- Chaque jour de l'année et à chaque heure du jour et de la nuit, permette de satisfaire la demande
- Émette le moins possible de CO2
- Ne soit pas trop coûteux et limite sa dépendance aux importations
- N'ait pas trop d'autres impacts sociaux ou environnementaux (destruction des rivières, biodiversité)

Quel « mix » de solutions proposent les partisans des ENR, en France et PARTOUT dans le monde ?

**1** - Beaucoup de photovoltaïque et de l'éolien terrestre et marin, comme dans « Le monde sans fin ».

**2** - Mais aussi de l'hydroélectricité classique (barrages et centrales au fil de l'eau), dont le potentiel est presque totalement exploité en France.

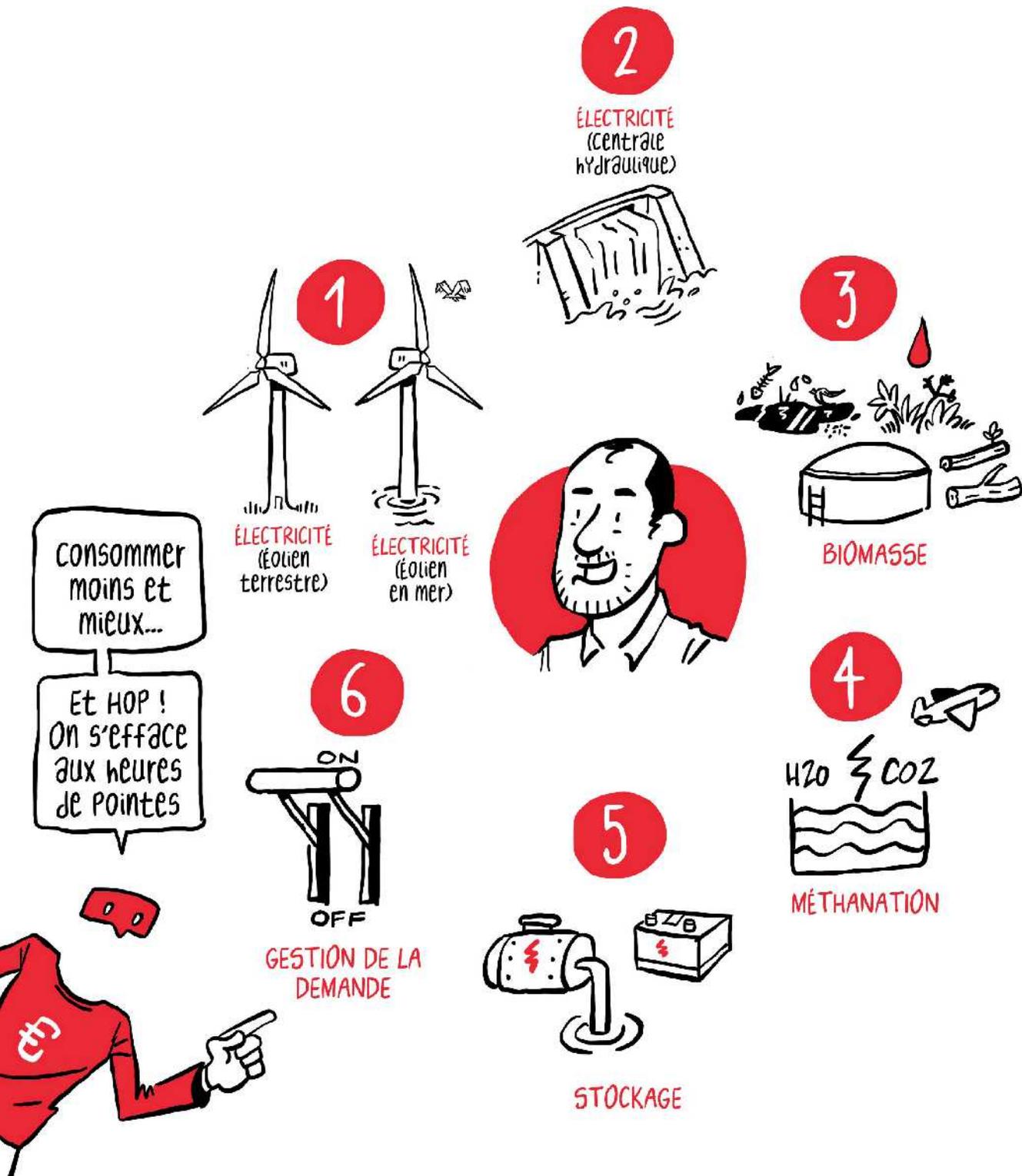
**3** - Sans oublier la « biomasse », c'est-à-dire tout ce qui provient de sources organiques (tiens, où est-elle passée dans notre BD ?), ce qui couvre le bois énergie et les déchets végétaux, dont il ne faut pas abuser car quand même ça stocke du carbone, mais aussi le « biogaz », avec la méthanisation des déchets agricoles (le lisier des élevages) et des résidus urbains (notre lisier, nos décharges), dont le potentiel est TRES important.

**4** - Des moyens de stockage, qui utilisent des solutions plus innovantes produites à partir des énergies renouvelables quand il y en a trop : en gros on produit de l'hydrogène en électrolysant de l'eau, que l'on peut utiliser tel quel, ou en le combinant avec du CO2, par exemple capté dans une cimenterie ou dans la méthanisation, pour créer du méthane de synthèse. C'est très utile pour faire tourner ces centrales électriques à gaz « renouvelables ». C'est la « méthanation », à ne pas confondre avec la méthanisation. Ou encore en le combinant avec de l'azote pour créer de l'ammoniac de synthèse, qui semble super pour faire avancer les bateaux ou les trains. Ou enfin pour créer des carburants durables pour l'aviation, à partir d'hydrogène et d'autres composants.

**5** - Encore des moyens de stockage : le pompage dans des barrages pour pouvoir produire de l'énergie hydroélectrique, qui a un potentiel important, mais aussi des batteries, dont la technologie et les coûts s'améliorent à vitesse grand V.

**6** - Des moyens de gestion de la demande : en période de super pointe on peut par exemple payer les industriels pour décaler certaines de leurs consommations, ou contrôler à distance les chauffe-eaux et chauffage électrique de quelques minutes pour « lisser la pointe ». C'est « l'effacement ».





Tout ça va évoluer très vite, mais alors très vite. Pour dire vite les rendements et les facteurs de charge augmentent, et les coûts de revient des renouvelables, des batteries et des électrolyseurs s'effondrent, ce qui change totalement les données du problème<sup>29</sup>.

Mais revenons au pilotage de nos moutons. Je reprends ma numérotation d'au-dessus pour expliquer que si 1. est effectivement une capacité non pilotable, 2, 3, 4, 5 et 6 sont des moyens pilotables, et vont nous servir à gérer la variabilité du solaire et de l'éolien, quand ceux-ci ne se compensent pas. Le pilotable, ce n'est pas que l'hydroélectricité, contrairement à ce que nous dit Jean Marc ! Ouf, nous allons échapper au grand barrage qui ceinture les côtes (p.127).



Il faut quand même ici que je vous présente Behrang Shirizadeh, un jeune chercheur, dont le doctorat et les premiers articles, sont sortis à point lors de mes premières controverses de 2020, avec un vrai effort de vulgarisation de sa part et de son laboratoire de recherche<sup>30</sup>.

Pendant 3 ans (c'est long un doctorat !), au Centre international de recherche sur l'environnement et le développement, Behrang a cherché à répondre aux différentes méthodes pour atteindre un système énergétique neutre en carbone en 2050, en construisant des modèles informatiques permettant de simuler notre beau pays.

Une fois qu'on a compris ce qu'étaient vraiment les énergies intermittentes (variables) et pilotables, il faut aussi comprendre que « les gens sérieux » (par exemple l'Ademe<sup>31</sup>, RTE<sup>32</sup>, ou Behrang et ses copains du CNRS dont on a parlé) ne comparent pas, comme Jean Marc, ces moyens deux à deux (« En France, si on n'utilisait que l'éolien et le solaire pour produire de l'électricité, il faudrait X tonnes de batteries », ou « il faudrait une éolienne tous les km<sup>2</sup> »), ce qui donne bien évidemment des résultats absurdes.



Non, ils mettent en musique dans des « modèles », c'est-à-dire des représentations du monde rigoureuses utilisant des équations mathématiques, l'**ensemble de ces modes**, en faisant varier les hypothèses, et en introduisant du progrès technique. Les éoliennes sont de plus en plus grandes et efficaces comme on l'a vu, les panneaux solaires ont des rendements croissants, les batteries des prix en chute libre. Dans ces modèles les différentes sources d'énergie se complètent et se compensent, ce qui change tout !



Et ils nous disent **tous**, que techniquement il n'y a aucun problème à faire fonctionner la France, que l'intermittence se résout par différentes combinaisons des points 2 à 6, et que cela ne coûte pas si cher que ça... En gros, le besoin en moyens de flexibilité (énergies renouvelables pilotables, effacement, importations d'énergies... les points 3 à 6 plus haut<sup>33</sup>) ne représentent « à tout casser » dans les études très officielles de RTE qu'un petit tiers de la puissance installée. Behrang nous montre que la gestion de l'intermittence des

renouvelables n'impacte le coût de l'électricité en moyenne que de 15%, même en sous-estimant volontairement certaines données (pas d'importation, pas d'effacement dans son modèle, et une sous-estimation fortement probable du potentiel de baisse des coûts des éoliennes, du solaire et des batteries<sup>34</sup>...).

# DEUX PETITES APARTÉS !



Page 150

Sur génération ou pas, le nucléaire est concurrent du charbon.

Le charbon tue chaque année dans le monde l'équivalent de la ville de Grenoble, rien qu'au sein des mineurs et anciens mineurs !



## Aparté n°1 :

Ici (p 150) on nous induit doublement en erreur, et c'est beaucoup pour cette petite image de mineurs (Chinois ?) en train de souffrir :

- On nous dit que le nucléaire est en compétition avec le charbon, alors qu'il est en compétition avec une production électrique (un « mix ») 100% renouvelable.
- On laisse penser que développer ce mix 100% renouvelable va obliger à maintenir voire développer des moyens de production fossiles, alors que les travaux des scientifiques montrent le contraire... et que nous allons en parler tout de suite !

Page 149

La voiture à hydrogène c'est nul comme l'avion solaire

Tu en auras quelques-unes, parce que les riches aiment les gadgets !



## Aparté n°2 :

Et je tombe sur une vignette « L'hydrogène c'est nul », qui m'avait échappée (P.179)... qui me rappelle, en aparté, qu'il n'est facile ni pour vous ni pour moi de se faire une opinion. En 2020, j'ai pris « la main dans le sac » un rapport de l'officielle l'Académie des technologies<sup>35</sup>, qui nous disait en résumé que 1) l'hydrogène a de l'avenir en France comme énergie bas carbone utilisée massivement<sup>36</sup> (ce que tout le monde savait déjà sauf Jean Marc, mais que 2) il vaudrait

mieux le produire avec de l'électricité nucléaire... Le tout reposant sur des données obsolètes et des biais méthodologiques, et écrit par une équipe de 8 personnes comprenant : un ancien PDG de Framatome, un chargé de mission au CEA, un ancien producteur d'alternateur pour centrales nucléaires chez Alstom, et... le président du comité de développement du nucléaire à l'OCDE<sup>36</sup> !

VOUS EN PENSEZ QUOI DU NUCLÉAIRE LES GARS ?

EX PDG DE FRAMATOME

CHARGÉ DE MISSION AU CEA

ANCIEN DE CHEZ ALSTOM

PRÉSIDENT DU COMITÉ DE DÉVELOPPEMENT DU NUCLÉAIRE



Est-ce qu'on va devoir arrêter de vivre voire, horreur, de se soigner quand il n'y aura ni vent ni soleil ?



Alors celle-là, mobiliser cet argument anxiogène du « retour à la bougie » personne n'avait osé la faire ! Elle est d'ailleurs paradoxale, venant de Jean Marc, pourtant partisan avéré de la sobriété. On la retrouve pourtant tout au long du livre.

Pour vérifier si ce risque de pénurie était réel, je me suis d'abord renseigné ces dernières années sur le concept de « sécheresses énergétiques » : périodes sans vent et sans soleil, et sur du plus long terme périodes avec peu d'eau dans les barrages<sup>37</sup>. Peut-on quand même consommer normalement de l'énergie pendant ces périodes, ou va-t-on vers une impasse ?

Pour y répondre, en gros les scientifiques prennent des données très détaillées sur l'ensoleillement, le vent et la pluviosité mesurés en France ou en Europe (une série heure par heure de 30 ans dans l'article cité plus haut, de 19 ans dans le doctorat de Behrang<sup>38</sup>). Ensuite, ils simulent la production d'électricité correspondante, introduisent l'hydroélectricité, la biomasse, le biogaz et différents moyens de stockage (stations de pompage, batteries et autres moyens plus modernes et de long terme comme l'hydrogène et la méthanation). Ils prennent aussi la consommation électrique heure par heure du pays sur cette même période de temps. Et ils regardent si ça « matche ». Et là, tous disent que « ça passe » : on peut continuer à vivre aux mêmes rythmes qu'actuel, se soigner, se déplacer, se nourrir ! Alors, pourquoi faire peur aux gens pour rien ?

# Partie 3



# Partie 3

## POURQUOI JEAN MARC A RAISON ET TOUS LES AUTRES ONT TORT ?

Question un peu provocante je l'avoue ! En période de stress dans mon bureau d'études, je me suis souvent appliqué cette maxime « Fais gaffe, si tu penses que tout le monde a tort, c'est que c'est toi qui as tort » ! Ce qui veut dire plus sérieusement que 1) il faut savoir se remettre en cause, 2) l'avis des autres compte et 3) dans la vie, ce n'est pas toujours moi qui décide. ... Au-delà des chiffres, des modèles, il y a dans Le Monde sans fin plusieurs choses : un déni de démocratie, une tentative de décrédibiliser les autres et d'opter pour un « splendide isolement » à la Française, enfin une envie de tout justifier par l'urgence.

### Le déni de démocratie



Page 150, on trouve cette vignette, dans laquelle les plus jeunes d'entre nous n'aurons peut-être pas reconnu François Hollande, Président de la République et « père » de la Loi de transition énergétique et de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (la « PPE »), dont l'objectif de réduire la part du nucléaire est issu de longs débats démocratiques. Programmation destinée à fixer un cap de long terme aux acteurs de l'énergie.

François y est présenté comme un horrible démagogue, représentatif des hommes politiques qui « Raisonnent à court terme pour flatter leur électorat ». Et déclare qu'« il faut réduire la part du nucléaire de 50% » pour se mettre les écolos dans la poche. Ce qui me gêne ici, c'est que Jean Marc semble nous dire que le débat énergétique est trop complexe pour le public. Ces décisions des dernières années (baisse de la part du nucléaire à 50%, fermeture de Fessenheim), comme les lois de programmation seraient démagogiques<sup>39</sup>, contre-productives, sous l'influence des lobbys du renouvelable...

Faut-il rappeler l'ensemble du processus démocratique ayant conduit à l'adoption de ces objectifs (voir par exemple le débat national sur la transition énergétique en 2012 et 2013<sup>40</sup>, les consultations préalables à la PPE). Est-il possible, dans le domaine de l'énergie, que les citoyens finissent par imposer leur volonté démocratique aux ingénieurs ? Est-il possible enfin de rappeler la force du lobby nucléaire en France et son instrumentalisation des enjeux du climat ? Qui n'a pas rencontré les légions de trolls pro-nucléaires actifs sur les réseaux sociaux français ne peut pleinement comprendre cette phrase !

Et nous citoyens, dans de vieilles démocraties, où l'on n'a jamais été aussi éduqués, on a LE DROIT de choisir, d'avoir peur d'accidents nucléaires rares mais dévastateurs. C'est ça la démocratie !

### L'avis des autres compte, et l'Allemagne ne fait pas n'importe quoi !

Ces dernières années, nos acteurs français de l'énergie (nucléaire) agitent comme contre-exemple l'Allemagne, où le charbon persiste dans un mix électrique encore très intensif en carbone. Et évidemment, la guerre en Ukraine a permis de montrer que la dépendance de l'Allemagne au gaz russe était aussi un mauvais choix du pays. C'est très injuste !!!

Essayons de rappeler ce qui se passe vraiment en Allemagne, et ce qu'est l'Energiewende, la grande transition énergétique qui s'est ac-





célébrée après la catastrophe de Fukushima.

- Jusque dans les années 2000, l'électricité allemande c'était en gros 50% de charbon, 30% de nucléaire et 20% de gaz.

- L'Allemagne a pris autour de 2010, une double décision, hyper ambitieuse pour un si grand pays : décarboner totalement son système énergétique, ET sortir du nucléaire dès 2022.

- Et l'Allemagne est en train d'y arriver !!! La part du renouvelable est passée de 16% à 40% entre 2010 et 2021, et déjà 52% en incluant les autres sources bas carbone. La part du nucléaire est passée à moins de 5% en 2021. Les éner-

gies fossiles sont, elles, passées de 60% à 47%. Ce rythme de transition est impressionnant, presque incroyable. Il demande une volonté, une mobilisation de toutes les ressources, et de la suite dans les idées.

- Et ce n'est pas fini : l'objectif affiché de la coalition au pouvoir est de dépasser... 80% d'ENR dans la production d'électricité en 2030.

Pour résumer, le charbon ou le gaz ne sont pas là A CAUSE des ENR, c'est juste parce que ça prend du temps de s'en débarrasser !! Travestir ainsi la réalité ne tiendra pas longtemps.

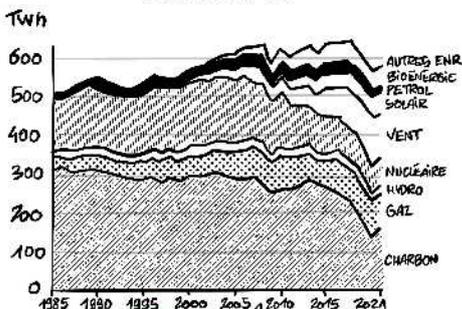
Là je peux sortir mon autre argument facile mais massue quand même : le splendide isolement. Il arrive d'avoir raison tout seul, mais c'est rare !

Et les autres ? Il y a encore mieux ! En 2020, le Danemark a dépassé la barre des 80% d'énergies renouvelables ! Encore un investissement dans un parc éolien offshore, un développement du « Power to X » (power to gas pour pallier l'intermittence, power to fuel....), et les 100% sont jugés atteignables<sup>41</sup>.

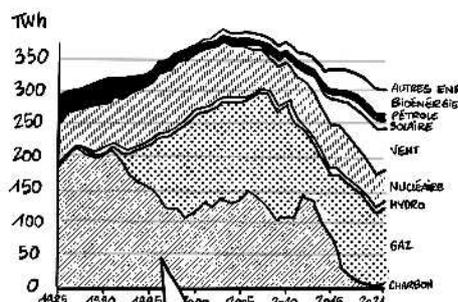


Lui c'est POWER TO X, le petit dernier de la bande, celui qui va « BOUCLER LA BOUCLE », faire péter le box-office

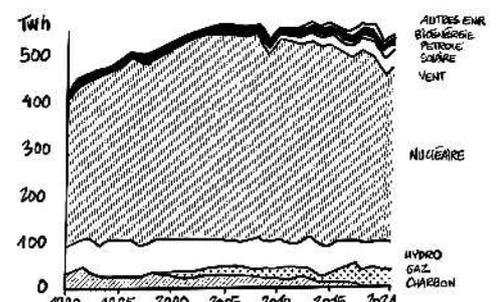
ALLEMAGNE



GRANDE BRETAGNE



FRANCE



# Est-ce que l'urgence justifie d'ouvrir notre « parachute nucléaire » ?

Alors, le nucléaire peut-il nous aider ? En prolongeant un peu les réacteurs existants, peut-être, mais certainement pas en en construisant de nouveaux... il est beaucoup, plus efficace, facile, économique et sans risque d'investir dans un mix d'énergies renouvelables intermittentes et non intermittentes (biomasse, méthanation, méthanisation, hydrogène, ammoniac de synthèse...) et dans des capacités de stockage et de maîtrise de la demande.

La rapidité de ce qui se passe chez nos voisins, en Grand Bretagne, ou en Allemagne, et presque partout ailleurs devrait nous en convaincre<sup>42</sup>.

« Halte aux diversions ». Tu l'as dit Jean Marc ! Alors : comme il y a 10 ans on a perdu notre temps avec Claude Allègre et les climato-sceptiques, on aimerait ne pas en perdre aujourd'hui avec le nucléaire !

Quand on doit sauver le climat maintenant, on ne réfléchit pas à une hypothétique et lointaine solution à base de surgénérateurs nucléaires de 4ème génération : on prend ce que l'on a tout de suite sur étagère et qui marche. Et devinez ce que c'est ? De gros moulins à vent, du solaire, combiné à plein d'autres solutions ! Et devinez quoi ? Tout le monde semble l'avoir compris sauf les Français !

Le nucléaire ne pourra pas remplacer toutes les énergies fossiles. Il est comme un parachute venetien. Il nous permettra de conserver une partie et une partie seulement de ce que nous avons aujourd'hui

Page 162

Et d'amortir une chute trop brutale !



# CONCLUSION



## EN CONCLUSION.... réveillons-nous !

La France, qui vit encore un peu dans le regret des 30 glorieuses, est marquée sur le plan énergétique par le succès et la très rapide mise en œuvre de son programme nucléaire des années 1970 aux années 1990. A l'époque il s'agissait d'assurer notre souveraineté, dans le contexte du choc pétrolier, avec une absence d'alternatives crédibles.

Le besoin de réduire nos émissions de gaz à effet de serre et de se passer du gaz russe pourraient laisser penser que nous sommes à l'aube d'un renouveau de la filière nucléaire.

Ce serait une grande erreur de penser que ce choix est le plus efficace, le plus sûr et le plus économique. Nous vivons en effet une « révolution silencieuse » des énergies renouvelables. Les techniques, les rendements, les coûts : tout change très vite dans le domaine. Et s'appuyer sur ce nouveau contexte change complètement la donne.

Au-delà, nous espérons que ces quelques pages, vous ont permis d'y voir plus clair, et de prendre conscience que le diable se niche parfois vraiment dans les détails. Prenons des données datées pour les rendements d'une technologie, soyons un peu pessimistes sur les coûts d'une autre, oublions de mentionner un risque, et je vous produis une image totalement erronée des scénarios futurs ! Je vous laisse juge du caractère volontaire ou involontaire de cette situation telle qu'elle est présentée actuellement dans les débats.

Encore au-delà, battons-nous pour redonner à la science la place qu'elle mérite dans les débats. Rappelons-nous de 2020, du phénomène Didier Raoult et du discrédit qu'il a failli jeter sur la science, en cherchant à prouver, à partir de données bidonnées, l'efficacité de la chloroquine. Les efforts désespérés des partisans du nucléaire pour prouver l'intérêt de cette technologie, contre toute évidence, m'y font furieusement penser. C'est, du moins, mon opinion.

Et donc à tout seigneur tout honneur, laissons la parole à des chercheurs. D'abord Philippe Quirion, directeur de recherche au centre international de recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED)<sup>43</sup> « Le principal obstacle à la mise en place d'un système électrique 100% renouvelable est la croyance (fausse, mais diffusée par des groupes d'intérêts puissants) en son impossibilité ». Ensuite à Jean Paul Ceron, membre du GIEC sur plusieurs éditions, mais qui a aussi connu les débuts du ministère de l'Environnement en France et les 30 glorieuses : « Je me rappelle d'un haut cadre d'EDF, qui nous rapportait les mots du ministre en charge de l'énergie : « Nous avons fait voter le programme nucléaire à un parlement en état d'hypnose ». Essayons que cela se passe différemment cette fois-ci...

Car avec l'exemple de *Le Monde sans fin*, c'est bien la question de la possibilité d'avoir de vrais débats démocratiques sur l'énergie, sans que les constats techniques et scientifiques qui mettent à l'agenda ces questions soient systématiquement biaisés, voire truqués, qui est posée. Et ça c'est une vraie question pour l'avenir !



Ghislain Dubois et Nicolas Caruso, Février 2023

# LES AUTEURS



**Ghislain Dubois\*** est un expert et un scientifique reconnu des questions d'énergie et de changement climatique. Diplômé de Sciences Po et Docteur en économie, il a été Professeur associé à l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines pendant 7 ans, mais surtout fondateur en 2001 d'un cabinet conseil pionnier sur les questions de développement durable et de changement climatique, TEC conseil. Il a participé comme auteur ou relecteur à plusieurs éditions du rapport du GIEC, publié de nombreux articles scientifiques et conseillé des gouvernements et organisations internationales (UNESCO, PNUE, Agence française de développement, Commission européenne, Agence européenne de l'Environnement, Plan d'action pour la Méditerranée, OCDE...) comme des acteurs et entreprises français. Ses champs d'expertise couvrent l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (transports, notamment aérien, et tourisme, modes de vie...), l'adaptation aux conséquences du changement climatique, mais aussi les 'services climatiques' (services de prévision du manteau neigeux dans les stations de ski...). Il est actuellement consultant indépendant.



**Nicolas Caruso** est un facilitateur graphique et un illustrateur reconnu, il s'est formé dans le monde de la publicité et utilise sa passion du dessin et de la mise en forme pour créer des synthèses visuelles et faciliter la compréhension et la mémorisation de sujets ou de concepts complexes.

\* <https://www.researchgate.net/profile/Ghislain-Dubois-2>

# INDEX DES NOTES

- 1 - Pour une argumentation plus construite, et moins collée au Monde sans fin, tu pourras consulter ce papier de 2020 : Nucléaire et climat – Le point sur quelques approximations et malhonnêtetés intellectuelles [https://www.linkedin.com/posts/ghislain-dubois-2aa57221\\_nucl%C3%A9aire-et-climat-activity-6723997825480310784-Zdph?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/ghislain-dubois-2aa57221_nucl%C3%A9aire-et-climat-activity-6723997825480310784-Zdph?utm_source=share&utm_medium=member_desktop).
- 2 - La sobriété, bien sûr, qui nous demande de moins consommer d'énergie. Mais aussi le fait qu'une grande partie des consommations d'énergie, notamment industrielles, n'est pas « électrifiable ». Et là, les énergies renouvelables, comme le biogaz, ou les vecteurs d'énergie produits à partir des ENR comme l'hydrogène resteront seules face aux fossiles.
- 3 - J'emprunte ce terme à un camarade de Jean Marc à Polytechnique, qui nous explique notamment comment on dessine le schéma de fonctionnement d'un réacteur pour montrer qu'il n'est pas dangereux : <https://www.lajauneetlarouge.com/le-monde-sans-fin-de-jean-marc-jancovici/>
- 4 - <https://www.lesoir.be/308590/article/2020-06-21/crash-davion-les-centrales-nucleaires-belges-ne-sont-plus-aux-normes>
- 5 - Je me rappelle d'un copain travaillant dans l'ingénierie nucléaire, me disant un jour où l'on avait un peu bu, très anxieux « on n'est pas prêts en cas de très forte canicule ! »
- 6 - [https://www.iaea.org/fr/newscenter/pressreleases/les-ressources-en-uranium-mondiales-sont-suffisantes-pour-lavenir-proche-dapres-le-nouveau-rapport-de-laen-et-de-laiea-en-anglais#:~:text=Au%201er%20janvier%202019,uranium%20m%C3%A9tal%20\(tu\)](https://www.iaea.org/fr/newscenter/pressreleases/les-ressources-en-uranium-mondiales-sont-suffisantes-pour-lavenir-proche-dapres-le-nouveau-rapport-de-laen-et-de-laiea-en-anglais#:~:text=Au%201er%20janvier%202019,uranium%20m%C3%A9tal%20(tu)).
- 7 - Le nucléaire, qui a fourni 10,4 % de la production d'électricité mondiale en 2019, a vu cette part décliner de façon quasi-continue depuis le maximum de 17,5 % atteint en 1996.
- 8 - Olkiluoto C de Finlande a pris 18 ans à être construit, mais il y a toujours des problèmes techniques des soudures etc. Et après 19 ans, il n'est toujours pas opérationnel. Flamanville 3 a commencé en 2007, et c'est prévu pour 2024, mais EDF ne prévoit pas forcément très bien, ça risque de durer 20 ans environ
- 9 - Audit d'EDF et gouvernement (Février 2022). <https://www.ecologie.gouv.fr/examen-des-conditions-mise-en-oeuvre-dun-programme-construction-nouveaux-reacteurs-nucleaires-en-0>
- 10 - [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9acteur\\_nucl%C3%A9aire\\_%C3%A0\\_sels\\_fondus](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9acteur_nucl%C3%A9aire_%C3%A0_sels_fondus)
- 11 - L'Union européenne a lancé le projet SAMOFAR (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor)
- 12 - Et notamment l'Agence internationale de l'énergie <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf>
- 13 - <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf> p. 146. Ce sont les coûts « tout compris » (Levelized Cost of Energy), et disons le dès maintenant, LE STOCKAGE NE CHANGE PAS LA DONNEE
- 14 - Selon la Cours des Comptes : <https://www.ccomptes.fr/system/files/2020-08/20200709-rapport-filiere-EPR.pdf#page=68>
- 15 - [https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2022/12/20/les-derapages-de-l-epr-de-flamanville-en-graphiques-le-cout-multiplie-par-5-la-duree-du-chantier-par-4\\_5480745\\_4355771.html#xtor=AL-32280270-%5Bdefault%5D-%5Bios%5D](https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2022/12/20/les-derapages-de-l-epr-de-flamanville-en-graphiques-le-cout-multiplie-par-5-la-duree-du-chantier-par-4_5480745_4355771.html#xtor=AL-32280270-%5Bdefault%5D-%5Bios%5D)
- 16 - C'est la Cour des Comptes que le dit. <https://www.vie-publique.fr/en-bref/273769-demantelement-des-installations-nucleaires-mieux-maitriser-les-couts>
- 17 - Plus de données d'une révolution en cours dans cet intéressant article <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>
- 18 - Une autre source sur les coûts actuels de l'énergie, qui montre à quel point le « Nouveau nucléaire » est cher : <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/> sans oublier que pour le nucléaire les coûts de démantèlement ne sont pas inclus !
- 19 - J'ai écrit en 2004 un rapport au Premier ministre qui parlait déjà de mettre en service rapidement un parc éolien off shore, celui du Tréport, toujours en discussion aujourd'hui ! <https://www.vie-publique.fr/rapport/27200-construire-ensemble-un-developpement-equilibre-du-littoral>
- 20 - Voir plus bas quelques beaux graphiques sur l'évolution du « mix » électrique en France, Allemagne et Grande-Bretagne
- 21 - Pour une remise en cause très claire des valeurs données pour le ciment et l'acier, voir les beaux articles de Stéphane His, qui s'est aussi un peu énervé en lisant Le Monde sans fin. <https://www.stephanehis.com/post/analyse-critique-page-%C3%A0-page-de-la-bande-dessin%C3%A9-le-monde-sans-fin>
- 22 - <https://www.revolution-energetique.com/toujours-plus-fort-lhaliade-x-boostee-a-14-mw/>
- 23 - <https://www.revolution-energetique.com/premiers-tours-de-pales-pour-leolienne-geante-de-vestas/>
- 24 - <https://theconversation.com/un-nouveau-programme-electronucleaire-est-il-justifie-pour-la-france-178728>
- 25 - Mais 68% seulement en 2021, et beaucoup moins en 2022 <https://energieetenvironnement.com/2021/07/13/le-faible-facteur-de-charge-du-nucleaire-francais/>
- 26 - contre 105 000 dans le calcul de Jean Marc tel que je me l'imagine
- 27 - Les scientifiques pensent aussi que l'espace n'est pas un problème : Dupré la Tour, 2022. Renewable energy potential in Europe – a systematic review. Working Paper, CIREP
- 28 - <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0236958>
- 29 - Les coûts de l'éolien (LCOE) ont baissé de 70% entre 2009 et 2019, ceux du solaire de 89% (99% pour les seules cellules !) quand ceux du nucléaire augmentaient de 26%. Les batteries quant à elle passeront bientôt sous les 50 euros par Kw
- 30 - Reaching carbon neutrality in France by 2050 : optimal choice of energy sources, carriers and storage options. <https://www.theses.fr/2021EHES0013>
- 31 - Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, bras armé de l'Etat pour ces questions
- 32 - Réseau de transport d'électricité, entité publique détenue en majorité par EDF, qui organise comme son nom l'indique le transport de l'électricité, et mène des études dans ce domaine

33 - Voir par exemple les scénarios RTE 2050 et leurs intéressantes annexes techniques. <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>

34 - Shirizadeh B., Perrier Q. et Quirion P. How sensitive are optimally fully renewable power systems to technology uncertainty ? The Energy Journal. Vol 43(1) 2022

35 - <https://www.academie-technologies.fr/publications/role-de-lhydrogene-dans-une-economie-decarbonee/>

The role of hydrogen in energy decarbonization scenarios. Publication du Joint Research Center de la Commission européenne. [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC131299/JRC131299\\_01.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC131299/JRC131299_01.pdf)? Et pour plein d'études sur l'hydrogène : <https://www.hydrogen4eu.com/>; <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen> ; <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario-nze>

36 - Pour le détail, c'est ici : [https://www.linkedin.com/posts/ghislain-dubois-2aa57221\\_hydrog%C3%A8ne-quand-lacad%C3%A9mie-des-technologies-activity-6747799152815562752-ZAl0?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/ghislain-dubois-2aa57221_hydrog%C3%A8ne-quand-lacad%C3%A9mie-des-technologies-activity-6747799152815562752-ZAl0?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)

37 - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118302829?via%3Dihub>

38 - <http://www.theses.fr/2021EHES0013>

39 - Sur ce sujet un post de Jean Marc Jancovici <https://www.facebook.com/jeanmarc.jancovici/posts/10158930672562281>

40 - <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Synth%C3%A8se%20du%20d%C3%A9bat%20national%20sur%20la%20transition%20%C3%A9nerg%C3%A9tique.pdf>

41 - <https://cphpost.dk/?p=121497>

42 - Globalement, les renouvelables ont représenté en 2021 plus de 80% des nouvelles capacités électriques

43 - Et Président de l'association des associations sur le climat, le Réseau action climat.