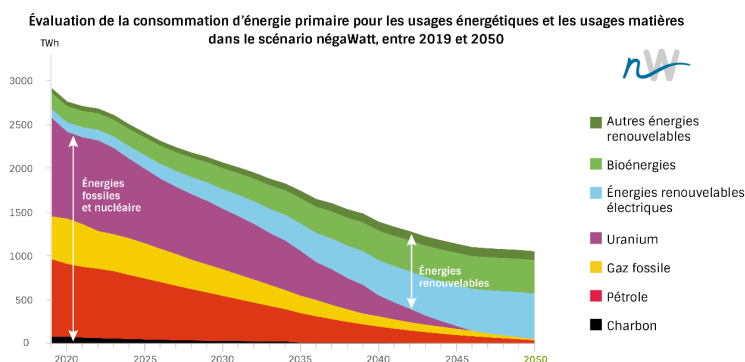


## Stocks finis vs flux infinis, l'énergie est politique.

### Un débat qui cache l'essentiel



L'association Négawatt affine depuis plus de vingt ans un scénario énergétique visant à sortir rapidement nos économies du carbone et du nucléaire en s'appuyant sur un très fort développement des énergies renouvelables, le développement de l'efficacité énergétique et surtout une politique de sobriété à marche rapide.

La version 2022<sup>1</sup> prend en compte de façon plus développée le volet matériaux (Négamat) sur lequel repose beaucoup d'outils de la transition espérée et s'appuie aussi sur le scénario agricole Afterres 2050<sup>2</sup> qui pourrait permettre que l'agriculture redevienne séquestratrice de carbone et nourricière sans poison. Ses hypothèses décrivent l'évolution possible (et souhaitable) des différents postes de consommation et filières de production en conciliant stratégie industrielle et transition écologique pour atteindre la neutralité carbone avant 2050. Un partenariat international pour un scénario européen est en développement à partir de l'agrégation des visions nationales. Les axes du scénario sont :

1. *Prioriser les besoins essentiels dans les usages individuels et collectifs de l'énergie par des actions de sobriété (réduire les gaspillages et emballages, l'étalement urbain, développer les alternatives à la voiture..)*
2. *Diminuer la quantité d'énergie nécessaire à la satisfaction d'un même besoin grâce à l'efficacité énergétique (isoler les bâtiments, améliorer le rendement des appareils et véhicules..)*
3. *Privilégier les énergies renouvelables pour leur faible impact sur l'environnement et leur caractère inépuisable. Ce sont des énergies de flux, par opposition aux énergies de stock, fondées sur des réserves finies de charbon, pétrole, gaz fossile et uranium.*

A l'heure où le nucléaire semble pousser à nouveau son "avantage", la principale critique régulièrement faite à Négawatt dénonce son "militantisme" pour une sortie du nucléaire, qualifiée de peu crédible par ses détracteurs.

La confrontation des "anti"<sup>3</sup>, et des "pro"<sup>4</sup> ne peut occulter une réflexion sur *l'indépendance énergétique de la France* qui n'est souvent pas vue comme un problème ( [5] p 123), mais aussi sur la question de la *nucléarité* [3] quand les plans social, environnemental et post-colonial n'y sont guère interrogés.

*"La nucléarité requiert des instruments et des données, des technologies et des infrastructures, des agences nationales et des organismes internationaux, des experts et des conférences, des revues et une visibilité médiatique. Quand la nucléarité est densément distribuée entre tous ces éléments, elle peut offrir le moyen de revendiquer une expertise, des indemnités, même la citoyenneté. Elle peut offrir une grille de lecture pour l'histoire, l'expérience et la mémoire. Quand certains éléments de ce réseau sont absents, quand ils sont faibles ou ne sont pas ou sont mal connectés les uns aux autres, la nucléarité est défaillante, elle s'estompe, voire disparaît totalement, et ne constitue plus une ressource pour les personnes qui réclament des réparations ou un traitement médical." [3] p 288.*

1. <https://negawatt.org/IMG/pdf/synthese-scenario-negawatt-2022.pdf>

2. de l'association Solagro : <https://afterres2050.solagro.org>

3. voir l'association <https://www.global-chance.org> ou [1]

4. Voir [5] qui balaye le concept d'énergie, son économie, puis la production et les principes et techniques du nucléaire.

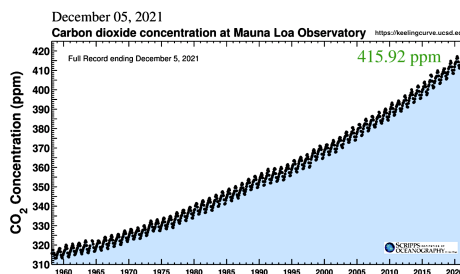
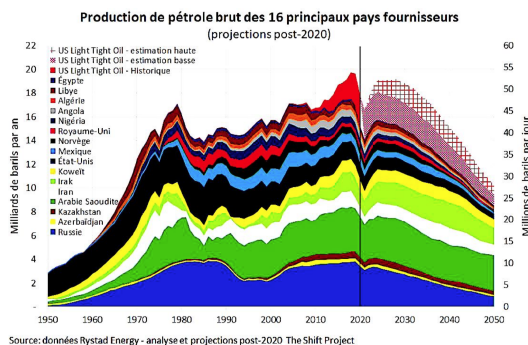
L'enquête très fouillée de Gabrielle Hecht souligne combien cette notion diffère d'un pays à l'autre selon les normes, les sociologies, les contraintes politiques, sociales et économiques, les contrôles ou leur absence ou plus banalement la corruption : elle pose ainsi le problème de la difficulté à établir des références communes et une mesure objective et transparente des tenants et aboutissants d'une filière qui ne brille par ailleurs pas par sa transparence.

Ne représentant que 10% de l'énergie électrique mondiale et moins de 4% de l'énergie totale, le nucléaire de troisième génération (actuel) ne peut prétendre résoudre le problème des émissions de CO<sub>2</sub> à l'échelle mondiale. Reste en France à éclairer vraiment un débat<sup>1</sup> entre une sortie rapide qui permettrait d'investir massivement dans les renouvelables et l'investissement dans le maintien des anciens réacteurs ou la fabrication de nouveaux. Sans occulter les questions du démantèlement et du stockage des déchets.

L'autre objection justifiant la poursuite (pour un temps seulement) du nucléaire accuse l'intermittence des énergies éolienne et photovoltaïque quand la production renouvelable ou les solutions de stockage (power to gas, STEP ou accumulateurs) sont encore insuffisantes<sup>2</sup>. Il y en aurait d'autres : l'efficacité ne serait pas si améliorable que ça, la sobriété serait trop exigeante et confinerait au malthusianisme, elle serait récessionniste et décroissante, incompatible avec le bien être, le progrès et le développement des économies « modernes » dans la croissance verte. etc.

Trancher ces débats nécessite distance, objectivité, technicité et temps pas toujours accordés par des médias friants de clash et souvent ignorants voire partisans ou en conflit d'intérêts, ou des décideurs empêtrés dans des a priori idéologiques inégalement objectivés. Il s'agit *in fine* bien de choix politiques basés sur un ensemble de considérations dépassant le domaine purement scientifique et dont l'appréciation dépend du point de vue et des intérêts en jeu : ce débat démocratique doit le plus possible être indépendant des lobbies de tous bords, surtout quand ceux-ci se drapent de l'objectivité scientifique comme le fait aujourd'hui le discours dominant, tendant à faire croire que l'abondance énergétique serait normale et sans impact alors qu'on se refuse à interroger les conséquences environnementales, sociales et géopolitiques de cette bulle énergétique qui "nous" englobe depuis cent ans. Il faudrait précisément définir ce qu'est une "énergie verte" quant l'Europe pourrait bientôt y inclure le nucléaire ou le gaz (!)... Si les 17 objectifs de développement durable<sup>3</sup> sont toujours d'actualité, on peut interroger un tel choix à l'instar du travail de G.Hecht -par exemple- et plus globalement, toujours dans cette veine, en étudiant ce que recouvre toute production d'énergie : de l'extraction ou fabrication de la ressource à l'utilisation et à ses rejets ou déchets, dans la structuration des cités, sociétés et politiques qu'elle induit ; dans les rythmes et temps de nos vies mêmes, dans la dépendance à un maillage d'interconnexions fragiles et invisibilisées par des productions lointaines et centralisées, jusqu'à la servitude numérique qu'elle impose par exemple en ce qui concerne l'énergie électrique [2] pour la gestion au plus près des productions et consommations d'énergies (smart grid). Il ne s'agirait pas alors de les remettre forcément en cause puisqu'elles sont là et bien utiles (tant qu'on en dispose et bien que l'impact n'en soit pas négligeable), mais de percevoir et d'éclairer ces dépendances et contraintes qui font notre sol énergétique et donc politique.

## Une philosophie des ressources



Il s'agit donc plutôt de souligner ici en quoi la philosophie et la politique qui découleraient du scénario Negawatt sont de loin les meilleurs choix sur le très long terme : les énergies fossiles (charbons et hydrocar-

1. Recommandations de la CNDP sur le nucléaire : <https://tinyurl.com/cndpnuc>
2. Eléments de réponses sur <https://decrypterlenergie.org> ou dans ce webinaire : <https://tinyurl.com/nwenr100>
3. <https://www.ecologie.gouv.fr/ODD>

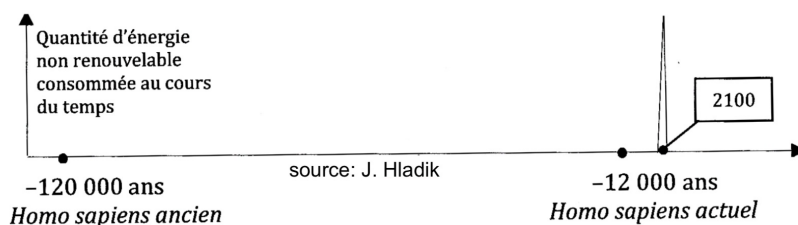
bures) ou fissiles (uranium  $^{235}_{92}U$ ) dépendent des stocks finis<sup>4</sup>, appelés à disparaître ou à rester dans le sol afin d'atténuer puis stopper nos émissions de GES (pour les hydrocarbures). Depuis plus de cent vingt ans, nos guerres sont celles de l'énergie : territoires convoités, populations menacées, exploitées ou déplacées, extinction de biodiversité, océans pollués et finalement, comme une apothéose après 40 ans de dissimulation, un bouleversement climatique définitivement engagé. L'extractivisme forcené est bien une catastrophe dont les émissions de GES et autres pollutions sont les stigmates qui nous condamnent à changer ou à avoir de gros problèmes de survie voire à disparaître. C'est assez documenté.

Aussi, en l'état actuel des techniques maîtrisées, seules les énergies de flux que sont donc les énergies renouvelables sont *éternellement* disponibles. Mais elles s'accompagnent nécessairement d'une sobriété énergétique à laquelle on n'est plus habitué et qui si elle n'est donc pas inaccessible (on vivait ainsi avant 1950) reste assez exigeante face à nos habitudes. Cette sobriété fait peur car nous sommes en effet depuis 80 ans (ou à peine plus) prisonniers, comme en distorsion cognitive, dans une bulle d'ébriété énergétique qui nous fait croire qu'il est normal par exemple de transporter 80 kg d'humain sur 2 km avec l'énergie de 300 *esclaves énergétiques*<sup>1</sup> là où un vélo fait l'affaire depuis longtemps, ce que nos grand parents avaient intégré... avant de pouvoir s'acheter une voiture.

Avec une volonté politique internationale soutenant leur développement et la recherche d'efficacité, accompagnée d'une vraie remise à plat de nos usages vers la sobriété, ces énergies renouvelables sont rapidement développables dans tous les pays y compris les plus "démunis", avec un avantage de maîtrise locale indéniabile, une véritable indépendance et une résilience réelle face aux fluctuations des prix de l'énergie qu'elles soient d'origines économiques ou géopolitiques. Elles sont l'investissement technologique qui n'aura pas d'obsolescence associée à la ressource et nourriront une culture pérenne de la production d'énergie plutôt qu'un cimetière d'éléphants blancs ou radioactifs. «*Le flux c'est la paix, les stocks c'est la guerre*» était une formule qui me faisait envie pour conclure mais elle est trop simple même si elle est aussi vraie : ces changements politiques et sociaux imposent une révision du partage et de l'usage pour accompagner la sobriété. Et c'est bien plutôt pour ça que ça frotte.

Si négawatt n'a pas forcément toutes les réponses, son scénario précise de plus en plus le potentiel réel des renouvelables accompagnées de sobriété et donne en définitive ce seul cap dont la philosophie qui devrait tous nous habiter soit adaptée aux urgences :

- Développer une politique énergétique à très long terme susceptible de catalyser la paix plutôt que la compétition belliqueuse aux ressources finies et localisées.
- Remettre ainsi l'économie et les humains en intelligence avec la planète qui reçoit du soleil son énergie (solaire, éolienne, biomasse et indirectement géothermie) pour quelques milliards d'années encore. Une énergie infinie qu'il suffit d'apprendre à recueillir avec intelligence et économie sur les moyens -forcément limités- à utiliser.



L'humanité aura dévoré en moins de 200 ans la quasi intégralité du stock d'énergie non renouvelable qu'elle a pu capter avec sa technologie (du moment) en déséquilibrant le système climatique pour des siècles. La fête des stocks n'aura pas duré mais nous avons les moyens d'en sortir en préservant l'essentiel des progrès sociaux et démocratiques dans l'histoire, à condition de renoncer à la compétition puisque nous sommes embarqués sur le même navire...

## Complément physique : qu'est-ce que l'énergie ?

Ce complément ne prétend pas traiter de toutes les sources d'énergies<sup>2</sup> mais plutôt permettre d'appréhender rapidement et de façon accessible ce concept physique issu d'interactions interdisciplinaires [6] .

4. La quatrième génération des "sur-générateurs" à neutrons rapides susceptible de fabriquer plus de matière fissile (Plutonium) qu'ils n'en consomment ou des réacteurs à sels fondus au Thorium n'ayant pour l'instant pas abouti.

1. une voiture développe environ 100 kW et un sportif 300 W

2. Lire [4] ou : <https://www.connaissancedesenergies.org>

L'énergie est une grandeur physique contenue et échangée dans et par la matière. Son origine, sa disponibilité et ses transferts sont donc liés aux ressources finies ou aux flux infinis disponibles dans notre environnement. Tirer profit des unes ou des autres nous conduit donc dans des contextes, comportements et horizons géopolitiques voire philosophiques très différents, comme on le voit autour de la question des hydrocarbures - stocks finis inégalement accessibles- qui sont la cause de nos principaux conflits armés depuis 150 ans. L'énergie est stock ou transfert.

*Stock* : Deux axes permettant une représentation accessible du concept sont la vitesse (liée à l'énergie cinétique) et la position (liée à l'énergie potentielle) des objets ou particules aux échelles micro et macroscopiques.

*Transfert* : travail, chaleur et rayonnement sont les modes d'échanges.

**Stocks et transferts** : Lors d'une combustion, d'une réaction nucléaire, de l'effet photovoltaïque dans un panneau solaire ou de la mise en mouvement d'une éolienne, la matière stocke ou échange une grandeur extensive<sup>1</sup> appelée *énergie*.

**Energie et puissance** : L'énergie se mesure en joule ( $J$  ou  $W \times s$ ), en watt  $\times$  heure ( $Wh$ ), en calorie ( $cal$ ) ou en tonne équivalent pétrole ( $tep$ ).

Son transfert  $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_{finale} - \mathcal{E}_{initiale}$  de durée  $\Delta t = t_{final} - t_{initial}$  se faisant plus ou moins vite, on introduit la puissance  $P$  mesurant la rapidité de ce transfert en watt ( $W$ ) : Un appareil de puissance 100 W consomme 100 Wh par heure ou 100 J par seconde.

$$P = \frac{\Delta\mathcal{E}}{\Delta t} \text{ ou } \Delta\mathcal{E} = P \times \Delta t \text{ donc : } 1J = 1 W \times 1 s \text{ et } 1W = 1J/s$$

### L'énergie stockée : vitesse et position / macro et microscopique

Pour se le représenter, on peut considérer le stockage selon deux grandeurs *position*  $\vec{r}$  et *vitesse*  $\vec{v}$  : du fait des positions relatives des particules du système étudié, ou du fait de leurs vitesses, mettant en jeu respectivement l'énergie potentielle  $\mathcal{E}_p$  et l'énergie cinétique  $\mathcal{E}_c$  associées. Cette considération opère au niveau microscopique (atomes, molécules) ou macroscopique (échelle humaine ou plus grande). L'énergie totale est la somme de l'énergie mécanique et de l'énergie interne :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m + \mathcal{U}_{int}$$

A l'échelle de "gros" objets, l'énergie stockée est appelée énergie mécanique  $\mathcal{E}_m$ , somme des :

- énergie cinétique  $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$  dissipée par exemple lors du freinage d'un objet de masse  $m$  et de vitesse  $v$
- énergie potentielle : de pesanteur  $\mathcal{E}_{pp} = mgh$ , perdue par un objet de masse  $m$  qui tombe d'une hauteur  $h$  dans un champ de pesanteur  $g$  ou énergie potentielle élastique  $\mathcal{E}_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$  pour un ressort de raideur  $k$  étiré ou compressé d'une longueur  $x$ .

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$$

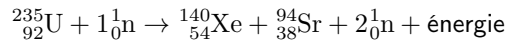
A l'échelle microscopique, on fait la même lecture selon les positions ( $\mathcal{E}_p$ ) et vitesses ( $\mathcal{E}_c$ ) des particules, c'est l'énergie interne  $\mathcal{U}_{int}$  somme des énergies cinétiques microscopiques (agitation thermique) et énergies potentielles (chimique ou nucléaire).

Comme dans le cas macroscopique, le terme *cinétique* renvoie toujours à une énergie liée à la vitesse du système ou de ses éléments, le terme *potentielle* à la position des particules du système :

- $\mathcal{E}_{p_{chimique}}$  : les atomes dans les molécules changent de "place" et de liaisons lors des réactions. Par exemple la combustion du méthane  $CH_4$  (gaz naturel ou biogaz) dans le dioxygène produisant eau et dioxyde de carbone :  $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$  dégage l'énergie correspondant à la différence entre les énergies de liaisons entre les atomes des molécules produites et celle des atomes des molécules consommées : Les atomes recombinaés ont perdu de l'énergie sous forme de chaleur.

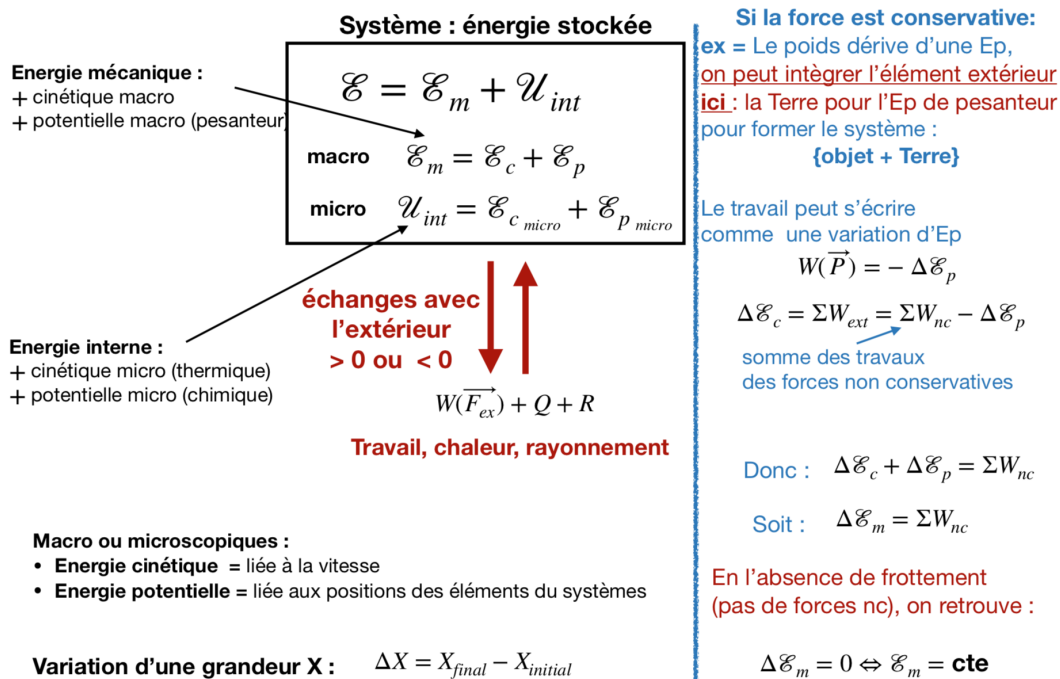
1. qui s'additionne. Contrairement aux grandeurs intensives qui ne s'additionnent pas comme la température ou la pression.

- $\mathcal{E}_{p_{\text{nucléaire}}}$  : les nucléons<sup>2</sup> des noyaux s'assemblent (fusion) ou se séparent (fission). Par exemple la réaction nucléaire type revient à la fission d'un atome d'uranium par des neutrons "lents" dégageant 2 neutrons et de la chaleur  $Q$  qui correspond pour un atome à la variation d'énergie  $\Delta\mathcal{E}$  égale au produit de la perte de masse  $\Delta m$  (infime) observée par le carré de la vitesse de la lumière  $c$  :  $\Delta\mathcal{E} = \Delta m \times c^2$ .



Les neutrons produits provoqueront à leur tour la fission de deux autres noyaux, entraînant une réaction en chaîne : 2, 4, 8, 16, 32, ..<sup>2n</sup> neutrons sont produits et engagent autant de réactions, dégageant un flux exponentiel d'énergie. (1 kg d'uranium  ${}^{235}_{92}\text{U}$  libère  $83 \cdot 10^{12}\text{J}$  soit 83 TJ/kg quand la combustion d'un kilogramme de fioul ne libère que 43 MJ/kg). Pour contrôler la fission, on abaisse dans le cœur du réacteur des barres qui capturent les neutrons excédentaires et régulent ainsi le flux d'énergie. Les déchets produits par les centrales sont radioactifs et nécessitent un stockage de longue durée en piscine pour refroidir puis dans des sites sécurisés.

## Transferts d'énergie







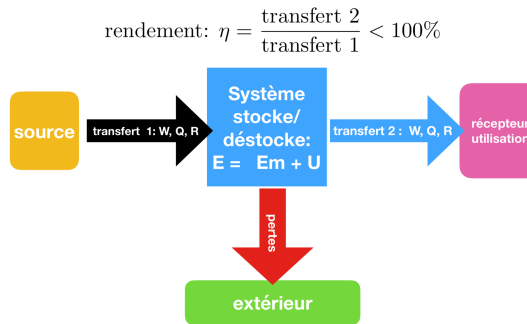
Lors de toute transformation, le système considéré (convertisseur ou objet) échange (stocke ou déstocke) de l'énergie sous forme de trois types de grandeurs :

- Le travail<sup>1</sup>  $W_d(\vec{F})$  fourni lors d'un déplacement  $d$  par l'action ou la résistance d'une force  $\vec{F}$  qui participe (motrice) ou s'oppose (résistante, frottements..) à ce déplacement.
- La chaleur  $Q$  (échange d'énergie cinétique microscopique par conduction ou convection : respectivement sans et avec transport de matière).
- Et le rayonnement  $R$  (lumineux visible ou pas).

2. Rappelons qu'un atome est formé d'un noyau formé de  $A$  nucléons :  $Z$  protons (chargés positivement) et  $N = A - Z$  neutrons (neutres et de masse quasi égale à celle du proton). Autour du noyau gravitent  $Z$  électrons chargés négativement assurant ainsi la neutralité de l'édifice. Ici on s'occupe seulement du noyau de symbole  $X$ , noté alors  ${}^A_Z X$  : par exemple l'uranium fissile  ${}^{235}_{92}\text{U}$  représentant 0,5% de l'uranium disponible dans le minerai contient 92 protons et 143 neutrons. Les isotopes appartiennent au même élément. L'isotope majoritaire de l'uranium terrestre est  ${}^{238}_{92}\text{U}$ .

1. Voir [6] où François Vatin expose l'émergence de ce concept dans la convergence des intérêts industriels et économiques des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècle et en quoi ce fut là une notion initiatrice de la formalisation puis de l'unification du concept d'énergie en physique. Le travail est une *monnaie* énergétique dont la valeur et le signe sont fixés par l'homme selon l'intérêt qu'il y voit (moteur / résistant). Son couplage avec l'économie est manifeste. (cf. texte "Historique-énergie" autour de l'interfécondation des disciplines économie et physique)

La matière	stocke	ou échange	de l'énergie
Pétrole + oxygène	énergie chimique	chaleur et lumière émises lors d'une combustion	
Uranium + neutrons	énergie nucléaire	chaleur et rayonnement émis lors d'une fission	
Air en mouvement (vent)	énergie cinétique	travail mécanique: mise en mouvement d'une éolienne	
Electrons dans condensateur	énergie potentielle électrique	travail électrique: transformable en lumière, chaleur, mouvement	



**Bilan d'échanges** : On peut donc schématiser tout bilan d'énergie pour un système par le diagramme représentant le transfert d'une source au système siège d'une production vers l'utilisation. Il se fait toujours avec des pertes présentant donc un rendement  $\eta = \frac{\text{produit reçu}}{\text{produit}} < 1$  (ou 100 %).

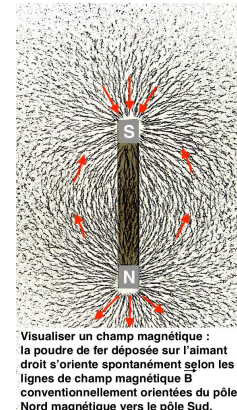
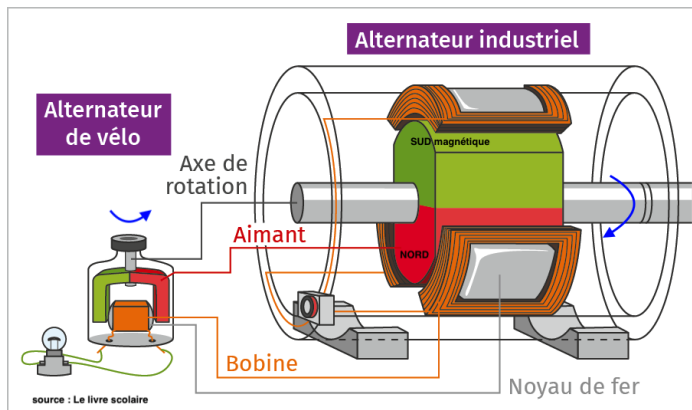
Ainsi, plus on multiplie les transformations de rendement  $\eta < 1$  (nucléaire  $\rightarrow$  électrique  $\rightarrow$  réseau  $\rightarrow$  batteries  $\rightarrow$  moteur  $\rightarrow$  voiture), plus le rendement baisse puisque les rendements  $\eta_i < 1$  :

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \dots \ll 1$$

On voit là le problème que pose la multiplication des conversions, les pertes devenant importante si l'on multiplie les transferts (par exemple :  $60\% \times 40\% = 24\%$ ) . On remarquera aussi que les rendements qualifiés de "faibles" pour certaines énergies renouvelables<sup>1</sup> n'ont pas exactement le même impact que dans le cas des énergies à stocks bientôt épuisées alors qu'on parle d'une énergie infiniment disponible (soleil, vent, géothermie) même si leurs fabrication et démantèlement consomment matière et énergie. Investir dans ces énergies et améliorer leur efficacité est réellement un placement durable jamais menacé de pénurie.

## La production d'électricité

Se libérer des énergies fossiles oblige à se tourner vers la biomasse et vers l'électricité renouvelable qui n'est pas un *stock* disponible comme l'essence ou le charbon. L'électricité est un transfert par déplacement de charges électriques sous l'effet d'une *force* électromotrice -ou tension électrique- en volt (V) (générateur, pile, photopile, dynamo) donc ici un travail  $W_{\text{électrique}}$  (force  $\times$  déplacement), uniquement disponible au moment de sa production. On distingue deux méthodes :



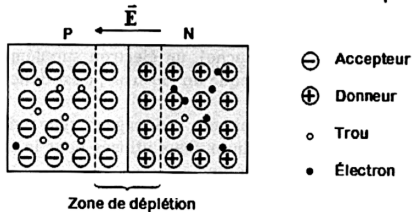
Le rotor entraîné par la turbine (mue par l'eau, l'air ou la vapeur) portant un aimant fait varier les lignes de champ  $\vec{B}$  à travers la bobine (stator). S'inversant à chaque tour, ces variations de flux magnétique induisent un courant alternatif dans les fils enroulés.

**Turbines et alternateurs** : L'essentiel de la production électrique (centrales thermiques à énergies nucléaire ou fossile, barrages, éoliennes et hydroliennes) provient du phénomène physique d'*induction électromagnétique*. Un flux d'air (éolienne) d'eau (barrage) ou de vapeur (centrale thermique, géothermique ou

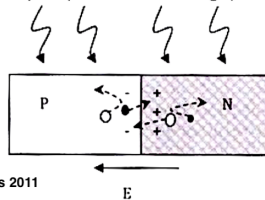
1. impactées en fait par leur facteur de charge : une éolienne ne restituera ainsi que 25% de sa puissance du fait des aléas du vent qui l'empêchent de tourner en permanence.

solaire à concentration<sup>1</sup>) entraîne une turbine (un moulin) reliée à un alternateur mettant en rotation un aimant (ou un électro-aimant<sup>2</sup>). Michael Faraday a montré en 1831 que les variations du flux de champ magnétique  $\vec{B}$  à proximité d'un conducteur (bobine de fil de cuivre) dues à la rotation de l'aimant (ou électro-aimant) y induisaient un courant électrique. L'alternateur (industriel ou de bicyclette) réalise cette conversion d'énergie mécanique en énergie électrique avec un rendement potentiellement très proche de 100 % ( $\eta \simeq 1$ ).

Une jonction de type p-n s'obtient par la mise en contact de deux blocs d'un même matériau semi-conducteur : l'un dopé p et l'autre dopé n.



**effet photoélectrique** : les photons incidents génèrent des paires électron/trou qui s'animent selon le champ E (selon leur charge) créant un photo-courant.



source J. Hladik .  
Les énergies renouvelables - Ellipses 2011

**Cellules photovoltaïques** : Un autre phénomène physique utilisé pour générer de l'électricité à partir de lumière se produit dans les panneaux solaires à effet photo-voltaïque où des jonctions entre matériaux semi-conducteurs (jonction PN : deux pièces de silicium dopées respectivement en éléments accepteurs et donneurs d'électrons) deviennent conducteurs sous l'effet de la lumière à partir d'un certain seuil d'éclairement aux longueurs d'ondes (couleur visible ou non) adaptées, puis sous l'effet de la polarisation de la jonction PN, se crée un photo-courant qui débite dans un circuit extérieur (utilisation) convertissant ainsi l'énergie radiative  $R$  en énergie électrique ( $W_{\text{électrique}}$ ) avec un rendement de l'ordre de 25% ( $\eta \simeq 0,25$ ).

**Nécessité du stockage** : Puisque c'est un transfert, l'électricité ne peut être stockée mais seulement échangée au moment de sa production ou transformée sous une forme stockable lorsqu'elle n'est pas immédiatement utilisée (lors de forte production sans consommation instantanée). Ceci pose problème pour les productions électriques renouvelables qui sont dites "non pilotables" telles que le photovoltaïque ou l'éolien (dépendant du soleil ou du vent). Mais celles-ci restent prévisibles, stockables, et leur foisonnement temporel et géographique permet de répondre à ce problème moyennant de les développer à la hauteur des enjeux que sont l'épuisement des ressources (uranium compris) et le climat. Stockages :

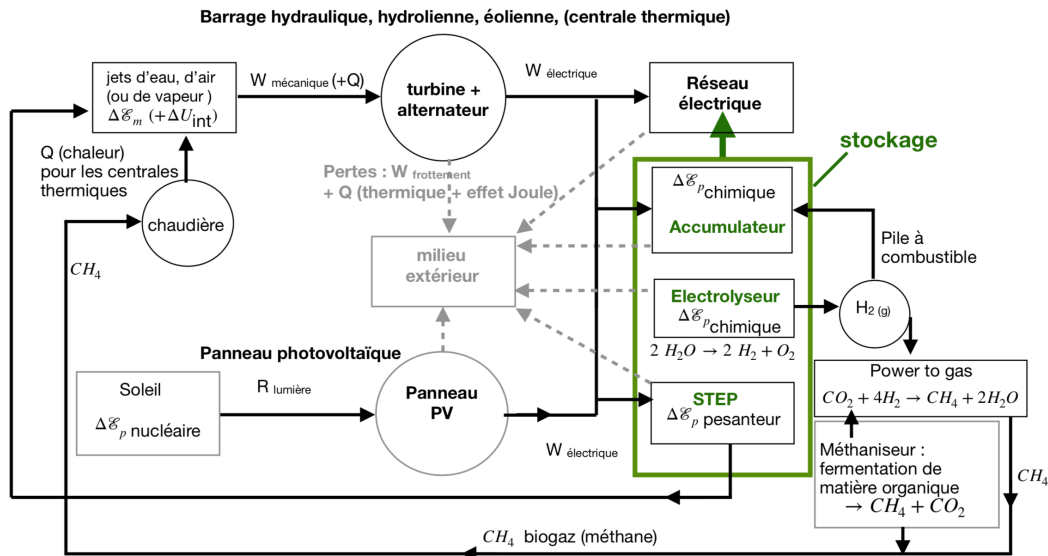
- d'énergie potentielle de pesanteur de l'eau lors d'un pompage d'un lac inférieur vers un lac supérieur (STEP : Stations de Transfert d'Energie par Pompage).
- d'énergie potentielle chimique dans une batterie (lithium) ou dans une pile à combustible par électrolyse de l'eau (dihydrogène  $H_2$ ).
- d'énergie cinétique dans un volant d'inertie. etc..
- d'énergie potentielle chimique par méthanation (power to gas) : formation de méthane  $CH_4$  par la réaction de Paul Sabatier entre  $CO_2$  issue de méthanisation ou autre industrie émettrice et le dihydrogène issu d'électrolyse.

**Transition** : Si la "transition"<sup>1</sup> implique un volet sobriété non négligeable et fait la part belle à l'électricité, il ne faut pas oublier le réel potentiel de la biomasse dont la flexibilité, la capacité à séquestrer le  $CO_2$ , la facilité d'emploi potentiellement "lowtech" (plus accessible selon les régions) et la disponibilité locale

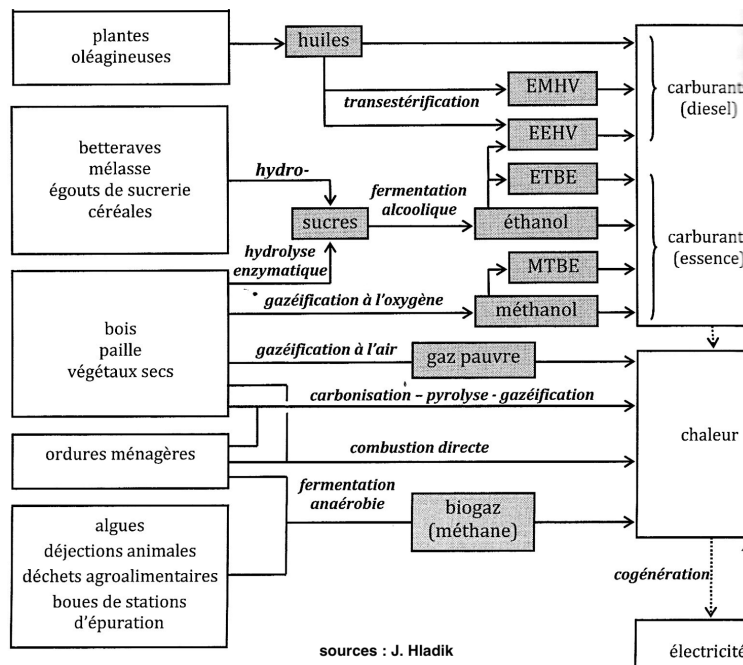
1. où des miroirs focalisent les rayons lumineux sur un fluide caloporteur qui stocke l'énergie thermique dans un réservoir relié à un générateur de vapeur dont le flux fera tourner la turbine.

2. Le passage du courant dans une bobine crée un champ magnétique faisant d'elle un électro-aimant

1. dont il faudra prouver qu'elle est possible puisque jusqu'à aujourd'hui on n'a fait qu'ajouter les sources sans retirer les anciennes (charbon → pétrole → gaz ..)



permettent de préserver les métaux et la technologie dont est gourmande l'électricité renouvelable tout en rendant les territoires (notamment agricoles) plus résilients et autonomes en énergie. Ce malgré la concurrence que représente l'impératif de préserver la mission alimentaire des terres agricoles, la préservation des forêts et de la biodiversité. Cette piste reste peu mise en valeur par nos dirigeants malgré son potentiel et un savoir faire en développement.



Ressources de la biomasse

## Références

- [1] Benjamin DESSUS et Bernard LAPONCHE. *En finir avec le nucléaire*. Seuil, 2011.
- [2] Gérard DUBEY et Alain GRAS. *La servitude électrique*. Anthropocène -Seuil, 2021.

- [3] Gabrielle HECHT. *Uranium africain, une histoire globale*. UH-Seuil, 2016.
- [4] Jean HLADIK. *Les énergies renouvelables, aujourd'hui et demain*. Ellipses, 2011.
- [5] Gilbert NAUDET et Paul REUSS. *Energie, électricité et nucléaire*. INSTN-EDP sciences, 2008.
- [6] François VATIN. *Le travail, économie et physique. 1780-1830*. Puf, 1993.