

## Le transport de l'énergie

### Le transport des combustibles

La consommation mondiale de pétrole est estimée à 30 milliards de barils par an. Etant donné que un baril correspond à 159 litres et que la densité du pétrole est de 0,8 cela correspond à une masse de pétrole de quelque  $3,8 \cdot 10^{12}$  kg. Cette masse correspond à la capacité de quelque 15 000 supertankers d'une capacité moyenne actuelle de 250 000 tonnes. Les 8 000 supertankers qui sillonnent les mers pour l'approvisionnement du monde en pétrole effectuent donc approximativement entre 4 et 5 allers-retours par an. La consommation optimum d'un moteur thermique avoisinant 200 g/kWh, cette masse de pétrole représente une énergie considérable voisine de  $46,4 \cdot 10^{12}$  kWh. Les gazoducs qui assurent le transport du gaz sont aussi du domaine de la démesure. La longueur totale des gazoducs dans le monde est estimée en effet à plus de 1 million de km, soit 25 fois la circonférence terrestre. Leur vulnérabilité aux actes de sabotage dans les zones de conflit, ainsi que les trop grandes distances entre les gisements et les zones de consommation, ont conduit à développer un mode de transport sous forme liquide. C'est ainsi que le gaz naturel liquéfié (GNL), moins volumineux qu'à l'état gazeux, est transporté à  $-160$  °C et à la pression atmosphérique par les navires méthaniers.

### Le transport de l'énergie

S'il n'y avait les pollutions extrêmement graves en cas d'accident, un avantage du transport des combustibles par voie maritime semble tenir au fait qu'il s'effectue avec des pertes d'énergie relativement peu importante en regard de l'énergie interne contenue dans le fluide transporté. Ce n'est pas le cas du transport de l'énergie. L'énergie, qu'elle soit *hydraulique, thermique ou électrique* n'échappe pas aux pertes de puissance en ligne. Seule l'énergie mécanique peut se transmettre sans perte d'énergie significative mais sur de petites distances.

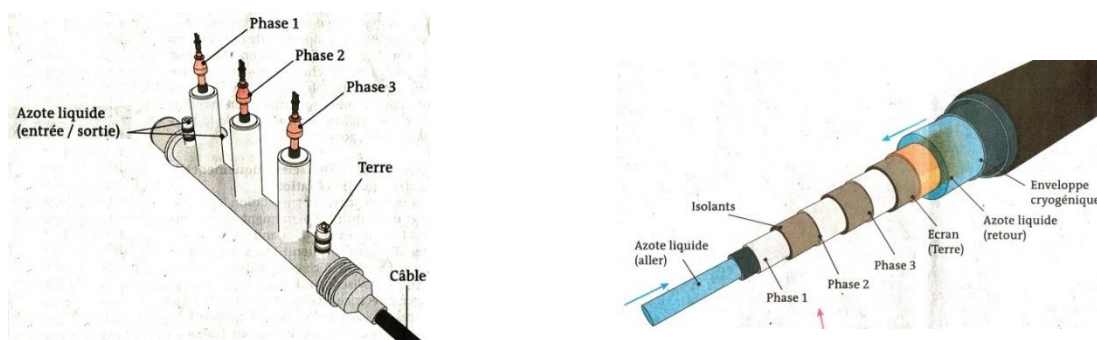
### Le transport de l'énergie électrique

Même les circuits haute tension (90 000 Volts), voire très haute tension des liaisons électriques internationales (400 000 Volts) dans lesquelles circule une intensité électrique moins importante, n'échappent pas à ces pertes égales à  $W = R I^2 t$  pour une puissance transportée

$P$  watt =  $U$  volt x  $I$  ampère. Malgré ces problèmes, le transport de l'énergie *électrique* sur de grandes distances est parfois envisagé. Pour preuve, la centrale solaire marocaine *Desertec* de 500 mégawatt et le projet d'acheminement de cette énergie vers Aix-la-Chapelle (Aachen) suite aux accords du Maroc avec l'Allemagne. On mesure l'intérêt d'un tel projet lorsque l'on sait que l'aménagement d'un carré de 300 km par 300 km en panneaux solaires permettrait de couvrir le besoin en énergie électrique de la terre entière. Une nouvelle notion en termes de réseau électrique se fait jour. On parle de réseau intelligent (*Smart grid*). On voit apparaître, en effet, dans les réseaux électriques actuels, des liaisons transversales qui répondent au besoin de limiter le transport de l'électricité sur de trop grandes distances. Cela est intéressant par le fait qu'une production décentralisée diminue les pertes en ligne par effet Joule et les coûts du fait de leur moindre longueur. On mesure l'incidence sur le réseau qui peut résulter de l'apparition d'une nouvelle forme de production électrique constitué par exemple de 500 grosses éoliennes de 2 000 kW répartie sur un grand territoire. On mesure également combien il est important que le réseau actuel évolue avec souplesse vers une distribution latérale partagée par tous du fait d'une production locale. Le réseau EDF actuel semble déjà suffisamment souple et en mesure de satisfaire ce besoin. En effet, un particulier souhaitant installer des panneaux voltaïques sur le toit de sa maison peut encore revendre à EDF la production électrique produite pas ces

## Les lutins thermiques et :

panneaux. Reste que pour l'instant, seules les municipalités ont la possibilité de consommer directement l'électricité qu'elles produisent sans devoir la vendre à EDF. Pour exemple Montdidier, petit village de Picardie en voie d'acquérir son autonomie énergétique en 2015 en finançant l'implantation sur sa commune de quelques grosses éoliennes. Ceci sans augmenter, voire en diminuant, les impôts locaux. On commence à mesurer au travers de ces exemples ce que va être la transition énergétique attendue des Français. Cette transition pourrait aussi inclure l'apparition des supraconducteurs permettant de supprimer les pertes électriques en ligne par effet Joule. C'est un constructeur français qui a fourni la première ligne électrique de ce type sur une longueur de 1 km. Le froid assuré par une circulation d'azote liquide dans un câble coaxial contenant les trois phases permet de transporter des courants de 2 000 ampères avec une tension 10 fois plus faible supprimant les coûteux transformateurs très haute tension.



*Courtesy journal « Le Monde »*

*Les deux extrémités du câble comprennent le dispositif représenté sur la figure de gauche. Les rétractions du câble provoquées par la circulation de l'azote liquide à  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  sont reprises par un dispositif en U.*

Qu'il s'agisse de l'électricité provenant des éoliennes, du nucléaire, des barrages hydrauliques ou du voltaïque, La France se prépare moins vite que ses voisins pour pallier aux dérèglements climatiques provoqués par le réchauffement climatique. Elle est en retard par rapport à son voisin allemand qui a enterré ses liaisons électriques à quelque 80% alors que seulement 41% du réseau est souterrain en 2017 dans l'hexagone. La difficulté va être aussi sur le long terme, concilier la variabilité de la production des énergies électriques renouvelables avec les variations du besoin par nature liées aux aléas de la consommation. L'EDF, confronté à la nécessité d'assurer l'indépendance énergétique des îles qui constituent la **France d'outre-mer** estime que les réseaux électriques existants devraient être capables de « digérer » une augmentation de la production d'énergies renouvelables allant jusqu'à 40 %, des adaptations devenant nécessaires au-delà. La biomasse et l'hydroélectricité sont programmables et disponibles à la demande. Ces deux modes de production représentent pour l'instant une part importante de la production énergie électrique renouvelable mais cette part pourrait diminuer avec l'énergie solaire et son intermittence jour-nuit. Lorsque l'énergie électrique solaire deviendra prédominante, il faudra faire évoluer le réseau existant. Ceci par le fait que si les emplacements de consommation restent sensiblement inchangés les lieux de production deviendront eux différents et évolueront vers des productions locales. Cela va allégeant en partie le réseau mais celui-ci devra toutefois s'adapter à la demande en hiver voire la nuit. Il devra pouvoir le faire grâce au stockage de l'énergie électrique assuré par les stations de transfert énergie par pompage (*STEP voir page 61*). Ces dernières ont déjà une capacité de 4,3 GW à l'échelon mondial qui pourrait être portée selon le président du Syndicat des énergies renouvelables à 6,3 GW à l'horizon de 2030. L'intérêt des STEP est qu'elles sont non seulement capables de délivrer des puissances électriques importantes quasi instantanément à la demande mais aussi d'emmagasiner une quantité d'énergie importante. Ceci en répondant à des rythmes hebdomadaires à l'échelle de l'hexagone.

### Le transport des énergies hydraulique et thermique avec l'eau

On peut aussi transporter dans de bonnes conditions l'énergie *hydraulique* dans des canalisations. Ceci dans le but de transformer cette énergie hydraulique en énergie mécanique avec des vérins pour les *mouvements linéaires* ou des moteurs hydrauliques pour les *mouvements rotatifs*. L'eau a en effet une faible viscosité cinématique (1 centistoke à 20 °C) qui confère à l'écoulement dans la tuyauterie des pertes de charge très raisonnables <sup>2</sup>. En raison de sa chaleur spécifique élevée, l'eau est également un excellent *véhicule thermique*. La puissance thermique pouvant être délivrée par la même conduite d'eau est importante <sup>3</sup> et a pour valeur  $P = Q T c$ ,  $T$  étant la température en degré Kelvin et  $Q$  le débit de fluide circulant dans cette tuyauterie ( $c$  étant la chaleur spécifique de l'eau). Les tuyauteries métalliques ne sont toutefois pas bien adaptées au transport de l'énergie thermique en raison des déperditions thermiques qui peuvent être redoutablement élevées si l'on néglige l'isolation de la tuyauterie.

### Aspect quantitatif des pertes en ligne

Type d'énergie	Électrique	<sup>2</sup> Hydraulique	<sup>3</sup> Thermique
Puissance $P$ Watt	$P = U I$	$P = Q p / 360$	$P = c Q T$
Unités	$P$ en watt avec : - tension $U$ en volts ; - courant $I$ en ampères.	$P = Q p$ avec $P$ en watt $Q$ débit en m <sup>3</sup> /s $p$ pression en N/m <sup>2</sup>	$P$ en kW avec : - débit $Q$ en kg/s ; - température $T$ (Kelvin) ; - $c$ chaleur spécifique du fluide $c = 4,18$ kJ/kg et °C.
Pertes de puissance Remarque	$\Delta P = I (U_1 - U_2)$ $U = RI$ effet Joule Chute de tension en ligne $U_1 - U_2$	$\Delta P = Q (p_1 - p_2)$ Pertes de charge en ligne <sup>1</sup> $p_1 - p_2$	$\Delta P = c Q (T_e - T_s)$ $T_e - T_s$ Chute de température en ligne en °C

Les formules du tableau sont indiquées dans le système international (SI). En pratique, dans le cas de l'hydraulique et en utilisant les unités habituelles, on a  $P$  en kW =  $Q p / 360$  avec le débit  $Q$  en l/mn et la pression  $p$  en bar.

Les tuyauteries, incontournables pour le transport des énergies hydraulique<sup>2</sup> et thermique<sup>3</sup>, sont soumises à de nombreuses contraintes. En premier lieu, la corrosion interne ou externe lorsqu'ils sont en acier étiré à froid avec ou sans soudure. En deuxième lieu, aux *contraintes mécaniques* dues à la pression intérieure qui est parfois très importante. Heureusement, l'homme maîtrise bien cette *dernière contrainte*. La plus grave contrainte, lorsqu'ils véhiculent le combustible sur de très grandes distances et ceci qu'il s'agisse des gazoducs ou des oléoducs, est le coût très élevé engendré par leur longueur et leur vulnérabilité aux actes de sabotage qui se répercutent inévitablement sur le prix de l'énergie sur le lieu d'utilisation.