



Le transport de l'énergie

Le transport des combustibles

La consommation mondiale de pétrole est estimée à 30 milliards de barils par an, soit puisque 1 baril=159 litres et la densité du pétrole de 0,8 une masse de pétrole de quelque $3,8 \cdot 10^{12}$ kg. Cette masse correspond à la capacité de quelques 15 000 supertankers d'une capacité moyenne actuelle de 250 000 tonnes. Les 8000 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 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 estimé 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 conflits 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

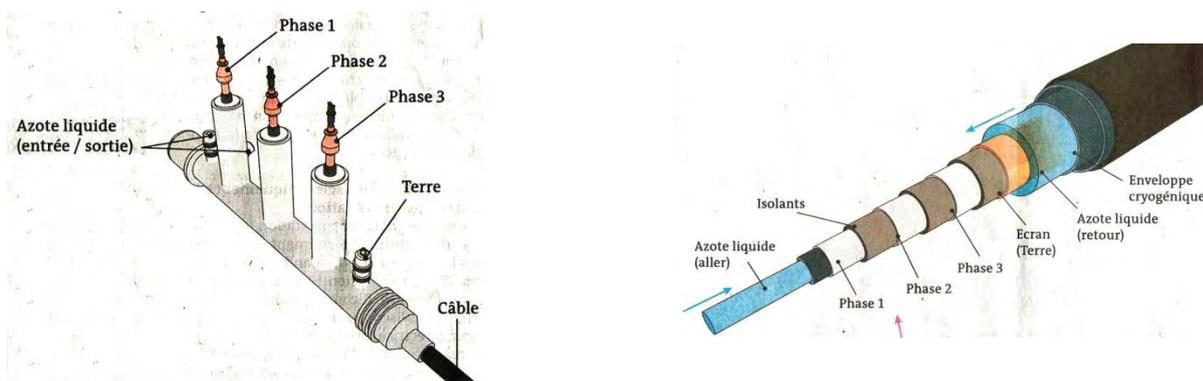
S'il n'y avait les pollutions extrêmement graves en cas d'accident, un avantage du transport des combustibles par voie maritime semble tenir au fait qu'il s'effectue sans perte d'énergie importante. Ce n'est pas le cas du transport de l'énergie. L'énergie, qu'elle soit *hydraulique, thermique ou électrique*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

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 circulent 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'Allemagne¹⁾ 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 panneau solaire 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. Quand on sait que 5000 grosses éoliennes de 2000 kW fournissent la même puissance qu'une centrale nucléaire de 1500 MW on mesure l'incidence sur le réseau qui peut résulter de l'apparition de cette nouvelle forme de production électrique répartie sur un grand

Les Lutins thermiques et:

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 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 3 phases permet de transporter des courants de 2000 ampères avec une tension 10 fois plus faible supprimant les couteux transformateurs très haute tension.



Courtesy 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°C sont reprises par un dispositif en U

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) qui confère à l'écoulement dans la tuyauterie des pertes de charges très raisonnables ²⁾. 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 ³⁾ 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.

Les Lutins thermiques et:

Aspect quantitatif des pertes en ligne

Type d'énergie	¹⁾ Electrique	²⁾ Hydraulique	³⁾ Thermique
Puissance P Watt	$P=UI$	$P= Q p /360$	$P = c Q T$
Unités	P en watt avec - Tension U en volts - Courant I en Ampère	$P = Q p$ avec P en watt Q débit en m ³ /s p pression en N/m ²	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 ¹⁾ $p_1 - p_2$	$\Delta P= c Q (T_e - T_s)$ $T_e - T_s$ 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 tuyaux, incontournables pour le transport des énergies hydraulique et thermique, sont soumis 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 ²⁾. 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 répercute inévitablement sur le prix de l'énergie sur le lieu d'utilisation. ⁴⁾ et ⁵⁾

<http://www.infoenergie.eu/oces/>