

Exposé introductif sur les usines d'accumulation et de transfert d'énergie par pompage

par X. Ract-Madoux

Directeur adjoint,
Chef du Département "Etudes et Projets hydroélectriques"
E.D.F., Paris

Si l'on remonte aux origines, en France tout au moins, les installations de pompage sont nées de l'idée d'accumuler de l'électricité sans client. C'est ce qui avait conduit, en 1932, les promoteurs de l'usine de Kembs, sur le Rhin, à construire près d'Orbey, dans les Vosges, l'usine de pompage du lac Noir, qui était alimentée la nuit par de l'énergie de déversement et qui la restituait le jour. L'usine du lac Noir n'était autre qu'un accumulateur d'électricité de taille inhabituelle.

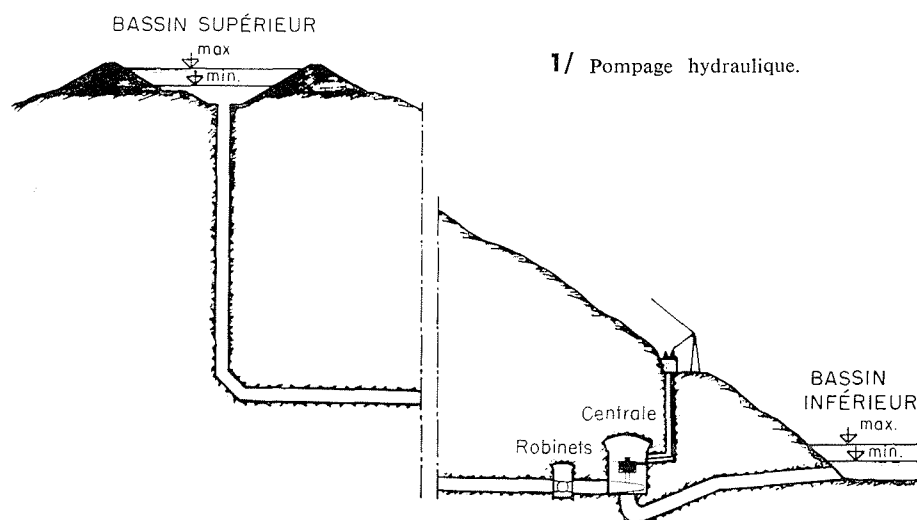
Comme dans ce cas particulier l'énergie fournie était gratuite, il suffisait, pour que l'opération soit intéressante, que cet accumulateur fut d'un coût d'installation inférieur à celui d'une usine hydroélectrique de même puissance. Nous verrons dans les exposés qui suivent que c'est très largement le cas, puisque l'on va faire état pour Revin ou Montézic de prix du kW installé de l'ordre de 500 F, alors qu'une usine hydroélectrique demande, dans les

meilleurs cas, 1 200 F/kW, quand c'est une usine de lac et jusqu'à 3 000 F/kW pour le fil de l'eau.

Ce prix moyen de 500 F/kW comprend la totalité de l'installation de pompage (fig. 1) : bassins supérieur et inférieur, conduites d'adduction, centrale, en général souterraine, équipée de ses pompes-turbines et conduite de restitution.

Le coût des bassins eux-mêmes dépend du site choisi et de sa destination, et l'on distingue à cet égard trois types de stockage : le stockage journalier, le stockage hebdomadaire et le stockage saisonnier pour lesquels les coûts de « rentabilité » à ne pas dépasser sont : 30 F/kWh pour des bassins journaliers, 6 F pour des bassins hebdomadaires et moins de 1 F pour des bassins saisonniers.

Bien entendu, si l'on rapporte le stock à la totalité de l'installation et non aux bassins seuls, on trouve des coûts différents : par exemple, une station de pompage journalier



X. RACT-MADOUX

qui coûte 500 F/kWh et possède 6 h de réserve reviendra à 500 F : 6 = 80 F par kWh installé.

Il est curieux de rapprocher ce chiffre de ce que coûte l'emploi d'un accumulateur classique, comme celui que l'on étudie pour la voiture tout électrique. Ce rapprochement n'a peut-être pas beaucoup de sens, mais contrairement à ce qu'on pouvait attendre, les ordres de grandeurs ne sont pas très éloignés : 200 F/kWh pour la batterie d'accumulateur, soit environ 1 000 F/kWh pour 5 h d'utilisation. Il y a, cependant, une différence fondamentale qui est la durée de vie de la batterie électrique, qui ne dépasse pas deux à huit ans suivant l'utilisation qu'on en fait, si bien que pour obtenir une comparaison valable tenant compte du renouvellement il faut multiplier, au moins par 3, les chiffres ci-dessus. L'accumulation d'énergie par pompage retrouve alors toute sa valeur et apparaît sans concurrent à l'heure actuelle.

La notion de transfert d'énergie peut être illustrée, de son côté, par l'exemple des premières usines de pompage allemandes, contemporaines du lac Noir, et qui étaient reliées aux centrales brûlant le lignite de Rhénanie. Ce combustible étant peu coûteux, il était économique de maintenir ces centrales en fonctionnement la nuit, bien que cela coûte du lignite, pour entraîner les usines de pompage qui intervenaient le jour pendant les heures chargées. On transformait ainsi systématiquement de l'énergie de base en énergie plus noble, celle qu'il aurait fallu produire avec des centrales brûlant du charbon ou du fuel.

Ce caractère dominant de transfert d'énergie se retrouvera en France lorsque l'énergie nucléaire, très avantageuse en coût proportionnel comme l'était à l'époque celle provenant du lignite, sera suffisamment développée pour être disponible la nuit en heures creuses. Mais cela ne se produira pas avant 1985; actuellement, au contraire, l'éventail des consommations spécifiques est assez peu étendu et, entre la dernière centrale thermique que l'on maintiendrait en service la nuit pour entraîner une usine de pompage et l'usine thermique à laquelle elle se substituerait le jour, il n'y a guère que 30 % d'écart de consommation. Or, 30 %, est approximativement la perte entraînée par un cycle complet de pompage et turbinage, il n'y a donc pas de gain sur le plan purement énergétique. Bien entendu, cela cesse d'être vrai si l'on fait porter la comparaison sur les

turbines à gaz, car celles-ci consomment beaucoup plus que les centrales de base et l'on retrouverait, en y substituant pour une part des usines de pompage, une économie de combustible importante; il reste que cette notion de transfert d'énergie suppose implicitement, pour certains esprits, l'existence d'une source d'énergie primaire très bon marché.

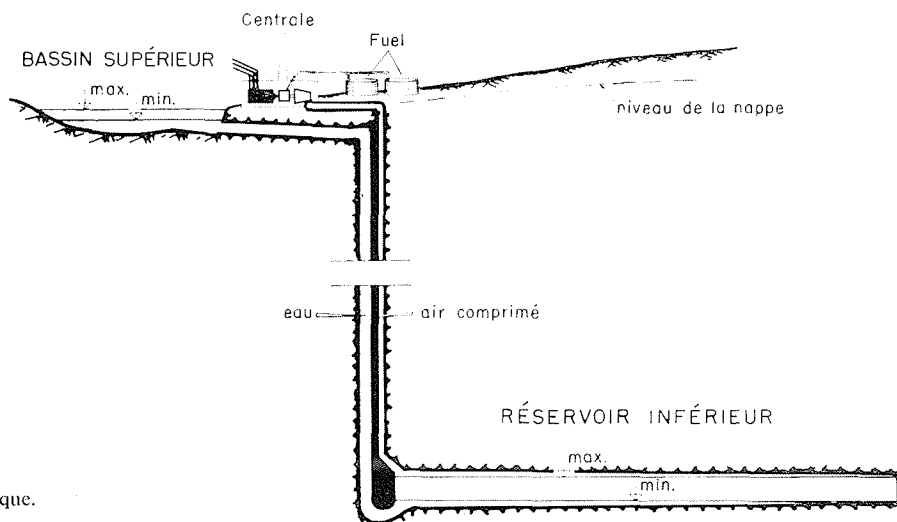
On peut également considérer les usines de pompage comme des usines hydroélectriques de lac ou d'éclusée, d'un type particulier, qui ne s'en distinguent en fait que sur un point : la réserve supérieure au lieu d'être remplie par gravité avec des adductions souvent longues et coûteuses l'est par pompage à partir du réservoir inférieur.

Douée des mêmes avantages de souplesse et de disponibilité, cette « hydraulique artificielle » est appelée dans les pays riches en houille blanche, mais où les sites naturels s'épuisent, à prolonger le règne de l'hydraulique naturelle pour permettre le maintien d'une proportion convenable de moyens modulables dans un système de production, qui va approximativement doubler tous les dix ans.

Les usines de pompage possèdent même une plus grande liberté d'implantation puisque c'est toujours la même eau qui sert entre les deux réservoirs et qu'il n'est pas nécessaire de disposer d'un débit naturel permanent. Il faut cependant du relief, 200 m ou plus pour fixer les idées, et, en dehors des Alpes et des Pyrénées, cela limite les possibilités, dans notre pays, au Morvan, aux Ardennes, au Massif Central, au Massif Armoricain et aux Vosges.

Comme les grands centres de consommation sont en général loin des zones montagneuses, il ne faut pas négliger les charges de transport qui sont souvent élevées; nous verrons dans l'exposé de M. Gérard que cela ne lui a pas échappé et que, selon l'éloignement, des majorations de 50 à 200 F par kW installé ont été appliquées.

Certains ingénieurs avaient pensé que l'on pourrait s'affranchir de ces sujétions de transport en construisant des usines de pompage hydraulique, non pas dans des régions montagneuses, mais éventuellement dans des régions plates dépourvues de relief. Pour cela, il suffisait, en ayant placé le bassin supérieur au niveau de la plaine, par exemple dans un lac, ou même dans la mer, de creuser une cavité, quelques centaines de mètres en dessous, de façon que cette



2/ Accumulation pneumatique.

cavité, en recevant les eaux turbinées, joue le rôle de bassin inférieur.

Théoriquement, il n'y a pas d'impossibilité. Il faut, bien entendu, que l'usine soit souterraine pour être placée à côté du réservoir inférieur, mais cela est classique pour les stations de pompage. La véritable difficulté est le prix prohibitif d'une excavation souterraine en regard des avantages qu'on en tire pour le pompage hydraulique.

Quelques chiffres le prouvent. Si l'on veut créer une dénivellation, par exemple de 250 m, en creusant un réservoir dans le rocher à la cote convenable, on ne stocke guère que 1/2 kWh par m³ d'excavation. Or, une excavation à cette profondeur coûte au moins 100 ou 150 F le m³. On voit donc que le kWh stocké dans ces conditions reviendrait à 250 F. C'est à peu près dix fois le prix limite indiqué au début de cet exposé : cela condamne les réservoirs souterrains pour le pompage hydraulique, même dans la perspective de progrès importants dans la technique des excavations.

Il en va autrement pour l'accumulation pneumatique, associée aux turbines à gaz qui fera l'objet des derniers exposés de cette session et dont la figure 2 donne une représentation schématique. La raison est, qu'à charge

égale, on met en réserve une beaucoup plus grande quantité d'énergie par m³ d'excavation.

Pour reprendre le même exemple que ci-dessus, l'utilisation d'une pression de 25 bars, dans une caverne située à 250 m sous la surface du sol pour réaliser l'équilibre hydrostatique, permet d'emmagasiner 4 kWh par m³ d'excavation, c'est-à-dire huit fois plus que dans le cas précédent. Le prix du kWh stocké va s'abaisser à 30 F, ce qui le rend compétitif pour de l'accumulation journalière.

Ceci ne veut pas dire que le transfert d'énergie par pompage hydraulique doive s'effacer devant le transfert par pompage pneumatique. Il y a pour cette dernière technique beaucoup de problèmes à résoudre, et sans doute de progrès à faire, progrès qui sont intervenus pour la première, grâce à l'avènement des groupes réversibles.

Quoi qu'il en soit, retenons en guise de conclusion que dans la mesure où ces deux techniques sont compétitives, et nous le saurons sans doute mieux à l'issue de ces conférences, elles auront chacune leur zone d'action, les régions montagneuses étant réservées au pompage hydraulique, le pompage pneumatique n'ayant des chances de s'imposer que dans les régions dépourvues de relief où il ne rencontrera pas son rival hydraulique.