

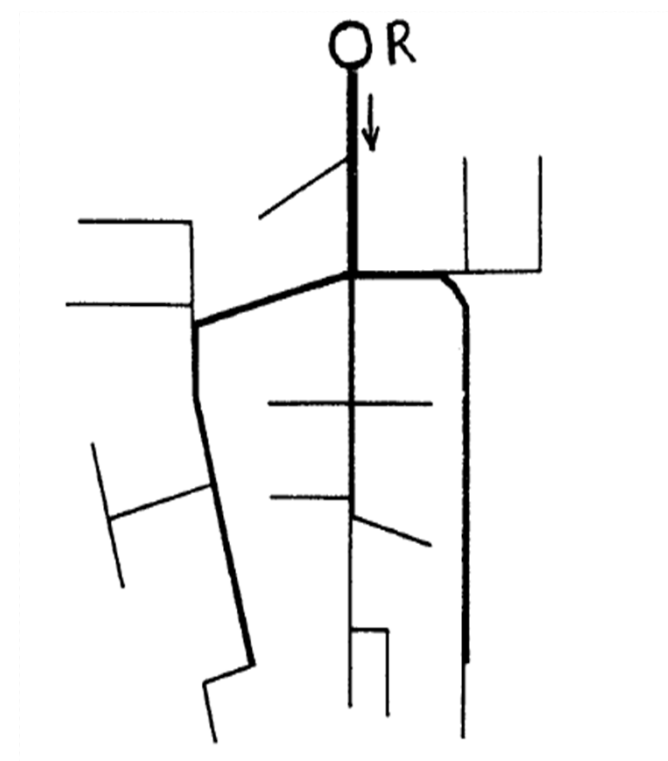
Structures des réseaux

- ◆ L'eau est distribuée aux consommateurs par des réseaux de conduites locaux, à l'intérieur de la zone à alimenter.
- ◆ Les principaux éléments d'un réseau de distribution sont: les conduites, les branchements et les pièces spéciales (Coudes Tés, vannes, compteurs, Bouches d'incendie,...)

Structures des réseaux

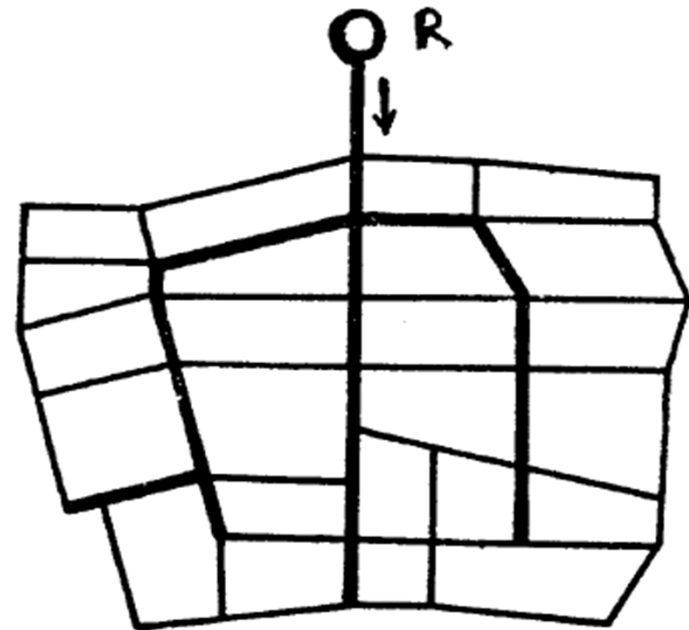
Selon la liaison entre les différents tronçons on distingue deux type de réseaux:

- **Réseau ramifié:**
 - ✓ L'eau circule dans les tronçons dans un seul sens: des conduites principales vers les conduites secondaires
 - ✓ **Avantage** : économique
 - ✓ **Inconvénient** : Manque de sécurité (en cas de rupture d'une conduite principale tous les abonnés situés à l'aval seront privés d'eau)



Structures des réseaux

- **Réseau maillé:**
 - ✓ Dérive du réseau ramifié par la connexion des extrémités des conduites permettant une alimentation de retour.
 - ✓ **Avantage:** Plus de sécurité (en cas de rupture d'une conduite il suffit de l'isoler et tous les abonnés situés à l'aval seront alimentés par les autres tronçons) avec une répartition plus uniforme de pression et du débit.
 - ✓ **Inconvénient:** Plus coûteux et plus difficile à calculer.



Structures des réseaux

- ◆ Réseau mixte: Mélange d'un réseau maillé et d'un réseau ramifié.
- ◆ Réseau étagé
- ◆ Réseaux à alimentations distinctes : Eau potable et eau non potable.
- ◆ En générale en utilise un réseau maillé dans les zones urbaines et un réseau ramifié dans le zones rurales.

Hypothèses de calcul

Les mêmes principes fondamentaux évoqués pour les conduites d'adduction s'appliquent aussi pour les canalisations: pertes de charges linéaires, singulières, lignes piézométriques,...

◆ Débit :

L'estimation des besoins de l'agglomération la plus précise possible.

- Le calcul hydraulique des canalisations se fait avec le débit de pointe horaire.
- Il faut vérifier la condition d'incendie. Le débit d'incendie à prévoir au point le plus défavorable du réseau est de 60 m³/h (17 l/s). On tient compte de plusieurs incendies en même temps dans le cas d'une grande ville ou en cas de risques élevés d'incendie.

◆ Pression:

Le réseau doit satisfaire les conditions de pression suivantes:

- Une charge minimale de 10 m aux robinets les plus élevés
- Une charge maximale de 60 m (limitation des fuites et des bruits par les coups de Bélier). Si une telle pression devait se manifester il faut prévoir des réducteurs de pression ou un réseau étagé.

Hypothèses de calcul

- **Aussi le réseau doit être calculé pour fournir les pressions au sol suivantes:**

18 m pour un étage	36 m pour 5 étages
22 m pour 2 étages	40 m pour 6 étages
26 m pour 3 étages	44 m pour 7 étages
31 m pour 4 étages	
- Pour les immeubles plus élevés les propriétaires se trouvent obliger d'installer dans le sous-sol des surpresseurs.
- Les canalisations équipées de bouches d'incendie devront pouvoir fournir en cas d'incendie une pression supérieure à 10 m.

Hypothèses de calcul

◆ **Choix du diamètre:**

- Dans les tronçons avec bouche d'incendie: $D_{min} = 100\text{mm}$
- La vitesse d'eau dans les conduites de distribution sera entre 0,6 et 1,2 m/s. les vitesses inférieures favorisent les dépôts solides, des vitesses excessives favorisent les fuites et des coups de bélier.
- En cas d'incendie en tolère une vitesse jusqu'à 2,5 m/s

Principes de calcul

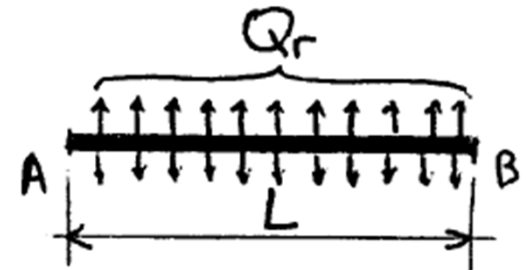
- ◆ Un réseau de distribution est un ensemble de tronçons délimités par des nœuds (points particuliers: réservoirs, croisement de conduites, prélèvements importants, changement de diamètre, extrémité du réseau, ...)
- ◆ Deux cas à étudier :
 - Cas d'un réseau ramifié
 - Cas d'un réseau maillé

Principes de calcul

◆ Cas d'un réseau ramifié:

Dans une conduite d'adduction, le débit d'eau est constant. Dans les canalisations de distribution la situation est tout à fait différente. Chaque tronçon de conduite de distribution est caractérisé par deux débits:

- Un débit d'extrémité qui doit transiter par la canalisation noté Q_t .
- Et un débit consommé par les branchements raccordés à la conduite, appelé débit en route noté Q_r . Le débit en route est supposé uniformément réparti le long de la conduite.



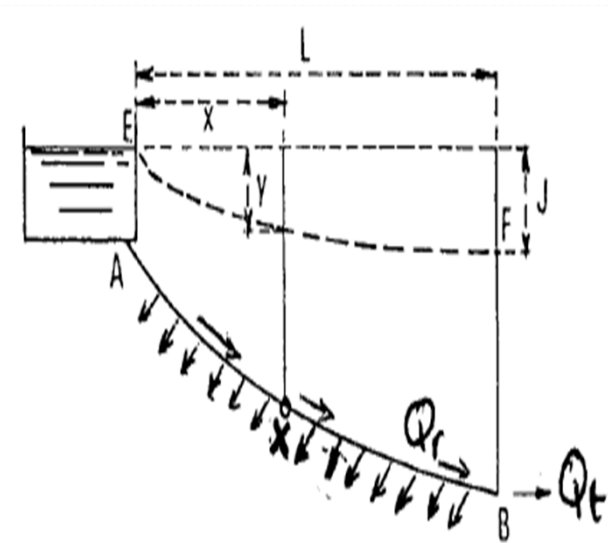
Principes de calcul

- ◆ Cas simple d'un réseau ramifié:

Le long d'un tronçon de distribution le débit est donc variable.

A quel débit faut-il calculer la perte de charge dans le tronçon?

Nous allons donc calculer la perte de charge d'un tronçon AB de longueur L, d'un débit distribué Q_r et d'un débit transité Q_t .



Principes de calcul

- ◆ Le débit qui reste en un point x quelconque est $Q(x) = Q_r(1 - x/L) + Q_t$

* Supposons que ce débit reste constant le long d'une petite longueur dx , et que la résistance de la conduite est R , la perte de charge correspondant à la longueur dx est:

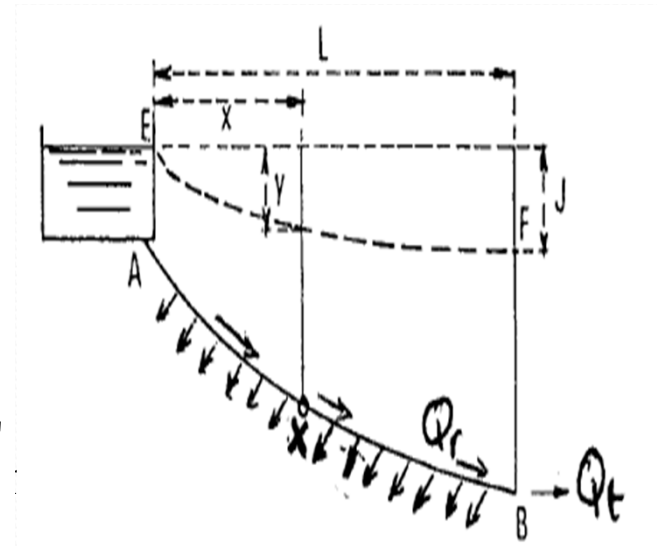
$$dy = R [Q(x)]^2 dx/L = R [Q_r (1-x/L) + Q_t]^2 dx/L$$

En intégrant l'équation entre 0 et L selon x et

entre

0 et J selon y on obtient:

$$J = R (Q_t^2 + Q_t Q_r + 1/3 Q_r^2)$$



Principes de calcul

- ◆ Puisque cette formule n'est pas d'utilisation commode en se propose alors de chercher un débit fictif Q_c constant dans le tronçon, et qui donnerait une perte de charge équivalente.

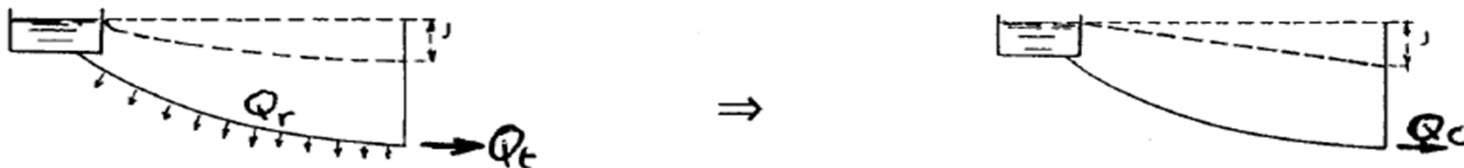
$$J = R \cdot [Q_t^2 + Q_r \cdot Q_t + Q_r^2 / 3] = R \cdot [Q_c]^2$$

Ce qui donne: $Q_c = \sqrt{Q_t^2 + Q_t Q_r + Q_r^2 / 3}$

Cette valeur Q_c peut être encadrée par:

$$Q_t + 0,5 Q_r < Q_c < Q_t + 0,57 Q_r$$

En définitif, on peut prendre : $Q_c = Q_t + 0,55 \cdot Q_r$



Principes de calcul

On calcule alors la conduite (perte de charge et vitesse) comme si elle débitait un débit constant de $Q_t + 0,55 Q_r$.

Pour ne pas avoir des vitesses très différentes des vitesses réelles de l'écoulement, on limite la longueur d'un tronçon de calcul à 1000 m.

◆ Calcul des réseaux ramifiés:

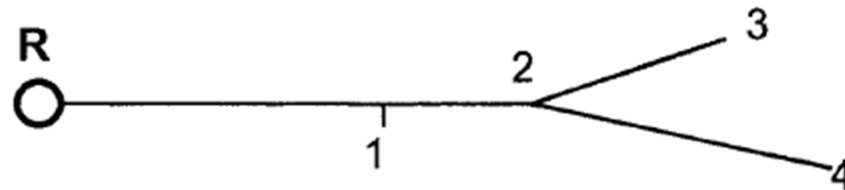
Le calcul du réseau ramifié se fait en partant de l'extrémité aval du réseau et en remontant de proche en proche jusqu'au réservoir.

Principes de calcul

Les étapes sont les suivantes:

- 1- Calcul de Q_r , de Q_t et ensuite Q_c par (4.4)
- 2- Choix du diamètre D qui permet d'écouler le débit Q_c avec une **vitesse** voisine de **0,90 m/s** (ou entre **0,60** et **1,20 m/s**). Le **diamètre minimum** étant **0,100 m** (exceptionnellement 0,080 m).
- 3- Calcul de la perte de charge avec Q_c , en utilisant les abaques
- 4- Calcul de la **charge hydraulique** en chaque noeud et en déduire la **pression au sol**.

Exemple :



Généralement, on évite d'avoir des branchements sur la conduite principale alimentant l'agglomération ($Q_r=0$ sur le tronçon R-1). On prend une **rugosité** de 10^{-4} m et $H_{\min}=26$ m.

Principes de calcul

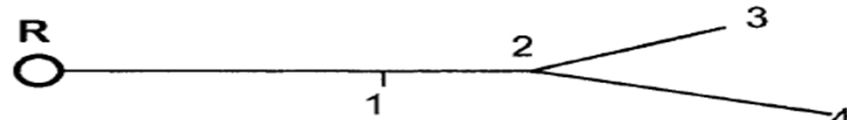


Tableau 4.1 : Caractéristiques des tronçons

Tronçon	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Q_r (l/s)	Q_t (l/s)	Q_c (l/s)	Vitesse (m/s)	j (m/m)	J (m)
2 - 4	500	100	10	--	5,5	0,70	0,0062	3,10
2 - 3	600	100	6	--	3,3	0,42	0,0025	1,50
1 - 2	800	200	10	16	21,5	0,69	0,0025	2,00
R - 1	2000	200	--	26	26	0.83	0,0035	7,00

Tableau 4.2 : Caractéristiques des noeuds

Noeud	Cote du terrain naturel (m)	Charge hydraulique (m)	Pression au sol (m)
R	295	295	0
1	255	288	33
2	254	286	32
3	256	284,5	28,5
4	250	282,9	32,9

Les **pressions** sont alors **acceptables** ($>$ à 26 m et $<$ 60 m, dans tous les noeuds) et nous n'avons pas besoin de surélever le réservoir.

Principes de calcul

◆ Cas d'un réseau maillé:

- Pour un réseau maillé, après le calcul des débits aux nœuds (débits de pointe horaire) par la méthode de répartition nodale; il faut vérifier que la somme des débits aux nœuds est égale au débit de pointe horaire de l'agglomération.
- Une des méthodes la plus utilisée dans le calcul des réseaux maillés est la méthode de **Hardy Cross**; par approximations successives.

Principes de calcul

♦ La méthode de Hardy Cross:

Cette méthode repose sur les deux lois suivantes:

1^{ère} loi:

En un nœud quelconque du réseau, la somme des débits qui arrivent à ce nœud est égale à la somme des débits qui en sortent:

$$\Sigma Q_e = \Sigma Q_s$$

Principes de calcul

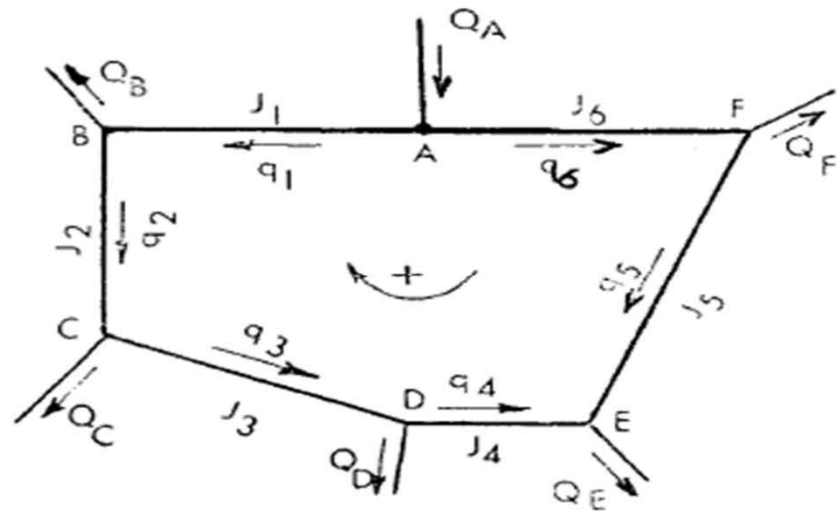
Ainsi pour le nœud A par exemple:

$$Q_A = q_1 + q_6$$

2^{ème} loi:

Le long d'un parcours orienté est fermé (une maille)
la somme algébrique des pertes de charge est nulle:

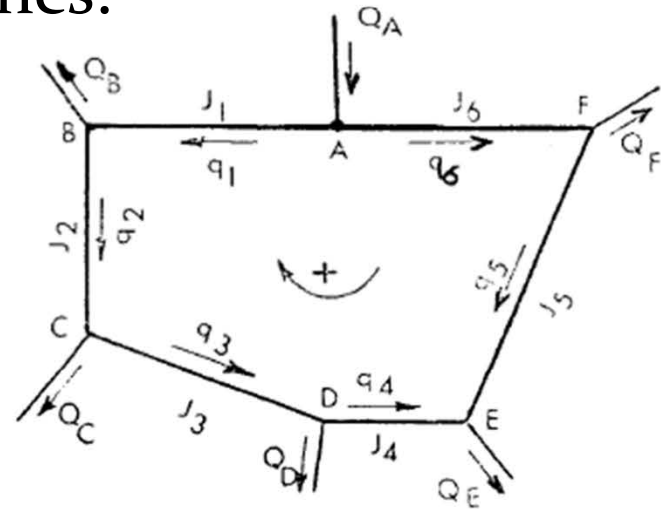
$$\sum J = 0$$



Principes de calcul

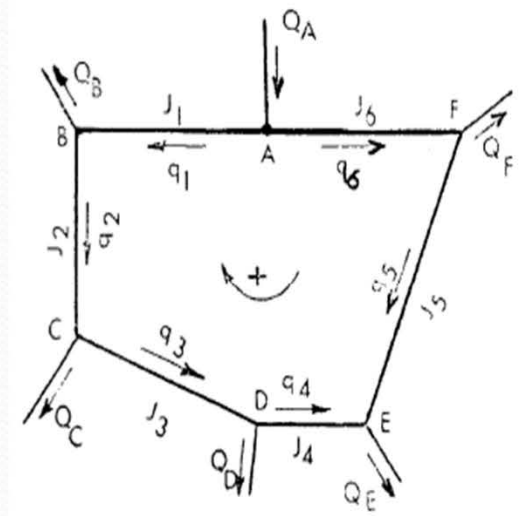
- ◆ Ainsi pour le parcours ABCDEF, où l'orientation positive est donnée par le sens des aiguilles d'une montre et pour le sens d'écoulement indiquée par les flèches:

$$J_6 + J_5 - J_4 - J_3 - J_2 - J_1 = 0$$



Principes de calcul

- ◆ La méthode de Hardy Cross consiste tout d'abord à se fixer une répartition provisoire des débits ainsi qu'un sens d'écoulement dans tout le réseau, tout en respectant la 1^{ère} loi.
- ◆ Cette première répartition permet de **choisir les diamètres** provisoires des canalisations (avec des vitesses entre 0,9 et 1,1 m/s) et de calculer **les pertes de charge** correspondantes.



Principes de calcul

- ◆ Ordinairement la somme algébrique des pertes de charge ne peut être nulle, dans toutes les mailles du premier coups.
- ◆ Sans changer les diamètres choisis et sans perturber la 1^{ère} loi, on doit modifier la répartition initiale supposée des débits dans les tronçons afin de rectifier les pertes de charge et vérifier la 2^{ème} loi.
- ◆ Comment trouver la rectification des débits à apporter à la 1^{ère} répartition?
- ◆ Prenons un exemple simple:

Principes de calcul

- On décompose arbitrairement Q_A en q_1 et q_2 tels que:

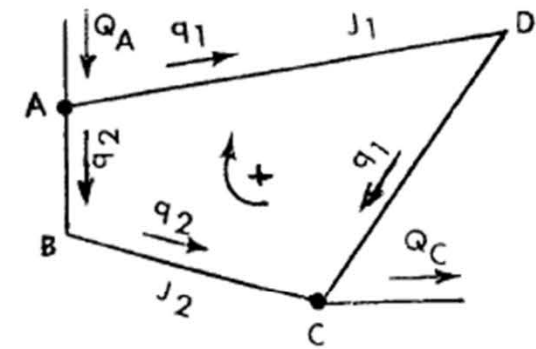
$$Q_A = q_1 - q_2$$

- On choisit les deux diamètres en fonction des débits q_1 et q_2 , lesquels engendrent les pertes de charge J_1 sur ADC et J_2 sur ABC.

- On doit alors vérifier que:

$$J_1 - J_2 = 0$$

- Généralement cette loi n'est pas vérifiée. Cherchons la correction à faire: $\square q_1$



Principes de calcul

- ◆ En utilisant les résistances des conduites sur les longueurs L_1 et L_2 .

$$J_1 = R_1 q_1^2 \text{ et } J_2 = R_2 q_2^2$$

La correction des débits à faire $\square q_1$ et qui donnerait $(q_1 + \Delta q_1)$ et $(q_2 - \Delta q_1)$, doit conduire à:

$$R_1 (q_1 + \Delta q_1)^2 - R_2 (q_2 - \Delta q_1)^2 = 0$$

En négligeant les termes Δq_1^2 on obtient :

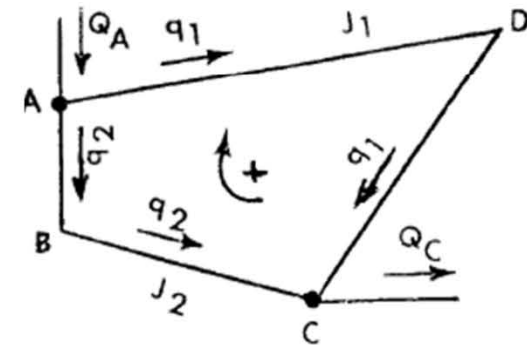
$$\Delta q_1 = \frac{-R_1 q_1^2 + R_2 q_2^2}{2(R_1 q_1 + R_2 q_2)} = -\frac{J_1 - J_2}{2\left(\frac{J_1}{q_1} + \frac{J_2}{q_2}\right)}$$

Principes de calcul

$$\Delta q_1 = \frac{-R_1 q_1^2 + R_2 q_2^2}{2(R_1 q_1 + R_2 q_2)} = -\frac{J_1 - J_2}{2\left(\frac{J_1}{q_1} + \frac{J_2}{q_2}\right)}$$

Si $J_1 - J_2 < 0$, le débit q_1 est alors **insuffisant** et il faut l'**augmenter**, c'est ce qui fait que Δq_1 est **positif**.

Si $J_1 - J_2 > 0$, le débit q_1 est alors trop **important** et il faut le **diminuer**, c'est ce qui fait que Δq_1 est **négatif**.



Principes de calcul

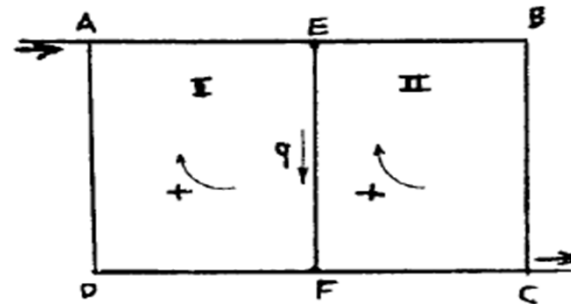
En généralisant sur un contour fermé quelconque comprenant **n tronçons**, on obtient:

$$\Delta q = - \frac{\sum_{i=1}^n J_i}{2 \sum_{i=1}^n \left| \frac{J_i}{q_i} \right|}$$

Rappelons que les débits positifs par rapport à l'orientation choisie seront corrigés par Δq affecté de son signe, alors que les débits négatifs seront corrigés par $-\Delta q$.

Principes de calcul

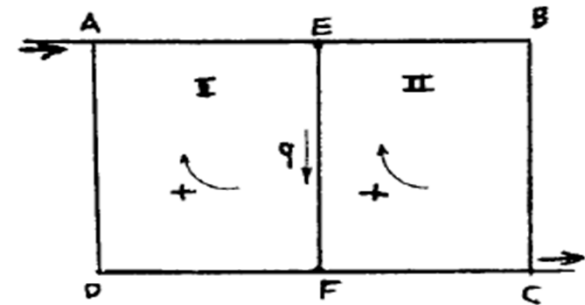
- ◆ Si pour les nouveaux débits la 2^{ème} lois n'est pas toujours vérifiées, il faudra de nouveau corriger les débits.
- ◆ Dans le cas des deux mailles adjacentes, la conduite commune sera affectée par les deux corrections des débits calculés pour les deux mailles affectées par leur signes respectives.



Principes de calcul

- ◆ La conduite EF dont laquelle le débit initial est q .
- ◆ Dans la maille I, le débit q est positif, donc la correction est alors Δq_I .
- ◆ Dans la maille II, le débit q est négatif, donc la correction est alors $-\Delta q_{II}$.

$$\square q = \square q_I - \square q_{II}$$



Principes de calcul

- ◆ On arrête les itérations lorsque nous avons:

$$\frac{|\Delta q|}{e} < \epsilon \quad \text{et} \quad |\Delta J| < \delta$$

e est la précision sur les débits, pour le calcul manuel on prend $e = 0,5 \text{ l/s}$, pour le calcul par ordinateur on prend $e = 10^{-3} \text{ l/s}$

δ est la précision sur les pertes de charge pour le calcul manuel on prend $\delta = 0,2 \text{ m}$, pour le calcul par ordinateur on prend $\delta = 10^{-3} \text{ m}$

Principes de calcul

- ◆ Pour réaliser les calculs on utilise le tableau suivants:

Maille	M.Adj.	N° du Tronçon	Long. m	Diam. mm	1ère Itération						2ème Itération					
					Q l/s	V m/s	j m/m	J m	J/Q -	Δ Q l/s	Q l/s	V m/s	j m/m	J m	J/Q -	Δ Q l/s
I																
								$\sum J = \frac{f \cdot L}{D^5}$		ΔQ				$\sum J = \frac{f \cdot L}{D^5}$		ΔQ
II																
								$\sum J = \frac{f \cdot L}{D^5}$		ΔQ				$\sum J = \frac{f \cdot L}{D^5}$		ΔQ

Principes de calcul

- ◆ Si la solution obtenue ne vérifie pas les conditions imposées (des vitesses entre 0,6 et 1,2 m/s et éventuellement des pressions suffisantes), on doit modifier le choix initiale des diamètres de certains tronçons et recommencer les calculs.
- ◆ Plusieurs logiciel de calcul: Loop, Piccolo, Epanet,...

Principes de calcul

- ◆ **Vérification de la condition d'incendie:**
 - Il s'agit de refaire le calcul du réseau, avec les mêmes diamètres, en ajoutant un ou plusieurs débits d'incendie (17 l/s) aux points sensibles du réseau.
 - Il faut vérifier alors que les vitesses dans tous les tronçons est inférieure à 2,5 m/s et que les pressions dans tous les nœuds est supérieure à 10 m.
 - Le nombre des débits d'incendie à ajouter dépend de l'importance de la ville et de son risque aux incendies.
 - Si ces conditions ne sont pas vérifiées, on modifie les diamètres de certains tronçons et on recommence les calculs dès le début.

Éléments particulier des réseaux

◆ Pose des canalisations:

- Le tuyaux utilisés dans les réseaux de distribution sont les mêmes utilisés pour les conduites d'adduction, mais généralement on utilise les conduites en matières plastiques (PVC, Polyéthylène) pour les diamètre inférieurs à 400 mm, et le BP, fonte, PRV pour les diamètres supérieurs à 400 mm.
- Les conduites de distribution sont généralement enterrées sous les trottoirs de 1 à 1,5 m de profondeurs.
- Exceptionnellement pour les grands diamètres et pour les petites ruelles on peut poser les conduites sous la chaussée.
- Dans le cas d'une rue importante, une canalisation peut être posée sous chaque trottoir, pour éviter la traversée de la chaussée pour chaque branchement.
- Garder une distance minimale (0,2 à 0,5 m) des autres canalisations (conduites d'assainissement, câbles électriques, câble téléphonique,...).

Éléments particulier des réseaux

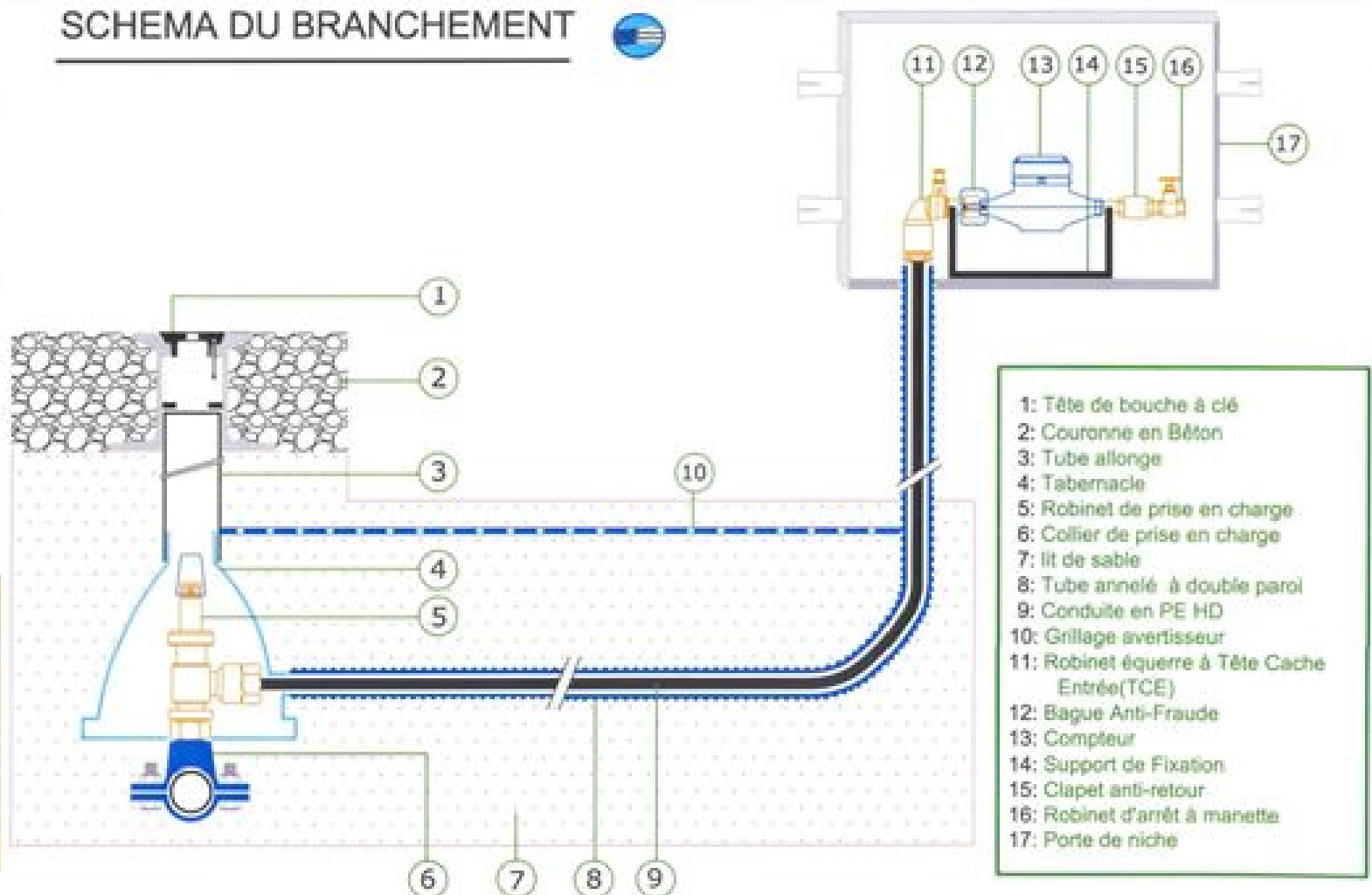
◆ Branchements:

- L'alimentation en eau des consommateurs se fait par des petites ramifications appelées **branchements**.
- Le diamètre de ces branchement est déterminé en fonction du débit nécessaire à l'alimentation de l'abonné. En général pour un abonné particulier on utilise de DN 15 mm.
- Actuellement on utilise des conduites en PEDH pour le raccordement de l'abonné à la conduite de distributions.

Eléments particulier des réseaux



SCHEMA DU BRANCHEMENT



Éléments particulier des réseaux

◆ Pertes dans les réseaux:

La lutte contre les pertes et l'économie de l'eau nécessite d'abord la connaissance de toutes les formes de pertes, leurs quantifications par des outils fiables.

- **LES PERTES EN PRODUCTION**

- **LES PERTES EN DISTRIBUTION**

C'est certainement au niveau de la distribution que les pertes sont importantes dus aux:

- les fuites sur réseau (conduites et branchements)
- le défaut de comptage
- branchements clandestins
- etc

Éléments particulier des réseaux

- ◆ **Les fuites sur réseau :**
 - Mouvement du sol
 - Corrosion la conduite
 - Trafic routier
 - Pression de service importante
 - Ages des conduites
- ◆ **Défauts de comptage :**
 - Défectuosité des compteurs
 - Sous-comptage
 - Volume non comptabilise

Éléments particulier des réseaux

◆ Outils d'évaluation des pertes :

- Rendements Distribution (V_c/V_d)
- Débit de nuit et l'indice linéaire des pertes: L'évolution dans le temps de ce débit de nuit (en m^3/j) permet au distributeur d'analyser l'évolution de ces pertes en fonction du temps, et par la suite, d'agir pour remédier à la situation. On calcule l'indice linéaire des pertes exprimé en $m^3/j/Km$.

Éléments particulier des réseaux

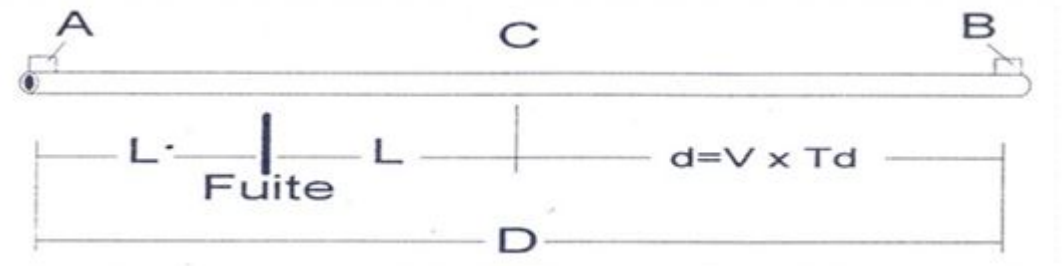
◆ La recherche des fuites:

- Le mouvement de fluide, de hautes pressions vers de basses pressions, à travers un orifice, crée des variations de pressions aléatoires à proximité de la fuite. Ces variations de pressions génèrent un bruit de fuites.
- C'est ce phénomène qui a été utilisé pendant des années pour localiser les fuites à l'aide de stéthoscopes ou d'appareils électroniques (Triphone T80, Triphone T2000, Hydrolux 90, etc.), à partir du bruit produit.
- Les limites de ces méthodes traditionnelles restent la détection du bruit proprement dite et **la précision de sa localisation.**

Éléments particulier des réseaux

- La corrélation acoustique:

Le bruit se propage dans la canalisation, en s'éloignant de sa source (la fuite), dans les deux directions.



D : la distance entre les de points d'écoute

L : la distance de la fuite aux points d'écoute A

d: la distance entre le point C et le point B.

$$D=L+L+d$$

$$D=2L+d$$

Si V est la vitesse de propagation du bruits; Td est le temps mis par le bruit pour atteindre B. D

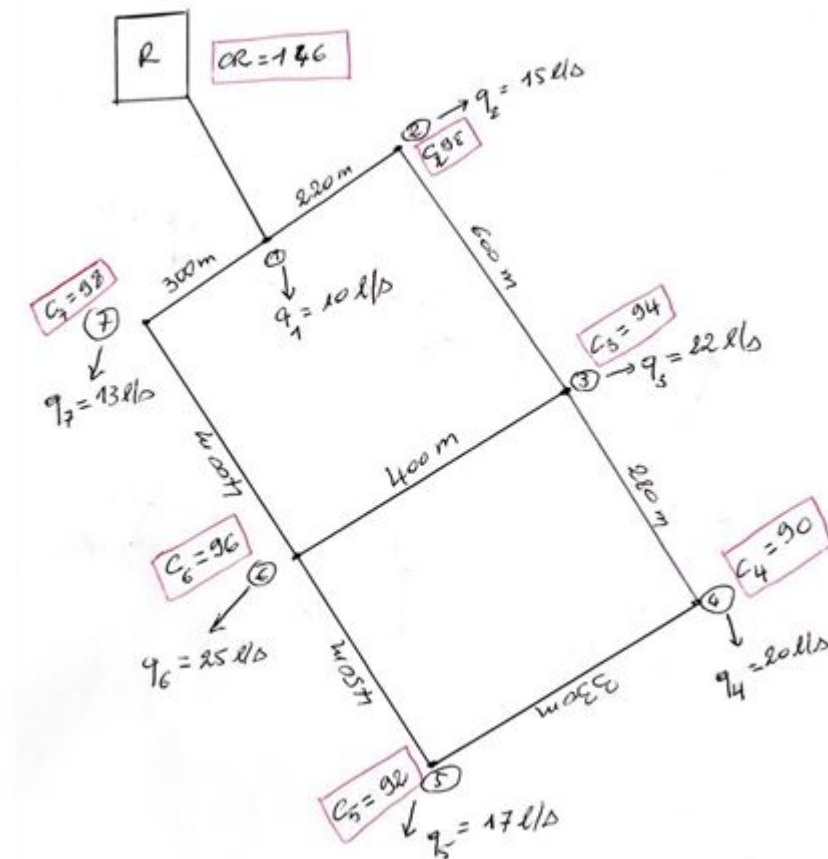
$$= 2L + (T_d \times V) \text{ soit } L = (D - (T_d \times V)) / 2.$$

L'appareils qui permet de faire cette corrélation est le corrélateur acoustique, qui est composé essentiellement, de deux capteurs, deux amplificateurs et d'une unité centrale.

Exemple de Calcul du réseau par le logiciel « EPANET »:

Tableau des nœuds:

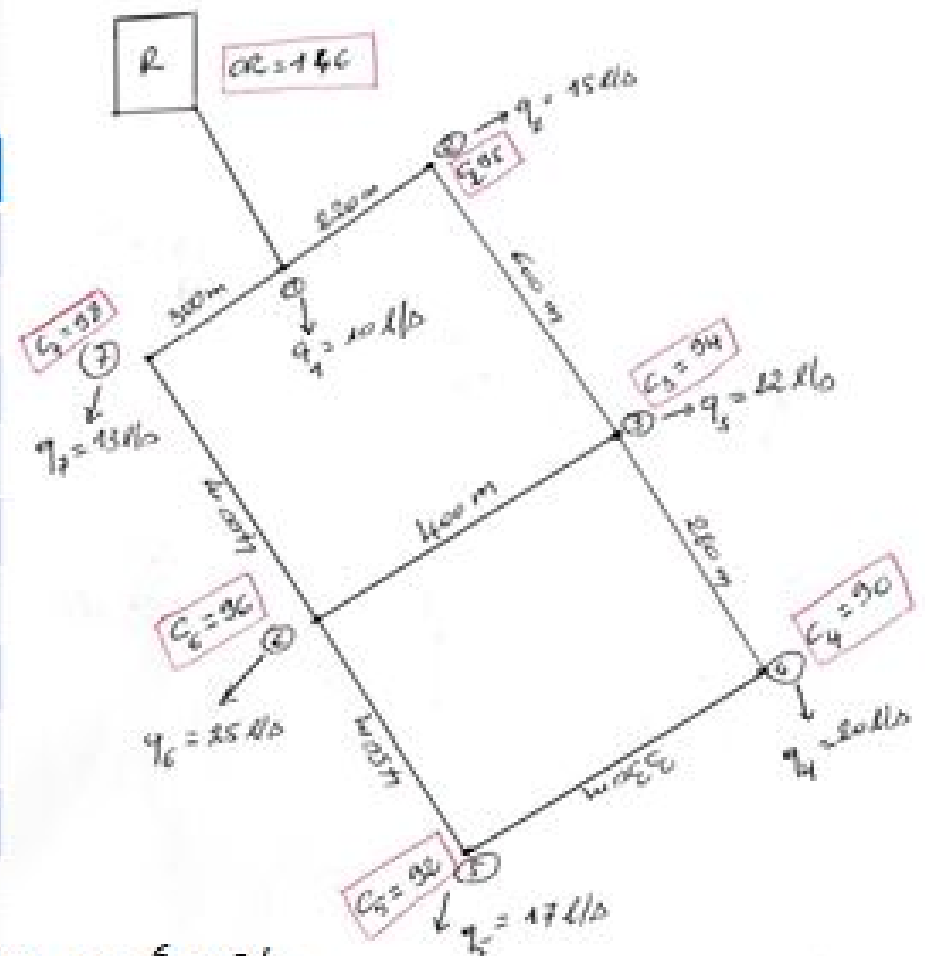
N° nœud	Cote	Débit l/s
R	146	-
1	110	10
2	98	15
3	94	22
4	90	20
5	92	17
6	96	25
7	98	13



Exemple de Calcul du réseau par le logiciel « EPANET »:

Tableau des tronçons:

Tronçon	Départ	Arrivée	L en m
R-1	R	1	250
1-2	1	2	220
2-3	2	3	600
3-4	3	4	280
4-5	4	5	330
5-6	5	6	450
6-7	6	7	400
7-1	7	1	300
3-6	3	6	400



Données: Rugosité = 1 mm; Viscosité = $1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$