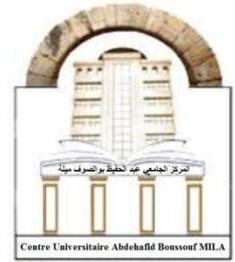


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Centre Universitaire Abdel Hafid Boussouf
Mila



Support de Cours

Matière : Transport et Stockage de l'Énergie

Chapitre III : Transport d'énergie

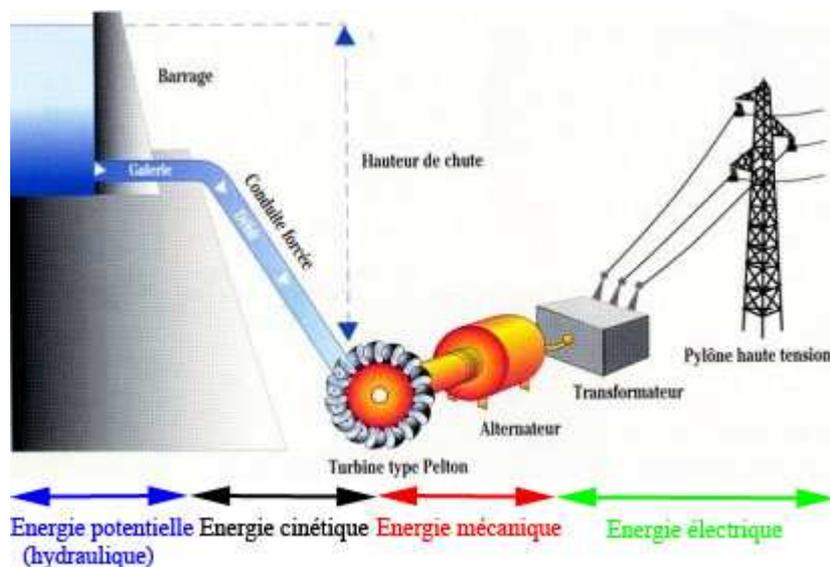
Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

Master2

Semestre 3

Dr. ZEGHBID Ilhem



Année universitaire 2019-2020

Chapitre III

Transport d'énergie

1. Introduction

Lorsque la production d'énergie est fluctuante, la nécessité d'un stockage de l'énergie s'impose : il faut en effet garantir à tout moment un équilibre entre la consommation et l'énergie disponible.

A. Transport des combustibles

Pour les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) et l'uranium, les zones de consommation sont le plus souvent très éloignées des zones de production. Cela impose des transports sur des distances souvent très importantes. Le mode de transport utilisé (bateaux, pipelines...) dépend de la ressource énergétique transportée mais aussi de la distance à parcourir. L'avantage de ces ressources, c'est qu'elles sont facilement stockables dans les zones d'utilisation.



Le pipeline est un conduit qui sert au transport des produits pétroliers et du gaz naturel sur de longues distances.

Le transport du gaz ne jouait qu'un rôle très limité à l'époque du gaz manufacturé. Une seule canalisation importante a été posée en France à cette époque, celle amenant à Paris le gaz des cokeries minières et sidérurgiques de Lorraine (environ 300 km de longueur, 300 mm de diamètre).

Au contraire, l'apparition du gaz naturel a entraîné un grand développement du transport de gaz, car les gisements sont en général éloignés des points de consommation.

Jusqu'à une date toute récente, le transport du gaz se faisait presque exclusivement en canalisations cylindriques d'acier enterrées, et, très accessoirement, en camions équipés de réservoirs sous pression. Si l'on prend en compte les coûts inhérents aux équipements de transport, il en résulte que la valorisation des gisements de gaz naturel dépend en grande partie de leur localisation.

La mise au point récente des techniques de transport maritime du gaz naturel liquéfié ouvre une ère nouvelle à l'industrie du gaz naturel en permettant la valorisation des gisements d'outre-mer.

A.1 Transport par canalisations

Transport par gazoducs

Un gazoduc est constitué par des tubes d'aciers soudés les uns aux autres. L'épaisseur, de l'ordre de quelques millimètres, est fonction du diamètre, lequel varie généralement entre 20 cm et 1 m ou plus, le diamètre le plus important atteignant actuellement 1,40 m. Les soudures font l'objet de divers contrôles, puis, avant d'être enterrés, les tuyaux sont protégés par un revêtement extérieur. Pour donner au gaz une vitesse de transport suffisante, une pression est nécessaire. Au départ, on utilise la pression existant à la sortie du gisement ou du compresseur de la station de production (terminal GNL, par exemple), puis, pour assurer dans les conduites le maintien de la pression désirée (en moyenne 70 bar) de puissantes stations de compression sont installées en principe tous les 80 km.

L'entretien des gazoducs est réalisé par des pistons racleurs qui nettoient intérieurement les canalisations et des inspections périodiques sont effectuées sur le terrain ou en hélicoptère pour déceler des fuites éventuelles : il suffit d'observer la végétation plantée au-dessus du gazoduc enterré, car si des fuites se produisaient celle-ci changerait d'aspect.

A.2 Transport sous forme liquide

Pour constituer un marché international, comparable à celui du pétrole, le gaz naturel devait franchir un obstacle de taille : les océans. Alors que la technique des gazoducs avait pris naissance aux États-Unis, celle des navires méthaniers se développa en grande

partie en Europe occidentale lorsqu'il parut possible, dans le début des années soixante, de mettre à la disposition du vieux continent les ressources gazières découvertes au Sahara. Pour transporter par mer le gaz naturel dans des conditions économiques satisfaisantes, il faut liquéfier celui-ci à la pression atmosphérique et à la température de -160 C° , la liquéfaction réduisant en effet de 600 fois le volume du gaz naturel par rapport à son état gazeux.

Une chaîne complète de transport de gaz naturel liquéfié (GNL) comporte normalement :

- un gazoduc du gisement de gaz jusqu'à la mer ;
- au port d'embarquement, une usine de liquéfaction et un stockage de gaz liquéfié, le gaz étant rendu liquide par compression et refroidissement successifs ;
- un ou plusieurs navires méthaniers comportant des cuves, le plus souvent intégrées à la coque du navire, dans lesquelles le gaz est maintenu liquide à la température de -160 C° ;
- un port terminal où le gaz est déchargé, stocké et regazéifié, le gaz liquide retrouvant sa forme gazeuse sous l'effet d'un simple réchauffement ;
- un gazoduc reliant le port aux zones de consommation.

Le transport maritime du GNL représentait, fin 1982, un cinquième des échanges internationaux de gaz naturel et devrait en représenter plus du tiers à la fin du siècle.

En 1982, le GNL importé d'Algérie a représenté près de 26 % de l'approvisionnement total de la France en gaz. Les trois terminaux méthaniers français implantés au Havre, à Fos-sur-mer et à Montoir-de-Bretagne avaient une capacité de réception d'environ 200×10^9 kWh/an.

A.3 Navires méthaniers

Les navires méthaniers comportent des cuves autoporteuses, résistant par elles-mêmes aux efforts statiques et dynamiques de la cargaison (charge). Il en résulte une masse élevée de matériaux nobles et onéreux. Les cuves peuvent être parallélépipédiques, en alliage aluminium-magnésium, avec un revêtement isolant de bois de balsa et de laine de verre. D'autres sont cylindriques, en acier à 9 % de nickel, avec un revêtement de perlite (poudre de silice).

Des progrès plus récents ont permis la mise en œuvre de cuves intégrées à membrane métallique qui utilisent les deux techniques françaises mises au point dans ce domaine :

- la technique Technigaz (membrane gaufrée en acier inoxydable) ;
- la technique Gaz Transport (membrane plane en acier à 36 % de nickel).

Actuellement, les deux tiers environ des 80 méthaniers en service dans le monde utilisent ces deux techniques. Par ailleurs, la moitié d'entre eux ont été construits dans des chantiers navals français. Le nombre de navires méthaniers dépend des quantités à livrer annuellement et de la longueur de la traversée. Le prix d'un méthanier pouvant transporter 125 000 m³ de GNL est d'environ un milliard de francs. Un tel méthanier, à sa vitesse commerciale de 18 à 20 nœuds, peut transporter annuellement l'équivalent de 2,5 milliards de mètres cubes sur une distance telle Arzew (Algérie)-Montoir-de-Bretagne.

A.4 Terminaux méthaniers

Les terminaux méthaniers rassemblent les installations permettant la réception du GNL, son stockage, enfin sa regazéification avant réémission sur le réseau de transport. Il est évident que la capacité de stockage doit être supérieure (environ 1,5 fois) à celle des méthaniers assurant la rotation entre le pays producteur et le pays importateur.

C'est ainsi que les terminaux méthaniers sont équipés de réservoirs d'une capacité allant généralement de 12 000 à 150 000 m³ de GNL. Les cuves contenant le GNL sont construites selon les techniques précises, les réservoirs externes pouvant être soit métalliques soit en béton précontraint.

B. Le Transport ou le stockage de l'énergie électrique

Si on produit **trop d'électricité à un même instant**, on ne peut pas la consommer par utilisation immédiate. Pourtant, cela arrive très souvent, par exemple quand il y a beaucoup de vent et que toutes les éoliennes fonctionnent ou dans les lieux très ensoleillés avec les installations solaires. Il y a Trois exemples de systèmes de stockage. Nous allons décrire trois exemples de systèmes qui marchent et qui auront de plus en plus d'importance au fur et à mesure que les nouvelles sources d'électricité (le vent, le Soleil) se développeront.

B.1 Stockage STEP (solution de transfert d'énergie par pompage)

L'électricité produite est utilisée pour faire fonctionner une pompe. Celle-ci sert à monter l'eau située dans un grand réservoir (un lac par exemple) vers un réservoir aussi grand situé à une altitude plus élevée.

Pour réutiliser l'eau située dans le lac d'altitude élevée, on ouvre les vannes qui conduisent au lac inférieur : la chute d'eau fait tourner une turbine qui produit l'électricité dont on a besoin.

B.2 Stockage par production d'hydrogène

L'électricité produite en excès peut être utilisée pour produire du gaz hydrogène à partir d'eau. Ceci se fait au moyen d'un électrolyseur qui décompose l'eau en hydrogène plus oxygène. L'hydrogène (qui lui est un objet) est stocké dans des réservoirs ou dans les conteneurs qui en permettent le transport. Pour l'utiliser, on peut l'introduire comme combustible dans des brûleurs (comme on fait du gaz de ville) – c'est une solution déjà pratiquée aussi bien pour le gaz d'éclairage que pour certaines voitures ; on peut aussi l'utiliser pour alimenter des « piles à combustible » qui produisent du courant électrique à partir d'hydrogène et d'oxygène gazeux.

- Les piles et les batteries électriques

Les batteries sont des dispositifs (des instruments portables) qui utilisent la propriété des ions (qui sont des atomes chargés électriquement par ce qu'ils présentent soit un excès soit un défaut d'électrons), de changer leur charge au cours de certaines réactions chimiques.

Dans l'état chargé, les ions positifs (charges positives par défaut d'électron) et les ions négatifs (charges négatives par excès d'électron) sont regroupés dans deux zones différentes du système ; dans l'état déchargé, ils sont également répartis (neutralité électrique).

L'opération de stockage consiste à utiliser le courant pour placer la batterie dans son état chargé. L'utilisation du stockage consiste à utiliser la batterie chargée pour produire du courant jusqu'à la décharge de la batterie.

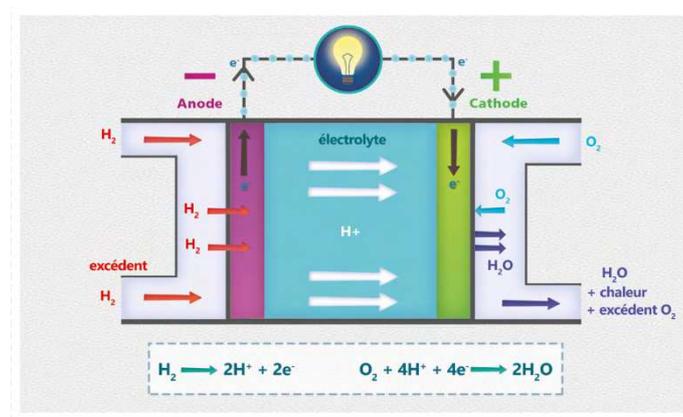
B.3 Stockage par production d'hydrogène

- Principe de la pile à hydrogène (pile à combustible)

Comme toutes les piles (*voir encart ci-dessus*), la pile à combustible comporte deux compartiments (*Fig. 1*). Le compartiment anodique est alimenté par un flux d'hydrogène gazeux et réalise la réaction $H_2 \rightarrow 2 H + 2 \text{ électrons}$, l'électron est fourni au conducteur extérieur. Le compartiment cathodique est alimenté par un flux d'oxygène gazeux. Il s'y déroule la réaction $O_2 + 4 \text{ électrons} + 2 \text{ ions oxygène négatifs } O$.

Les électrons proviennent du conducteur extérieur. Dans l'espace électrolytique qui sépare les deux électrodes à l'intérieur de la cellule, la combinaison se fait entre les ions H^+ et O^- et produit des molécules d'eau.

Dans les piles à combustible, on utilise souvent une membrane pour séparer les deux compartiments ; elle est constituée d'un polymère qui laisse passer les ions hydrogène et filtre les autres espèces. La nature n'est pas toujours facile à manipuler ! Les trois réactions en cause, ionisation de l'hydrogène, de l'oxygène et recombinaison des ions en molécules d'eau ne se maîtrisent pas toutes seules. Par exemple l'hydrogène et l'oxygène mis en présence l'un de l'autre peuvent provoquer des accidents par explosion.



C. Transport d'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chutes d'eau, cours d'eau, courants marin, marée, vagues. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique.

L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages. Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie cinétique des chutes d'eau en énergie électrique. Pour transformer en électricité l'énergie cinétique d'une chute d'eau, la plupart des centrales hydroélectriques ont recours soit à la différence naturelle de niveau entre deux parties consécutives d'un cours d'eau, comme une chute, ou à l'aménagement d'un barrage sur le cours d'eau pour élever le niveau d'eau et créer la dénivellation requise pour obtenir la force motrice nécessaire.



Énergie hydraulique

L'eau est recueillie au sommet du barrage dans ce qu'on appelle le réservoir de retenue. À partir de là, l'eau s'écoule dans une canalisation appelée conduite forcée qui la transporte vers une turbine hydraulique. La pression de l'eau augmente à mesure qu'elle s'écoule dans la conduite forcée. La pression et le débit de l'eau qui tombe actionnent une turbine qui fait tourner un alternateur, créant ainsi de l'électricité qui est ensuite envoyée par les lignes de transport aux endroits où on en a besoin.

L'énergie hydroélectrique est une façon particulièrement économique et écologique de produire de l'électricité. Cette source d'énergie renouvelable – l'eau peut être utilisée indéfiniment – ne génère pratiquement pas de gaz à effet de serre.

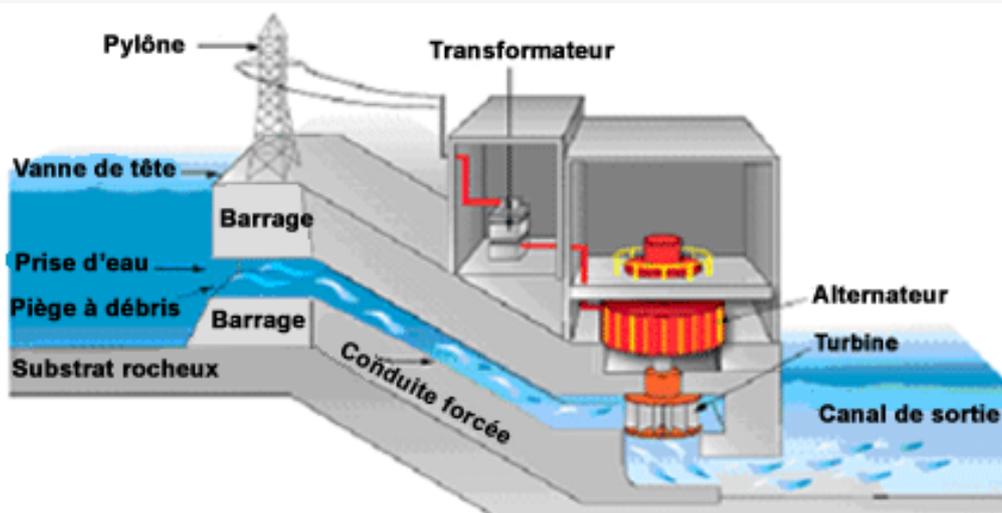


Schéma d'une centrale hydraulique.