

Chapitre 2- Adduction des eaux

2.1 Introduction

On définit par adduction des eaux le transport des eaux brutes (non traités) des zones de captage aux zones d'utilisation. Cette définition n'est pas absolue car les systèmes d'adduction peuvent parfois transporter de l'eau. Toutefois, dans la plupart des cas, lorsque les distances à parcourir sont assez longues, on se limite à transporter de l'eau brute.

L'exemple de système d'adduction de grande envergure reste certainement celui de l'état de Californie. En effet, dans cette région 70% de la consommation se trouve au sud. Ce vaste complexe comprend les éléments suivants :

- 1065 Km d'aqueducs
- 16 réservoirs
- 5 milliards de KWh de production
- 1 barrage de 213m de hauteur de chute
- Un système d'élévation de 610m pour le passage d'un col
- 105 Km de canaux à ciel ouvert.
- De nombreux tunnels.



12

2.2 Types d'aqueducs

Les aqueducs peuvent être des conduites en charge, des canaux ouverts et des tunnels ou galeries. Le choix entre ces diverses solutions est essentiellement économique, il s'agit de déterminer la configuration la plus rentable eu égard aux éléments suivants :

- Topographie
- Charge hydraulique disponible
- Coût initial et d'exploitation
- Qualité de base de l'eau
- Contamination lors du transport

a. Canaux à surface libre

C'est une méthode de transport à pression atmosphérique, le gradient hydraulique est égal à la pente de la surface libre. Son choix est déterminé par :

- Une topographie permettant un écoulement gravitaire avec excavation et remblayage minimum.
- Une hauteur de chute hydraulique suffisamment faible pour permettre de garder l'écoulement en régime fluvial.

Ces installations doivent être étanches pour éviter la contamination et les fuites. On construit donc en béton ou en bitume en utilisant des écrans d'étanchéité en butyle, en vinyle ou en toiles synthétiques. Ceci offre l'avantage de la résistance à l'écoulement. Certains canaux, posés sur le sol ou surélevés, sont construits en bois, béton ou acier.

b. Conduites

Elles servent à transporter l'eau sous pression. On les utilise généralement lorsque la topographie ne permet pas de faire des canaux et que les hauteurs de chutes sont élevées. Construites en béton précontraint, en acier, en fonte ou en fibrociment d'amiante, elles sont soit enterrées soit posées sur le sol. Un aqueduc constitué en tout ou en partie nécessite l'utilisation d'un grand nombre d'équipements annexes :

- Vannes de cantonnement
- Clapets non-retour
- Soupapes de purge (points hauts)
- Drains de vidange (points bas)
- Equipements contre les coups de bélier
- Joints d'expansion
- Joints d'étanchéité
- Trappes de visite
- Stations de pompage

c. Tunnels

Ils permettent la traversée de montage et de cours d'eau, ils peuvent fonctionner à surface libre ou en charge. Leur faisabilité est liée à la qualité du roc.

2.3 Dimensionnement économique

Dans le cas des écoulements à surface libre, on cherche à minimiser le frottement pour un matériau donné, en réduisant la surface de contact entre le fluide et le solide, c'est-à-dire en cherchant, pour un débit connu et une pente donnée, le périmètre mouillé. Le choix du matériau dépend des contraintes de coût d'achat et mise en place.

Dans un système en charge, une forte tête d'eau permet d'obtenir une pente de ligne d'énergie forte donc une conduite de diamètre plus petit et, par conséquent, moins chère. Par contre, si on doit élever la charge en construisant un barrage ou une station de pompage, le coût croît. On pourrait avoir donc tendance à réduire l'élévation de la tête d'eau quitte à augmenter le coût de la conduite. En fait, dans la plupart des cas, il existe une combinaison pente/hauteur de chute à coût minimal. L'exemple simplifié suivant permet de comprendre le principe.

La figure 2.1 représente un système d'adduction pour lequel il est nécessaire d'élever la charge par pompage en A, à une élévation h , pour ensuite faire couler le débit par gravité de

B vers C dans un tunnel de longueur L . Si h est grand la station de pompage sera chère, mais le coût du tunnel sera réduit étant donné son plus faible diamètre. Inversement, si h est petit, le coût du tunnel sera de plus grand. On porte donc en graphique le coût du pompage pour différentes valeurs de h ou de la pente $S=h/L$, puis on repère l'opération pour le coût du tunnel ; ce qui est représenté à la figure 2.2. La somme des coûts a un minimum qui fixe la pente donc la hauteur de chute.

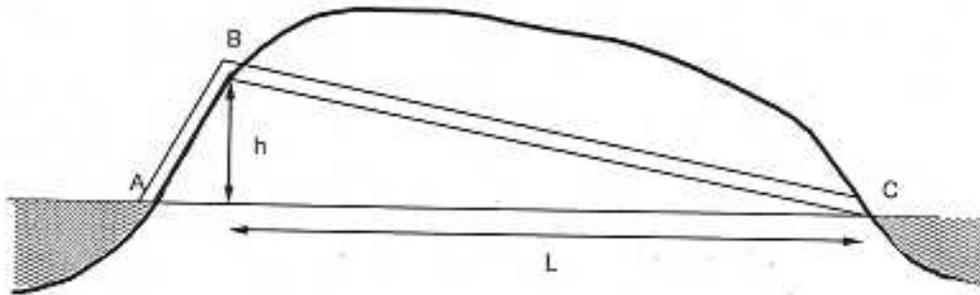


Fig.2.1 - Exemple de système d'adduction.

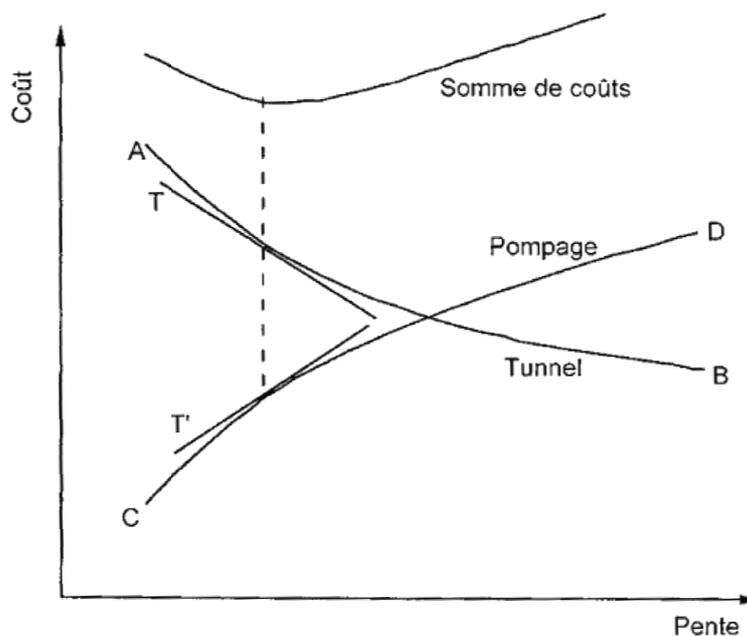


Fig.2.2- Graphique des coûts d'adduction en fonction de la pente

Il est intéressant d'interpréter les tangentes aux courbes de la figure 2.2. Sachant en effet que la pente $S=h/L$ et que L est constant, alors un incrément $ds=dh/L$ entraîne un incrément de coût dC , le rapport de ces incréments LdC/dh est donc la tangente T' de la courbe CD. T' représente donc le taux variation du coût de pompage en fonction de la hauteur de pompage. Ce taux est croissant car plus la pente augmente plus le coût augmente.

La courbe AB quant à elle présente les tendances inverses.

En fait, comme la dérivée d'une somme est égale à la somme des dérivées, nous cherchons l'abscisse pour laquelle cette somme est nulle, c'est-à-dire la pente pour laquelle la tangente à la courbe de la somme des coûts est nulle.

Dans l'exemple, les conditions optimales apparaissent lorsque $T' = -T$.

Lorsqu'un aqueduc est formé de différentes conduites en série et que la charge totale est connue, on peut utiliser la méthode graphique des tangentes parallèles pour connaître les diamètres économiques de chaque conduite (Fig.2.3)

15

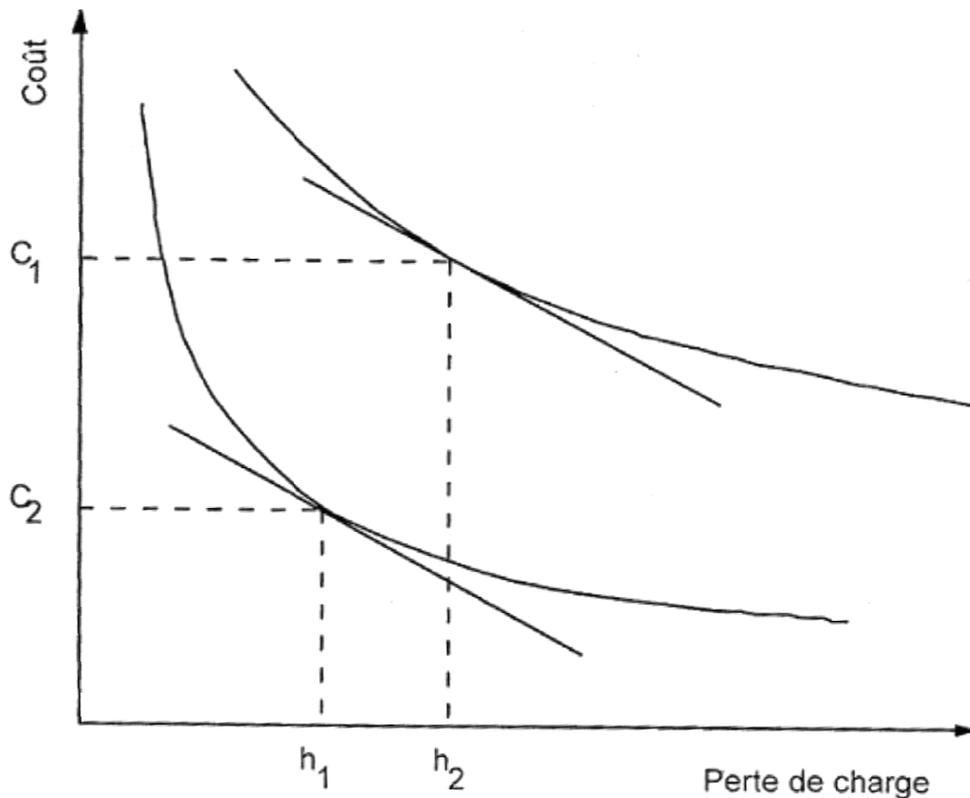


Fig.2.3 - Illustration de la méthode des tangentes parallèles.

Connaissant la charge totale h_T , on trace les courbes de coût en fonction de la perte de charge conduite. Ensuite on trace des tangentes parallèles aux courbes de telle sorte que la somme des pertes de charge correspondante soit égale à la charge totale. On procède alors par itérations jusqu'à l'obtention d'une solution.

En fait cette technique est une application graphique de la méthode des multiplicateurs de Lagrange ce qui permet de trouver l'optimum d'une fonction en respectant une contrainte.

Dans notre cas, la fonction à minimiser est la somme des coûts et la contrainte est donnée par la perte de charge constante.

Les coûts de chaque conduite sont :

$$C_1 = f_1(h_1) \quad (2.1)$$

$$C_2=f_2(h_2) \quad (2.2)$$

$$C_T=C_1+C_2 \quad (2.3)$$

La contrainte s'exprime par :

$$\Phi=h_1+h_2-h_T=0 \quad (2.4)$$

Et la fonction à optimiser :

$$F=C_T+\lambda\Phi \quad (2.5)$$

En appliquant la méthode de résolution, on écrit :

$$\frac{\partial F}{\partial h_1} = \frac{\partial C_1}{\partial h_1} + \lambda \frac{\partial \Phi}{\partial h_1} = 0 \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial F}{\partial h_2} = \frac{\partial C_2}{\partial h_2} + \lambda \frac{\partial \Phi}{\partial h_2} = 0 \quad (2.7)$$

Sachant que $\frac{\partial \Phi}{\partial h_1} = 1$ et que $\frac{\partial \Phi}{\partial h_2} = 1$

$$\frac{\partial C_1}{\partial h_1} + \lambda = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial C_2}{\partial h_2} + \lambda = 0 \quad (2.9)$$

donc en éliminant λ , on obtient : $\frac{\partial C_1}{\partial h_1} = \frac{\partial C_2}{\partial h_2}$

Ce qui est bien la méthode des tangentes parallèles.

On peut généraliser ces techniques par l'emploi de la méthode d'Euler-Lagrange qui consiste à trouver un point de singularité d'une fonctionnelle de type :

$$I = \int_L f(x, y, y') dx \quad (2.10)$$

Où :

I : coût global du projet

f : fonctions de coût liées aux paramètres hydrauliques

x : distance

y : charge

y' : pente

Ce qui peut se résoudre théoriquement par l'équation d'Euler :

$$\frac{\partial f}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f}{\partial y'} \right) = 0 \quad (2.11)$$

En pratique, on utilise plutôt des méthodes numériques pour monter sur ordinateur, à partir de ces éléments théoriques, des programmes d'optimisation pour lesquels la complexité du système à étudier n'est qu'une question de volume de données.

Equipements	Vie utile (an)
-------------	----------------

17

Aqueduc :

Barrage et tunnel	50-75
Conduite d'adduction	25-50
Usine de filtration	20-25
Conduite > 300 mm	25-30
Conduite < 300 mm	15-20
Poste de pompage	15-20
Poste de pompage	15-20
Pompe	5-10

Egout :

Conduite < 400 mm	20
Collecteur, intercepteur	25-40
Usine d'épuration	10-30
Station de pompage	10-20