



JPR-Focus no. 01/21 Rev. A

La newsletter de JPR Concepts & Innovation dans le nouveau format et toujours gratuite.

Publiée en trois langues - allemand, français, anglais - maintenant 3 à 4 fois par an.

Points de vue approfondis et holistiques sur les questions d'actualité.

Les textes de ce bulletin d'information peuvent être utilisés avec plaisir dans d'autres bulletins d'information et pages Web. Cependant, une référence au "JPR-Focus" en tant que source est nécessaire.

Chères lectrices, chers lecteurs,

Bienvenue dans ce premier numéro de 2021 du JPR-Focus, notre bulletin d'information dans son nouveau format.

Après une année 2020 quelque peu mouvementée, certaines questions bourdonnent dans les esprits comme : Que se passe-t-il après COVID-19 ? Que pouvons-nous en apprendre ? Que cela change-t-il pour moi ?

Ces questions ne concernent pas seulement le système de santé ou le système financier. Certaines idées reçues doivent également être revues et remises en question dans le système scolaire et la production alimentaire. C'est aussi particulièrement vrai pour l'approvisionnement en énergie, car l'esprit du temps va clairement dans le sens des énergies renouvelables.

Cet article essaie de décrire les possibilités et les potentiels des différentes sources d'énergie renouvelable.

Je vous souhaite une excellente lecture.

Bien cordialement
Jean-Pierre Rickli

Possibilités et potentiels des énergies renouvelables

1. Introduction

L'année 2020 a été passionnante et révélatrice. De nombreuses promesses, prédictions et affirmations se sont clairement révélées être des contes de fées.

Prenons d'abord le conte de l'économie mondiale. Les partisans de ce type d'économie ne se sont jamais lassés de vanter cette voie comme garante d'un approvisionnement mondial sécurisé en marchandises de toutes sortes. De la pure propagande ! Dès que la Chine a dû fermer ses frontières au début de l'année, le monde entier s'est inquiété de l'approvisionnement non seulement en produits finis, mais aussi de pratiquement tous les produits de base et primaires ainsi que des matières. Il s'est avéré que rien n'était produit dans le monde, mais que pratiquement tout venait directement ou indirectement de Chine. J'ai une idée différente d'un approvisionnement mondial sûr de tous les produits.

Cependant, la défaillance totale de cette chaîne d'approvisionnement nous a été épargnée. Non pas parce que d'autres voies d'approvisionnement ont été ouvertes, mais parce que le virus était arrivé chez nous et que notre industrie a été considérablement ralentie lorsque nous avons dû rester à la maison. C'est alors qu'a éclaté la vérité sur un deuxième conte : celui de la résilience de l'approvisionnement, [cela signifie que la capacité d'approvisionnement peut se rétablir rapidement après un événement et être à nouveau opérationnelle.](#)

Dès que quelques personnes aux culottes pleines ont-elles vidé les rayons de papier toilette, ces rayons sont restés vides pendant plusieurs semaines ou les ventes ont dû être rationnées de manière draconienne. Et ça, dans le monde entier ! Une expérience faite dans le domaine de la construction mécanique, de la production et ailleurs s'est confirmée : les machines, les usines et les processus hautement efficaces sont très sensibles ; le marché l'est aussi. Le mot "résilience", encore utilisé modérément en 2019, a fait son entrée dans le hit list en 2020. Cela confirme également une sage affirmation selon laquelle on parle de ce que l'on n'a pas.

Un autre mantra des économistes modernes s'est également avéré être une fable. A savoir, que le marché peut fournir une solution pour tout. Il suffit de lui faire confiance. Lorsque nous avons cherché des masques de protection, il n'y en avait pas. Maintenant que le pire est derrière nous et que certains masques de protection ont été progressivement livrés après d'importantes interventions gouvernementales, nous n'en avons plus vraiment besoin. Résultat ? L'obligation de les porter ! Il ne nous reste plus qu'à nous débarrasser de ces produits coûteux. Pendant ce temps, ces produits jetables contribuent également à la pollution de l'environnement et des océans.

Le conte de l'économie de marché a également été révélé. Le fait qu'il ne soit valable que dans une mesure limitée a été démontré par l'exemple des équipements de protection médicale. Partout en Europe, il y a pénurie de ces équipements et les marchandises destinées à la Suisse sont rapidement retenues à la douane ou confisquées, comme en Allemagne et en France. Des menaces d'interdiction d'exportation ont également été brandies pour des marchandises qui avaient été commandées et payées. C'est ainsi que fonctionne l'économie de marché en période de pénurie. Chacun doit se débrouiller tout seul. Il n'en va pas autrement pour les doses de vaccin.

Ces observations sont importantes pour l'approvisionnement en énergie. Les circonstances ont bien tourné pour celui-ci : la demande industrielle a fortement diminué et la demande supplémentaire du secteur privé a donc été facilement absorbée. Heureusement, il n'y a pas eu de pannes majeures dans les installations de production.

La situation des produits pétroliers et du gaz naturel a également été bonne. Il n'y a pas eu de pénurie : la demande a fortement diminué, l'hiver a été très doux et le différend entre pays producteurs a contribué à créer un énorme excédent de production par rapport à la consommation.

Cependant, la roue pourrait tourner et l'approvisionnement en énergie n'est en aucun cas à l'abri des situations d'urgence. Des cas tels que ceux décrits ci-dessus pourraient également se produire dans le secteur de l'approvisionnement énergétique.

La constatation que le marché ne fonctionne en fait que dans des situations d'abondance n'est pas la seule chose importante. **Ce n'est qu'alors que la condition indispensable à une transaction commerciale peut être remplie, à savoir la simultanéité. Cette condition est trop souvent ignorée dans les milieux d'affaires.** A ajouter que les frontières peuvent être fermées non seulement en cas de guerre et que les barrières douanières peuvent être abaissées et rester abaissées a été une expérience complètement nouvelle. Une telle chose en temps de paix ! A noter : la commande des disjoncteurs est encore plus facile que celle des barrières !

Les différentes interprétations de la définition des biens, qui sont importants pour la vie et font partie des besoins quotidiens, ont donné lieu à de nombreuses discussions et frustrations. Tout à coup, ce ne sont plus seulement les produits alimentaires qui ont été au centre de l'attention. De nouveaux produits étaient soudainement demandés et même indispensables, au plus tard lorsque les mères et les pères ont reçu l'ordre d'aller au "bureau à domicile" et les enfants à "l'école à domicile ou à distance". Soudain, le papier et les cartouches d'imprimante ont fait partie des produits d'usage quotidien. Le café, le combustible le plus important au bureau, a également donné lieu à des discussions. La vente des grains de café, en grains ou moulus, et des capsules était autorisée. Que se passait-il lorsque la machine tombait en panne ? Tout à coup, les appareils ménagers étaient aussi importants. Il en fut de même pour la nouvelle discipline familiale obligatoire : cuisiner. Les ustensiles de cuisine sont-ils aussi un bien essentiel ?

Il y a aussi eu une certaine surprise avec les services. Tout à coup, les mères, les pères et les enfants voulaient, devaient s'asseoir devant l'ordinateur et se battaient pour savoir qui avait le droit d'utiliser le seul ordinateur familial en premier. La raison principale en était que Madame la cheffe, Monsieur le chef, Madame l'enseignante ou Monsieur l'enseignant pensaient que chacun de leurs petits moutons devait être prêt pour l'appel à 8 ou à 9 heures. Si, exceptionnellement, suffisamment d'appareils étaient disponibles, on a rapidement appris qu'une tablette n'est pas aussi performante qu'un ordinateur portable, malgré les assurances du vendeur. Et là, où tout le monde pouvait ou était autorisé à s'asseoir devant son propre ordinateur, il y avait l'obstacle suivant : la capacité à haut débit de la connexion internet.

Pour l'alimentation électrique, comme mentionné ci-dessus, tout s'est bien passé. Le vieil adage s'est néanmoins confirmé : la chose la plus importante pour un ordinateur est la prise de courant. L'objection souvent formulée au sujet de la batterie tombe dès que le niveau de charge s'approche de zéro. Dans ce cas, vous avez également besoin de la prise de courant. Cela vaut également pour la machine à café, l'imprimante, le scanner et pratiquement (presque) tout ce qui se trouve dans le ménage. L'électricité est aussi devenue un bien important de l'usage quotidien !

L'objectif de cette analyse est de passer en revue la nature et les possibilités des énergies renouvelables afin de clarifier leur potentiel pour notre approvisionnement énergétique futur.

2. L'importance du courant électrique aujourd'hui

Comme nous l'avons vu plus haut, les besoins fondamentaux ont beaucoup évolué au fil du temps. L'électricité ne fait pas exception, bien au contraire.

Il y a cinquante ans, l'électricité était encore une affaire relativement simple. Lorsqu'il y avait une pénurie d'électricité, les gros consommateurs, comme les machines à laver, étaient simplement éteints aux heures de pointe. De cette façon, il y avait suffisamment d'électricité pour cuisiner. Les lave-vaisselles n'existaient que dans quelques endroits. La puissance des autres appareils ménagers était en moyenne 2 à 3 fois inférieure à celle d'aujourd'hui et le travail manuel était encore courant.

En cas de panne, chaque foyer disposait d'un jeu de bougies pour s'éclairer. Pour préparer l'eau chaude d'une soupe en sachet ou d'un thé, le réchaud à fondue rempli d'alcool à brûler suffisait. Pour les nouvelles, on avait la radio à transistors. Tout le monde n'avait pas encore de télévision - noir et blanc, bien entendu. Le téléphone était encore là pour téléphoner, généralement en cas d'urgence comme un décès, un accident ou une maladie et indépendant du réseau électrique. Pour les nouvelles heureuses comme les naissances ou les mariages, il y avait les lettres postales ; ces nouvelles n'étaient pas urgentes.

Aujourd'hui, tout cela est inimaginable. Les bougies et les réchauds à alcool ont été interdits pour des raisons de sécurité incendie. Tout est branché : radio, téléphone, télévision dans chaque pièce, ordinateur, routeur, réveil, imprimante, scanner. Les travaux manuels font également partie du passé. Tout est mécanisé et nécessite une prise de courant. Il n'est pas étonnant que la puissance domestique installée soit beaucoup plus élevée aujourd'hui ; 67% de plus qu'il y a 50 ans et malgré tout juste suffisant aujourd'hui.

Cela ne comprend même pas l'électricité nécessaire pour les serveurs, les services de cloud computing et autres.

Comme nous l'avons également découvert ce printemps, il n'y a pratiquement plus de potentiel d'économies. Les ménages n'ont pratiquement plus d'appareils présentant un potentiel important d'amélioration de l'efficacité. Une grande partie de l'électricité non consommée dans les bureaux, les écoles, les cantines et les restaurants l'a été dans les ménages en raison de la forte demande à la maison. La discipline nouvellement découverte de la cuisine familiale n'a pas non plus permis de réduire la consommation d'électricité à l'heure du repas de midi.

Dans les bureaux, le fonctionnement du serveur est resté comme le consommateur d'énergie gourmand.

En d'autres termes, en période de crise comme celle que nous traversons actuellement, il est clair que l'électricité n'est plus un simple confort (commodité), mais fait partie des nécessités de base de la vie. La seule question qui se pose est : dans quelle mesure ?

Ma première approche grossière pour répondre à cette question serait pour une famille de 4 personnes :

- 70 % de la puissance de raccordement des ménages devrait être disponible pendant la journée (12 heures). En cas de pénurie aiguë d'électricité, ces 70% pourraient être réduits à 55% et les 15% distribués aux heures du soir.

- 40 % de la charge connectée doit être disponible dans les trois heures du soir après le dîner. Si la puissance de jour est répartie sur les heures du soir, cette part atteindra également 55%.
- Pendant les heures restantes de la nuit, environ 20 % de la charge connectée devrait encore être disponible.

Cela signifie qu'environ 55% de la charge connectée pendant la journée jusqu'aux heures du soir et 20% pour la nuit devraient être considérés comme la demande de base quotidienne. Ces pourcentages devraient être disponibles en temps de crise, au moins pour une période prolongée de quelques mois. Les fournisseurs d'électricité doivent veiller à ce que cette puissance soit disponible. Cette demande de base ne devrait pas non plus être soumise aux fluctuations du marché libre. Il s'agirait d'une sorte de marché réglementé, qui garantirait une électricité abordable pour tous. La consommation dépassant cette demande de base serait alors achetée sur le marché libre et considérée comme une commodité.

Ce besoin privé fondamental doit également être assuré en temps de crise, même si nos pays voisins ont actionné le disjoncteur pour un certain temps. Ainsi, dans de telles circonstances, ce n'est pas seulement la demande industrielle qui est déterminante pour le degré d'autosuffisance.

Toutefois, cet approvisionnement minimal doit être assuré non seulement en temps de crise, mais aussi tout au long de l'année et même dans des conditions climatiques plus difficiles telles que le grand froid ou la grande chaleur.

3. A quoi sert l'énergie ?

Pendant des décennies, seuls les statisticiens et les spécialistes du marketing se sont occupés de ce sujet. En tant que consommateur, on n'avait guère à s'en préoccuper. L'énergie était bon marché, disponible pratiquement partout et ne dépendait pas de la source d'énergie, pour ainsi dire. La question principale n'était en fait que la puissance requise (W ou kW) lors de la mise en marche ou la quantité (kWh) lors du paiement. C'était le bon vieux temps des sources et des vecteurs fossiles. Les vecteurs d'énergie sont des substances ou des formes d'énergie qui n'existent pas à l'état naturel et qui ne peuvent être "fractionnées" directement. Ils nécessitent une transformation préalable.

Aujourd'hui, lorsqu'il s'agit de réduire les émissions de CO₂ et d'utiliser des sources d'énergie durables, ce n'est plus aussi simple. Les nouveaux vecteurs énergétiques et leurs sources ne sont plus polyvalents et ne sont pas disponibles partout et à tout moment. Comme nos besoins énergétiques sont également variés, il est de plus en plus nécessaire de combiner différents vecteurs ou sources.

Dans les discussions sur l'utilisation ou le gaspillage de l'énergie, deux termes très proches reviennent sans cesse : efficacité énergétique et rendement énergétique. Ils sont très souvent mis sur le même plan, ce qui entraîne aussi des malentendus.

Le rendement est plus technique et est quantifiable. Par exemple, il exprime la qualité de la conversion d'une certaine forme d'énergie en une autre. On parle du rendement d'une cellule photoélectrique, d'un moteur électrique, d'un moteur diesel, qui est souvent exprimé en pourcentage. Cela nous donne une mesure comparative pour ces agrégats ou combinaisons d'agrégats dans certaines conditions. Cependant, il ne faut pas comparer le rendement d'un moteur électrique avec

celui d'un moteur diesel, car la forme d'énergie d'entrée, bien qu'exprimée dans la même unité, n'est pas la même. Malheureusement, cela se fait bien trop souvent, même par de prétendus experts.

L'efficacité énergétique, en revanche, est un terme plus qualitatif. Il est utilisé lorsque différentes énergies sont en cause ou lorsqu'une évaluation quantitative n'est pas utile, pas possible ou trop complexe. Ce dernier cas se présente lorsque les consommateurs d'énergie sont éteints ou allumés, peut-être même plusieurs fois.

Connaître ses propres besoins aussi précisément et en détail que possible est donc une condition préalable pour trouver la combinaison optimale de sources d'énergie pour une application spécifique.

3.1 Chauffage des bâtiments

C'est l'un des besoins primordiaux de l'humanité : porter l'air intérieur à une agréable tiédeur de 20 à 23 °C pendant la période de froid.

Dans la grotte, le feu ouvert assurait cette tâche. La température ambiante souhaitée n'était pas atteinte. Mais au moins, on ne gelait pas et le feu faisait fuir les animaux sauvages indésirables.

Pendant très longtemps, le feu est resté la mesure de toutes choses, qu'il s'agisse d'un feu ouvert dans une cheminée ou enfermé dans un poêle de chauffage qui réchauffait ou simplement tempérant l'air ambiant. La technologie en matière de chauffage et de confort de vie est devenue de plus en plus performante. Le principe, cependant, est resté le même : on brûlait du bois et, beaucoup plus tard, du charbon. Ce principe est encore utilisé dans de nombreux endroits aujourd'hui.

Le principe du chauffage central a été inventé il y a environ 200 ans : Chauffer de l'eau par une source de chaleur centrale et la distribuer comme fluide caloporteur. Cependant, ce principe est resté longtemps réservé aux applications industrielles. Ce n'est qu'au milieu du siècle dernier qu'il a été largement utilisé pour le chauffage des bâtiments ; d'abord avec du charbon de chauffe, puis avec du mazout et enfin avec du gaz naturel.

Alors que les discussions sur l'efficacité énergétique se poursuivent, il apparaît de plus en plus clairement que chauffer de l'eau à une température de 40 à 80 °C avec une flamme de 2000 °C ou plus est en fait un pur gaspillage d'énergie. Bien que tout soit mesuré en kilowatts (kW), il existe des kW de plus grande valeur et d'autres de moindre valeur. Cela s'applique au type d'énergie mais aussi à son niveau de température. Si la température est élevée, le potentiel de travail de la source est également élevé. Si cette source est utilisée pour le chauffage direct d'un fluide à une température basse, le potentiel de travail n'est pas utilisé (augmentation pure de l'entropie). Les sources d'énergie ayant un potentiel de température élevé devraient être utilisées exclusivement pour les processus de travail et lorsque des températures élevées sont requises.

3.2 Eclairage

Il s'agit également d'un besoin particulièrement important pour les personnes. Le fait de disposer d'un éclairage dans les endroits sombres et les espaces clos apporte sécurité et confiance. Il permet également de réaliser des activités avant le lever ou après le coucher du soleil.

Dans les locaux professionnels, l'architecture moderne et le travail devant un écran d'ordinateur entraînent presque inévitablement un éclairage tout au long de la journée. Le soir, lorsque les bureaux sont vides, tout est sombre.

Aujourd'hui, l'éclairage joue également un rôle important sur les routes : dans les villes et les agglomérations ; principalement pour des raisons de sécurité.

Depuis des décennies, l'énergie est utilisée pour l'éclairage uniquement sous forme d'électricité. Cela ne devrait guère changer à l'avenir. Toutefois, nous devons l'utiliser avec un peu plus de parcimonie.

3.3 Appareils ménagers

Je vais maintenant traiter ce type de consommateur séparément, car il est très susceptible de changer. Il y a environ 60 ans, ils ne jouaient pratiquement aucun rôle en termes de consommation. Le gros consommateur était la cuisinière avec four intégré. C'était le seul appareil ménager qui consommait de l'électricité ou du gaz pour son fonctionnement. En outre, il y avait un réfrigérateur dans la cuisine, pas partout, qui, pour un ménage de 4 personnes, offrait de la place pour un litre de lait, 2 à 3 bouteilles de bière, de la crème, du beurre, un paquet d'œufs et la viande fraîchement achetée. Peut-être, dans les foyers très modernes, y avait-il encore un batteur à main de moins de 100 W de puissance.

Sinon, dans l'appartement, on trouvait un aspirateur, un fer à repasser, une radio et un téléviseur essentiellement noir et blanc. Ce dernier, bien que dévoreur d'électricité selon les normes d'aujourd'hui, était assez petit pour se loger facilement dans le meuble mural tant convoité à l'époque. Aujourd'hui, il remplace ce meuble. Les autres appareils étaient également beaucoup moins puissants que ceux d'aujourd'hui. Une machine à laver était généralement une affaire communautaire pour tous les appartements de la maison. Une machine séparée était réservée aux propriétaires de maisons individuelles. Selon la situation de l'approvisionnement, les machines à laver étaient arrêtées de manière centralisée à midi.

Aujourd'hui, on trouve encore les mêmes appareils dans les foyers ; ils sont très efficaces mais beaucoup plus puissants. Ils sont maintenant rejoints par des fours à micro-ondes, des congélateurs, des lave-vaisselles, des centrifugeuses, des mixeurs universels, des pétrins à pain et des deuxièmes ou troisièmes téléviseurs. Le lave-linge fait également partie de l'installation moderne de l'appartement, avec le séchoir (tumbler) pour former ce qu'on appelle une tour de lavage.

Les événements de ces derniers mois ont montré qu'il reste encore un grand potentiel d'augmentation de la puissance. Les ordinateurs portables et les tablettes d'aujourd'hui, peu exigeants, qui permettent de naviguer rapidement sur l'internet, se sont révélés totalement inadaptés. À l'avenir, il faudra s'attendre à la consommation d'énergie d'un ordinateur portable complet par membre du foyer, d'une imprimante/scanner/copieur multifonctionnel complet en commun et du routeur correspondant avec des connexions câblées pour la sécurité des données, du matin au soir. Bien entendu, la connexion à bande large doit pouvoir desservir tous les appareils simultanément.

Dans les bureaux, en revanche, l'évolution devrait être largement achevée en ce qui concerne la consommation d'électricité des appareils. La consommation dans ces lieux devrait avoir tendance à se stabiliser, voire à diminuer légèrement. Dans les écoles et autres établissements d'enseignement, en revanche, des changements importants pourraient encore avoir lieu.

3.4 Contrôle et commande des installations industrielles

La désindustrialisation progressive de la Suisse a entraîné une forte baisse de la consommation d'énergie de l'industrie au cours des dernières années. Les industries restantes ont amélioré leur

efficacité électrique à tel point qu'elles ont déjà apporté leur contribution à une moindre consommation.

Ces consommateurs se caractérisent par une tension de fonctionnement plus élevée que celle des appareils ménagers en raison de leur puissance installée plus importante.

Une autre caractéristique de ce type de consommateurs est leur demande en matière de haute qualité de l'énergie. Cela signifie des attentes élevées en termes de stabilité de la fréquence et de la tension. Cela inclut également une alimentation pratiquement ininterrompue et l'absence de fréquences harmoniques perturbatrices, qui sont souvent produites par les onduleurs. L'importance de répondre à ces exigences augmente avec la numérisation. Il ne s'agit pas d'une simple automatisation. Elle est déjà réalisée depuis longtemps. Nous parlons de la commande et de la régulation indépendantes et "intelligentes" des systèmes, ainsi que de leur intégration dans l'ensemble du processus de production et de leur coordination avec les autres machines.

3.5 Chaleur de processus et froid

De nombreuses industries ont besoin de chaleur ou de refroidissement pour leurs processus. En raison de leur grande diversité, il n'existe guère de dénominateur commun en termes de paramètres tels que le niveau de température, le rendement ou la puissance.

L'inconvénient de cette situation est qu'il n'existe pratiquement pas de solutions standard, tout au plus des similitudes. L'avantage est que les ingénieurs peuvent exercer leur créativité pour trouver des solutions spécifiques.

Ainsi par exemple, à quoi sert la chaleur industrielle et dans quelles industries ?

- Faire bouillir une solution aqueuse avec le matériau de base pour le dissoudre et le purifier ; par exemple, dans l'industrie du papier et du sucre.
- Porter à ébullition le produit préparé avant de le remplir dans l'industrie alimentaire (mise en conserve de fruits, de légumes, etc.).
- Chaleur pour la finition des produits, comme dans l'industrie du papier et de l'impression.
- Faire bouillir un mélange chimique dans une unité de distillation dans la distillerie d'alcool ou dans une usine chimique ou pétrochimique.
- Chauffage de produits ou de mélanges pour atteindre une température de réaction optimale dans l'industrie chimique et pétrochimique.
- Réchauffer des produits visqueux pour une meilleure transportabilité ou transformabilité dans de nombreuses industries.
- Et... et... et...

Bien entendu, de nombreuses industries ont besoin non seulement de chaleur, mais aussi de beaucoup de froid. L'énergie nécessaire à cet effet, principalement l'électricité, n'est certainement pas négligeable.

3.6 Mobilité

Sous le terme de mobilité, nous comprenons :

- La mobilité privée pour se rendre au travail avec des moyens de transport personnels ou pour les loisirs, y compris les achats.
- Les transports publics pour le trajet domicile-travail et les loisirs, y compris les achats.
- Le transport de marchandises.
- La mobilité professionnelle telle que les visites de clients, les rendez-vous chez le médecin, les missions de service sur le terrain pour les réparations, l'entretien, les missions d'urgence - pompiers, ambulance, police, malades, etc. - et pour des services tels que la distribution de lettres ou de colis.

La consommation d'énergie pour la mobilité est l'un des postes énergétiques les plus importants dans un pays. Cependant, la quantité exacte ne peut être lue directement dans les statistiques, car la mobilité n'est pas recensée comme décrite ci-dessus. Le secteur des transports comprend toutes les entreprises de transport et représente 37,5% de la consommation énergétique suisse. Il ne comprend pas les besoins de mobilité des secteurs privé et professionnel avec leurs propres moyens de transport.

Nous avons d'autre part la consommation de carburants avec 35,3% de la consommation totale. Ce chiffre comprend la mobilité privée et professionnelle, mais n'inclut pas les chemins de fer, les trolleybus et les systèmes de transport de montagne.

A partir de ces chiffres, nous pouvons dire avec une bonne certitude que la part de la mobilité dans la consommation totale d'énergie est d'environ 50%. Tendanciellement, probablement plus !

Il convient également de noter que la mobilité requiert des formes d'énergie de qualité supérieure - la force mécanique et l'électricité, qui ne sont disponibles que par un travail préalable. Elles se situent au sommet de la hiérarchie énergétique. Cela contraste avec la demande d'énergie pour le chauffage

des locaux, qui pourrait, et même, devrait être satisfaite par la chaleur résiduelle, dans une optique d'efficacité énergétique.

4. Caractéristiques des différentes sources d'énergie

4.1 Généralités

Tout d'abord, nous devons préciser ce que sont les énergies renouvelables. Certains diront : l'énergie solaire, car elle ne s'épuise jamais. Ces personnes se concentrent sur le photovoltaïque. Ce n'est pas tout à fait faux. Mais ce n'est pas tout à fait vrai non plus. Pourquoi ?

Regardons les choses d'un peu plus près :

- C'est exact car c'est principalement le rayonnement solaire qui permet au photovoltaïque de produire de l'électricité.
- C'est vrai, mais ce n'est qu'un exemple. Presque toutes les sources d'énergie sur terre proviennent en fait directement ou indirectement du soleil. Les courants dans l'atmosphère (vent) sont causés par le rayonnement solaire. Ce rayonnement solaire est également à

l'origine de l'évaporation des océans, du transport de l'humidité dans l'air et des précipitations, donc aussi des glaciers et des rivières. La biomasse stocke l'énergie solaire ainsi que toutes les énergies fossiles comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole, le lignite et la tourbe.

- Insuffisant, car l'énergie géothermique ne provient pas du soleil, mais de la désintégration de l'intérieur de la terre. L'énergie marémotrice ne provient pas non plus du soleil, mais de la lune.
- Ce n'est pas tout à fait exact, car le soleil sera lui aussi épuisé un jour. Par conséquent, toutes les sources d'énergie créées par l'énergie solaire s'épuiseront également. Tout comme la désintégration radioactive à l'intérieur de la Terre.

Si tout a une fin, qu'est-ce qui est renouvelable ? **En fait, tout est une question d'horizon temporel.** En première approche, on peut considérer que le renouvelable est atteint si les deux conditions suivantes sont réunies :

- L'énergie consommée est à nouveau disponible au même niveau au plus tard après deux générations.

et

- La source d'énergie est pratiquement entièrement disponible même après deux générations, après avoir pris en compte toutes les utilisations de cette source.

Avec la première condition, nous nous assurons que nos enfants et petits-enfants rencontrent à peu près les mêmes conditions que nous. Une autre observation est que certains types d'utilisation doivent être davantage différenciés. Les arbres sont généralement considérés comme une ressource renouvelable. Cependant, seules certaines espèces à croissance rapide remplissent la première condition. Pour de nombreuses autres espèces, le taux de croissance est plus faible. Par conséquent, le taux d'utilisation doit être adapté ou réduit.

La deuxième condition, à son tour, entraîne également des limitations, pour deux raisons principales. D'une part, même si la source est utilisée directement, l'énergie locale n'est disponible que dans une mesure limitée ou seulement à un certain degré. C'est le cas, par exemple, de certaines applications de l'énergie géothermique. En tant que source primaire, la géo énergie remplit la deuxième condition, **mais elle est localement plus ou moins importante**. Il faudrait soit adapter le taux d'utilisation en conséquence, soit prendre des mesures complémentaires.

D'autre part, il ne faut pas répéter une erreur qui a été commise à maintes reprises. Cette erreur consiste à ne considérer que le cas individuel. La consommation ou les émissions du cas individuel peuvent sembler faibles par rapport à la taille de la forêt source, du vent ou du soleil ou par rapport à l'atmosphère entière. Cependant, lorsque les cas individuels sont multipliés des millions de fois, cela peut devenir un problème. En effet, la forêt est limitée, tout comme l'atmosphère.

La forêt dans son ensemble n'est pas seulement disponible pour des cas individuels d'utilisation énergétique. Elle intéresse de nombreux autres acteurs, comme les personnes comme lieu de récréation, l'industrie du papier, l'industrie du bois, la construction et l'industrie du meuble. C'est aussi un lieu de retraite pour la nature. C'est également le cas du vent, qui soutient le grand cycle de l'eau - évaporation, transport, précipitations - ainsi que les courants océaniques. S'il y a trop d'éoliennes sur le chemin, le vent s'affaiblit, tout comme les courants marins, ou les précipitations diminuent. L'utilisation excessive de la biomasse à des fins énergétiques peut également déplacer la production alimentaire.

Nous devons donc réfléchir à nos priorités ainsi qu'à l'importance de la durabilité !

Maintenant que nous savons ce que l'on entend par énergies renouvelables, nous pouvons examiner de plus près une caractéristique commune importante de toutes ces énergies : leur densité énergétique relativement faible, du moins par rapport aux sources d'énergie non renouvelables ou fossiles. Même entre les énergies renouvelables, la densité énergétique varie considérablement.

Cet aspect est d'une grande importance pour l'évaluation du potentiel des énergies renouvelables. Malheureusement, il est perdu dans la simple considération habituelle des kilowatts. Cela a conduit à plusieurs reprises à des surprises désagréables, car les attentes n'étaient pas réalistes.

En outre, certaines sources d'énergie renouvelables sont quelque peu prévisibles, mais pas contrôlables. Par conséquent, elles ne sont pas nécessairement disponibles quand on en a besoin. Des mesures doivent donc être prises pour améliorer leur disponibilité en temps voulu.

Chaque source renouvelable est en fait unique, ce qui rend impossible de couvrir tous ces aspects de manière générale. Les chapitres suivants exposeront les éléments les plus importants à ce sujet.

4.2 Energie solaire

Commençons par l'énergie solaire. Nous entendons par là l'énergie obtenue directement à partir du rayonnement solaire. L'utilisation de l'énergie solaire pour répondre à nos besoins énergétiques peut être classée en trois catégories : photovoltaïque, solaire thermique et solaire concentré ([voir section 4.2.3](#)).

La principale caractéristique de cette énergie est qu'elle est disponible pour tous, mais pas de manière égale. Le fait que notre terre soit plus ou moins sphérique entraîne un rayonnement solaire différent selon la proximité des pôles ou de l'équateur. La rotation de la Terre autour de son propre axe polaire entraîne des jours et des nuits. L'inclinaison de la Terre sur son orbite entraîne des différences supplémentaires entre les moitiés sud et nord. En outre, l'orbite elliptique nous cause des différences saisonnières.

Enfin et surtout, le rayonnement solaire sur la Terre est influencé par la situation météorologique. En présence de nuages, l'irradiation est affaiblie, mais pas de manière égale pour toutes les fréquences lumineuses. Il ne faut pas non plus négliger les ombres projetées par les structures élevées telles que les montagnes, les arbres et les gratte-ciels.

Tout cela fait de l'énergie solaire une affaire très locale.

4.2.1 Le photovoltaïque

La technologie photovoltaïque convertit directement l'énergie du rayonnement solaire en électricité. Avec cette technologie, si tout se passe bien, environ 15 % de l'énergie solaire incidente sur les modules solaires peuvent être convertis en électricité aujourd'hui.

Cette valeur est une valeur issue de la pratique et n'a rien à voir avec les valeurs d'efficacité publiées. Ces dernières sont des valeurs mesurées en laboratoire dans des conditions de référence. Elles ne sont pratiquement jamais rencontrées en pratique. Comme les modules sont généralement fixés de manière rigide sur le toit, l'orientation par rapport au soleil sera très rarement optimale. La température de fonctionnement est également plusieurs fois supérieure à la température de

référence. En outre, les cellules solaires actuelles fonctionnent dans une plage de fréquences relativement étroite - bleu, violet, ultraviolet - et cette proportion dans la lumière du soleil varie selon l'heure de la journée. C'est également la gamme de fréquences qui est fortement bloquée par les nuages. Par conséquent, la production d'électricité de cette technologie tombe rapidement à zéro dès que le ciel est nuageux. Les cellules modernes fonctionnent dans une gamme de fréquences plus large, ce qui améliore leur efficacité globale.

Le gros handicap de l'énergie solaire est qu'elle est quelque peu prévisible - bulletin météo - mais pas directement contrôlable. Dans le cas des applications de refroidissement, la production d'électricité peut être plus ou moins adaptée à la consommation d'électricité. Cependant, pour d'autres applications, la production de la journée doit être stockée pour la consommation de la nuit. L'idéal est que le stockage soit également dimensionné pour pallier à quelques jours de mauvais temps.

A cet égard, le stockage via le réseau devient de moins en moins une option pour les consommateurs à mesure que la part des énergies renouvelables locales augmente. [Cela conduit à une augmentation du prix de l'énergie solaire.](#)

L'expérience pratique d'aujourd'hui montre qu'une installation photovoltaïque sur le toit d'une maison individuelle est suffisante pour les besoins en électricité du foyer lorsque :

- La maison est optimisée sur le plan énergétique,
- Les habitants font preuve d'une utilisation parcimonieuse et consciente de l'énergie.

Dans des conditions optimales, une part de la mobilité électrique peut même être fournie.

Dans le cas des grands immeubles d'habitation et de bureaux ainsi que des usines, une part substantielle de la consommation peut être couverte localement sur place par l'énergie photovoltaïque. Le reste, surtout en hiver et en cas de mauvais temps, devra être assuré par des centrales électriques : à partir du photovoltaïque ou d'autres sources d'énergie. Il convient de noter qu'à proximité de ces consommateurs, les terrains sont souvent rares ou ont déjà été revendiqués pour d'autres utilisations.

4.2.2 Le solaire thermique

L'énergie solaire thermique est également utilisée directement, mais pour la production d'eau chaude. Une large gamme de fréquences est utilisée à cet effet. Cette utilisation se fait par le biais de ce que l'on appelle des capteurs solaires.

Pour l'essentiel, ce qui est écrit à propos du photovoltaïque sur la disponibilité locale de l'énergie s'applique également au solaire thermique. Toutefois, le comportement d'utilisation est légèrement différent. Avec le solaire thermique, grâce à la large gamme de fréquences exploitée, une production de chaleur intéressante est possible même lorsque le ciel est nuageux. En outre, la production de chaleur réagit beaucoup plus lentement aux changements que la production d'électricité dans le photovoltaïque.

Selon l'endroit, le temps et la saison, l'eau chaude peut être utilisée à des températures permettant de chauffer l'eau sanitaire et l'eau de chauffage ou uniquement comme eau de circulation à température contrôlée pour le chauffage. Cela détermine également la taille du stockage d'eau chaude.

Le photovoltaïque et le solaire thermique ne se concurrencent que très peu. Une surface de toit relativement petite suffit à couvrir les besoins en chauffage des résidents. En contrepartie, la demande d'électricité pour le chauffage peut être considérablement réduite, ce qui compense largement la surface de toit abandonnée.

L'utilisation partielle de modules solaires hybrides permet également de produire de l'eau de chauffage en amont.

4.2.3 Le solaire concentré (CSP)

Nous avons vu plus haut que l'énergie solaire a une densité énergétique relativement faible. L'idée est donc venue de la concentrer afin d'en améliorer le rendement énergétique. Le principe est en fait simple : les rayons du soleil sont captés par des miroirs ou des lentilles et concentrés (**focalisés**) sur un point focal ou une ligne focale. Là, la chaleur des rayons concentrés est transférée à un fluide de transport ou de travail. De là, le fluide de transport achemine la chaleur vers un échangeur de chaleur, où de la vapeur est produite, laquelle alimente une machine de travail pour produire de l'électricité. Si la chaleur rayonnante au point focal est transférée directement à l'eau en tant que fluide de travail, la vapeur produite va directement à la machine de production.

Grâce à une technologie spéciale, les rayons concentrés frappent des cellules photovoltaïques spéciales à haut rendement, qui produisent de l'électricité de manière très efficace. Comme ces cellules doivent être refroidies, de la vapeur est également produite en parallèle, qui alimente une machine de travail pour produire de l'électricité.

Ces technologies sont très complexes et ne sont rentables, du moins pour l'instant, que pour les grandes installations comme les grandes centrales électriques dans les zones désertiques à fort rayonnement solaire et aussi près de l'équateur que possible.

Pour les pays d'Europe, cette technologie est de peu d'importance, sauf si l'électricité produite peut être transportée jusqu'à nous avec de faibles pertes.

4.3 L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est elle aussi inégalement répartie sur la terre : localement, dans le temps et en puissance. Puisque le vent n'est rien d'autre qu'un échange d'air froid et chaud ou entre des régions

de pressions atmosphériques différentes, on peut dire que l'énergie éolienne est de **l'énergie solaire** qui a reçu du travail et qui a donc une densité énergétique accrue.

La conversion de cette énergie en une forme utilisable est délicate. Le facteur décisif est la vitesse du vent. Si elle est faible, les roues tournent à peine et ne produisent pas beaucoup d'énergie. Si elle est trop élevée, il y a un sérieux problème de résistance et les pales du rotor sont mises en position pour offrir le moins de résistance possible au vent et ne produisent donc pas d'énergie. De cette façon, elles ne sont pas surchargées.

Pas seulement la vitesse est importante, mais aussi la régularité du courant. Celui-ci est fortement influencé par la surface de la terre. Sur la terre ferme, les collines, les hauts bâtiments ou les arbres créent des turbulences. Cela rend le courant du vent au travers des éoliennes irrégulier, ce qui a également un effet négatif sur la production d'électricité.

Ainsi, sur terre, les vastes plaines plates conviennent mieux que les paysages vallonnés. De même, la haute mer est très avantageuse, et encore plus, grâce aux vents réguliers et relativement forts.

Par conséquent, l'énergie éolienne dans l'espace alpin n'a de sens que sur des sites sélectionnés et, notamment pour des raisons d'accessibilité, le plus souvent pour des installations de petite taille. Il s'agit donc plutôt d'une application de niche. D'autant plus si l'on considère l'espace terrestre et aérien déjà fortement occupé. De nombreux sites potentiels pour l'énergie éolienne sont déjà en conflit avec d'autres utilisations telles que les réserves naturelles, le trafic aérien dans les couloirs d'approche et de décollage, etc.

Comme l'a montré le développement de ces dernières années, l'éolien est principalement envisagé pour les parcs éoliens en haute mer. Mais même là, bien que les océans du monde semblent infinis, il faut tenir compte des autres utilisateurs, comme la navigation. L'énergie éolienne est renouvelable, mais il reste à savoir si elle est durable. Avec l'expansion considérable des parcs éoliens en haute mer, les effets à long terme sur l'environnement ([marin](#)) restent à voir. Lorsqu'une telle quantité d'énergie est tirée des vents, les courants océaniques pourraient également être affectés. Les moulins à vent ne sont pas non plus particulièrement silencieux. La mesure dans laquelle ce bruit affecte la vie dans les profondeurs de l'océan n'a pas (encore) été étudiée.

Au niveau du sol, seules de très petites installations peuvent être envisagées.

4.4 L'énergie hydraulique

Il n'y a plus grand-chose à dire et à écrire sur l'hydroélectricité en Suisse et dans l'espace alpin. Ou bien ?

En fait, il y a encore beaucoup à dire par rapport à l'approvisionnement énergétique futur. La filière hydroélectrique est une forme indirecte d'énergie solaire. L'énergie solaire incidente évapore l'eau des grandes surfaces d'eau, l'air l'absorbe et la transporte plus loin avec les vents. Dès que l'air se refroidit, l'excès d'eau est expulsé et retombe sur terre sous forme de précipitations. Les ruisseaux et les rivières ramènent ensuite cette eau vers la mer. En haute altitude, où l'eau tombe sous forme de neige, elle est stockée et est à nouveau disponible lorsqu'elle fond. L'hydroélectricité est donc clairement renouvelable, tout au moins pour les prochaines décennies.

En gros, nous distinguons :

- Les centrales au fil de l'eau dont la production d'électricité dépend de la saison et du temps.
- Les centrales à accumulation dont la production peut être contrôlée et modifiée très rapidement. En outre, elles offrent une certaine capacité de stockage de l'énergie. Les centrales de pompage-turbinage sont un type particulier de centrales électriques. Elles permettent de stocker le surplus d'électricité produite afin de le rendre à nouveau disponible en cas de demande.

Quant à savoir si cette énergie est également durable, c'est une autre question. Prenons l'exemple de la Suisse pour expliquer cette remarque. Il est généralement admis qu'environ 96 à 98 % du potentiel de l'énergie hydraulique a été exploité. Nous constatons que la plupart des travaux effectués dans ce domaine visent à réduire l'impact négatif sur l'environnement - échelles à poissons, mesures de protection pour empêcher les poissons d'entrer dans le canal principal, augmentation du débit

résiduel, etc. - et tous ont tendance à entraîner une réduction de la production d'électricité. Il s'agit en fait d'essayer de rétablir une certaine durabilité.

Les nouveaux projets, même très petits, se heurtent à des obstacles presque insurmontables en raison de la conservation de la nature, de la protection des paysages et de la biodiversité.

Dans les pays où le potentiel d'utilisation n'est pas encore réalisé, les nouveaux projets sont fortement critiqués par la protection de l'environnement, notamment les projets à grande échelle. Cependant, les projets à petite échelle, notamment dans les régions éloignées, peuvent encore avoir un potentiel de développement, car l'interférence inévitable avec l'environnement naturel est assez faible.

4.5 La biomasse

Comme mentionné au chapitre 4.1, la biomasse est une énergie solaire stockée. La valeur énergétique de la biomasse, ainsi que sa capacité d'utilisation énergétique dépendent de nombreux facteurs :

- Les plantes vertes (herbes, légumes, etc.) et les parties vertes des plantes ou des arbres (feuilles, etc.) ont une valeur énergétique relativement faible en raison de leur forte teneur en eau. Leur transformation par compostage produit du méthane, un gaz à haute valeur énergétique. Cette utilisation est parfaitement logique. D'une part, elle permet de produire de l'humus et des engrais précieux, et d'autre part, le méthane est collecté et alimente un moteur pour produire de l'électricité. Le CO₂ produit est en fait celui qui est stocké dans la biomasse. Ce processus est donc presque neutre en ce qui concerne le CO₂.
- Les plantes ayant une plus grande teneur en matière sèche comme les céréales. À partir des grains, on peut produire des combustibles liquides ou gazeux. Le reste de la plante est ensuite utilisé comme combustible pour la production de chaleur industrielle. Cette voie s'est avérée non durable car elle entraîne une concurrence avec la nourriture. Soit la nourriture est affectée à la production de carburant, soit les terres agricoles sont utilisées pour la production de carburant au lieu de la production de nourriture. Dans les deux cas, des pénuries alimentaires ou de fortes augmentations des prix des aliments de base peuvent survenir.
- Plantes dont les graines contiennent de l'huile. Après un traitement approprié, l'huile contenue dans les graines devient du carburant. Le problème de cette solution est très similaire à celui de la précédente : la production de carburant déplace la production alimentaire ou encourage la déforestation. Ces deux effets secondaires sont indésirables.
- Les plantes ligneuses - les arbres - sont soit utilisées directement comme combustible pour la production d'énergie, soit comme matière première pour la production de produits énergétiques de plus grande valeur - torréfaction, carbonisation, gazéification, etc. Tant que la consommation est en phase avec la croissance du type de bois correspondant, cette solution est non seulement renouvelable mais aussi durable. Ces procédés sont également bien adaptés au recyclage des déchets de bois provenant d'autres utilisations.

4.6 L'énergie géothermique

L'énergie géothermique est un sujet à multiples facettes, dont le traitement détaillé dépasserait le cadre de cet article. Cette énergie provenant de l'intérieur de la terre est à notre disposition sous deux formes :

- Comme source d'énergie hydrothermique, soit à partir de réservoirs d'eau moyennement profonds pour le chauffage uniquement, soit à partir de sites profonds - environ 3000 mètres - pour lesquels, grâce aux températures plus élevées, l'utilisation pour la production d'électricité peut également être envisagée.
- Dans certaines régions particulières du globe, comme l'Islande, la chaleur géothermique sort à la surface sous forme de vapeur - saturée ou surchauffée - ce qui permet de l'utiliser principalement pour la production d'électricité, puis également pour le chauffage des bâtiments.

Vu sous cet angle, l'énergie géothermique ne connaît pas de fluctuations journalières ou saisonnières et est toujours disponible quand on en a besoin, à condition de ne pas la surutiliser.

4.7 Les formes mixtes

On parle souvent de la géothermie de sous-surface. Nous ne la classons pas ici parmi les sources d'énergie car, d'une part, elle nécessite d'abord du travail pour être utilisable et, d'autre part, elle a une composante saisonnière, c'est-à-dire qu'elle contient une composante solaire.

Il en va de même pour l'utilisation de la chaleur des réservoirs d'eau ou de la chaleur de l'air. Dans chaque cas, les pompes à chaleur fournissent le travail nécessaire pour rendre l'énergie utilisable.

Nous considérons également comme une forme mixte la production de chaleur des modules solaires hybrides ou des systèmes photovoltaïques concentrés. Dans ces cas, l'objectif est de dissiper ou d'utiliser cette énergie thermique, car elle est simplement une conséquence incontrôlée de l'utilisation primaire, à savoir la production d'électricité.

5. Les vecteurs énergétiques

Nous avons appris à comprendre les caractéristiques des énergies renouvelables dans le chapitre 4. Ce faisant, nous avons constaté que ce que notre environnement nous fournit comme énergie est loin de pouvoir répondre directement à tous nos besoins en termes de type d'énergie, de sa disponibilité temporelle et locale ou même de sa valeur, comme par exemple le niveau de température.

Pour cet équilibre entre les besoins et la disponibilité, il faut des vecteurs ou des transporteurs d'énergie. Certains d'entre eux nous sont déjà connus, mais il faudra peut-être les développer davantage. D'autres nous sont également connus en principe, de même que les technologies nécessaires. Cependant, il reste encore quelques étapes de développement à franchir avant de pouvoir les utiliser au quotidien. Il existe également de nombreux problèmes logistiques. Examinons-les de plus près.

5.1 L'électricité

La fin des combustibles fossiles est en passe d'arriver. Elle ne se produira peut-être pas aussi rapidement que certains le croient, l'espèrent ou le souhaitent. Mais elle viendra.

L'électricité, qui est déjà un facteur important aujourd'hui, va encore gagner en importance. La grande différence : elle ne sera plus produite principalement à partir de ressources fossiles - charbon, pétrole ou gaz - mais essentiellement grâce à l'énergie solaire et éolienne ainsi qu'à l'énergie hydraulique. Cette différence signifie que, puisque nous ne pouvons pas contrôler ces nouvelles formes d'énergie, ou du moins pas très bien, nous devons découpler la production d'électricité de sa consommation.

Que cela signifie-t-il concrètement ?

Si nous n'avons pas besoin de l'électricité immédiatement, nous devons la stocker. L'électricité étant une forme d'énergie de haute qualité, elle peut être utilisée de manière flexible et peut également être stockée de différentes manières. Certes, pas toujours avec la même efficacité et c'est bien là le gros problème, car toute transformation du type d'énergie s'accompagne de pertes. Celles-ci peuvent également être très élevées, du moins pour certains processus qui ont encore un grand potentiel de développement devant eux. C'est alors que l'on réalise ce que la nature a réalisé pour nous pendant des millions d'années avec les combustibles fossiles de haute valeur.

Possibilités de stockage de l'électricité :

- Les batteries : Le cycle de charge et de décharge a déjà un rendement relativement bon aujourd'hui. Cependant, elles sont relativement chères, consomment beaucoup de ressources de grande valeur et l'ensemble du processus de production est associé à la pollution de l'environnement. Leurs applications sont diverses et sont également utilisées pour le stockage de plus grandes capacités (jusqu'à 20-...50 MW).
- Les centrales de pompage/stockage bien connues : Elles ont également un rendement relativement bon. Elles sont adaptées au stockage de grandes quantités d'énergie.
- Les systèmes de stockage de l'air : En raison de leur efficacité relativement faible, ces systèmes n'ont pas pu s'imposer. Peut-être est-ce aussi en raison des applications choisies jusqu'à présent ?
- Les installations d'électrolyse : L'électricité est utilisée pour décomposer l'eau en hydrogène et en oxygène. Ces deux gaz peuvent ensuite être réutilisés dans une pile à combustible pour produire de l'électricité. Ils peuvent également être dirigés vers une usine chimique où ils sont combinés avec du CO₂ pour former un combustible gazeux ou liquide. Une telle solution serait très intéressante pour le stockage saisonnier. Cependant, il y a beaucoup de travail de développement à faire avant d'en arriver là.

5.2 Les vecteurs de biomasse

La biomasse est la source d'énergie de la vie. Elle fournit la nourriture à tous les êtres vivants, directement ou indirectement. Outre cette tâche principale, ce qui n'est pas nécessaire à l'alimentation peut être composté et rendu à la nature. Cela produit du méthane, qui peut être utilisé pour la production d'électricité et/ou de chaleur.

De plus, la biomasse peut être "raffinée" en tant que source d'énergie en vecteurs. Voici quelques exemples de ces raffinages :

- Les granulés (pellets) : La biomasse est séchée, finement broyée et comprimée en bâtonnets cylindriques. On obtient ainsi un combustible assez homogène avec de bonnes propriétés de combustion. Les pellets sont relativement faciles à transporter. Le stockage doit être sec, sinon les bâtonnets se désagrègent en une masse informe et difficile à manipuler.

- Matière ligneuse grillée (torréfiée), carbonisée ou gazéifiée : La pyrolyse partielle ou totale permet une augmentation du contenu énergétique, une réduction du volume et, en partie, une amélioration de la stockabilité. Ainsi, l'utilisation différée dans le temps devient plus facile qu'avec les granulés.
- Les biocarburants : La transestérification des huiles et graisses végétales permet de produire du biodiesel. D'autres procédés chimiques permettent de produire d'autres carburants comme le bioéthanol ou le biokérosène.

Bien qu'il existe une grande quantité de biomasse sur la planète, il ne faut pas oublier qu'une grande partie est déjà utilisée ou considérée comme importante pour notre vie et donc digne de protection. Ainsi, le potentiel de ces vecteurs est limité à l'utilisation de portions inutilisées provenant d'autres industries. L'usage de fractions de biomasse pouvant croître est concevable, à condition qu'il n'y ait pas d'autres utilisations prioritaires - alimentation, conservation de la nature, etc. - en jeu. Leur importance va donc fortement augmenter à l'avenir, même si elle restera loin derrière l'électricité.

Par conséquent, l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques est également soumise à une forte pression pour devenir plus efficace.

5.3 Les vecteurs gazeux et liquides

Actuellement, il existe les produits intermédiaires déjà mentionnés : l'hydrogène, le biogaz (méthane issu de la biomasse), le méthane issu d'un processus de méthanisation et le méthanol ainsi que l'éthanol.

Bien que le débat d'aujourd'hui suive encore le vieux schéma - un gagnant, tous les autres sont perdants - les solutions de niche ont plus de chances d'émerger. En effet, comme nous l'avons vu, la disponibilité des sources d'énergie renouvelables varie fortement au niveau local. Le choix du vecteur localement optimal le sera donc aussi.

Ces vecteurs apparaissent dans les processus industriels où le courant électrique joue un rôle central. Ils sont donc plus coûteux, car tout processus comporte des pertes. Ils présentent également des avantages par rapport à l'électricité. Ils sont plus faciles à transporter et, surtout, ils peuvent être stockés à un coût relativement faible. Ils sont donc très adaptés à un équilibre entre la production et la demande, même sur de longues périodes, et à une distribution fine dans des régions éloignées.

Les technologies permettant de générer ces vecteurs sont disponibles et sont déjà utilisées industriellement. Cependant, le potentiel d'amélioration reste considérable.

En parallèle, ou peut-être avec un léger décalage, des concepts de transport sur de plus longues distances, de stockage et aussi de distribution fine doivent également être développés. A partir de là, les infrastructures correspondantes pourront être construites. Cela prendra un certain temps.

6. Sources futures d'énergie

Jusqu'à présent, seules les sources d'énergie renouvelables connues et raisonnablement éprouvées ont été prises en compte. Cela a permis d'estimer à la fois leur potentiel de remplacement effectif et le temps et les efforts qui seraient nécessaires.

Il n'est certainement pas nécessaire d'avoir des dons de voyance pour se rendre compte que le voyage sera très difficile. Même la satisfaction des besoins fondamentaux sera un grand défi. Aucune possibilité de production ne peut être négligée et des mesures sévères seront également nécessaires du côté de la consommation. Nous devons donc chercher d'autres sources d'énergie.

Quelles sont celles dont nous disposons ? Quelles nouvelles formes d'énergie peuvent couvrir nos besoins sans produire de fortes émissions et sans nuire à l'environnement, tout en garantissant leur disponibilité sur plusieurs générations ?

Il n'en existe que deux formes, qui sont aujourd'hui considérées avec beaucoup de réserve ou de scepticisme :

- **L'énergie de fusion**
Il y a le mégaprojet bien connu ITER dans le sud de la France, qui montrera peut-être au milieu du siècle ce que cette voie peut vraiment nous offrir. Une option beaucoup moins connue mais beaucoup plus controversée est ce qu'on appelle la fusion froide ou la réaction nucléaire à basse énergie (LENR). À première vue, cela ressemble à de la charlatanerie. Cependant, comme il existe des résultats réels qui ne peuvent être entièrement expliqués, il serait judicieux d'examiner cette option sérieusement et sans préjugés.
- **L'énergie libre**
Nous parlons de l'énergie associée à Nikola Tesla, entre autres. Entre-temps, d'autres personnes ont obtenu des résultats avec elle. Il semble que nous ne comprenions pas cette forme d'énergie, similaire à la fusion froide, mais nous nous en approchons de plus en plus. Ici aussi, il est important d'aborder la question avec un esprit ouvert et de l'étudier sérieusement. Il se pourrait toutefois que non seulement l'approvisionnement en énergie, mais aussi les machines, les dispositifs et les appareils deviennent fondamentalement différents.

Les deux sujets - la fusion froide et l'énergie libre - ont un problème similaire : le manque de perspectives. Il est certes intéressant pour un chercheur de se consacrer à la fusion comme à ITER. Là-bas, des budgets de plusieurs milliards de dollars, la célébrité et un emploi (presque) sûr vous attendent. La recherche en eaux incertaines n'est sûrement pas aussi excitante.

Il n'est pas non plus intéressant pour les investisseurs de placer de l'argent dans quelque chose dont ils ne savent même pas si un modèle commercial peut en sortir, sans parler d'un retour sur l'argent investi.

Nous nous vantons souvent des réalisations de notre époque. Cependant, nous devons garder à l'esprit que, dans de nombreux cas, nous n'avons fait qu'utiliser les découvertes scientifiques de nombreux chercheurs antérieurs. Si ces chercheurs avaient eu un modèle économique en tête à l'époque, beaucoup de choses n'auraient pas vu le jour. Il est peut-être temps de revenir à une véritable science.

Cependant, il faudra encore un certain temps avant que nous soyons prêts avec ces nouvelles énergies ou au moins l'une d'entre elles. D'ici là, il nous reste les options suivantes :

- Continuer à utiliser l'énergie avec parcimonie
- Importer l'énergie

- Utiliser encore mieux l'énergie des déchets. De nombreux déchets que nous nous contentons de brûler aujourd'hui pourraient, par exemple, être transformés par pyrolyse en précieux produits de départ liquides ou gazeux pour les carburants et les combustibles.

Ce n'est ni un accident ni un oubli que l'énergie nucléaire basée sur la technologie de la fission soit absente de ce document. Dans certains pays, comme la Suisse, elle a été interdite par la loi. Sa réintroduction, ainsi que celle de variantes améliorées, ne serait concevable que des décennies plus tard. D'ici là, des alternatives devraient être disponibles sur le marché.

7. Conclusions

Les événements de 2020 nous ont montré que, d'une part, l'électricité est, dans une certaine mesure, un besoin fondamental non seulement pour l'industrie et la vie publique, mais aussi pour les ménages privés et, d'autre part, qu'un certain degré d'autosuffisance est essentiel en temps de crise.

L'abandon des sources d'énergie fossiles et, dans de nombreux pays, de la technologie de la fission nucléaire, est plus qu'un simple remplacement d'une source par une autre. C'est le remplacement d'une solution universelle par une variété de solutions spécialisées, avec leurs caractéristiques communes et spécifiques.

Voici les plus importantes :

- Leur densité énergétique, c'est-à-dire leur valeur énergétique par unité de masse ou de volume ou par surface nécessaire, est nettement inférieure à celle des sources fossiles.
- Elles sont pratiquement toutes soumises à un cycle diurne et à un cycle saisonnier qui, en outre, a des effets différents selon la latitude.
- L'énergie produite doit d'abord être convertie sur place en une forme d'énergie transportable, généralement de l'électricité.
- La production d'électricité correspondante a lieu, que celle-ci soit demandée ou non.
- Elles nécessitent de grandes surfaces de terrain. Ainsi, dans la plupart des pays, l'utilisation intensive est très souvent en concurrence directe avec d'autres applications et préoccupations telles que les loisirs, l'agriculture, l'industrie du bois, l'aviation, la conservation de la nature, etc.

Nous avons besoin d'énergie pour couvrir de nombreux besoins tels que la mobilité, le chauffage ou le refroidissement des locaux, l'éclairage, le fonctionnement d'appareils, de machines ou d'usines entières, ainsi que pour les processus de production qui nécessitent de la chaleur ou du froid. Les besoins sont divers et il en va de même pour les sources d'énergie.

La diversité des caractéristiques, mais aussi des besoins, fait que la satisfaction de nos besoins énergétiques devient plus complexe. Nous aurons de plus en plus recours à plusieurs sources pour cela et localement, dans des mesures très différentes. La solution à grande échelle, mais aussi la solution toute faite, ont fait leur temps. Vive la solution sur mesure.

En particulier là où l'on a le plus besoin d'énergie, les surfaces sont déjà fortement utilisées. Leur utilisation pour la production d'énergie est donc fortement limitée. Surtout, des utilisations multiples seront nécessaires. Les solutions de centrales électriques ne seront possibles que dans quelques cas. Il sera donc très difficile de couvrir la consommation d'énergie actuelle uniquement avec les énergies

renouvelables connues à ce jour ; il n'est même pas question d'une augmentation de la consommation. D'une part, nous devons repenser notre consommation d'énergie et rechercher de manière innovante de nouvelles sources d'énergie qui soient réellement en harmonie avec l'environnement.

Jean-Pierre Rickli

Faites participer vos amis et connaissances à ce bulletin. Il suffit de le faire suivre ou mieux laissez-les s'inscrire !

Les numéros antérieurs du JPR-Focus sont accessibles sous News/Archiv de notre site ou directement en cliquant ici : <http://www.jpr.ch/newsarchiv.cfm>

JPR Concepts & Innovation

J.-P. Rickli

Coaching - Gestion du savoir - Innovation - Energie

Höchstrasse 47

8610 Uster

Tél.: +41 (0) 44 9404642

Fax: +41 (0) 44 9404643

E-mail: jprickli@JPR.ch

Abonnement ou désabonnement : simplement par le site web www.JPR.ch ou par courriel à jprickli@JPR.ch