

2021

D'où vient l'électricité que j'utilise ?

Qui est vert ?

Selon l'Agence Internationale de l'énergie, **33% des émissions de CO₂** liées à l'utilisation d'énergie en Europe sont attribuables à l'utilisation du réseau électrique. La production d'électricité contribue significativement au réchauffement climatique et une transition énergétique rapide du réseau électrique est nécessaire. Pour ce faire, il est proposé aux consommateurs d'agir en optant pour de **l'électricité de source renouvelable** via notamment des offres d'électricité vertes.

Au sein du marché intérieur de l'énergie¹ regroupant les pays membres de l'Espace économique européen, ces offres sont encadrées par la directive 2018/2001. L'outil phare de ce mécanisme de traçabilité de l'énergie est **la garantie d'origine**. Il s'agit d'un document électronique permettant de faire l'équivalence entre l'électricité injectée et l'électricité soutirée au réseau. Il octroie **un droit exclusif de revendication de l'origine de l'énergie utilisée** et évite ainsi le double comptage. Sa vocation est de valoriser une énergie respectueuse de l'environnement et d'inciter à son développement.

Depuis sa mise en place, ce mécanisme a souffert de nombreuses critiques. Celles-ci, plus ou moins recevables, ont engendrées un discrédit envers ce mécanisme ayant pour effet de ralentir la progression de la demande et de pénaliser la transition énergétique.

Une grande part des idées reçues découle de **la difficulté de compréhension** ou de la mécompréhension des concepts physiques liés à l'emploi d'un réseau électrique. Il est donc logique que des raisonnements erronés aient émergés du fait de l'incompréhension de ce qui est offert par le marché de l'électricité.

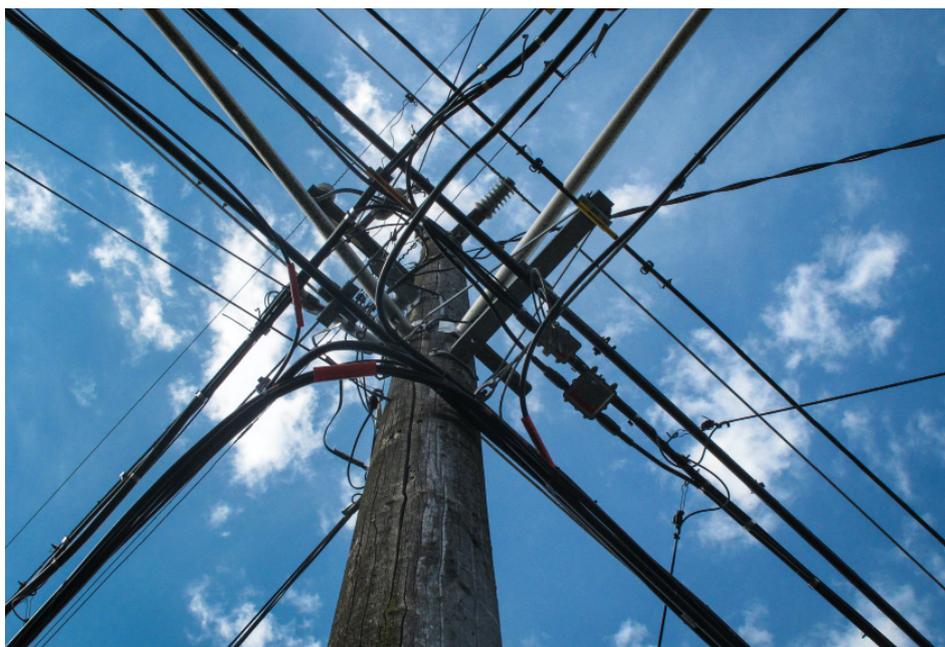
Le principal obstacle à la compréhension de ces phénomènes tient à ce que la réalité juridique du marché se superpose à la

¹: [Parlement Européen ; « Marché intérieur de l'énergie », 2020](#)

réalité physique du système électrique. Or, ces deux ensembles ne coïncident pas : **ils ne reposent pas intrinsèquement sur des logiques comparables**. Le réseau électrique est régi par des lois physiques alors que le système marchand est régi par des conventions et des textes juridiques, qui simplifie grossièrement la réalité physique.

Le sujet est technique **d'un point de vue physique et juridique**. Il nous a paru nécessaire de joindre les efforts d'experts de ces différents domaines afin de produire un document pédagogique à l'usage de décideurs politiques et également pour servir les organisations publiques et privées dont les premières concernées, les grandes entreprises cherchent des solutions pour contribuer positivement à la transition énergétique.

Les connaissances apportées ont pour vocation d'aider les lecteurs à mettre de côté leurs idées reçues en apportant **plus de transparence sur des notions clés**, de convaincre des bienfaits d'un mécanisme de consommation volontaire d'électricité renouvelable et enfin d'apporter un regard critique pertinent sur les améliorations possibles.



Que dit la physique ? 04

Distinction entre signal électrique (vitesse très rapide) et charge électrique (vitesse très lente) ? 05

L'effet joule et autres effets générant des pertes. 07

Courant continu versus courant alternatif. 10

Les lois de kirchhoff : que signifie le fait que l'électricité suit le chemin de moindre résistance ? 15

Infrastructure : la construction d'un réseau électrique européen. 17

Le métier des gestionnaires de réseau. 21

Comment l'électricité circule-t-elle dans le réseau ? 24

Que dit le droit ? 26

Le marché de l'électricité est constitué de conventions : la responsabilité d'équilibre et la garantie d'origine. 28

Outre les garanties d'origine, quelles sont les notions juridiques liées au traçage légal de l'électricité ? 36

Attention : certaines notions ne garantissent ni le traçage légal, ni le traçage physique de l'électricité. 43

Conclusion 49

Partie I



Que dit **la physique**



On ne consomme pas de l'électricité !

On utilise de l'énergie électrique dont la mesure est assurée par un compteur et dont l'unité d'usage est le kilowatt-heure (kWh). Pour mieux comprendre, il est nécessaire de faire quelques rappels de physique essentiels et souvent amenés lors de débats.

DISTINCTION ENTRE SIGNAL ÉLECTRIQUE (VITESSE TRÈS RAPIDE) ET CHARGE ÉLECTRIQUE (VITESSE TRÈS LENTE).

L'électricité est souvent définie par le déplacement des charges électriques dans les matériaux conducteurs tels que le cuivre ou l'aluminium et seules les charges négatives, les électrons, se déplacent. Or **leur vitesse moyenne de déplacement est très faible** (les électrons s'agitent en permanence et ils subissent beaucoup de collisions qui les ralentissent). Cette vitesse moyenne dépend de l'intensité du courant électrique qui est mesuré en ampère (A). Ainsi dans un fil de cuivre de 1 mm^2 , sans courant, cette vitesse moyenne est nulle.

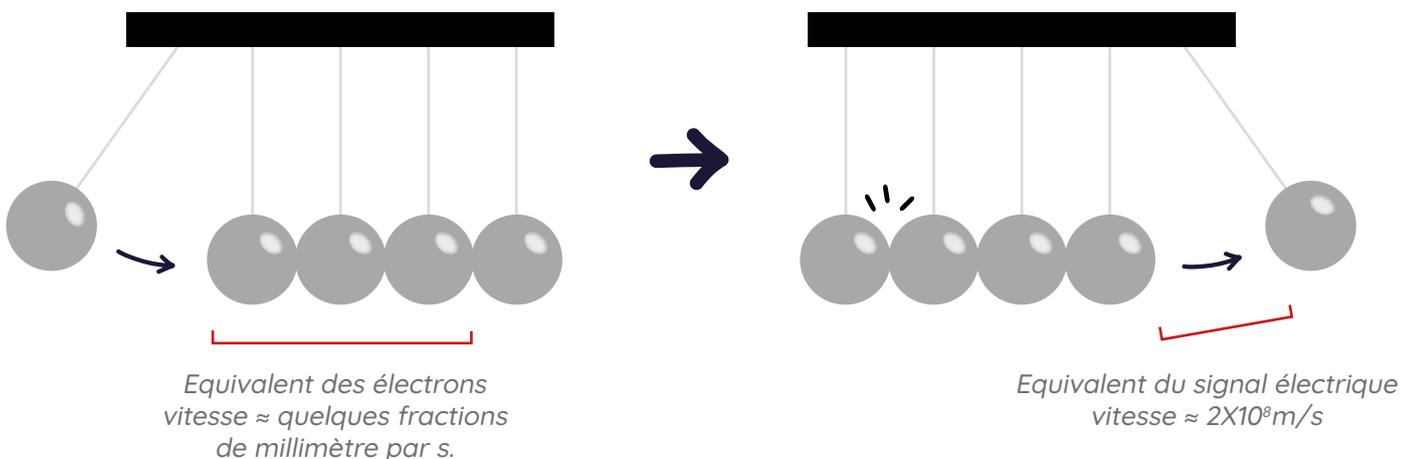
Pour un courant continu de 1 A, elle est seulement de 45 cm/h. Si une ampoule électrique était alimentée en courant continu par un panneau so-

laire situé à 10 mètres, il faudrait plus de 22 heures aux électrons situés au niveau du panneau pour arriver au filament de l'ampoule. Ce n'est donc pas les charges mises en mouvement près du panneau qui circulent dans le filament lorsque l'on ferme le circuit. Ce sont les électrons présents dans le filament et près du filament qui sont mis en mouvement « poussés » par le champ électrique que génère le panneau solaire et médié par l'ensemble de tous les électrons du circuit. On parle alors **d'onde électromagnétique**, en fait de l'énergie, qui se déplace infiniment plus vite. Lorsque l'on ferme le circuit, le temps d'établissement de ce courant continu est quasiment instantané.

Pour un courant alternatif, les électrons oscillent de quelques microns autour de leur position moyenne et leur vitesse moyenne est aussi quasi nulle (quelques millimètres par heure), il n'y a pas de déplacement d'ensemble. Par contre, **il faut de l'énergie pour les faire osciller**. C'est ce que mesure le compteur.

Autrement dit les électrons que l'on « utilise » à chaque instant sont quasiment fixes, ce n'est que l'énergie qu'ils transportent de proche en proche par leurs oscillations collectives que

nous utilisons et qui se déplace très vite : **200 000 km/s pour les câbles à très haute tension** que gère RTE (le réseau français de transport d'électricité). La conséquence est que cette énergie vient de centres de production qui peuvent être très éloignés du compteur. Elle se déplace de générateurs en transformateurs portée par le réseau de câbles électriques jusqu'à l'utilisateur final. Au contraire des électrons, qui ne servent que de **passeurs de l'énergie** et restent en moyenne sur place.



Note

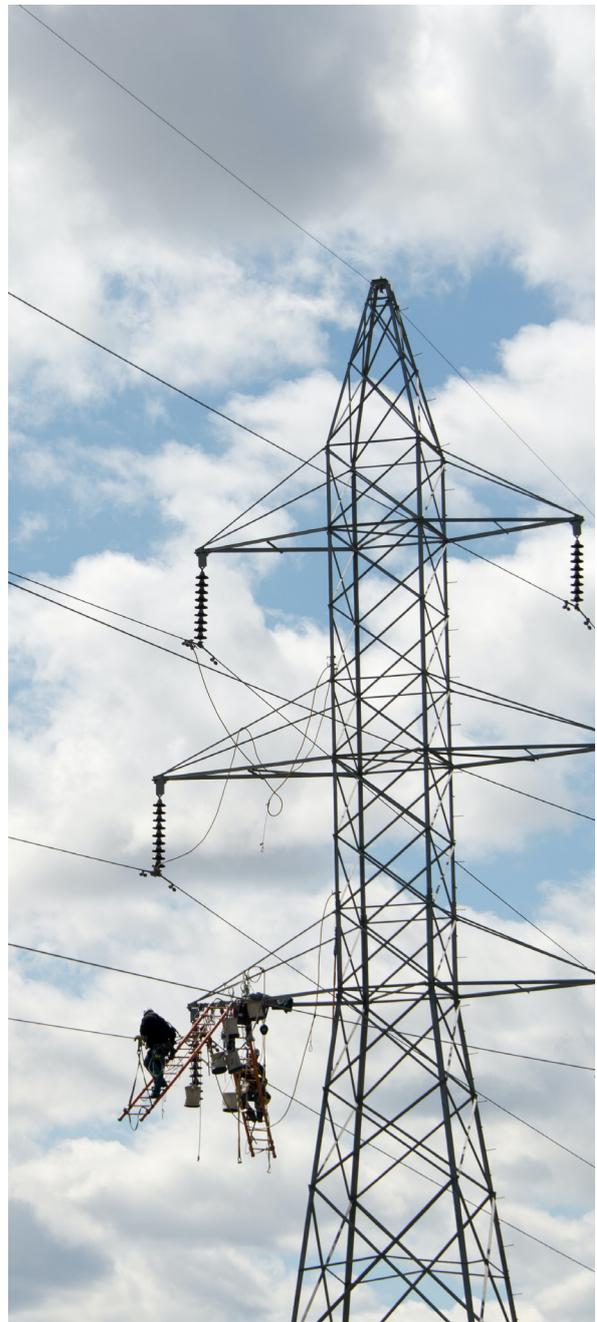
Pour illustrer le courant électrique, le pendule de Newton est un bon exemple. Les électrons - ici représentés par les boules au centre, restent quasiment immobiles lors du passage du signal électrique. Le signal électrique - ici représenté par la poussée sur la dernière boule, est quasi instantané (il équivaut quasiment à la vitesse de la lumière). A noter que la vitesse des charges électriques est de quelques fractions de millimètre par seconde pour un courant continu mais quasi nulle pour un courant alternatif.

A retenir

L'énergie se déplace dans un réseau électrique **à une vitesse proche de celle de la lumière**. Elle peut provenir quasiment instantanément de moyens de production situés à des milliers de kilomètres. **Il ne faut pas confondre le déplacement de l'énergie avec celui de l'électron**, beaucoup plus lent, et qui est un passeur de l'énergie.

L'EFFET JOULE ET AUTRES EFFETS GÉNÉRANT DES PERTES.

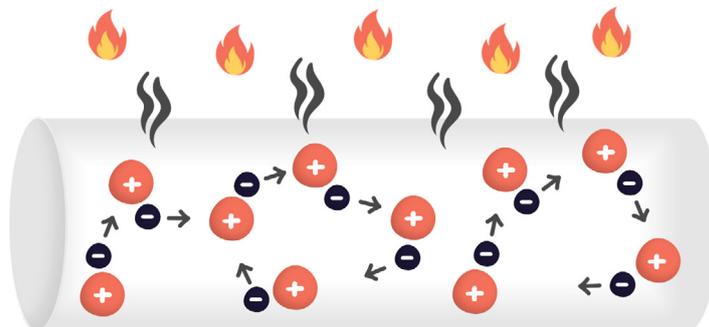
Soumis à une différence de potentiel, les électrons qui se déplacent dans un fil (aussi bien en continu, que lorsqu'ils oscillent sur place) interagissent entre eux et avec les atomes du fil (en fait avec les phonons, des oscillations collectives des atomes liées à la température). Dans le cadre d'un modèle simple, le temps moyen entre collisions définit la conductivité du matériau, **plus ce temps est long, plus la conductivité est grande** (les électrons sont plus « libres » de se déplacer, il y a moins de « viscosité ») **et plus la résistivité est faible**. D'autre part, si la section du fil diminue localement avant de reprendre sa taille initiale, on comprend que la résistance augmente localement car le flux d'électrons devant rester constant, ils subissent plus de collisions lorsque la section devient plus faible. Au final, **la résistance est d'autant plus grande que la section est faible**, et que les durées entre collisions sont faibles. Ce couplage avec la matière se traduit par une élévation locale de température, **c'est l'effet Joule**.



A noter qu'en alternatif, pour des sections de fil très grandes, il entre en jeu ce que l'on appelle **les effets de peau**. Le courant, en fait la densité de courant, décroît depuis la surface, où la densité de courant est forte, vers l'intérieur, où elle est faible, voire nulle au-delà de quelques cm pour un fil en cuivre à une fréquence de 50 Hz. Du point de vue résistif, tous se passe comme si la section du fil était plus petite et donc que le fil présentait une « résistance » plus grande que celle que l'on attendrait. Pour le cuivre à 50 Hz, cette épaisseur est d'environ 1 cm. Ceci prend de l'importance pour des câbles à très haute tension (400 kV) où le rayon intérieur est de quelques centimètres, mais négligeable pour les tensions domestiques (230 V) où le rayon est de l'ordre du millimètre.

Les pertes d'énergie se calculent et d'autres facteurs que l'effet Joule en entraînent, à savoir **l'effet de couronne** pour ce qui est des impacts

liés à la physique mais également **des fraudes ou des erreurs de comptage**. En fait, nous pouvons considérer que le réseau électrique est lui-même utilisateur d'une part de l'énergie qui est transportée en raison de ces phénomènes. Cela signifie concrètement que si un producteur doit satisfaire un besoin de 1000 kWh d'un utilisateur, il devra produire $1000 + x$ kWh, x étant l'énergie utilisée par le réseau électrique du fait de l'effet Joule notamment. RTE, le réseau de transport de haute tension, déclare **un taux de pertes de 2,2% en 2018 soit 11 TWh**. Sur les réseaux de distribution, le gestionnaire Enedis annonce que les pertes s'élèvent au total à près de **6 % de l'énergie acheminée soit 23,3 TWh**. On note d'ailleurs que les pertes sont d'autant plus faibles que la tension est élevée, d'où l'utilisation des lignes à très haute tension pour le transport de l'énergie sur de grandes distances^{2 et 3}.



Note

Nous avons ici la représentation d'un câble électrique. Lors du passage de l'énergie électrique, les électrons oscillent avec une plus grande amplitude et une partie de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur du fait de l'augmentation des collisions entre les électrons.

[2 : Rte, Bilan électrique 2020](#)

[3 : Enedis, Bilan électrique 2018](#)



A retenir

Le transport d'énergie au sein du réseau électrique engendre des pertes notamment en raison de l'effet Joule mais celles-ci sont limitées.

Si l'énergie d'un producteur est davantage respectueuse de l'environnement, il peut-être censé **d'avoir des moyens de production éloignés**, quitte à ce qu'une partie de l'énergie injectée soit perdue lors de son transport.

En réalité **ce sont des millions d'utilisateurs et producteurs qui partagent le réseau**. Un producteur est relié au réseau, point. Un utilisateur est relié au réseau, point final. C'est l'ensemble du réseau qui perd de l'énergie, et c'est l'ensemble des producteurs qui doivent compenser ces pertes, bien sûr au prorata de l'énergie qu'ils auraient injectée en l'absence de pertes. L'utilisateur ne sollicite pas un producteur, **il sollicite le réseau**.

COURANT CONTINU VERSUS COURANT ALTERNATIF.

L'erreur souvent commise de parler d'électricité utilisée est liée à la **différence entre courant/tension continus et courant/tension alternatifs**. En alternatif il peut très bien y avoir des courants qui circulent sans qu'il y ait utilisation d'énergie, alors qu'en continu, tout courant qui circule se traduit in fine en énergie utilisée.

Un générateur d'alimentation en tension continue (tension fixe en sortie U_c) branchée sur un appareil (de résistance R), l'alimente en ce que l'on nomme du courant continu (courant I). Lors de la fermeture du circuit, tous les électrons sont entraînés dans un mouvement d'ensemble quasiment au même instant, ils se déplacent en bloc, et c'est la résistance qui fixe leur vitesse moyenne et donc le courant, $I = U_c / R$. Plus R est grand, plus I est faible et, comme on l'a vu plus haut, plus la vitesse moyenne sera faible. On peut voir la résistance comme un lieu où les électrons s'agitent beaucoup plus que dans le câble d'alimentation, tout en ayant la même vitesse moyenne de déplacement. En fait, c'est l'énergie nécessaire à l'appareil qui est en flot continu, **qui s'arrête de circuler une**

fois le circuit ouvert entre le générateur et l'appareil. On peut assimiler le générateur comme une force qui met en mouvement un ensemble rigide d'électrons. Mise en mouvement d'autant plus difficile que la résistance est élevée (à la limite d'une résistance infinie, en circuit ouvert, la mise en mouvement est impossible). Il est alors plus aisé de parler de puissance (notée P , égale à une énergie divisée par un temps) consommée par l'appareil. On a $P = U_c * I$, et si on l'utilise pendant une durée H , l'énergie utilisée sera $E = H * P = H * U_c * I = H * U_c^2 / R = H * R * I^2$. On voit que E et I^2 sont proportionnels, et comme I est proportionnelle à la vitesse moyenne en courant continu, il est tentant de confondre **vitesse moyenne des électrons, intensité du courant et transport d'énergie**. Si en plus d'une résistance, le générateur est raccordé à un appareil qui contient des condensateurs ou des inducteurs, certes de l'énergie sera dissipée dans les éléments résistifs, mais de l'énergie sera également stockée dans les éléments non-résistifs pour être restituée au générateur lorsque le circuit sera coupé, ceci sans perte.

Le générateur devra fournir de la puissance pour compenser uniquement les pertes résistives. On voit dans ce cas, qu'énergie et courant sont liées, et **qu'assimiler transport d'énergie et transport de charge ne pose pas de difficulté**. Mais cela devient faux en régime alternatif.

Un compteur électrique raccordé au réseau, mesure l'énergie qui le traverse. Or, en régime alternatif (en mono, bi ou triphasé), courant et tension oscillent périodiquement sous forme sinusoïdale, à la fréquence de 50 Hz en Europe. Comme toute oscillation périodique, leur moyenne sur une période est nulle. **Aucun courant, aucune puissance ne devrait traverser le compteur !** L'erreur provient du fait que la puissance est le produit de la tension par le courant et que ces deux grandeurs peuvent subir un déphasage du fait des appareils raccordés au compteur. Pour une distribution

triphasee c'est la somme des puissances sur chaque ligne qui compte. Cette puissance totale est proportionnelle à $U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \lambda$ où λ est appelé facteur de puissance et compris entre 0 et 1 (U_{eff} et I_{eff} sont la tension et le courant efficace) Ainsi, une tension efficace $U_{eff} = 230$ V est en fait une moyenne sur une période ($T=20$ millisecondes) d'une fonction de la tension d'amplitude $U_a = 325$ V (amplitude crête à crête de la tension d'une ligne par rapport à une référence fixe dans le temps, ce U_{eff} est la tension dite de ligne). On définit U_{eff} par : « la valeur de la tension continue qui provoquerait une même dissipation d'énergie que la tension variable $u(t)$ d'amplitude U_a si elle était appliquée aux bornes d'une résistance R ». On définit de même l'intensité efficace, I_{eff} , basée sur le courant alternatif réelle $i(t)$ d'amplitude I_a . On a ainsi : **$U_a = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$ et $I_a = \sqrt{2} \cdot I_{eff}$.**



On voit que le facteur λ est crucial. **S'il vaut 0, le compteur ne tourne pas** et pourtant il y a bien acheminement du courant en amont du compteur sans utilisation d'énergie après le compteur. C'est ce courant « inutile » qui s'ajoute au courant « utile » qui conduit à des pertes d'énergie supplémentaires en amont des compteurs. C'est l'équivalent d'une voiture dont le moteur fonctionne, le courant circule, mais la pédale d'embrayage est enfoncée, le véhicule n'avance pas, il n'y a pas d'énergie utile utilisée pour faire avancer la voiture. Si λ vaut 1 (cas purement résistif), il y a utilisation d'énergie (la pédale d'embrayage est relâchée, le véhicule avance). Dans tous les cas il y a bien acheminement du courant, **on devrait dire oscillation des intensités sur chaque ligne ou phase**, et donc déplacement d'énergie à travers les câbles et les transformateurs en amont des compteurs. Mais cette triple mise en oscillation ne conduit qu'en partie (si $\lambda < 1$) à une utilisation effective d'énergie (on parle d'énergie ou de puissance active). En aval du compteur, il y a bien utilisation d'énergie liée uniquement aux résistances, alors qu'en amont il faut ajouter à cette énergie, celle dissipée dans les câbles, énergie liée uniquement au fait que les courants ont circulé. Certains compteurs indiquent, en plus de la puissance utilisée, **une puissance dite réactive**, qui n'est as-

sociée à aucune dissipation d'énergie mais à l'équilibrage des phases (afin d'obtenir λ le plus proche de 1 possible). On a alors deux affichages : l'un pour **l'énergie active**, celle qui se dissipe au final en chaleur dans les appareils raccordés au compteur, et l'autre pour « **l'énergie** » **réactive**, basée sur la puissance réactive, celle qui demande des moyens techniques pour assurer le transport et la stabilité du système d'alimentation.

On constate donc qu'en régime continu, **seules les résistances dissipent de l'énergie et « consomment » de l'électricité**, alors qu'en alternatif, du fait de la présence de transformateur ou de moteur par exemple, non seulement les résistances dissipent, mais, en plus, le circuit en amont du compteur voit circuler des courants qui tout en devant être équilibrés entre phases, dissipent de l'énergie à travers les câbles.

On peut enfin se demander quel est l'intérêt de transporter l'énergie électrique en alternatif sur plusieurs phases. La conclusion d'un débat historique (dit de la guerre des courants entre Tesla et Edison) a conduit tous les pays à utiliser ce mode de transport de l'énergie pour deux raisons. La principale est **l'invention des transformateurs** qui permettent d'augmenter ou de baisser la tension à volonté. La seconde tient au fait que les pertes d'énergie (par effet Joule) entre le point de production (un générateur), et le point de livraison (en amont des compteurs) **sont plus faibles lorsque la tension est très élevée**. Le schéma typique est le suivant : un générateur (qui produit de l'énergie) puis un transformateur

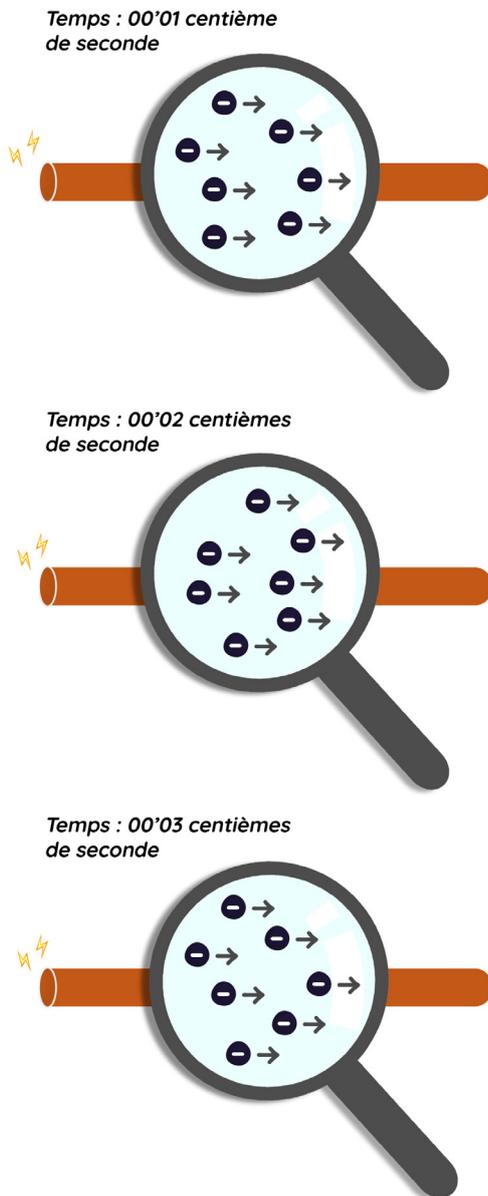
(qui élève la tension) puis une ligne de transport de l'énergie (les câbles électriques) puis un second transformateur (qui abaisse la tension) et qui alimente les utilisateurs. Lors du transit entre les deux transformateurs les pertes par effets Joule dans un câble sont de la forme $P_{\text{perte}}=R \cdot I^2$. Où R est la résistance totale du fil et I le courant qui circule. Si une puissance $P_{\text{in}}=U \cdot I$ est injectée en sortie du premier transformateur, la puissance entrant dans le second transformateur sera plus faible, **$P_{\text{out}}=P_{\text{in}}-P_{\text{perte}}$** . On comprend que pour diminuer les pertes il est nécessaire d'avoir I faible, mais comme on souhaite avoir P_{in} constant, il faut augmenter U , d'où la très haute tension du réseau de transport.

A retenir

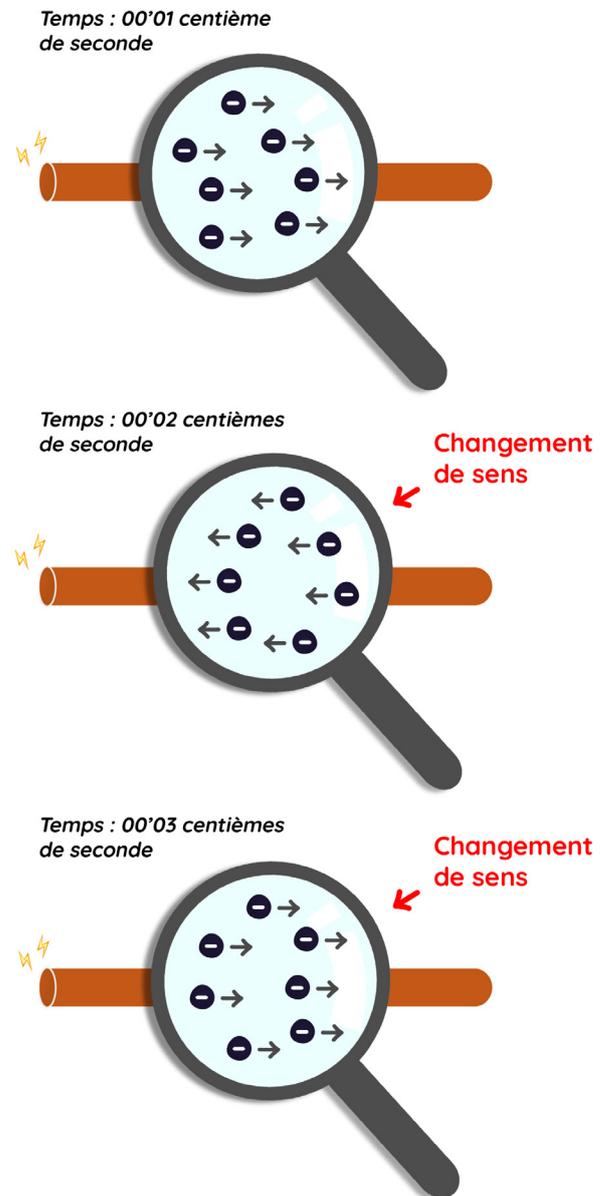
Les réseaux de transport et distribution fonctionnent actuellement essentiellement **en courant alternatif** (à noter qu'en Europe il existe quelques exceptions pour les réseaux qui passent sous la mer - exemple : sous la Manche entre la France et le Royaume-Uni). Les électrons oscillent périodiquement, c'est-à-dire qu'ils réalisent des mouvements de va et vient à une fréquence de 50 Hz, soit 50 aller-retours par seconde. On se rend compte que la mise en oscillation des électrons en un point est issue d'un équilibre global et qu'il est donc **impossible de déterminer la source de l'énergie utilisée**.

L'énergie électrique est transmise des producteurs aux utilisateurs **via la mise en oscillation des électrons** au sein du réseau et toute modification se propage à une vitesse proche de la vitesse de la lumière.

Courant continu



Courant alternatif



Note

Nous avons ici la représentation du courant continu vs le courant alternatif.
On constate que dans le cas d'un courant alternatif les électrons changent de sens de déplacement tous les centièmes de seconde.

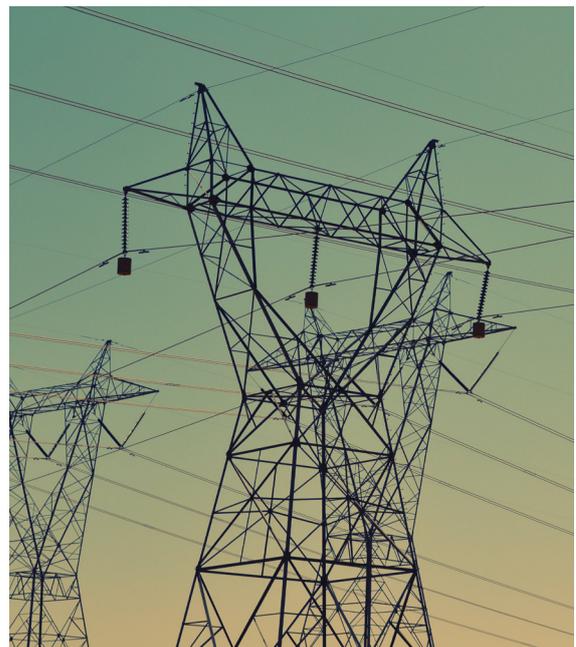
Ainsi, pour une fréquence de 50 Hz, les électrons réalisent 50 allers-retours par seconde.

LES LOIS DE KIRCHHOFF : QUE SIGNIFIE LE FAIT QUE L'ÉLECTRICITÉ SUIT LE CHEMIN DE MOINDRE RÉSISTANCE ?

Un circuit électrique sur lequel sont branchés divers appareils (générateurs, résistances ou autres) suit en chaque point de séparation ou en chaque point de connexion d'un appareil ce que l'on appelle **la loi de Kirchhoff des courants, ou loi des nœuds** : à chaque instant il y a autant de charges qui arrivent au nœud, que de charges qui le quittent (une accumulation de charge conduit en général à la destruction du nœud). Une deuxième loi de Kirchhoff concerne les boucles fermées qui connectent des nœuds entre eux, c'est **la loi dite des mailles** : à chaque instant la somme totale des différences de potentiels entre deux nœuds consécutifs est nulle : cela découle de la définition de la tension comme différence de potentiel, ainsi pour 3 nœuds formant une boucle fermée, $(V_a - V_b) + (V_b - V_c) + (V_c - V_a) = 0$. A noter qu'il est nécessaire d'avoir un nœud particulier comme référence de tout potentiel. Pour du courant alternatif monophasé, c'est le fil neutre qui sert de référence.

A partir de ces deux lois, on peut comprendre pourquoi l'on dit que « **l'électricité suit le chemin de moindre résistance** ». Supposons qu'un câble se

sépare en deux branches qui se reconnectent plus loin et que les branches aient deux résistances totales différentes. Par la première loi de Kirchhoff on comprend que le courant se sépare en deux, et que ces deux courants se recombinent lorsque les deux branches se referment pour reformer le câble. La deuxième loi indique que la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance est la même. Donc bien que la « force » avec laquelle le courant est mis en mouvement soit la même dans chaque branche **le courant sera le plus grand dans la branche où les électrons s'agitent le moins**, celle de plus faible résistance.



Les lois de Kirchhoff permettent de décrire **les flux d'énergie électrique qui se réalisent selon la capacité du conducteur**, c'est-à-dire les câbles électriques, à la transporter. Quand la puissance maximale que ces câbles peuvent supporter est atteinte ils deviennent congestionnés. C'est le rôle des dispatcheurs (soit en automatique, soit manuellement) de faire en sorte que cela n'arrive pas. Concrète-

ment leur rôle est de solliciter les producteurs ou certains gros utilisateurs afin que ces derniers agissent de façon à ne pas saturer le réseau. Cela se fait notamment via l'activation de mécanismes tels que les réserves primaires, secondaires (automatiques) et tertiaires (manuelles). Ils font donc en sorte que l'énergie électrique emprunte d'autres chemins et cela quasiment instantanément.

A retenir

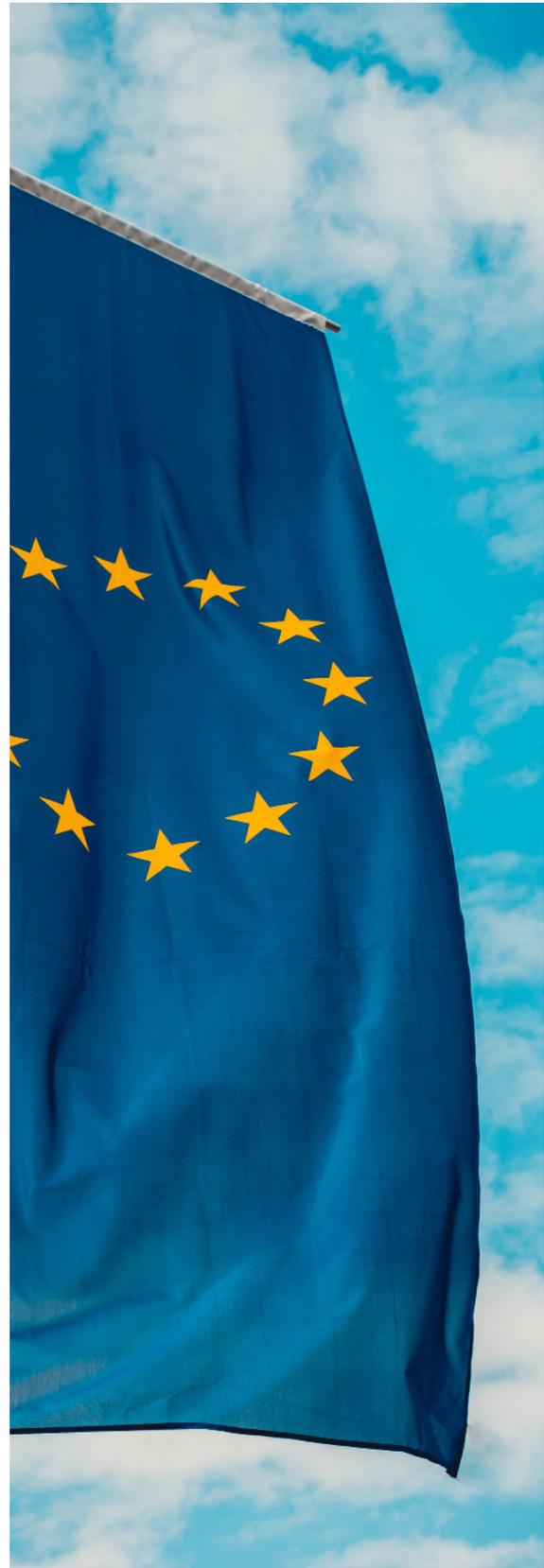
Attention à ne pas utiliser les lois de Kirchhoff de manière simpliste **pour déduire qu'on utilise l'électricité qui provient de la centrale la plus proche**.

L'idée que l'électricité emprunte le chemin de moindre résistance consiste à prendre en considération **les limites des capacités de transport** qui existent au sein d'un réseau électrique davantage que les distances géographiques.

INFRASTRUCTURE : LA CONSTRUCTION D'UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Au sortir de la guerre de 39-45, tous les pays européens en reconstruction réalisent que le progrès passe par l'accès à l'électricité. Les compagnies européennes se mettent à coopérer afin que les réseaux électriques transcendent les frontières. Cela passe notamment par une uniformisation des tensions des réseaux de transports à 400 kV dès 1950. La connexion des réseaux européens s'est accompagnée du **développement du marché intérieur de l'énergie qui inclut le gaz et l'électricité**. Le traité de Paris signé en 1951 fut à l'origine d'une série d'accords de coopération dont la création de la **Communauté européenne du charbon et de l'acier** en 1952 (CECA) et le **traité Euratom** en 1957.

Lors de la conférence de Messine réunissant les ministres des six États membres de la CECA, les Pays-Bas, la Belgique, le Luxembourg, la RFA, la France et l'Italie affirmèrent leur volonté de **développer les échanges de gaz et de courant électriques propres** à augmenter la rentabilité des investissements et à réduire le coût des fournitures, pour coordonner les perspectives communes de développement de la production, de son utilisation d'énergie et pour dresser les lignes générales d'une politique d'ensemble.



Dans le contexte de libéralisation du marché de l'énergie, **l'arrivée de nouveaux opérateurs de production, d'une part,** et **l'internationalisation des échanges d'énergie, d'autre part,** ont eu pour effet de modifier considérablement les flux d'énergie transitant sur le réseau, « *de les rendre plus imprévisibles, et finalement de pousser toujours au plus près de ses limites un réseau qui n'a pas encore été adapté à ce changement*⁴ ».

A défaut de consolider immédiatement les infrastructures d'interconnexion, l'établissement d'un marché intérieur européen de l'électricité a supposé **une coordination des réseaux régionaux d'énergie**. En 1951, l'Union pour la Coordination de la Production et du Transport d'Electricité (UCPTE, devenue UCTE) a été instaurée sous l'impulsion de l'OCDE en vue de **regrouper les gestionnaires de réseau** de certains Etats membres, aux fins **d'organiser les échanges transfrontières d'électricité** dans l'Europe occidentale.

Depuis 2009, l'UCTE et les autres organisations régionales européennes ont fusionné au sein du réseau européen des gestionnaires de réseaux de transport, créé par le règlement 714/2009, et chargé de « promouvoir la réalisation et le fonctionnement du marché intérieur de l'électricité ainsi que les échanges transfrontaliers et pour assurer une gestion optimale, une exploitation coordonnée et une évolution technique solide du réseau européen de transport d'électricité⁵ ». Il s'agit **l'ENTSO-E** (European Network of Transmission System Operators for Electricity), formée de 43 gérants de réseaux électriques issus de trente-six pays différents dont tous les Etats membres de l'Union européenne⁶.

⁴ : [V. Manzo, « Traitement des congestions dans les réseaux de transport dans un environnement dérégulé », thèse, Institut national polytechnique de Grenoble, 2004, pp. 14-15](#)

⁵ : [Règl. n° 714/2009 du Parlement européen et du Conseil, du 13 juill. 2009, sur les conditions d'accès au réseau pour les échanges transfrontaliers d'électricité, JOUE n° L211/15 du 15 août 2009, p. 15, art. 4.](#)

⁶ : [ENTSOE, Annual report 2018](#)

La zone couverte par l'ENTSO-E est quadrillée par 480 000 km de lignes de haute tension. C'est largement assez de câbles pour lier la terre à la lune. Ces lignes peuvent aller de 50 à 500 kV pour du courant alternatif. Au sein de cette organisation nous trouvons **cinq zones dites synchrones**⁷. La plus importante réunit pratiquement toute l'Europe continentale.

La coopération est étroite entre les différents gestionnaires de réseau de chacune des cinq zones afin que la fréquence de 50 Hz soit strictement respectée. **Une petite perturbation au sein de cette zone et toute l'Europe frémit.**

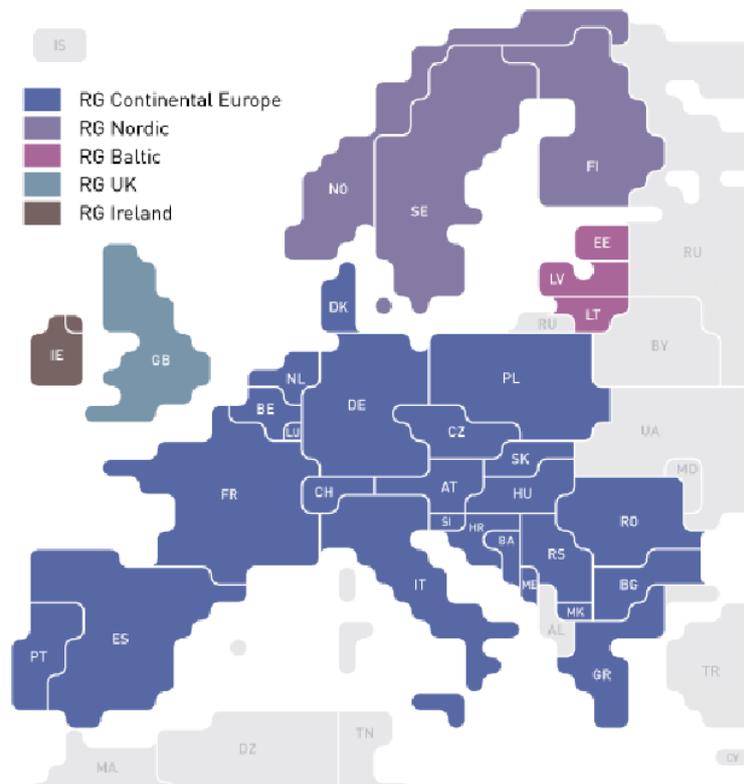
Une histoire illustre cela de manière amusante. Au cours du premier trimestre de l'année 2018, les horloges de toute l'Europe ont ralenti jusqu'à cumuler six minutes de retard : seules les horloges des appareils électriques de nos maisons dont le rythme est calé sur la fréquence du réseau électrique ont été concernées. La fréquence du réseau a été ralenti de la Grèce au Danemark, de la Pologne au Portugal en passant par la France. En cause ? L'Entso-E a informé le public sur le fait que le retard de nos horloges résultait d'un désaccord entre la Serbie et le Kosovo qui refusaient d'injecter

suffisamment d'électricité dans le réseau européen. En conséquence, la fréquence était passé de 50 à 49.996 Hz et les secondes se sont faites de plus en plus feignantes. **Les zones synchrones peuvent-être connectées entre elles par des câbles en courant continu** même si c'est rarement le cas sur l'Europe continentale. C'est ainsi que l'IFA 2000, un câble immergé d'une puissance de 2000 MW et d'une tension de 270 kV lie la France au Royaume-Uni. Sa petite sœur, BritNed d'une puissance de 1000 MW relie l'île au Pays-Bas en traversant la Manche sur 260 kilomètres.

Les pays membres de l'ENTSO-E **sont nettement plus interconnectés entre eux** qu'ils ne le sont avec des pays tiers. En 2018, les capacités de transport cumulées représentaient 101 GW soit 8.7% de la capacité de production d'électricité de cette zone alors que les interconnexions avec des pays tiers cumulaient 4 GW soit 0,4% de cette capacité.

[7 : ENTSOE, System Operations Committee](#)

Les cinq zones synchrones d'Europe



Source : ENTSOE

En conséquence, il arrive souvent que les capacités de transport entre les pays de l'ENTSOE ne saturer pas, ce qui résulte en une convergence des prix de l'électricité entre ces pays. Or, le fait d'avoir deux pays dont les prix du marché de l'électricité sont égaux signifie que le réseau n'est pas saturé aux frontières et que l'on peut demander à un producteur d'un côté ou

de l'autre de la frontière de produire de l'électricité pour répondre à la demande d'un pays. Dans ce cas, **nous pouvons déduire que l'énergie circule librement sur cette zone** et donc que tous les acteurs, utilisateurs et producteurs, sont interdépendants et appartiennent au même système.

A retenir

Le réseau électrique européen bénéficie **de fortes interconnexions entre les pays** ainsi que d'une gestion commune au sein de l'ENTSO-E. Il est possible de le considérer comme un système indépendant des autres zones du monde.

LE MÉTIER DES GESTIONNAIRES DE RÉSEAU.

Les contraintes physiques évoquées dans la partie précédente ainsi que les développements technologiques ont conduit tous les pays à **adopter les mêmes structures de réseau de transport et de distribution**. Mais du fait de l'historique des installations, des raccordements de générateurs successifs, des technologies diverses choisies, et des choix en termes de marché de l'énergie électrique, ce n'est que récemment que les régions entre elles, et les pays entre eux, peuvent « échanger » de l'énergie produite localement ou à l'échelle nationale.

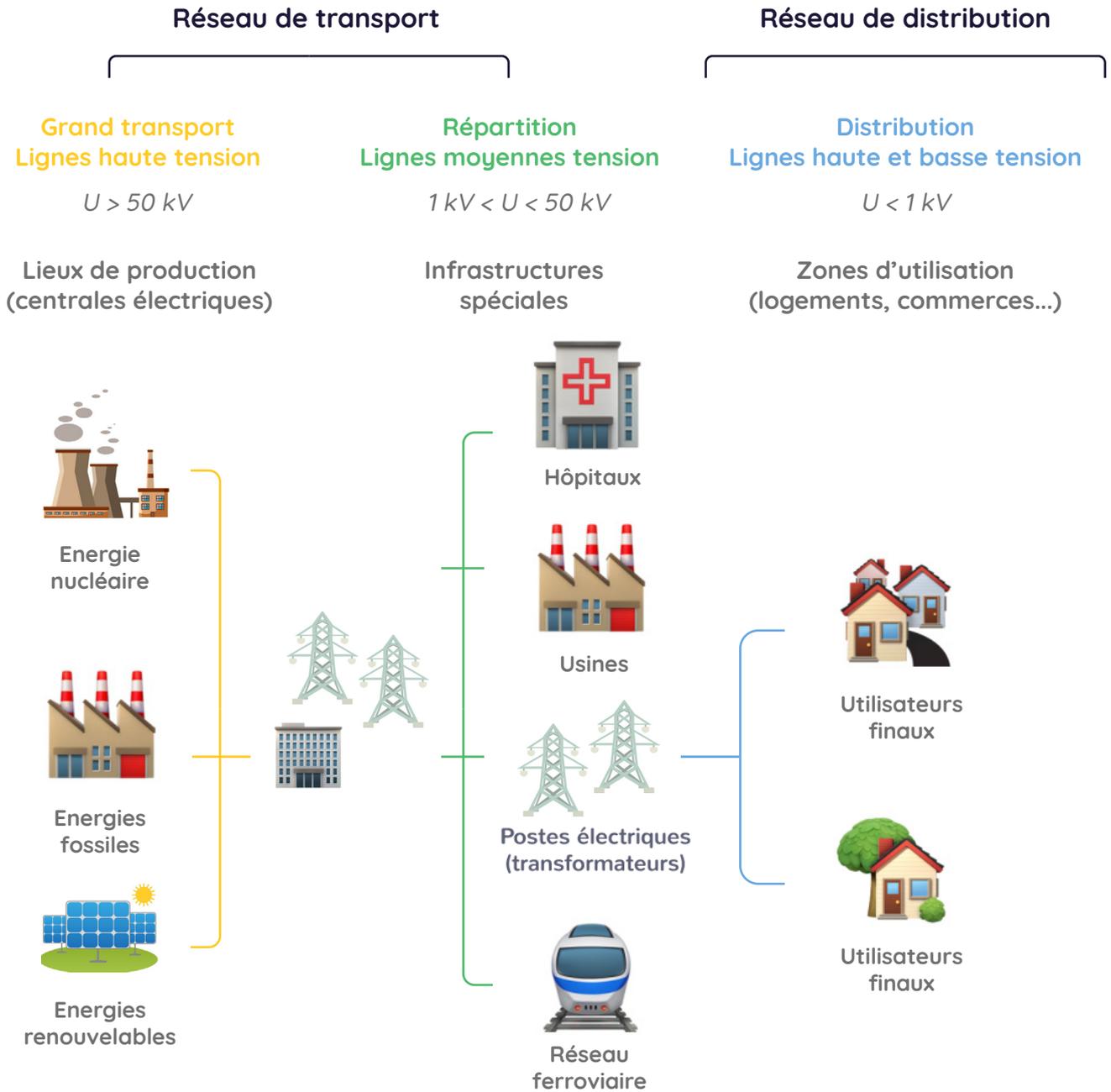
Les principales difficultés à surmonter ont été de s'accorder sur une fréquence commune et sur la synchronisation lors du raccordement au réseau d'un nouveau générateur ou d'une nouvelle ligne portant elle-même de l'énergie. **La fréquence adoptée en Europe a été imposée et est de 50 Hz**. On attribue l'origine de ce choix à l'équipementier allemand AEG en 1899 qui souhaitait une valeur « ronde ». Il a fallu attendre les années 1980 pour harmoniser l'Europe grâce au travail du CENELEC qui a abouti au choix d'une tension de 230 V avec une fréquence de 50 Hz. La synchro-

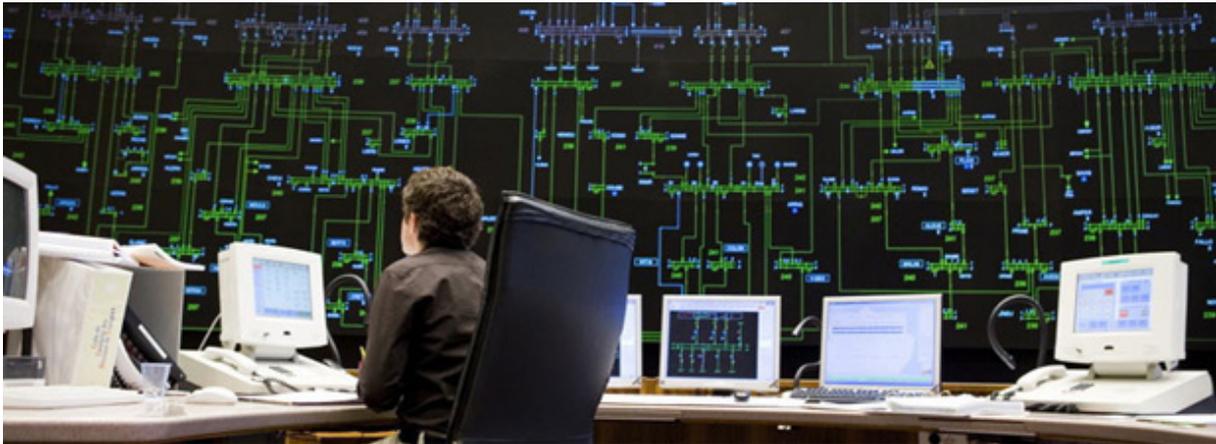
nisation est beaucoup plus difficile car il s'agit de synchroniser des ondes qui sont définies par : une amplitude, une fréquence, une phase et une séquence de phase⁸.

C'est le rôle **des dispatcheurs** que d'assurer techniquement ces synchronismes à tout instant. Comme il existe divers types de tension (de 400 kV à 400 V), et que l'équilibre entre phases doit être respecté, de nombreux outils sont à disposition de ces dispatcheurs. Outils qui servent à éviter divers aléas tels que, surcharges (I trop grand), écroulement de tension (pas assez de puissance réactive), écroulement de fréquence et rupture du synchronisme des phases (diminution de la vitesse de rotation des rotors).

⁸ : [Energie & Développement; « 50Hz ou 60Hz, 220V ou 110V, l'électricité dans le monde »](#)

Organisation du réseau électrique





Source : Rte Centre de dispatching régional de Saint Quentin

Ces outils s'appuient, d'une part, sur la structure du réseau (plusieurs « chemins » existent reliant générateurs, transformateurs et utilisateurs), d'autre part, sur la possibilité de déconnecter certains équipements au sein du réseau, voire de couper l'accès au réseau, soit d'un générateur soit d'un utilisateur (cas assez rare qui sert à éviter des phénomènes de cascades). Les dispatcheurs (régionaux, nationaux, et internationaux) utilisent à la base des programmes informatiques de pilotage qui permettent non seulement d'équilibrer énergie pro-

duite et énergie utilisée, mais également les synchronismes. Pour ce faire **des bases de données de prévisions servent à anticiper offre et demande**, à la fois localement mais également nationalement et internationalement. En cas de défaut de ce double équilibre énergie-synchronisme, **des ressources dites de back-up** (stockage) sont mises en route plus ou moins rapidement (batterie de condensateurs, groupes électrogènes, barrages) ainsi que l'importation ou l'exportation de l'énergie électrique, encore une fois à différentes échelles géographiques.

A retenir

Ce sont les gestionnaires du réseau électrique qui s'assurent de **l'équilibre physique entre injection et soutirage d'énergie**. En France il s'agit du Rte. Il est important pour la compréhension de les distinguer des acteurs de marchés tels que les entreprises qualifiées de fourniture d'électricité.

COMMENT L'ÉLECTRICITÉ CIRCULE-T-ELLE DANS LE RÉSEAU ?

On l'aura compris, contrôler l'énergie qui circule dans le réseau nécessite une infrastructure à plusieurs échelles pour des raisons de contraintes physiques, de maillages, de technologies, et de choix économiques. Cependant, il est clair que l'énergie part toujours d'un point de production, circule à très grande vitesse sous forme d'ondes à travers tout le réseau, soumise à la fois aux lois de bases (loi des mailles et des nœuds, conservation de l'énergie) et aux dispatcheurs, pour finir utilisée soit par le réseau lui-même, soit par les utilisateurs. Toute la difficulté tient dans **les fluctuations incessantes, i.e. la stochasticité de l'utilisation et de la production**, qui peuvent être maîtrisées à divers échelles de temps et d'espace, mais qui comme dans tout système complexe, peuvent soudainement sortir des bornes admissibles et maîtrisables. C'est le rôle de la recherche dans ce domaine que de simuler et de comprendre ces phénomènes aléatoires afin de proposer in fine des évolutions à la fois dans la structure du réseau (implantation/destruction de lignes et de sources de production) mais également d'ai-

der à la coordination entre pays afin **d'éviter l'isolement électrique forcé**, d'une région voire d'un pays.

Que déduire de l'origine de l'énergie que nous utilisons lorsqu'on est situé à Saint Laurent le Minier, dans le Gard par exemple ? Si l'on a admis que les électrons ne se déplacent pas en bloc en courant alternatif, alors il faut admettre que l'électricité (l'énergie) que l'on utilise en un point A à un certain instant est issue de **la mise en oscillation des électrons qui se situent... En ce point**. Cette mise en oscillations résulte d'un équilibre entre l'objet qui utilise et le premier transformateur en amont de l'objet. De proche en proche, l'équilibre s'établit entre ce transformateur et le premier nœud amont, puis les suivants. Comme l'énergie arrivant en chaque nœud est équilibrée (il en arrive autant qu'il en part), c'est l'ensemble du réseau qui participe à cet équilibre. Finalement, à cet instant (moins epsilon), c'est l'ensemble des lieux de production qui, en fonction de l'état du réseau, conduisent plus ou moins à l'oscillation des électrons en A.

A retenir

Lorsqu'un réseau électrique est dense (beaucoup d'interconnexions, maillage important) **l'énergie électrique circule d'autant plus librement**. Le fait qu'une centrale électrique puisse répondre instantanément à un besoin d'utilisation aussi loin soit-elle est alors d'autant plus vrai.

L'énergie injectée par une centrale électrique se retrouve dans tout le réseau et **quelques nanosecondes plus tard** est utilisée plus ou moins par tous les utilisateurs, et pas seulement celui qui a soudainement augmenté son utilisation.



Que dit
le droit



Ce qu'il faut retenir la partie physique avant d'évoquer le droit.

Notre réseau électrique est européen !

Les États membres de l'Union européenne ont souhaité créer un marché de l'électricité au profit des consommateurs.

En raison de l'impossibilité de tracer et donc de s'échanger directement et bilatéralement de l'énergie, il a été nécessaire de créer **des instruments de nature à identifier les sources à partir desquelles l'électricité est produite** pour, le cas échéant, privilégier la consommation d'électricité renouvelable.

Les flux physiques d'électricité



Les flux physiques d'électricité : en substance, 3 acteurs jouent un rôle essentiel sur les flux physiques d'électricité.

Avant de poursuivre, il est utile de préciser que la rigueur du physicien au regard du terme consommation concernant toute forme d'énergie ne se retrouve pas dans les textes de lois. Ainsi, l'utilisateur d'énergie sera souvent défini comme **un consommateur final d'électricité**.

LE MARCHÉ DE L'ÉLECTRICITÉ EST CONSTITUÉ DE CONVENTIONS : LA RESPONSABILITÉ D'ÉQUILIBRE ET LA GARANTIE D'ORIGINE.

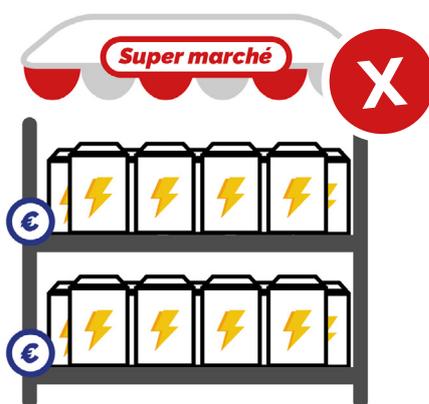
Il a été décidé à l'échelle de l'Union européenne, d'adosser au marché de l'électricité, deux instruments spécifiques : **la responsabilité d'équilibre** et **la garantie d'origine**.

Ces deux instruments ont pour objet et pour effet de valoriser certains aspects des flux d'énergie injectés par les producteurs. S'il a été choisi de recourir à ces deux conventions séparément, c'est pour avoir des marchés où **les échanges peuvent se faire facilement** tout en faisant en sorte que les caractéristiques intéressantes

de la production d'énergie électrique **soient valorisées**. Il est difficile d'avoir un marché avec de la profondeur c'est à dire au sein duquel de nombreux échanges sont possibles quand la définition du produit est trop élaborée. Dès lors, **ce produit ne peut pas être un produit de base** ayant des références de prix fiables et transparentes.

Attention, aucun de ces deux instruments ne doit être confondu avec l'énergie physique.

Ce que l'on s'imagine...



VS

La réalité.



Note

L'utilisation de l'électricité n'est pas ce que l'on croit. Sur le plan physique, l'électricité est tangible mais difficilement appréhendable par le consommateur final. Nous n'achetons donc pas matériellement de l'électricité. En revanche, nous achetons bien les conventions (la responsabilité d'équilibre et la garantie d'origine) qui permettent de l'utiliser.

Deux caractéristiques propres à l'électricité méritent d'être valorisées par un marché.

Une première caractéristique intéressante de la production d'électricité est que **celle-ci soit réalisée au moment où il y a une demande**. De sorte qu'il est indispensable d'assurer, en permanence, un équilibre entre l'offre et la demande d'énergie. Couplée à l'impossibilité technique de stocker l'électricité à grande échelle, cette singularité du marché de l'électricité impose de désigner **des « responsables d'équilibre »**. C'est là l'objet des conventions de responsabilité d'équilibre : il s'agit d'assurer au producteur **une rémunération plus élevée** de la part des acteurs du marché s'il injecte de l'énergie au moment où la demande est importante.

Une deuxième caractéristique intéressante tient au **caractère fongible de l'électricité**. Une fois injectée dans le réseau, il devient impossible d'identifier la source de l'énergie qui est transportée dans le réseau. Ceci constitue un obstacle technique, pour ainsi dire, insurmontable pour ceux qui souhaitent privilégier un type d'énergie en particulier et dans le cas des sources renouvelables d'énergie, pour réduire, par ce biais, l'empreinte carbone de leur modèle énergétique. C'est à cette contrainte technique que répond la garantie d'origine. **Dispositif capable de certifier l'origine de l'énergie** in-

jectée, il permet aux producteurs de percevoir une rémunération lorsqu'ils produisent de l'électricité **à partir de sources d'énergie renouvelables**.



A titre d'information, l'Ademe attribue les facteurs d'émission de CO₂ équivalents par énergie primaire permettant la production d'électricité. Le charbon est à 1060g/kWh, le fioul à 730g/kWh, le gaz à 418g/kWh, le nucléaire à 6g/kWh, l'hydraulique 6g/kWh, l'éolien en mer à 16g/kWh, l'éolien terrestre 14g/kWh, le photovoltaïque à 55g/kWh, la géothermie à 45g/kWh⁹.

[9 : ADEME, Bilan GES](#)

LA RESPONSABILITÉ D'ÉQUILIBRE

La responsabilité d'équilibre est une convention qui permet **de valoriser où et quand l'électricité a été produite.**

La Commission de Régulation de l'Énergie définit le rôle du responsable d'équilibre de la manière suivante :

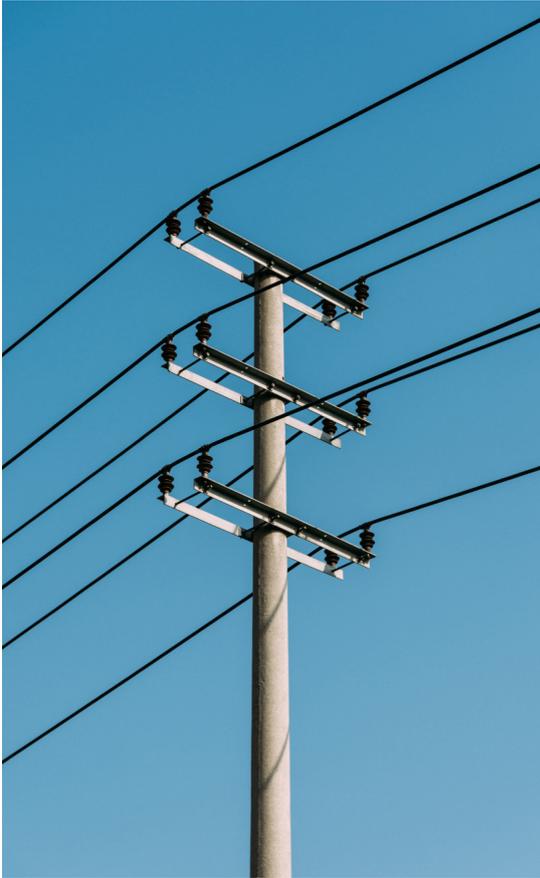
« Les responsables d'équilibre sont des opérateurs qui se sont engagés contractuellement auprès de RTE à financer le coût des écarts constatés a posteriori entre l'électricité injectée et l'électricité consommée (injections < soutirages) au sein d'un périmètre d'équilibre. A contrario, en cas d'écarts positifs (injections > soutirages), ils reçoivent une compensation financière de RTE. Ils peuvent être fournisseurs d'électricité (français ou étrangers), consommateurs (site d'un groupe, entreprise désignée par un groupe d'entreprises) ou n'importe quel tiers (banque, courtier, etc.). »

Être responsable d'équilibre est nécessaire pour être un acteur du marché de l'électricité. **L'objectif est de faire le lien entre producteurs et consommateurs.** La convention de responsable d'équilibre oblige le consommateur, en contrepartie de l'énergie qu'il soutire du réseau, à veiller qu'une quantité équivalente d'énergie soit injectée sur le réseau. En réalité, le consommateur final confie généralement cette charge à une **entreprise dite de fourniture d'électricité.** Une telle entre-

prise ne fournit jamais physiquement de l'énergie. Elle offre une prestation de service qui consiste **à être responsable d'équilibre pour le compte d'un consommateur final.**

Pour cela, une entreprise doit être reconnue auprès du **gestionnaire du réseau de transport d'électricité** (Rte) ayant la charge d'assurer l'équilibre physique du réseau électrique en France. Rte définit d'ailleurs, à juste titre, ces entreprises comme des **« commercialisateurs d'électricité »**. Notons un détail important, une entreprise se présentant comme fournisseur d'électricité peut avoir l'agrément de responsable d'équilibre ou sous-traiter ce travail à une entreprise tierce ayant cet agrément. Dans ce cas, le rôle de l'entreprise qui se présente au consommateur en tant que fournisseur d'électricité se limite à un travail de vente.

La responsabilité d'équilibre valorise où et quand l'électricité a été produite.



Une fois cet agrément obtenu, l'entreprise va pouvoir réaliser ce qu'on appelle **des « nominations » auprès de Rte**. Une nomination consiste à annoncer à Rte l'utilisation d'un certain volume d'énergie, sur une période déterminée et d'annoncer le fait d'être équilibré grâce à des entreprises qui vont injecter le même volume d'énergie sur la même période. Rte vérifiera auprès des entreprises indiquées qu'elles ont annoncé l'injection des volumes correspondant. Si le compte est bon, **le fournisseur est considéré équilibré**. Si au contraire il y a une différence, alors RTE va sanctionner l'entreprise en la forçant à acheter ou vendre la différence au prix qu'il lui

sera imposé. C'est ce prix qui est appelé **coût des écarts**.

Au sein de cette convention, l'électricité est définie par deux critères relatifs à sa destination. Le premier est **un critère spatial appelé périmètre d'équilibre**. Il est approximatif car il s'agit de la France entière. En clair un utilisateur d'électricité habitant Nice peut se considérer équilibré si un producteur à Nogent sur Seine injecte un volume équivalent d'énergie.

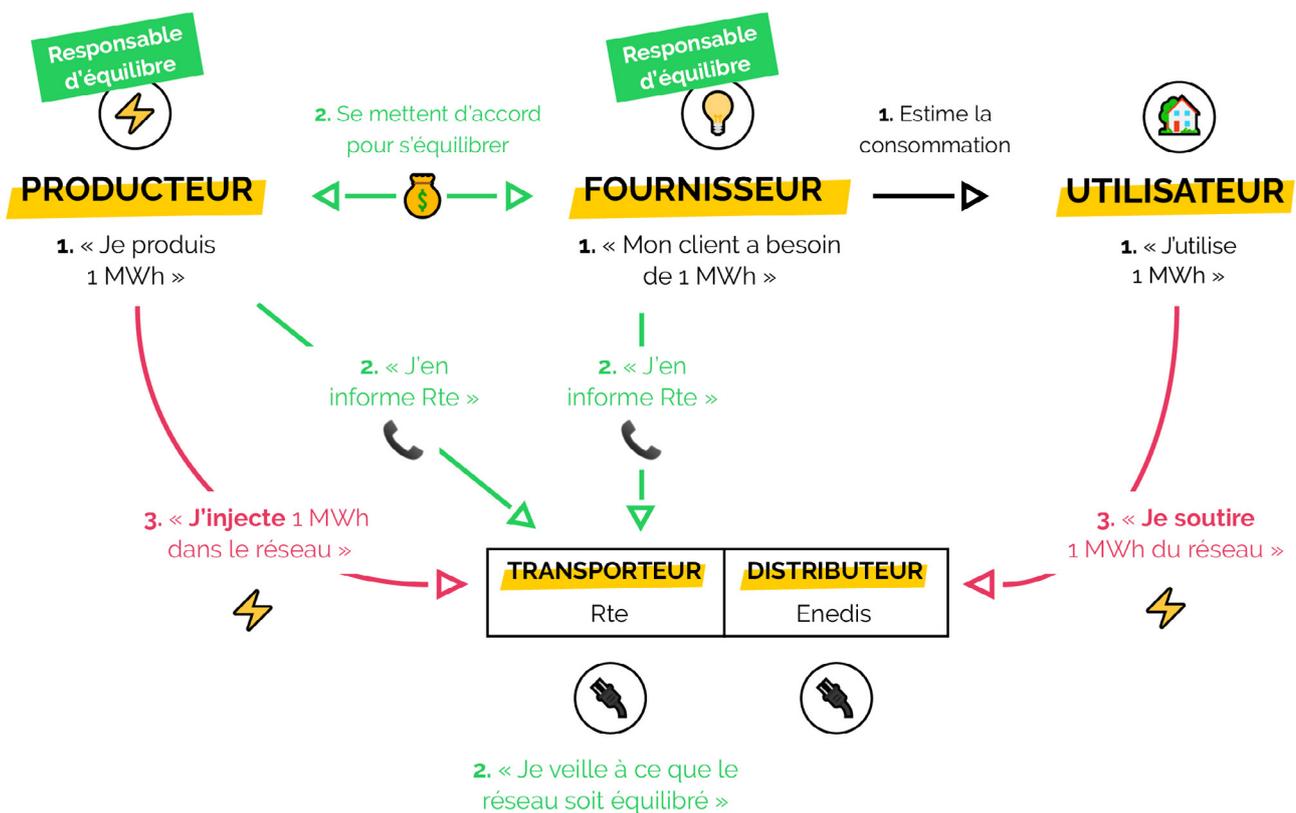
Le deuxième critère est **temporel**. La convention prend en considération **l'énergie injectée ou soutirée en moyenne pendant une demi-heure**. Si vous allumez votre télévision de 12h00 à 12h15, un producteur qui injecte de l'électricité de 12h15 à 12h30 peut s'équilibrer avec vous.

Ces critères sont un consensus entre le fait de faire porter aux acteurs du marché la contrainte de l'équilibrage physique géré par Rte et celui de rendre gérable les transactions commerciales afin que le marché puisse fonctionner correctement. A noter que ce marché de la responsabilité d'équilibre ne répond que partiellement aux contraintes supportées par Rte pour maintenir l'équilibre physique du réseau en France. D'autres mécanismes complémentaires sont mis en place et facturés au consommateur par Rte via le **TURPE** (taxe présente sur les factures de chaque français).

Il est important de **ne pas faire l'amalgame entre cette convention et les flux physiques d'énergie**. C'est un abus de langage de considérer qu'un fournisseur d'électricité achète et obtient physiquement de l'énergie à un producteur pour la fournir au consommateur. En réalité, comme vu précédemment,

il échange des contrats lui permettant de réaliser des déclarations auprès du Rte sous forme de nomination. **L'origine de l'énergie n'étant pas définie dans ces contrats**, il n'est pas possible de la valoriser. C'est la raison pour laquelle un autre outil a été inventé : la garantie d'ori-

La responsabilité d'équilibre



La responsabilité d'équilibre : les responsables d'équilibre s'assurent que l'injection d'électricité dans le réseau sera égale au soutirage.

LA GARANTIE D'ORIGINE

La deuxième convention repose sur l'échange de garanties d'origine. Cette convention **a pour objet unique de valoriser la manière dont l'électricité injectée sur le réseau a été produite**. Elle complète la responsabilité d'équilibre en valorisant, non pas où et quand l'énergie électrique est produite (c'est le but de la responsabilité d'équilibre), mais *comment* celle-ci est produite.

Une garantie d'origine **peut être délivrée par l'état à tout producteur d'électricité renouvelable** qui en fait la demande, et ce, en vue de certifier l'origine renouvelable de l'électricité produite. Pour la suite, le producteur qui détient des garanties d'origine peut chercher à les valoriser, par deux voies.

Soit les producteurs les cèdent à un fournisseur d'électricité. C'est par l'acquisition de garanties d'origine qu'un fournisseur peut constituer des **« offres vertes d'électricité »**. Dans cette hypothèse, le fournisseur agit alors conjointement sur deux marchés distincts : celui de la responsabilité d'équilibre et celui de la garantie d'origine.

Soit les producteurs les cèdent auprès des consommateurs directement, ou par la voie d'un intermédiaire. Auquel cas, l'échange de garanties d'origine est réalisé par le consommateur avec

une entreprise distincte du fournisseur d'électricité.

Voici ce qu'indique la directive européenne 2018/2001/CE dans son article 19 :

« Afin de démontrer aux clients finals la part ou la quantité d'énergie produite à partir de sources renouvelables que contient le bouquet énergétique d'un fournisseur d'énergie et l'énergie fournie aux consommateurs ayant souscrit un contrat commercialisé avec une référence à la consommation d'énergie produite à partir de sources renouvelables, les États membres font en sorte que l'origine de l'énergie produite à partir de sources renouvelables puisse être garantie comme telle au sens de la présente directive, selon des critères objectifs, transparents et non discriminatoires. À cette fin, les États membres veillent à ce qu'une garantie d'origine soit émise en réponse à une demande d'un producteur d'énergie produite à partir de sources renouvelables [...]».

La garantie d'origine valorise comment l'électricité a été produite.

Cette directive ajoute dans le même article que l'origine de l'électricité produite **est précisément identifiée**. Ainsi la garantie d'origine **complète la responsabilité d'équilibre** qui n'inclut aucune référence à l'origine dans sa définition de l'électricité qui, pour rappel, se limite à deux critères relatifs à sa destination (périmètre d'équilibre, pas demi-horaire).

« Une garantie d'origine précise, au minimum:

a) la source d'énergie utilisée pour produire l'énergie et les dates de début et de fin de production;

b) si la garantie d'origine concerne:

i) de l'électricité,

ii) du gaz, y compris l'hydrogène; ou

iii) du chauffage ou du refroidissement;

c) le nom, l'emplacement, le type et la capacité de l'installation dans laquelle l'énergie a été produite;

d) si l'installation a bénéficié d'une aide à l'investissement, et si l'unité d'énergie a bénéficié d'une autre manière d'un régime d'aide national, et le type de régime d'aide;

e) la date à laquelle l'installation est entrée en service;

f) la date et le pays d'émission et un numéro d'identification unique. »

En droit français, l'article L314-16 du Code de l'énergie dispose que :

« Une garantie d'origine au plus est

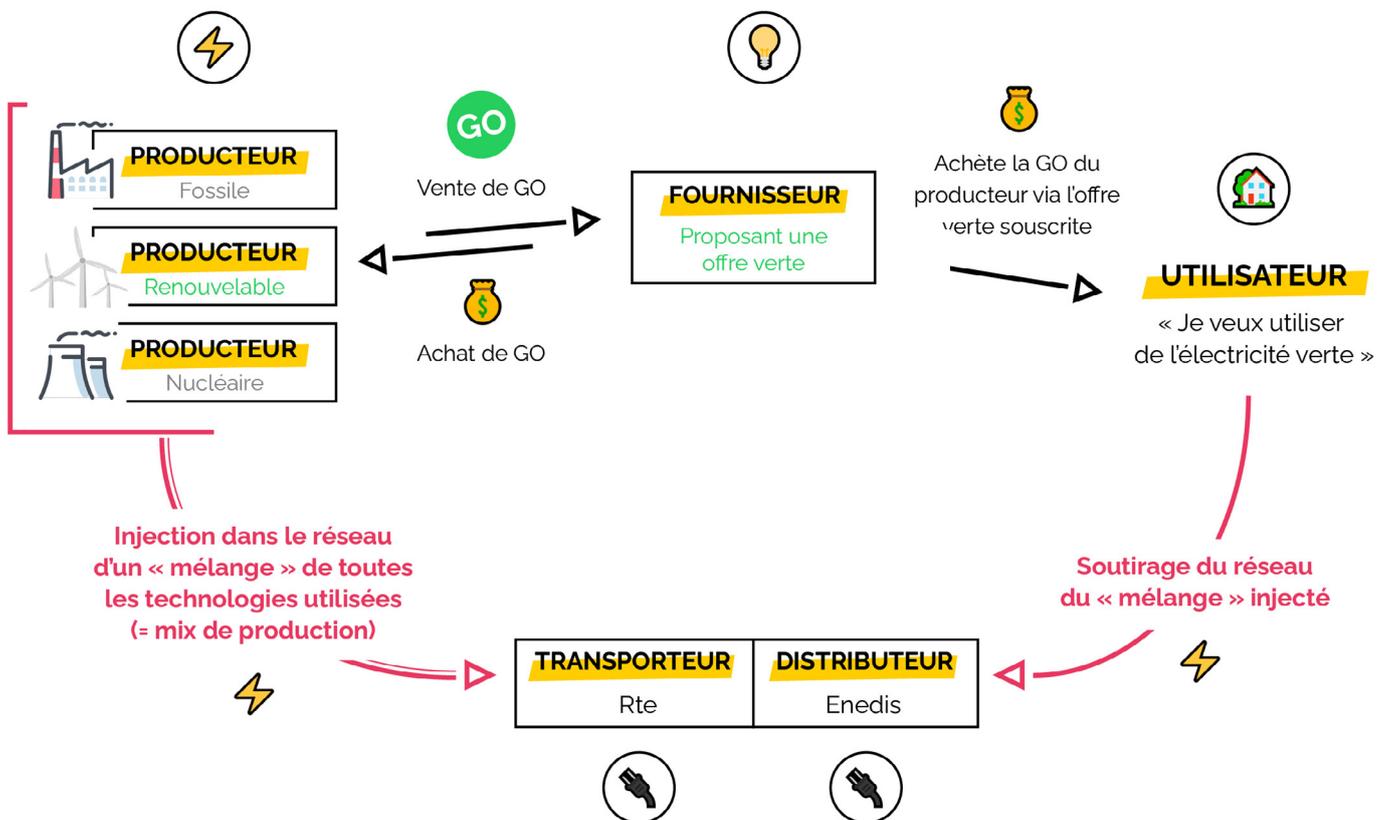
émise pour chaque unité d'énergie produite correspondant à un mégawatt-heure. Chaque unité d'énergie produite à partir d'énergies renouvelables ou par cogénération ne peut être prise en compte qu'une seule fois. Une garantie d'origine ne peut être utilisée que dans les douze mois suivant la production de l'unité d'énergie correspondante. La garantie d'origine est annulée dès qu'elle a été utilisée.

A partir du 1er janvier 2012, sur le territoire national, seules ces garanties ont valeur de certification de l'origine de l'électricité produite à partir de sources renouvelables aux fins de démontrer aux clients finals la part ou la quantité d'énergie produite à partir de sources renouvelables que contient l'offre commerciale contractée auprès de leurs fournisseurs d'énergie. »

La loi est donc claire **concernant l'exclusivité de la garantie d'origine en matière de preuve** pour démontrer qu'une offre de fourniture d'électricité est d'origine renouvelable.



La garantie d'origine



La GO : en souscrivant à une offre d'électricité verte, l'utilisateur finance la maintenance/développement de moyens de production exploitant les EnR. En produisant 1 MWh d'électricité d'origine renouvelable, le producteur vend une GO au fournisseur d'électricité verte.

A retenir

La responsabilité d'équilibre et la garantie d'origine **se complètent de manière cohérente**. Elles reposent toutes deux sur **le principe du non double comptage**. En Europe, personne ne peut revendiquer être équilibré légalement vis-à-vis du réseau sans passer par le processus de nomination auprès du gestionnaire de réseau en charge du périmètre d'équilibre sur lequel il se situe.

Par ailleurs, personne n'a le droit de prétendre consommer l'électricité d'origine renouvelable **sans une attestation d'utilisation de garantie d'origine** émanant du teneur de registre en charge de la zone dans laquelle il se situe. Seule la garantie d'origine **prouve légalement l'origine renouvelable de l'électricité** injectée ou soutirée du réseau électrique.

OUTRE LES GARANTIES D'ORIGINE, QUELLES SONT LES NOTIONS JURIDIQUES LIÉES AU TRAÇAGE LÉGAL DE L'ÉLECTRICITÉ ?

LE MIX RÉSIDUEL

L'article R 330-10 du Code de l'énergie dispose que :

« Les bénéficiaires de l'autorisation prévue à l'article R. 333-1 [les fournisseurs] sont tenus d'informer les consommateurs finals sur l'origine de l'électricité fournie.

A cet effet, ils indiquent, sur les factures d'électricité ou dans un document joint et dans les documents promotionnels relatifs à l'électricité adressés aux consommateurs finals :

1° Les différentes sources d'énergie primaire utilisées pour produire l'électricité qu'ils ont commercialisée et la contribution respective de chacune d'elles à leur offre globale d'électricité, correspondant à l'ensemble de l'électricité délivrée par un fournisseur à l'ensemble de ses clients, au cours de l'année précédente :

a) A ce titre, ils peuvent se prévaloir du mix résiduel mentionné à l'article R. 333-14, dès sa publication, pour la part de l'électricité commercialisée dont l'origine n'est pas certifiée par des mécanismes de traçabilité. Dans ce cas, il est fait mention de la part

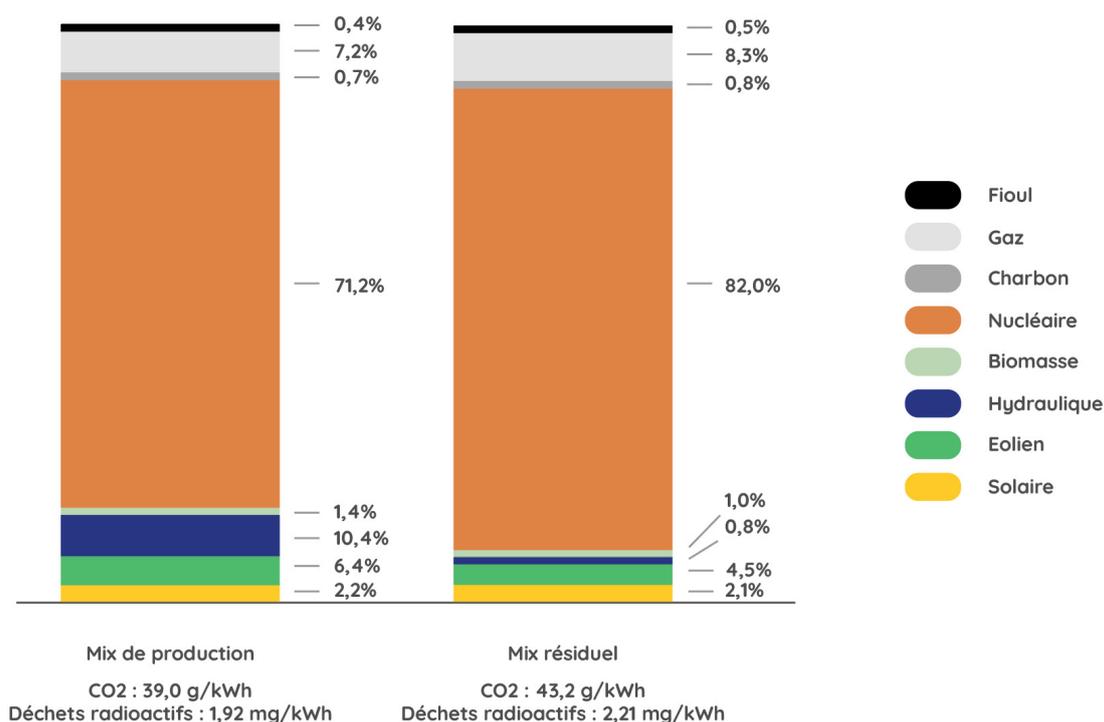
de l'électricité commercialisée sur laquelle le mix résiduel a été utilisé ; [...] »



S'il n'utilise pas de garantie d'origine, il faut par défaut qu'un consommateur ait un mix énergétique correspondant à sa consommation électrique. Dans ce cas, **le teneur de registre mandaté par l'Etat - actuellement en France il s'agit de EEX** - attribue un mix énergétique qu'il calcule en prenant en compte le mix de production d'électricité du pays auquel il déduit l'utilisation des garanties d'origine. Ce mix énergétique s'appelle **le mix résiduel**.

Ce mix résiduel permet au consommateur final **d'avoir connaissance de la part des différentes sources d'énergies qui composent** – à tout le moins statistiquement – **le panel énergétique** d'approvisionnement du

fournisseur. En revanche, **cela ne permet pas au consommateur de marquer son attachement** ou sa volonté de promouvoir, en priorité, l'utilisation d'énergies renouvelables.



Mix résiduel 2019 calculé par EEX.

Point de discussion

Il est nécessaire de souligner **une incohérence majeure entre la détermination du territoire sur lequel s'échangent les garanties d'origine et celui sur lequel le mix énergétique, dont l'empreinte carbone découle, est calculé.** Le choix d'un système d'échanges pensé à l'échelle du marché intérieur de l'énergie intégrant l'ensemble des pays membres de l'EEE cohabitant avec une méthode de calcul du mix résiduel basé sur les territoires nationaux est le résultat d'un consensus politique maladroite.

D'un point de vue physique, il est acceptable de considérer que **le système électrique auquel appartient un consommateur situé en France soit européen**. En ligne avec cette idée, les garanties d'origine s'échangent actuellement librement au sein de l'EEE sans prise en compte des flux calculés entre périmètres d'équilibre, qui s'avèrent être nationaux ou infra-nationaux. Cela est cohérent avec l'idée qu'une fois les critères des outils juridiques déterminés dont le territoire, les conventions s'affranchissent de toutes autres contraintes découlant de l'observation de la réalité physique. Par exemple, la responsabilité d'équilibre ne prend pas en considération d'éventuelles saturations empêchant l'énergie de circuler entre la Bretagne et la région PACA. Pour autant, ce marché est bien moins critiqué pour ces approximations que le marché relatif aux garanties d'origine même si tous deux s'affranchissent des réalités physiques de manière comparable.

Il arrive que certains critiquent le mécanisme légal de traçabilité de l'électricité, à savoir les garanties d'origine, en lui reprochant de ne pas être représentatif de la réalité physique. Leur démonstration consiste à comparer les flux physiques ou commerciaux calculés au niveau des frontières nationales ou des périmètres d'équilibre et d'en conclure qu'ils ne correspondent en rien avec les échanges de garanties d'origine. Un cas souvent proposé en exemple est celui de la Norvège à qui il est reproché d'inonder le marché européen des garanties d'origine. Durant l'année 2019, la Norvège a exporté plus de 100 TWh de garanties d'origine qui ont été utilisées en Europe alors que le calcul des flux physiques aux frontières indique que, durant cette année, la Norvège a été net importatrice d'électricité en raison notamment du report des conséquences d'une sécheresse historique de 2018¹⁰. Nous pourrions considérer ce fait comme la preuve que le marché des garanties d'origine est totalement décoléré de la réalité physique et qu'en conséquence il est inefficace.



10 : [The Local](#) : « Why Norway imported more energy than it exported in 2019 », 2020

Cette démonstration n'est pas valable pour les trois raisons suivantes.

Premièrement, **la distance entre les producteurs et les consommateurs n'a pas d'importance** au regard des caractéristiques physiques de l'électricité. Le choix de calculer le flux au niveau d'une frontière nationale est donc arbitraire et non justifié.

Deuxièmement, **le flux d'énergie n'est pas l'indicateur adéquat pour déterminer l'impact du soutirage d'électricité** d'un consommateur sur un système électrique. Il est approprié de prendre les endroits où le réseau sature physiquement afin de déterminer les limites du système électrique auquel appartient un consommateur. Effectivement le flux d'énergie a un impact direct sur la saturation éventuelle d'un réseau mais elle n'est pas automatique.

Troisièmement, il est admis que la réalité physique soit prise en considération pour la mise en place d'un mécanisme permettant aux consommateurs d'agir en faveur de la transition énergétique. Néanmoins, il est normal que **ce mécanisme ne soit pas en totale adéquation avec la réalité physique** dans la mesure où son objectif est avant tout de permettre aux acteurs du marché d'agir dans un but spécifique, que ce soit pour contribuer à l'équilibrage du réseau ou pour valoriser la qualité environnementale d'un mode de production d'électricité. Pour autant, un tel mécanisme doit prendre suffisamment en considération la réalité physique pour que l'action soit efficace. Ainsi, le mécanisme des garanties d'origine ne s'applique qu'à un ensemble de pays qui ont fait un effort considérable de créer des infrastructures fortement interconnectées et qui collaborent étroitement pour avoir une gestion coordonnée de ses infrastructures

La critique relative à l'incohérence entre marché et physique est donc souvent liée à un manque de connaissance dans ces domaines. Néanmoins la traçabilité légale souffre d'une incohérence manifeste dans la détermination du territoire sur lequel elle s'applique. Le mix résiduel est calculé à partir des territoires nationaux alors que les règles d'échanges des garanties d'origine se font sur un territoire européen. **Le calcul de la traçabilité légale de l'énergie ne va donc pas au bout de sa propre logique.**

S'il est décidé pour des raisons politiques de maintenir cette méthode de calcul basé sur un territoire national, il serait alors cohérent de limiter la possibilité d'échanges de garanties d'origine aux flux commerciaux (à ne pas confondre avec des flux physiques) calculés entre les périmètres d'équilibre relatifs à la convention de responsabilité d'équilibre. Un avantage majeur sera de limiter l'impact négatif de pays fortement exportateurs de garanties d'origine tels que la Norvège ou la France. En conséquence, les consommateurs d'électricité situés dans les pays en déficit d'énergie électrique de source renouvelable devront utiliser des garanties d'origine qui seront plus rares à trouver. Cela aura un impact plus rapide et durable sur les signaux d'investissement dans les énergies renouvelables. L'inconvénient majeur de ce choix est que le potentiel du territoire européen en termes de développement des énergies renouvelables sera sous optimisé dans la mesure où ce système limitera les échanges internationaux.



Une solution préférable est de **réaliser un calcul du mix résiduel basé sur la moyenne des moyens de production situés au sein du marché intérieur**. Tout consommateur d'électricité obtiendrait par défaut un mix résiduel calculé sur la base de la production de cette zone européenne. Dans ce cas, tous les consommateurs auraient le même impact carbone lié à leur soutirage d'énergie auprès du réseau européen d'électricité. Les avantages seraient d'optimiser le potentiel de développement des énergies renouvelables du territoire européen tout en incluant équitablement tous les consommateurs qui seront davantage incités à agir dans la mesure où l'empreinte carbone à l'échelle européenne est élevée.

Afin que le système soit cohérent, **il est pertinent que le GHG Protocol reconnaisse l'ensemble de l'EEE comme un territoire unique** pour le calcul d'une empreinte carbone selon la méthode dite « location based »¹¹.

L'AUTOCONSOMMATION

L'autoconsommation est un concept présent dans le droit de l'énergie en France. Il s'agit d'un moyen technique permettant de **superposer production et consommation d'énergie renouvelable**. L'autoconsommation, lorsqu'elle s'accompagne d'un dispositif de comptage permettant d'assurer que la production réalisée sur site est immédiatement consommée, rend le dispositif des garanties d'origine superflu. Pour cette raison, le cadre réglementaire assure **la cohérence entre l'autoconsommation et la garantie d'origine en évitant le double comptage**. Ainsi, une production électrique réalisée sous un régime d'autoconsommation ne permet pas de générer puis transférer une garantie d'origine pour qu'un consommateur autre que celui bénéficiant de l'autoconsommation puisse revendiquer la même origine.

L'article L314-14 du Code de l'énergie dispose que :

« L'émission par le producteur d'une garantie d'origine portant sur l'électricité produite dans le cadre d'un contrat conclu en application des mêmes articles L. 121-27, L. 311-12, L. 314-1, L. 314-18 et, le cas échéant, L. 314-26 entraîne, sous les conditions et selon les modalités fixées par décret en Conseil d'Etat, la résiliation im-

médiate du contrat. Cette résiliation immédiate s'applique aux contrats conclus à compter de la date de publication de la loi n° 2017-227 du 24 février 2017 ratifiant les ordonnances n° 2016-1019 du 27 juillet 2016 relative à l'autoconsommation d'électricité et n° 2016-1059 du 3 août 2016 relative à la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables et visant à adapter certaines dispositions relatives aux réseaux d'électricité et de gaz et aux énergies renouvelables, ainsi qu'aux contrats en cours à cette même date. »

L'autoconsommation est donc bien un système de traçabilité vers les énergies renouvelables reconnu par la loi et celui-ci est une alternative à la garantie d'origine¹².



¹² : EDF : [« Information sur l'origine de l'électricité fournie par EDF »](#)

A retenir

Il existe d'autres moyens de tracer l'énergie utilisée via le réseau électrique. **Ceux-ci complètent en parfaite cohérence la garantie d'origine** afin d'éviter tout double comptage. Ainsi, le mix résiduel s'applique en absence d'utilisations de garanties d'origine et **le régime d'autoconsommation interdit l'émission d'une garantie d'origine** pour l'utilisation par un tiers.

ATTENTION : CERTAINES NOTIONS NE GARANTISSENT NI LE TRAÇAGE LÉGAL, NI LE TRAÇAGE PHYSIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Un certain nombre de notions sont présentées par les acteurs du marché afin de promouvoir des offres d'électricité verte. **Ces notions ne traçant pas l'électricité légalement ou physiquement**, il est nécessaire que celles-ci intègrent dans leur définition les notions présentées dans le paragraphe précédent de ce chapitre pour prétendre à la vertu de promotion de la transition énergétique.

LES CONCEPTS MARKETING : PPA, ACHAT DIRECT, ACHAT CONJOINT

Les termes de **PPA, achat direct et achat conjoint** ne sont pas des notions juridiques. Il est nécessaire de recourir aux outils juridiques pour prétendre réaliser des tels contrats. Ils doivent donc à minima inclure un mécanisme permettant de tracer l'énergie légalement du producteur au consommateur, c'est-à-dire des garanties d'origine s'il concerne des énergies renouvelables ou une déclaration de producteur s'il concerne une énergie non renouvelable (nucléaire, gaz, charbon par exemple). Un régime d'autoconsommation est également valable dans la mesure où il est réali-

sé en cohérence avec les outils légaux de traçabilité.

Un PPA (power purchase agreement) est un anglicisme désignant un contrat en vertu duquel **un consommateur final achète directement de l'énergie à un producteur**. Cette notion bénéficie d'une bonne image car il est parfois particulièrement incitatif pour l'investissement dans les énergies renouvelables. Cela peut être valablement reconnu si le PPA permet effectivement le financement d'un nouveau projet de production d'énergie. Pour cela, il doit s'agir d'un contrat concernant de nouvelles installations. A contrario, un contrat qualifié de « PPA » **n'est pas automatiquement associé à un nouveau moyen de production**. Ce mode de contractualisation ne garantit pas nécessairement que des nouvelles installations soient développées. Afin de prouver son caractère incitatif, il est nécessaire de vérifier qu'un PPA permet au consommateur d'être le bénéficiaire **d'une attestation d'utilisation de garanties d'origine** faisant mention d'un ou plusieurs moyens de production dont les dates de mise en service sont récentes.



L'achat direct d'énergie est un terme parfois utilisé par des fournisseurs d'électricité. Celui-ci fait référence à un contrat portant sur la responsabilité d'équilibre réalisé directement avec un producteur ou indirectement via un agrégateur qui est censé contractualiser un accord similaire avec un producteur. A la différence d'un PPA, il n'y a aucun sous-entendu dans l'emploi de cette notion que le contrat porte sur de nouveaux moyens de production. Le caractère incitatif pour le développement des énergies renouvelables est donc en tous points similaire à l'achat de garanties d'origine **si toutefois le fournisseur a fait l'effort financier de les utiliser pour le compte de ses clients**. A minima, dans la mesure où la loi l'impose, les offres de fourniture

d'électricité verte revendiquant l'achat direct d'énergie auprès du producteur doivent inclure des garanties d'origine afin de pouvoir déclarer que l'énergie fournie est de source renouvelable.

Il arrive que **des fournisseurs d'électricité se contentent d'acheter des garanties d'origine** provenant d'autres centrales électriques tout en faisant référence à une notion d'achat conjoint. Cette notion ne sous-entend ni que les moyens de production mentionnés sont nouveaux ou récents, ni que les garanties d'origine proviennent des moyens de production présentés par le fournisseur comme équilibrant ses clients auprès du RTE.

L'ACCÈS RÉGULÉ À L'ÉLECTRICITÉ NUCLÉAIRE HISTORIQUE (ARENH)

L'ARENH a été instauré par la loi n°2010-1448 du 7 décembre 2010 portant nouvelle organisation de l'électricité dite loi « NOME ».

La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) rappelle les objectifs du dispositif.

« En permettant aux fournisseurs alternatifs de s'approvisionner en électricité de base dans des conditions économiques équivalentes à celles d'EDF, ce dispositif vise à : encourager la concurrence sur le marché de détail tout en faisant bénéficier les consommateurs de la compétitivité du parc électronucléaire français ; concourir au développement de la concurrence à l'amont, en incitant les fournisseurs à investir dans de nouveaux moyens de production de base ou à signer des contrats de gré à gré avec EDF. »

Ce dispositif permet aux fournisseurs alternatifs, c'est-à-dire à tous les fournisseurs sauf EDF, **de bénéficier d'une option d'achat** (call) offrant la possibilité mais pas l'obligation d'acheter de l'électricité, telle que définie dans les conventions relatives à la responsabilité d'équilibre, **à un prix déterminé à savoir 42€/MWh** depuis le 1er janvier 2012.

L'ARENH n'est pas un mécanisme de **traçabilité de l'énergie**. Un bénéficiaire de l'ARENH n'obtient ni garanties d'origine, ni déclaration de producteurs lui permettant d'attester de l'origine nucléaire de l'électricité qu'il achète.

De plus, **l'ARENH ne peut être perçu comme un mécanisme soutenant la filière nucléaire**. Il a pour effet de sanctionner financièrement EDF dans la mesure où EDF perd l'opportunité de vendre de l'électricité sur le marché à un prix supérieur au prix fixé par l'ARENH. En clair, si un fournisseur peut choisir de bénéficier de l'ARENH lorsqu'il y voit une opportunité par rapport aux prix de marché, EDF lui ne peut refuser au fournisseur le bénéfice de l'ARENH pour les mêmes raisons.

L'ARENH n'est pas un mécanisme de traçabilité de l'énergie.

LA BLOCKCHAIN

La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle. Cette technologie innovante, qui a vu le jour dans la finance avec l'apparition des crypto-monnaies telles que le bitcoin, a rapidement cherché de nouvelles applications.

RECS International a publié en août 2019 une synthèse de ses recherches sur l'intérêt de diverses propositions revendiquant l'utilisation de blockchain afin de contribuer à la traçabilité de l'électricité.

L'association souligne que **des projets proposent d'améliorer le fonctionnement des teneurs de registres des garanties d'origine**. Ils s'appuient donc sur le travail de coopération des États de l'Union européenne ayant mis en place un cadre légal pertinent pour l'améliorer en apportant des solutions techniques innovantes. Néanmoins, d'autres projets proposent des mécanismes de traçabilité parallèles au cadre légal remettant en cause le principe d'exclusivité de la traçabilité légale de l'énergie. En effet, une unité de production pourrait donc avoir plusieurs certifications différentes et être utilisée plusieurs fois (double ou triple comptage). Au-delà du caractère très discuté de la pertinence de ces projets, certains s'avèrent même être

peu fiables intrinsèquement. En effet, **certains projets de blockchains ne sont pas aussi sécurisés** que des blockchains publiques comme le Bitcoin. Il s'agit de blockchains privées et au profit d'un nombre limité d'utilisateurs (un fournisseur d'électricité par exemple). Les données sont moins vérifiées et il y a donc moins de contrôle extérieur neutre.





LES INFORMATIONS ÉMANANT DES GESTIONNAIRES DE RÉSEAUX (RTE, ENTSO-E)

Les gestionnaires de réseaux d'électricité tels que RTE en France ou l'association européenne de ces réseaux, l'ENTSO-E divulguent des informations relatives à la production d'électricité. Il peut être tentant de les utiliser comme source d'information pour connaître les sources d'énergies que nous utilisons.

Ces sources d'informations sont utilisées par les organismes compétents, à savoir les teneurs de registre des garanties d'origine, **pour calculer les mix énergétiques attribués aux consommateurs finals**. Ces méthodes sont transparentes et expliquées. Nous avons vu progressivement au sein de cet article que certains concepts relatifs à la physique mais aussi au droit doivent être maîtrisés afin de bien cerner les enjeux de la consommation électrique. Faire donc le lien entre les informations fournies par les gestionnaires de réseaux et le calcul de son mix de consommation électrique **risque d'engendrer des raccourcis qui nuisent à la perception du système**, en plus d'être invalides au regard de la loi.

A retenir

Si le PPA est parfois particulièrement incitatif à l'investissement dans les énergies renouvelables, les notions marketing d'achat direct d'énergie et d'achat conjoint d'énergie ont pour unique vertu **l'utilisation supposée de garanties d'origine**. Ces trois notions n'étant pas juridiques, il est nécessaire de vérifier leurs définitions proposées par les entreprises les mettant en avant.

A ce stade, **aucune technologie blockchain n'a apporté d'amélioration concrète au mécanisme de traçabilité légale** de l'énergie utilisée via un réseau électrique. Il arrive souvent que des offres prétendant leur utilisation amène essentiellement de la confusion auprès des consommateurs dans la mesure où elles se présentent en alternatives aux garanties d'origine.

L'ARENH ne doit être en aucun cas perçu comme un mécanisme de traçabilité légale de l'énergie utilisée et encore moins comme un mécanisme de soutien à la filière nucléaire.

L'énergie se déplace dans le réseau électrique à une vitesse proche de celle de la lumière. Son déplacement est donc quasiment instantané. **Tous les moyens de production répondent en même temps au besoin des consommateurs** sauf en cas de saturation de chemins au sein du réseau électrique. Si la distance géographique n'est pas déterminante, **la densité du réseau électrique est un frein majeur à la circulation de l'énergie**. La physique permet de nous aider à conceptualiser un système sur lequel nous pouvons agir contenu de ces éléments.

Il faut penser le sujet à l'échelle européenne.

Il a été choisi de calculer le mix énergétique et l'empreinte carbone qui en découle **en se basant sur les territoires nationaux**. Par exemple, si un consommateur est en France, il sera considéré que les centrales nucléaires situées à l'intérieur des frontières de ce pays répondent prioritairement à son besoin. Selon nous, cette méthode de calcul devrait être améliorée. **L'échelle de l'Union européenne semble plus pertinente** pour déterminer l'impact d'un consommateur lorsqu'il est situé dans un pays membre. Le niveau d'interconnexions entre les pays membres est souvent si élevé qu'il est absurde de considérer que l'empreinte carbone d'un consommateur diffère du fait qu'il soit situé d'un côté ou de l'autre d'une frontière nationale. Enfin, le mécanisme d'échange des garanties d'origine a été pensé à l'échelle européenne, ce qui est en contradiction avec le calcul à l'échelle nationale des mix énergétiques et donc des facteurs d'émission de gaz à effet de serre.

Une fois que la mesure de notre impact carbone est réalisée comment agir ?

Pour passer à l'action il faut des outils. Certes le mieux est de réduire son utilisation d'énergie. Mais l'action ne doit pas s'arrêter là car c'est insuffisant. **Il faut aussi changer le mix de production qui alimente le réseau électrique**, car il est encore fortement dépendant des énergies fossiles.

Conclusion

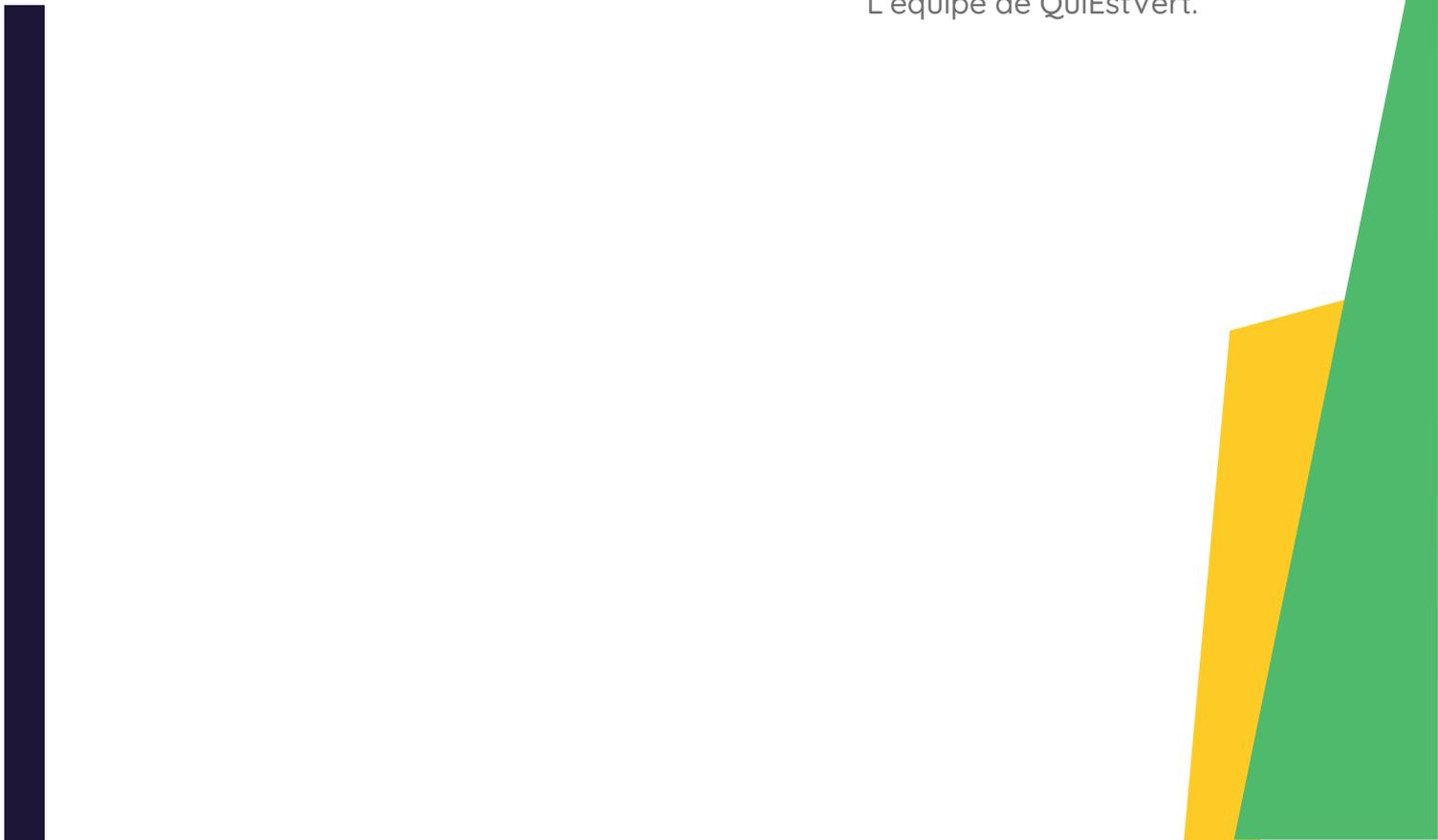
Aujourd'hui, **la garantie d'origine est l'unique outil permettant de déterminer légalement l'origine de l'électricité**. Elle s'échange librement au sein du marché intérieur de l'énergie. Pour permettre la bonne compréhension de ce qu'est une offre d'électricité verte, **il est nécessaire d'écarter les notions non juridiques telles que l'achat direct ou conjoint ou encore les promesses liées à la blockchain**.

Les offres d'électricité verte proposent de financer la transition énergétique du réseau électrique de manière plus efficace et durable en se basant sur **une demande volontaire et atomisée**. La consommation volontaire d'électricité renouvelable via les garanties d'origine permet de réduire voire dans certains cas de s'affranchir des mécanismes de subvention. De plus, **la communication positive** des actions réalisées par les acteurs permet de partager au sein de la société des valeurs communes, ce qui engendre une plus grande acceptabilité de l'effort à fournir.

C'est une alternative aux mécanismes de soutien public, financés par les contribuables et qui sont réalisés à des échelles nationales. **Ces derniers sont sous-optimaux car ils ne cherchent pas à bénéficier au mieux du potentiel du territoire européen**. En clair, installer massivement des panneaux solaires en Allemagne n'est pas la meilleure solution en Europe. Par ailleurs, ils créent des effets d'aubaine en rémunérant excessivement les producteurs et sont soumis aux aléas politiques qui peuvent remettre en cause brutalement leur fonctionnement. Enfin, l'emploi excessif de mécanismes qualifiés de punitifs peut engendrer des réactions de rejet, tels que des procès en justice ou des manifestations populaires comme celle des gilets jaunes en France.

Nous espérons par ce document, **contribuer au succès de la consommation volontaire d'électricité renouvelable**. Nous pensons que les politiques d'incitation au développement des énergies renouvelables **devraient se penser à l'échelle européenne** en se focalisant davantage sur les garanties d'origine en raison des nombreux avantages qu'elles présentent.

Remerciements

A thick, dark blue vertical bar is positioned on the left side of the page. In the bottom right corner, there is a decorative graphic consisting of a yellow trapezoidal shape partially overlapping a green triangular shape.

Nous tenons à remercier chaleureusement messieurs **Yann GIRARD**, Maître de Conférences au Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques & Professeur associé à l'Université Paris 8 Diderot ; et **Etienne DURAND**, Maître de conférence en droit public & Directeur du Master Droit européen des affaires à l'Université Jean Moulin Lyon 3, qui ont oeuvré avec nous à la rédaction de cet article académique.

Grâce à leur expertise, tant sur le fonctionnement physique du réseau électrique pour l'un, que sur la réalité juridique du marché de l'électricité pour l'autre, nous avons construit ce dossier, qui nous l'espérons, apportera tous les éléments de compréhension pour celles et ceux qui désirent affiner leurs connaissances sur le vaste sujet qu'est celui de l'électricité.

Un grand merci à eux donc, pour le temps et l'intérêt qu'ils ont porté à ce projet.

L'équipe de QuiEstVert.

Crédits photos



Tous les visuels utilisés comme illustration de cette publication sont issues de [Unsplash](#).

Photographes : Rodion Kutsaev ; American Public Power ; Fre Sonneveld ; Christian Wiediger ; Andie Kolbeck ; Annie Spratt ; C Dustin ; Priscilla du Preez ; Severin Demchuk ; Jim Sung ; Daria ; Camill Fernand ; Subhayan ; Jim Sung ; Dina Lydia ; Vivint Solar ; Joshua Melo ; Anthony Indraus.



D'où vient l'électricité que j'utilise ?

QuiEstVert

Association à but non lucratif enregistrée à la préfecture de Lyon.

Numéro RNA W691100695.

38 Boulevard des Tchécoslovaques, 69007 Lyon

www.ouestvert.fr

