

Le trajet français dessert les localités ci-après : Ax-les-Thermes, Merens, Hospitalet, Porta, Carol, Curvasill et la Tour de Carol.

Le trajet espagnol dessert les suivantes : Ripoll, Campdevanol, Ribas, Planolas, Planés, Tosas, Alp, Vilar et Puigcerdà.

Le devis global de la ligne, pour le trajet espagnol, n'arrive pas à quarante millions de pesetas. Les travaux qui doivent être entrepris en France sont un peu plus coûteux, surtout entre Ax et Hospitalet. La subvention du gouvernement espagnol, calculée à raison de 100 000 pesetas par kilomètre, ne s'élèvera qu'à 3 900 000 pesetas, somme absolument nécessaire et peut-être insuffisante, étant donné l'importance d'une œuvre aussi réellement colossale que l'est celle du percement des Pyrénées, étant donné aussi que l'intérêt national doit bénéficier grandement de l'établissement de la ligne ferrée dont nous parlons.

La grande zone levantine qui s'étend depuis Almeria jusqu'à la province de Gerona, soutient un commerce industriel et agricole d'une importance considérable avec le reste de l'Europe. La ligne d'Ax-Ripoll attire, par conséquent, ce commerce vers le cœur de la France et, par Barcelone, vers les ports français de l'Atlantique, puisque la ligne Barcelone-Ripoll-Ax-Toulouse s'incline, dès Barcelone, vers le N.-O. et qu'elle est la plus courte qu'on puisse établir dans cette direction pour arriver à Toulouse.

Les intérêts régionaux ont beaucoup à gagner avec ce tracé; puisque en tant que ligne centrale catalane, non-seulement la ligne d'Ax-Ripoll exerce une influence sur le commerce et sur les industries établies dans la zone parallèle à la mer, mais encore elle parcourt les noyaux les plus importants de la production en Catalogne. Nous n'avons pas à faire ressortir les avantages positifs qu'une communication rapide et directe entre Barcelone et Paris, Bordeaux, Le Havre, Toulouse, procurerait au port de la « Cité des Comtes », en favorisant aussi les centres industriels qui existent en si grand nombre sur son territoire; ces avantages sont aussi palpables qu'importants. Les centres où s'est établie la grande industrie acquerraient, les uns indirectement (Tarrasa, Sabadell), la plupart directement, comme Granollers, Manlleu, Torelló (ce dernier par ses « Filatures du Ter », généralement renommées en Europe) et Ripoll, une importance de premier ordre dans le monde de la production, si la voie ferrée qui les traverse aujourd'hui était convertie en chemin de fer international de grande communication. Inutile de dire que le riche bassin du Freser, avec ses centres industriels de Ripoll, Campdevanol et Ribas, et les établissements manufacturiers de la Cerdagne, se convertiraient en sources de richesse si leur territoire était traversé par le chemin de fer international.

Avec la nouvelle voie ferrée, les contrées agricoles de Vich, Berga, Llusanés, la vallée de Ribas et spécialement la Cerdagne, ne tarderont pas à voir accaparer leurs excellents produits, qui sont déjà très appréciés sur les divers marchés. Les céréales, les liquides, les tubercules, les fruits, les fourrages et particulièrement les bestiaux, produisent des sommes considérables. Les bestiaux de la Cerdagne suffisent à eux seuls pour approvisionner les marchés et les foires de la Catalogne et de Valence.

La Cerdagne se transformerait en un important centre industriel et agricole; car, en dehors des courants qui la traverseraient, provenant de l'est de l'Espagne et de l'ouest de la France, ceux de l'est de la France ne tarderaient pas à y converger aussi grâce au tramway électrique de Bourg-Madame à Olette, actuellement en construction, et qui serait prolongé jusqu'à Lérida, à travers le bassin du Segre, par une ligne électrique qui, partant de Puigcerdà, passerait par Bellver, Seo de Urgell, Oliana, Pons et Balaguer, ligne qui aurait une grande importance parce qu'elle serait un chemin de fer

transversal et secondaire desservant de grands centres miniers et industriels.

Une autre source de richesse est la mise à profit des trésors forestiers des Pyrénées, qu'une voie ferrée permettra d'exploiter avec prudence, tout en soignant le reboisement.

La richesse extractive gît oubliée dans certaines parties des Pyrénées. Que l'on songe aux richesses que représente la simple énumération des matières qui peuvent être exploitées: houilles, lignites et tourbes à Estevan, Dàs, Alp, Sanabastre et San Juan de las Abadesas; cuivre en grande abondance, calculé par milliers de tonnes, à Martinet; blendes, calamines et pyrites au val de Maranges; arsenic et antimoine à Caralps et dans la vallée de Ribas; manganèse à Dàs; fer dans le bassin du Segre et à Andorre.

Les dénivellations et les chutes de cours d'eau, tels que le Ter, le Freser, le Segre, le Carol et le Raur, peuvent produire aussi un rendement incalculable; car il s'agit d'une force motrice qui, non-seulement est utilisable dans les contrées mêmes où elle existe, mais qui peut encore être transmise à de grandes distances.

Enfin, il ne faut pas oublier que la beauté des hautes vallées des Pyrénées catalanes a été, même sans chemin de fer, une attraction continue pour les touristes nationaux et étrangers qui en ont fait un séjour de prédilection pendant la saison d'été et ont parsemé ses bois de peupliers de précieuses constructions modernes.

Il suffit de les doter de moyens commodes de communications pour qu'on puisse dire sans hyperbole que ces vallées forment la Suisse catalane, uniquement comparable à la vraie Suisse et qui a sur cette dernière l'avantage d'un climat toujours égal.

Étude comparative des diverses formules de l'écoulement de l'eau

dans les tuyaux de conduites

L'importance considérable prise depuis quelques années par les questions de canalisation d'eau, tant au point de vue de la distribution des eaux potables dans les villes qu'au point de vue de la transmission à distance de la force hydraulique des chutes d'eau, remet au premier plan de l'actualité le problème de l'écoulement de l'eau dans les conduites forcées.

Cet écoulement est régi par diverses formules empiriques plus ou moins approximatives. Nous nous proposons de passer en revue les nombreuses formules qui ont été proposées par les ingénieurs depuis quelques années, tant en France qu'à l'étranger, et d'en faire une étude comparative en indiquant celles qui offrent le plus de sécurité au point de vue pratique.

Equations fondamentales. — On connaît l'équation fondamentale de l'écoulement de l'eau dans les tuyaux à diamètre constant :

$$\frac{1}{4} DJ = \Phi(U) \quad (1)$$

à laquelle il faut joindre celle qui exprime le débit par seconde :

$$Q = \pi \frac{D^2}{4} U \quad (2)$$

D représente le diamètre, J la perte de charge par mètre

U la vitesse moyenne et Φ la fonction de résistance à la paroi.

La fonction Φ (U) qu'il est intéressant de connaître, ne semble pas susceptible d'une détermination analytique directe, car les résistances que développent la viscosité du liquide, celles qui résultent de la plus ou moins grande rugosité de la paroi, ne sont encore qu'imparfaitement connues en grandeur et en direction. Mais il a été proposé un très grand nombre de déterminations empiriques.

Formules anciennes. — Nous les reproduisons par ordre de dates avec la forme indiquée par les auteurs :

$\frac{1}{4} DJ = aU + bU^2$	Prony 1804
$\frac{1}{4} DJ = 0,0003 \sqrt[7]{U^{12}}$	Saint-Venant 1840
$\frac{1}{4} DJ = 0,0004 U^2$	Dupuit 1855
$\frac{1}{4} DJ = \left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{U}} \right) U^2$	Weisbach 1860
$\frac{1}{4} DJ = 0,00035 U^2$	Colombo 1878

Les formules anciennes sont à peu près abandonnées aujourd'hui; on leur reproche, avec raison, de ne pas se préoccuper de l'état de la paroi des tuyaux dont la plus ou moins grande rugosité influe cependant sur la perte de charge, ainsi que l'ont prouvé les expériences de Darcy. Ces formules donnent d'assez bons résultats pour les diamètres moyens entre 0,15 et 1,00, mais trop faibles au-dessous de 0,15, exagérés au-dessus de 1,00.

Formules modernes. — La première en date de ces formules, dans lesquelles la fonction de résistance à la paroi est, non plus une fonction simple de U, mais une fonction composée de U et D, est due à Darcy :

FORMULES FRANÇAISES	$\frac{1}{4} DJ = \left(\alpha + \frac{\beta}{D} \right) U^2$	Darcy 1862
	$\frac{1}{4} DJ = \frac{\alpha}{1 + R^{\frac{1}{3}}} U^2$	Lévy 1868
	$\frac{1}{4} DJ = \frac{\alpha}{D} U + \beta U^2$	Hagen 1866
	$\sqrt{U} + \frac{1}{4} D U^{\frac{1}{4}} = 5,5 D^{\frac{1}{3}} J^{\frac{1}{4}}$	Gauckler 1873
	$\frac{1}{4} DJ = 0,00023 \sqrt[4]{\frac{U^7}{D}}$	Flamant 1892
	$U = (0,96 + 0,24 n) D^{\left(\frac{3}{4} - \frac{n}{10}\right)} J^{\left(\frac{1}{2} + \frac{n}{10}\right)}$	Geslain 1899
FORMULES ANGLAISES	$\frac{1}{4} DJ = \left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{D}} \right) U^2$	Franck 1881
	$\frac{1}{4} DJ = \frac{\alpha U^n}{D^{(2-n)}}$	Uwinn et Reynolds 1882
	$\frac{1}{4} DJ = \frac{0,0002 U^2}{D^{\frac{1}{3}}}$	Manning 1884
	$\frac{1}{4} DJ = \frac{0,00019 U^5}{D^{\frac{1}{4}}}$	Lampe 1885
	$\frac{1}{4} DJ = 0,00028 \frac{Q^{1,85}}{D^{3,94}}$	Thrupp 1887

Formule Allemande $\left\{ \frac{1}{4} DJ = \left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{D}} + \frac{\gamma}{D} \right) U^2 \right.$ Kutter 1869

Comparaison des formules. — Si on élimine la vitesse U entre les équations (1) et (2), on obtient une relation de la forme générale $J = F(D, Q)$; la fonction F varie suivant l'expression adoptée pour Φ (U).

Prenons, par exemple, la formule de Prony; l'élimination de U donne :

$$\frac{1}{4} DJ = a \frac{\pi D^2}{4Q} + b \left(\frac{\pi D^2}{4Q} \right)^2 = \frac{4a}{\pi} \frac{Q}{D^2} = \frac{16b}{\pi^2} \frac{Q^2}{D^4}$$

d'où l'on déduit :

$$J = \frac{16a}{\pi} \frac{Q}{D^3} + \frac{64b}{\pi^2} \frac{Q^2}{D^5}$$

Remplaçant a et b par les valeurs indiquées par Prony et faisant π = 3,1416, on trouve en fin de compte :

$$J = 0,000088 \frac{Q}{D^3} + 0,00226 \frac{Q^2}{D^5}$$

Un calcul identique effectué sur les diverses formules conduirait pour chacune d'elles à une relation analogue entre les trois quantités D, Q, J.

Choix d'une formule. — M. Debauve, qui a calculé un grand nombre de distributions d'eau, recommande l'emploi exclusif de la formule de Darcy, avec coefficients des tuyaux incrustés jusqu'au diamètre de 0,50 et coefficients des tuyaux neufs pour les diamètres supérieurs. Au-dessous de 0,10, pour les conduites d'une certaine longueur, il recommande de majorer un tant soit peu les chiffres obtenus, substituer par exemple le diamètre de 0,04 à celui de 0,027.

A l'appui de sa recommandation, M. Debauve rapporte les résultats d'une expérience exécutée à Séville en 1895, sur une conduite en service depuis 1884, dépourvue de dépôts calcaires, de 0,533 de diamètre et de 12 816 mètres de longueur, laquelle a débité 198 litres par seconde sous une charge exactement mesurée de 19,39. Le calcul de la perte de charge par la formule de Darcy, tuyaux neufs, indique 21,06. Les autres formules donnent :

Flamant	21,25	
Manning	19,40	
Colombo	23,45	
Geslain	18,70	tuyaux neufs
—	21,50	légèrement incrustés
Reynolds	21,12	tuyaux neufs

On voit que les résultats sont assez approchés, sauf celui de Colombo. La formule de Darcy, tuyaux incrustés; celles de Lévy, Prony, Dupuit, accuseraient des pertes de charge beaucoup trop fortes.

Dans une autre expérience effectuée à Buenos-Aires en 1897, une conduite de 1,22 de diamètre a débité 1 533 litres par seconde sous une charge de 2 ms par kilomètre. Les diverses formules indiquent pour $D = 1^m 22$, $J = 0^m 002$:

Prony	1534	litres
Dupuit	1475	
Colombo	1490	
Lévy	1610	
Thrupp	2250	
Darcy	1799	tuyaux neufs
Geslain	2050	légèrement incrustés
Flamant	2100	— —
Reynolds	1710	— —
Darcy	1457	tuyaux vieux

Ici les formules anciennes reprennent l'avantage. On voit apparaître la supériorité des formules de Lévy et de Reynolds, et l'infériorité de celle de Flamant, pour les gros diamètres.

Au siphon de Saint-Paul, sur le canal de Verdon, un tuyau de 1,75 de diamètre dont la pente est de 0,001 débite jusqu'à 3 ms³ d'eau par seconde; le diamètre a été calculé par la formule de Prony pour un débit de 2 500 litres seulement.

Les formules accusent pour $D = 1^m75$ et $J = 0^m001$:

Prony.....	2650	litres
Lévy.....	2885	
Flamant.....	3500	
Darcy.....	3257	tuyaux neufs
Geslain.....	3700	légèrement incrustés
—.....	3400	très incrustés

Cette expérience fait nettement ressortir l'exactitude de la formule de Lévy pour les gros diamètres.

Les réservoirs de chasse qui servent au nettoyage des égouts de Paris, sont alimentés par des tubes en fer de 0,005 et 0,004 de diamètre, qui doivent fournir uniformément 10 ms³ par vingt-quatre heures ou 0^l116 à la seconde. Ce résultat est sensiblement acquis. Les tubes de 0,005 s'emploient pour les pressions comprises entre 5 et 45 ms, ceux de 0,004 pour les pressions plus élevées.

Dans les tubes de 0,005 la vitesse est de 6 ms par seconde; la perte de charge se rapproche de 15 ms, car les tubes ont 3 ms de long pour 45 ms de pression sur la conduite, 2,60 pour 40 ms et 2 ms seulement pour 30 ms.

Les diverses formules donnent comme perte de charge par mètre pour $D = 0^m005$ et $Q = 0^l116$:

Dupuit.....	11,50	
Flamant.....	16,00	
Darcy.....	50,50	
Prony.....	10,50	
Geslain.....	14,00	tuyaux neufs
—.....	20,50	légèrement incrustés
Lévy.....	40,00	
Colombo.....	11,00	

Ces chiffres marquent la supériorité des formules de Flamant et de Geslain pour les petits diamètres.

Le tableau suivant donne les débits en litres par seconde correspondant à une perte de charge de 5 millimètres par mètre pour des tuyaux de 0^m500, 0^m800 et 1 mètre de diamètre :

	0 ^m 500	0 ^m 800	1 ^m
Prony.....	260	839	1441
Dupuit.....	251	810	1416
Darcy { tuyaux neufs.....	300	988	1722
{ tuyaux incrustés.....	212	695	1218
Lévy.....	225	785	1424
Flamant.....	316	1128	2066
Geslain { tuyaux neufs.....	320	1150	2100
{ tuyaux incrustés.....	260	925	1700

Conclusion. — Personnellement, nous donnons la préférence à la formule de M. Flamant pour les petits et moyens diamètres jusqu'à 1 mètre, et à celle de M. Lévy pour les diamètres plus élevés.

Néanmoins, nous reconnaissons que pour les diamètres compris entre 0,15 et 0,80, on obtient des résultats assez approchés avec la plupart des formules anciennes, et celles de Darcy, Manning, Kutter, etc. Les formules de Reynolds se présentent également dans d'assez bonnes conditions sur toute l'échelle des diamètres.

DARIÈS.

(Nouvelles Annales de la Construction.)

Distribution d'Énergie Électrique dans le département de l'Aude

Distribuer l'énergie électrique au moyen d'une usine génératrice unique, aussi bien pour la force motrice que pour l'éclairage dans un département tout entier, couvrir ce département d'un réseau de lignes à haute tension, utiliser pour cela une chute d'eau située à 70 kilomètres d'un centre de distribution d'où partent des dérives ayant 30 et 40 kilomètres de longueur, tel était le programme à remplir, tel est le projet qui a été réalisé dans le département de l'Aude.

L'exécution d'une semblable installation correspond à un notable progrès de l'industrie électrique et son fonctionnement depuis trois ans permet de tirer des conclusions de la plus haute importance au point de vue pratique.

Il existe actuellement peu d'installations semblables en Europe, car le réseau actuel ne comprend pas moins de 600 kilomètres de canalisations à courant triphasé à haute tension, avec des distances de 100 à 130 kilomètres entre l'usine génératrice et le point d'utilisation le plus éloigné. En tout cas, cette installation est la première de ce genre exécutée en France et elle a été conçue et exécutée par M. Estrade, directeur de la Société méridionale de Transport de force, qui a confié la partie électrique et mécanique à la Société d'applications industrielles laquelle a employé exclusivement le matériel électrique Alioth.

Le réseau de distribution fournit le courant électrique à plus de cent communes d'importances diverses, mais représentant une population globale de plus de 150 000 habitants.

L'usine génératrice est située dans les Corbières, à l'entrée des Gorges de Saint-Georges, à 2 kilomètres d'Axat. Elle utilise une chute de l'Aude ayant un peu plus de 100 mètres de hauteur. — Un long feeder part de cette usine et aboutit après un parcours de 70 kilomètres au centre de distribution situé à Fabrezan, petit chef-lieu de canton du département de l'Aude. De ce centre de distribution partent trois dérives principales, allant la première à Narbonne, à une distance de 30 kilomètres; la seconde à Carcassonne, à une distance de 35 kilomètres; la troisième à La Nouvelle, à une distance de 30 kilomètres. — Ces dérives principales fournissent l'énergie directement en tous les points placés sur leur passage, mais elles servent surtout à alimenter les centres de distribution dans lesquels la haute tension est réduite en moyenne tension, et c'est de ces centres de distribution secondaires que rayonnent les lignes de distribution proprement dites. — C'est ainsi que Narbonne, centre de distribution, alimente ses environs : Vinassan, Armissan, Salles et Fleury; que Portel, centre de distribution, alimente Sijean, La Nouvelle, Peyriac de Mer, et que Carcassonne, centre de distribution, alimente les environs de cette ville, Pezens, Moussoulie, Bram, Pennautier, etc.

Quand s'est présentée l'étude d'un semblable projet, il y a plus de six ans (car l'exécution en fut retardée par suite de divers accidents et incidents), le point le plus délicat, comme on peut se le figurer, résidait dans le choix de la tension. On conçoit aisément que pour des distances aussi grandes, il fallait une tension très élevée, présentant néanmoins toutes les garanties désirables aussi bien au point de vue des facilités de l'exécution qu'au point de vue