

## Quel avenir pour les énergies (re)naissantes?

Le potentiel réalisable de ces énergies est prometteur et pourrait jouer un rôle important dans le futur du mix énergétique. Six sujets sont étudiés : le nucléaire pour les SMR et les technologies innovées par les « start-up », les tuiles transparentes du photovoltaïque, l'énergie des vagues, les hydroliennes, les pompes à chaleur géothermique marine, et l'osmose eau salée - eau douce, les quatre dernières exploitant l'immense potentiel des océans de la planète. Voici une évaluation de chacune de ces sources naissantes ou renaissantes

**Nucléaire :** Le nucléaire renaît de ses cendres et en profite pour se diversifier, non seulement par la puissance des réacteurs, dont les SMR, 5 à 10 fois plus faible que celle des gros réacteurs, en vogue, et par la variété des technologies, créée par l'arrivée des « start-up » pleines d'imagination, le tout au niveau mondial, entraînant certains pays antinucléaires. Tous ces réacteurs de moindre taille offrent plusieurs avantages potentiels, tels que des coûts de construction et de fonctionnement plus cher, mais acceptables s'ils le sont en grande série, une plus grande flexibilité et une conception modulaire. Les SMR, entre 50 MWe et 300MWe sont en plein attrait dans le monde ; trois seraient en activité, 2 en Russie et un en Chine.

Restons en France. EDF a créé la filiale Nuward le 31 mars 2023 avec leurs partenaires, comme CEA, Framatome, Naval Groupe. EDF consolide son projet en obtenant des accords avec les pays européens dont l'Italie et la Pologne au premier trimestre 2023, et veut devenir le leader européen des SMR. Nuward a pour objectif la création de 2 réacteurs associés de 170MWe chacun, la construction devant démarrer en 2030, ce qui peut apparaître très lent. A noter que la Commission européenne a attribué 50 millions d'euros pour ce projet ; à noter aussi que le personnel devra passer de 150 personnes en 2024 à 600 en 2026-27. La préparation semble solide, mais bien longue.

Les « start-up » veulent aller plus vite. La France en aurait 18 - !?-, dont Jimmy, Newcleo, Neexengienering, Naarea, Hexanaet Stellaria, dont 5 à neutrons rapides, sauf Jimmy, toutes associées aux entreprises expertes, comme CEA et CNRS, mais aussi à Westinghouse. A noter que Newcleo est une entreprise anglo-italienne, qui prépare un prototype de 30 MWe en France, logique à cause de l'expertise française des Superphénix, et veut ensuite construire un réacteur de 200MWe en Angleterre ; elle veut investir 3 milliards pour ce projet en France, ce qui peut lui permettre d'être la plus rapide en Europe. De son côté, Jimmy vient de conclure un contrat, pour mise en route en 2026, pour un réacteur de 10MWe à 20MWe produisant de la chaleur, jusqu'à 600°C, destinée à l'industrie ayant besoin de chaleur à haute température. La technologie est connue depuis longtemps, mais rarement appliquée : ils sont appelés réacteurs à haute température HTR, l'hélium gazeux sous pression étant utilisé comme fluide caloporteur ; le combustible est de l'uranium enrobé de graphite. L'installation est très compacte. Naarea est un concurrent de Jimmy sur la puissance, entre 10MWe et 20Mwe, et l'usage, la chaleur ; mais il utilise les déchets de longue durée, le plutonium, comme combustible, à neutrons rapides et sels fondus, sans besoins d'eau, sans rejets. Un jumeau numérique est attendu cette année, un prototype en 2027 et un premier de série en 2028-2029. La naissance d'une nouvelle politique technologique est en marche.

Le défi de sûreté est le rôle de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), jugée la plus sévère dans le monde. Le défi des déchets est surmontable, d'autant plus que les réacteurs à neutrons rapides les diminuent ; c'est peut-être la prolifération du nucléaire qui sera le défi le plus ardu à surmonter.

**Tuiles Solaires :** Ce sont des tuiles installées directement sur toute la surface du toit. Elles sont soit photovoltaïques pour la production électrique, soit thermiques pour produire de la chaleur, ou hybrides. Ces tuiles photovoltaïques, transparentes pour l'accès aux cellules photovoltaïques, sont liées par des connecteurs étanches portant sur un verre trempé, ajoutant plus d'étanchéité et l'isolation du toit. Ces avantages sont accompagnés par l'aspect visuel de ces tuiles, qui permet notamment leur installation dans des sites protégés.

Ajoutons que ces tuiles solaires sont garanties pour toute la durée de vie de l'habitation, ce qui n'est pas le cas pour les panneaux. Les inconvénients sont un rendement moindre pour la même surface, et aussi une économie plus faible, si on veut les installer sur un toit existant, loin de sa fin de vie. C'est donc les constructions nouvelles et les toits en fin de vie qui en bénéficieront le mieux. Bien que cette technologie soit encore relativement nouvelle, 20 ans, elle présente un grand potentiel pour l'intégration dans les bâtiments résidentiels et commerciaux. Parmi les acteurs actuels, on remarque Tesla Solar Roof, les français Imerys devenu Edilians, et Sunstyle, l'italien Dyaqua, le Suisse Megasol, etc., ce nombre confirmant l'activité sur ce marché. A noter qu'Edilians peut poser ces tuiles sur une partie du toit ayant la même couleur rouge, « tuile SolarMaxrouge ».

**L'Eau des mers et des océans** : Potentiel d'énergie électrique immense, peu valorisée, mais en cours de développement.

**Energie houlomotrice** : Le potentiel mondial de cette énergie est estimé à 29.500 TWh (Ademe 2023). Le conseil mondial de l'énergie estime que cette énergie pourrait couvrir 10% de la demande mondiale de l'électricité, plus que l'éolien terrestre. La France métropolitaine aurait une capacité de 40 TWh, équivalent à la capacité de 4 réacteurs EPR. 5 systèmes ont été testés dans le monde, grandeur nature : **colonnes d'eau oscillantes** : l'eau agit en poussant de l'air comme un piston, agissant sur un convertisseur d'énergie, le « WEG » ; **systèmes à déferlement**, sur des rampes inclinées ; **chaîne flottante articulée** maintenue en surface par des câbles arrimés sous-marins ; **systèmes posés sur les fonds marins** actionnés par l'oscillation de l'eau en surface. Les inconvénients sont nombreux : résistance aux conditions météorologiques, corrosions par l'eau de mer, acceptabilité, coûts de production, de l'ordre de 200€/MWh, donc pas encore compétitif, ce qui n'empêche pas quelques pays d'exploiter cette ressource, par exemple le Portugal, déjà 10 ans de production. La France n'est pas à la traîne : une centrale houlomotrice systèmes posés devrait être installée cette année au large d'Audierne, Actuénergie 26/08/2022. 21 sites ont été sélectionnés en Bretagne pour tester le système déferlement, houlomoteurs bords de quai, sous la direction de CEREMA. Ifpen très conscient du potentiel de cette énergie a beaucoup travaillé sur les systèmes de contrôle de cette énergie, au moins deux fois lauréat de la WEC Control competition. « L'énergie houlomotrice va s'imposer en complément des énergies centralisées » (La Tribune, 2 mars 2023, article d'un expert).

**Hydroliennes marines**, courants marins : Le potentiel mondial des marées est estimé à 7800TWh dont 1200 accessibles (Ademe 2023). L'énergie cinétique des courants marins générant de l'électricité est une énergie 100% renouvelable, prévisible, fiable, continue, quasi invisible et ne gênant pas les pêcheurs. Mais son potentiel mondial ne serait que de l'ordre de 100GW, dont 5GW pour la France, pour une production mondiale de 450 TWh, selon Ifremer, (article Usine nouvelle : 18/08/2022). Abandonnée en 2019 faute de résultats en France et par de nombreux pays, des entreprises ont poursuivi leurs efforts et ont réussi : « L'hydrolien deviendra t'il énergie marine « made in France » ? ; question posée par ActuEnvironnement le 28 avril 2023 : l'entreprise Sabella a construit un démonstrateur près d'Ouessant avec succès, ravitaillant l'île en électricité et fournissant les excédents pour produire de l'hydrogène vert utilisé pour des déplacements locaux ; ce qui l'encourage à étudier la création d'une ferme pilote de 12,5 MW. De même, l'entreprise Hydroouest a conçu une hydrolienne très originale, testée dans le même Raz Blanchard, l'encourageant aussi à étudier la création d'une autre ferme de 17,5 MW et réfléchissant à se lancer dans la production des hydroliennes, améliorées, avec 80% de valeur ajoutée française ; (le Parisien : 18/08/2022). La France deviendrait un leader mondial de l'hydrolien marin, à condition de le faire entrer dans la nouvelle PPE ; l'Ecosse et le Canada ont eux aussi tester avec succès de nouvelles technologies.

**Thalassohermie** : ou ETM : Energie thermique des mers ou OTEC : Ocean Thermal Energy Conversion. Le potentiel thermique des océans est de 44.000TWh (Ademe 2023), qui augmente à cause de la hausse des températures sur le globe, bonne raison pour en profiter. Mais jusqu'à présent, les technologies, très diverses et au point, sont victimes de leur situation. Les pompes à chaleur exploitent la différence de température entre l'eau de surface chaude et l'eau des fonds marins plus froids. On distingue deux approches selon la profondeur : la profondeur de l'ordre de 900 à 1000 m. permet d'utiliser la différence de température avec l'eau de surface, 4°C au fond et 24°C en surface ; le principe est simple : l'eau chaude émet de la vapeur, grâce à un évaporateur sous vide, utilisée pour produire de l'électricité, l'eau froide se chargeant de la condensation, créant une eau dessalée. Ce système ne peut se développer que dans les territoires

intertropicaux, l'eau chaude de surface restant toute l'année : la Réunion devrait s'en équiper, comme toutes les îles françaises ; des projets sont en cours. La deuxième approche est le SWAC-Sea-Water-Air-Conditioning, ou CENF-

Climatisation Eau Naturellement Froide-, pour des installations près du littoral ; c'est un concept innovant de climatisation à base d'eau de mer profonde pour une température de l'ordre de 5°C : le principe est de faire passer cette eau dans un échangeur thermique avec de l'eau douce en cycle fermé, transférant le froid dans les bâtiments équipés ; l'eau de mer, devenue plus chaude est renvoyée au loin. Système très efficace ; ce système équipe déjà les îles de Bora-bora, Tahiti, Tetraoria depuis quelques années déjà, les seules au monde ; un projet serait lancé pour la Réunion. Les pompes à chaleur créant de la chaleur prise aux eaux proches du rivage existent déjà : Monaco a été l'un des premiers pays à les utiliser à partir de 1963 ; il en compte 80, organisées en boucle, représentant 20% de sa consommation énergétique ; il veut continuer notamment avec le système Swac pour la climatisation d'été, et se rapprocher de sa neutralité carbone 2050. Monaco n'est pas le seul à les utiliser sur les côtes méditerranéennes. Le 7 avril 2023 et inauguré le 11mai, Annecy a mis en production un système de 3 pompes à chaleur et de froid, sous le lac, utilisant la chaleur de l'eau du lac, constante à 7°C à 20m. de profondeur et la rejetant à 2°C en hiver ; le bilan énergétique est une division par trois en hiver, et par 15 en été ; ce système alimente un quartier de 550 logements, un hôtel, une maison de repos et bientôt une piscine ; une chaudière à gaz d'appoint assure la sécurité (le figaro du 11mai 2023). Cet exemple montre l'intérêt de ce potentiel concernant tout le long du littoral français, en priorité d'outre-mer, et de beaucoup d'autres pays.

**Energie osmotique marine** : cette énergie est le résultat d'un mouvement chimique des molécules créé par la différence de salinité entre eau douce et eau salée ; l'eau de mer est filtrée puis pressurisée dans un échangeur de pression ; l'eau douce, traverse une membrane, provoquant une surpression dans l'eau salée ; un tiers de cette eau est dirigé vers une turbine pour produire de l'électricité, les deux autres tiers retournent à l'échangeur de pression. Cette énergie est renouvelable, peu dépendante du climat, et permanente ; la production des membranes et son coût en sont les freins majeurs. Une version nouvelle est l'électrolyse inverse, grâce à la mise au point avec succès d'une membrane d'une épaisseur de 3 atomes, par des chercheurs de l'X ; 1m<sup>2</sup> serait capable de produire 1MWh (sourceID, l'InfoDurable, 10/02/2023). Aucune centrale n'est encore construite, mais son potentiel mondial n'est pas négligeable, 1700TWh. La « start-up » rennaise Sweet Energy est un acteur clef de l'énergie osmotique : en février 2022, elle a signé un partenariat avec la Compagnie Nationale du Rhône pour construire un pilote sur sa technologie INODr, programmé pour fin 2023, préparant le passage à l'échelle industrielle.

**Conclusion** : ne négligeons pas ces énergies naissantes ou renaissantes. Le potentiel marin est bien supérieur au potentiel terrestre, même sans la biomasse sous-marine, non traitée dans ce document, plus difficile d'accès, mais probablement bien indispensable. Le combat climatique a besoin de toutes les armes

Bruno Wiltz      comité énergie      02/06/2023