

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les énergies renouvelables

pour personnes de 9 à 119 ans

SOMMAIRE

Introduction

Chapitre 1 D'ABORD, ECONOMISONS L'ENERGIE

Chapitre 2 LES ENERGIES RENOUVELABLES INTERMITTENTES

1^{ère} partie ***L'éolien***
L'hydrolien

2^{ème} partie ***Le solaire***
Le solaire thermique
Le solaire photovoltaïque
Le solaire à concentration

3^{ème} partie ***Le stockage des énergies***
Diversité des stockages
Le stockage de la chaleur
La mobilité électrique
La mobilité à hydrogène

Chapitre 3 LES ENERGIES RENOUVELABLES PILOTABLES

1^{ère} partie ***L'hydroélectricité***

2^{ème} partie ***La géothermie***
Les types de géothermie
Géothermie et pompes à chaleur

3^{ème} partie ***La biomasse***
Le bois
Autres

4^{ème} partie ***La chaleur renouvelable***

5^{ème} partie ***Vers le tout électrique***

CONCLUSIONS : Quelle transition énergétique ?

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les énergies renouvelables

pour personnes de 9 à 119 ans

Introduction

L'énergie, c'est quoi ?

De quoi parle-t-on lorsqu'on évoque les énergies renouvelables ?

Les énergies renouvelables soulèvent un grand nombre de questions. Mais avant tout, pour comprendre ce petit document, il faut rappeler ce qu'est une énergie et pourquoi elle peut être renouvelable.

“En physique, l'énergie quantifie le changement. Dès que quelque chose change de forme, de position, de vitesse, de composition chimique ou atomique, rayonne, etc. il y a un transfert énergétique”.

Complicé ?

C'est normal, on va le dire autrement :

L'énergie, c'est un indicateur que quelque chose change.

On peut également dire que, dès qu'il y a eu un changement de quelque chose en autre chose, c'est qu'il y a eu un transfert d'énergie. Mais avant d'entrer dans le détail, rappelons qu'il existe plusieurs types d'énergies :

L'énergie primaire : c'est une forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Les principales énergies primaires sont : le soleil, le vent, les marées, l'eau en mouvement, les courants marins, la chaleur des sols et des sous-sols, les réactions chimiques des matières organiques vivantes, la méthanisation, la combustion, le charbon, le pétrole, le gaz naturel, la désintégration atomique...

L'énergie secondaire ou vecteur énergétique : Une telle énergie est considérée comme un « véhicule » entre l'énergie primaire et l'énergie finale.

(Ex : le pétrole qu'il faut transformer pour faire de l'essence. L'essence est bien un vecteur énergétique qui une fois dans le moteur lui permettra de fonctionner.)

L'énergie finale : C'est l'énergie au stade final de la chaîne de transformation, c'est-à-dire au stade de son utilisation par le consommateur final.

Ex : La voiture avance grâce au mouvement mécanique donné par l'explosion de l'essence dans les cylindres du moteur qui le fait tourner.

Le processus a donc été :

Transformer une énergie primaire : le pétrole en essence (vecteur énergétique).

Transformer l'essence en énergie mécanique donc en mouvement, c'est l'énergie finale (la voiture avance).

On a parlé d'énergie primaire, secondaire et finale, mais pas de renouvelable ?

On dit qu'une énergie est renouvelable si à notre échelle de temps, en l'utilisant, nous n'en diminuons pas la quantité initiale existante.

Exemple : Le vent, qui est issu de la rotation de la terre et des courants de convection dus au soleil à notre échelle est inépuisable. Lorsqu'il souffle, on peut donc récupérer son énergie par divers équipements indéfiniment. L'électricité produite par la force mécanique du vent sur les pales d'une éolienne est considérée comme une énergie renouvelable.

Par opposition :

Le pétrole qui provient de la décomposition d'organismes marins (principalement de plancton) accumulés dans des bassins sédimentaires, au fond des océans, des lacs et des deltas, est limité en quantité. Ce pétrole, à notre échelle, n'est donc pas renouvelable. On l'a nommé énergie fossile du fait de sa provenance.

Avant le début des années 1850 (début de l'ère préindustrielle), l'ensemble des civilisations de notre monde utilisait presque uniquement des équipements fonctionnant grâce aux énergies renouvelables utilisant le vent, le soleil, l'eau en mouvement et le feu. La seule autre énergie connue était l'énergie musculaire des animaux ou des humains ! On ne connaissait rien d'autre.

Tout change avec le début de l'ère industrielle.

Puis, lorsque l'on a découvert et commencé à utiliser les **énergies dites fossiles**, essentiellement le charbon dans un premier temps (la machine à vapeur) et le pétrole. Elles ont bouleversé notre façon d'être par leur très grand pouvoir énergétique.

Il a fallu toujours plus d'énergie, et sous toutes les formes. Elles ont permis de faire avancer les tracteurs, les voitures ou les camions mais aussi les trains, de faire voler des avions, de s'éclairer, faire fonctionner les moteurs électriques utilisés dans l'industrie, se chauffer et tellement d'autres choses aujourd'hui considérées comme indispensables..., comme de faire fonctionner notre Internet, nos ordinateurs, les centres de données (data center), nos téléphones portables, etc.

Mais, tout n'est pas si simple. Depuis les années 30 (loi Morizet), les problèmes de pollution sont bien connus. On sait que les énergies fossiles sont émettrices de particules et de gaz à effet de serre (GES) dont le fameux CO₂. Si dans les années 1950/60 on se préoccupait uniquement de nettoyer les façades parisiennes noircies par la suie des chauffages au bois et/ou au charbon, ou de s'inquiéter de l'émission des fumées noires s'échappant par les grandes cheminées de l'industrie ou même de la pollution des autos qui à l'époque n'étaient pas performantes et qui étaient surtout très consommatrices, on sait aussi depuis les années 1970, que les combustibles fossiles ne sont pas inépuisables. La Terre, étant une entité finie, ne pourra pas donner plus de pétrole, de gaz ou de charbon qu'elle n'en contient (rapport Meadows 1972 pour le club de Rome).

Évidemment, l'évolution de notre société et la croissance économique sont essentiellement dues à l'augmentation de la consommation des énergies qui, quelles qu'elles soient, génèrent beaucoup d'avantages. Mais alors que l'on est seulement dans les années 60/70, on parle déjà de pollution et de pénurie.

Dans ces mêmes années, pour des raisons d'indépendance énergétique, il a été décidé de doter la France à grande échelle de l'énergie électronucléaire. On y pensait depuis quelques années, mais cela s'est accéléré avec le premier choc pétrolier (1973) ainsi qu'en raison d'un montant du dollar très élevé par rapport au franc. Le dollar, à cette époque, est la seule devise pour le négoce du carburant pétrolier et du gaz.

Ce programme électronucléaire nous a permis de fortement limiter l'achat de pétrole et de charbon pour fabriquer notre électricité (plus de 70% de la production totale encore à ce jour), mais il a aussi permis, sans pour autant qu'on le recherche, de limiter très fortement les émissions de CO₂ de la France.

Le monde associatif, puis le monde politique s'inquiètent des données alarmistes fournies par certains chercheurs sur la pollution.

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), organisme qui a été créé pour étudier l'impact de l'activité humaine sur les changements climatiques, nous rappelle fréquemment les liens entre les émissions de CO₂ des énergies fossiles, sa concentration dans l'atmosphère et l'augmentation de la température moyenne mondiale.

La concentration moyenne de CO₂ qui était stable depuis des millénaires est passée de 280 ppm (ppm : parties par millions) au début des années 1850 (ère préindustrielle), à 410 ppm actuellement. Il a été décidé que c'était un vrai problème qu'il convenait de régler. Le choix a été fait de limiter fortement l'utilisation des énergies fossiles.

Leur épuisement inéluctable et l'augmentation des GES (gaz à effet de serre), dont le CO₂, ont amené les gouvernements de très nombreux pays à favoriser des producteurs d'énergies n'émettant pas ce type de pollution. C'est ainsi que de façon opportuniste des énergies renouvelables (EnR) se sont multipliées.

A ce point de notre développement, il importe d'apporter quelques précisions sur le changement climatique et l'émission de gaz à effet de serre. Beaucoup de militants écologistes tentent de culpabiliser leurs compatriotes sur cette question et réclament entre autres à cor et à cris la fin de la prospection pétrolière et celle de la fabrication de voitures thermiques.

Qu'en est-il de l'émission de CO₂ dans l'atmosphère dans le monde et en France ?

Le GIEC indique que l'ensemble des pays mondiaux ont émis en 2019 **43** milliards (Mdt) de tonnes de CO₂, (36,8 Mdt pour raisons anthropiques et 6 Mdt pour le changement de nature des sols), que la France en a émis : **441** millions de tonnes, soit : **1.025 %** du total mondial. (N'est pas compris toutefois le CO₂ issu des importations et celui des entreprises délocalisées, ce qui minimise de moitié notre véritable empreinte carbone).

RTE (BE 2019) indique que le CO₂ dû à l'électricité est de **22** millions de tonnes pour un productible total français de : 537,7 TWh

Donc, les émissions de CO₂ de **l'électricité** représentent : **4,98 %** du total CO₂ émis par la France.

Au niveau mondial, l'impact CO₂ de l'électricité française est donc de : 0,05 % Cela tient à ce que la production électrique française est peu émettrice de GES, car elle provient pour l'essentiel de l'énergie nucléaire et de l'hydroélectricité. C'est un sujet sur lequel nous reviendrons.

Mais si on regarde de plus près à l'échelle mondiale, on s'aperçoit que l'émission de CO₂ et de gaz polluants vient surtout de secteurs que généralement on remet peu en cause. Ainsi, à elles seules, 5 % des centrales électriques dans le monde sont responsables de 73 % des émissions de CO₂ liées à la production d'électricité (selon une étude de chercheurs de l'Université du Colorado, in *Transitions et Energies n° 10*). Elles se situent en Asie, en Inde, aux USA et en Europe centrale et du Nord.

De même, un autre secteur, celui des transports maritimes (2% des émissions mondiales de GES) :

Selon un article du Financial Times paru dans le « Courrier International » du 4 juillet 2019, « Le transport maritime est le poumon de l'économie mondiale : 90 % des échanges se font par la mer... Plus de **90 000 navires** ont sillonné les océans chaque année, **brûlant 2 milliards de barils de fuel lourd** (issu des déchets les plus sales de la distillation du pétrole brut).

... recrachent de grandes quantités de polluants, principalement sous forme de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote, et de particules au détriment de la santé des populations... 2 à 3 % de gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone ???...

... **les 200 plus gros navires produisent autant de dioxyde de soufre que l'ensemble des véhicules automobiles circulant dans le monde...**

De plus, l'énorme parc de machines (dans l'industrie, les BTP...) qui fonctionnent au fuel n'est pas étranger à cette pollution...

La question est de savoir si on peut se passer de tout cela et comment : actuellement, dans le monde, on consomme 10 milliards de tonnes de ressources fossiles. C'est ce qui permet d'atteindre, et de conserver, le niveau de vie que nous connaissons aujourd'hui.

Les énergies renouvelables sont-elles capables de les remplacer... ?

Les énergies renouvelables coûtent cher

Dans ce contexte, les pouvoirs publics ont décidé de recourir aux énergies renouvelables peu émettrices de CO₂ et surtout aux éoliennes et au solaire photovoltaïque, dont le handicap est l'intermittence et qui sont très onéreuses. La Cour des Comptes dans son rapport début 2018 nous expliquait que **121 milliards** avaient été engagés pour les énergies renouvelables censées faire baisser le CO₂ dans l'atmosphère.

Cela concerne les projets engagés avant le 1er janvier 2018. Si on rajoute les nouveaux projets d'EnR depuis 2017 non comptés dans le rapport de la Cour des Comptes, ainsi que les projets offshore, y compris les travaux de mise à niveau des réseaux 400 KV, 220 KV et autres... nécessaires aux EnR, on peut rajouter la même somme = **120 Mds**, soit un total de **240 milliards €** et dans ce cas, on passe à **8 000 € / foyer** (240 Mds / 30 millions de foyers).

Si la répartition se fait sur 20 ans, cela représentera une augmentation des factures Edf en moyenne de **400 € / an et par foyer**

Pour parer à cette intermittence, une des solutions retenues pour le stockage, impossible à grande échelle, est l'hydrogène, solution à très faible rendement énergétique et particulièrement coûteuse.

Cette solution qui a la faveur des promoteurs des énergies électriques intermittentes et de nos dirigeants, a l'inconvénient de multiplier par deux, voire trois le coût de l'énergie.

Comment comprendre que la France se soit lancée dans des dépenses si importantes alors qu'a priori, elle n'avait pas besoin de le faire ? Elle est l'un des pays les plus décarbonés au monde, de par la prépondérance de l'énergie nucléaire et de l'hydroélectricité.

Notre travail va consister à essayer de comprendre cette attitude paradoxale, à travers la description et l'examen de chacune des énergies renouvelables.

Dans quel cadre celles-ci se développent-elles ?

Les décisions gouvernementales ont été prises dans le cadre des recommandations du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) qui ont servi de base aux accords de Paris sur le Climat. Celui-ci a préconisé une transition énergétique bas carbone pour contenir le réchauffement climatique à 1,5°C. En France, la loi pour la transition énergétique et la croissance verte d'août 2015 a abouti à la PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Énergie) de 2020 qui vise à décarboner notre production d'énergie : baisser de moitié d'ici à 2050 notre consommation finale d'énergie et diversifier notre mix énergétique. Elle a introduit aussi une « feuille de route » pour atteindre cet objectif, la SNBC (Stratégie Nationale Bas Carbone).

La France a choisi par voie législative de réduire cependant la part du nucléaire dans le mix énergétique électrique à 50% dans les années 2030 (décision remise en cause au début de 2022, comme on le verra plus loin), et d'augmenter la part des énergies renouvelables d'une manière conséquente. Que peut-on en penser ?

Dans le présent travail d'investigation, il nous faut éviter le piège des jugements émotionnels, omniprésent dans le débat sur l'énergie : alors qu'on devrait s'en tenir au rationnel, il apparaît que la discussion est généralement biaisée par des a priori imposés par les milieux officiels et parfois relayés par les médias.

Ce que nous voulons, c'est enquêter sur ce qui existe en matière d'énergies renouvelables, et, bien sûr, nous assurer de leur fiabilité. Il s'agit d'être le plus concret possible, en ne perdant pas de vue trois objectifs essentiels et actuels de notre société : la lutte contre le réchauffement climatique et la reconquête de la biodiversité, l'artificialisation des sols, sans oublier les autres dimensions du développement durable (Objectifs 2030 de l'ONU).

Dans ce petit livre, seront abordés les vecteurs d'énergies renouvelables suivants :

L'éolien industriel et domestique

Le solaire photovoltaïque industriel et en autoconsommation

Le solaire thermique collectif et individuel

L'hydroélectricité et la micro-hydraulique

La géothermie profonde productrice d'électricité

La géothermie de proximité, pour le chauffage des logements et pour le collectif-tertiaire, dont les réseaux de chaleur et les boucles d'eau tempérée

La récupération d'énergie à partir du bois ou des déchets... (la biomasse),

et différents sujets qui y sont liés :

Le stockage de l'énergie

L'efficacité et la sobriété énergétique

La mobilité : est-elle renouvelable avec l'avènement de la voiture électrique ? et celui des véhicules et engins à hydrogène ?

C'est surtout d'électricité qu'il sera question et on verra pourquoi plus loin.

Et dans ce domaine, dans quels termes le problème se pose-t-il ? On nous rebat les oreilles d'« électricité 100 % verte ». C'est ce que nous promettent tel et tel fournisseur d'électricité, alors que le réseau de distribution ne peut fournir qu'une seule électricité qui est un « mix » dans lequel le poids de chaque source est variable.

Mais actuellement, ce sont surtout les énergies fossiles qui tiennent le haut du pavé : en France, 80 %, et surtout pour les transports.

Question : Pourrait-on les remplacer par des énergies renouvelables ?

Si en plus, il fallait aussi se passer du nucléaire, comment ferait-on ? C'est la quadrature du cercle.

Les énergies renouvelables, quelles sont-elles, et quels en sont les avantages et les inconvénients ? Elles seront abordées une par une, puis on tirera quelques conclusions qui ne pourront qu'être provisoires, puisque des avancées technologiques sont attendues pour certaines d'entre elles.

Pour illustrer notre propos, voici un extrait d'interview de Jean-Marc Jancovici expert en énergie et en prospective climatique :

« Un scénario « 100 % énergies renouvelables » est-il possible ?

Bien sûr que si, c'est possible. En l'an de grâce 1500, le monde était 100 % énergies renouvelables. Un monde « tout renouvelable » est du reste le seul que notre espèce ait connu entre son apparition, il y a 20 000 ans, et... le début de la révolution industrielle. Il n'y a donc aucun problème physique pour y retourner. Ce qui n'est pas possible, c'est d'y revenir avec 500 millions d'habitants en Europe, et 35 000 euros de PIB par personne et par an, et des retraites payées jusqu'à 85 ans.

La révolution industrielle, c'est avoir adjoint aux hommes, grâce aux énergies fossiles, la force toujours croissante d'un parc de machines toujours croissant, qui travaillent la matière à la place de nos bras et jambes, et qui désormais font tout à notre place...

Continuer à alimenter le même parc de machines surpuissant avec juste des énergies renouvelables, c'est cela qui ne sera pas possible. La traduction économique de l'affaire est un PIB par personne beaucoup plus petit... un monde 100 % ENR est un monde où le pouvoir d'achat a beaucoup diminué. Je ne dis pas qu'il ne faut pas le faire, je dis juste que c'est mentir que de le promettre sans contraction forte de la consommation. »

Extrait d'une interview de Jean-Marc Jancovici dans le Figaro, le 18.03.2020