

CHAPITRE 4. RESEAUX DE DISTRIBUTION DES EAUX

4.1 GENERALITES

Le réseau d'eau potable est un ensemble d'installations hydrauliques qui permet de véhiculer l'eau potable depuis le réservoir jusqu'aux abonnés. Cet ensemble peut comporter :

- Réservoir(s)
- Conduites de différents diamètres et natures
- Accessoires et pièces spéciales (statiques ou dynamiques) : Vannes, Té; Coudes, Cônes de réduction, ventouses ... etc
- Branchements etc
- Ouvrages annexes (regards, bouches à clé etc...)

Lors de la conception d'un réseau, il est important d'identifier et prendre en compte les situations les plus critiques afin que le réseau dans de telles situations se comporte de façon satisfaisante. On peut citer les situations suivantes :

- Consommation de pointe horaire
- Consommation journalière maximale durant un ou plusieurs incendies
- Consommation journalière maximale en cas de casse d'une conduite secondaire ou principale
- Situations particulières

On s'assure ainsi qu'un réservoir d'équilibre peut être rempli durant la période prévue à cette fin, notamment la nuit, lorsque la consommation est minimale, etc....

Un réseau de distribution véhicule de l'eau à partir d'un réservoir en vue de l'alimentation des abonnés

Les canalisations doivent présenter un diamètre suffisant de façon à assurer le débit maximal avec une pression au sol comparable avec la hauteur des immeubles. Les canalisations sont calculées avec le débit de pointe.

La conception d'un réseau d'alimentation en eau potable passe par plusieurs phases comme montré dans la figure 4.1. Les réseaux doivent satisfaire les conditions suivantes :

- assurer l'amenée de l'eau dans tous les points du réseau pour tous les consommateurs avec une pression et un débit suffisant

- les conduites doivent faire passer les plus grands débits par rapport au débit de ce point
- les réseaux doivent assurer l'amenée de l'eau constamment
- les prix des ouvrages d'A.E.P doivent être minimaux

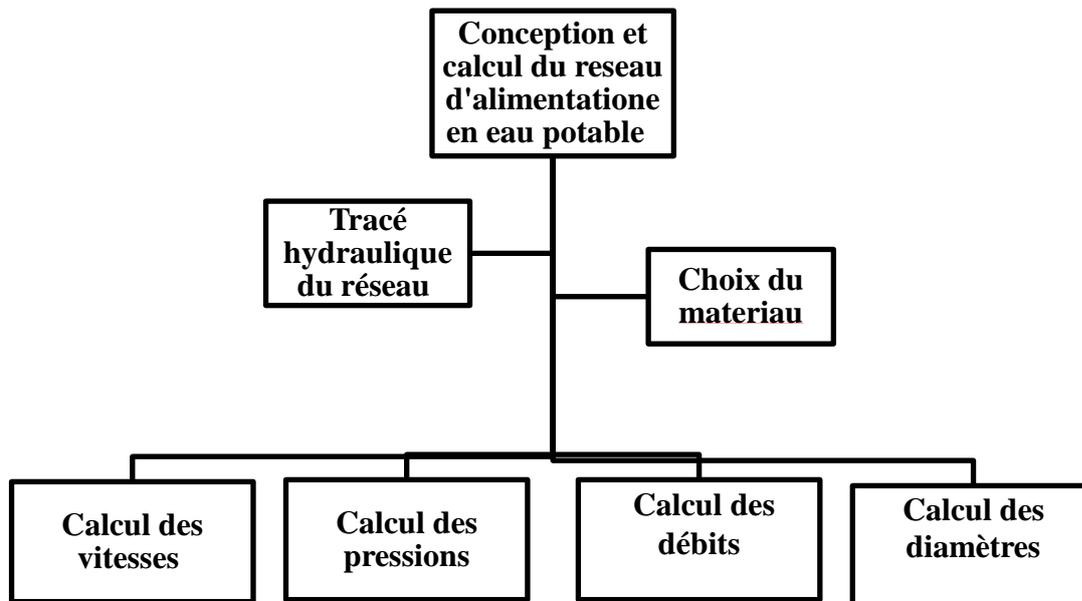


Figure 4. 1. Dimensionnement d'un réseau d'alimentation en eau potable

4.2 TYPE DE RESEAU.

On distingue principalement le réseau ramifié, le réseau maillé et le réseau étagée.

4.2.1 Le réseau ramifié

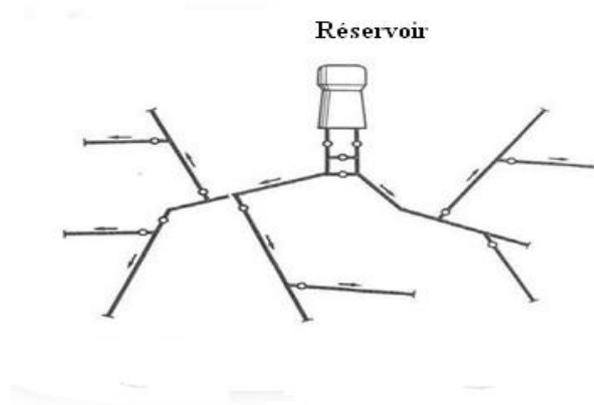


Figure 4. 2. Le réseau ramifié

Les réseaux ramifiés sont économiques mais les conduites ne comportent aucune alimentation. Il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture. Un accident dans la conduite principale prive l'eau tous les abonnés en aval. Ce type de réseau est généralement opté pour les zones rurales vu que le type d'habitation est dispersé et aéré par la présence d'espace ou de terrains agricoles.

4.2.2 Le réseau maillé

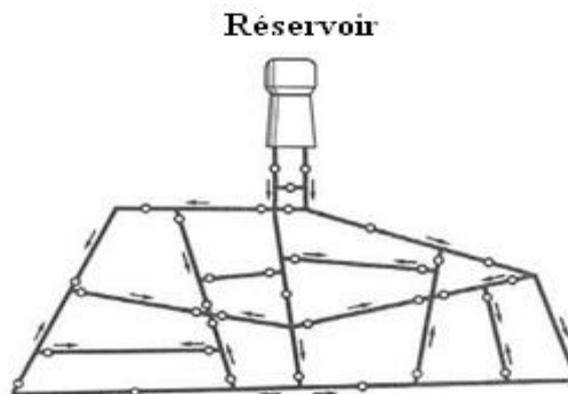


Figure 4. 3. Le réseau maillé

Les réseaux maillés permettent une alimentation en retour. En cas d'accident, une simple manœuvre des robinets permet d'isoler les tronçons atteints et poursuivre une alimentation des abonnés en aval, ce réseau est plus coûteux mais meilleur que le réseau ramifié

4.2.3 Les réseaux étagés

En zone accidentée, il est possible de construire les réseaux indépendants avec des pressions limitées aux environ de 60 mètres de colonne d'eau

Lorsque le secteur à alimenter s'étend sur une dénivellation trop importante, l'alimentation à partir d'un seul réservoir peut être à l'origine de pressions trop élevées en bas du réseau. Des réservoirs intermédiaires doivent alors être intercalés, ce qui permet de diviser le réseau en sous-réseaux d'une dénivellation satisfaisante. Ces réservoirs peuvent être alimentés par la même source, avoir leur propre alimentation, ou même être reliés entre eux.

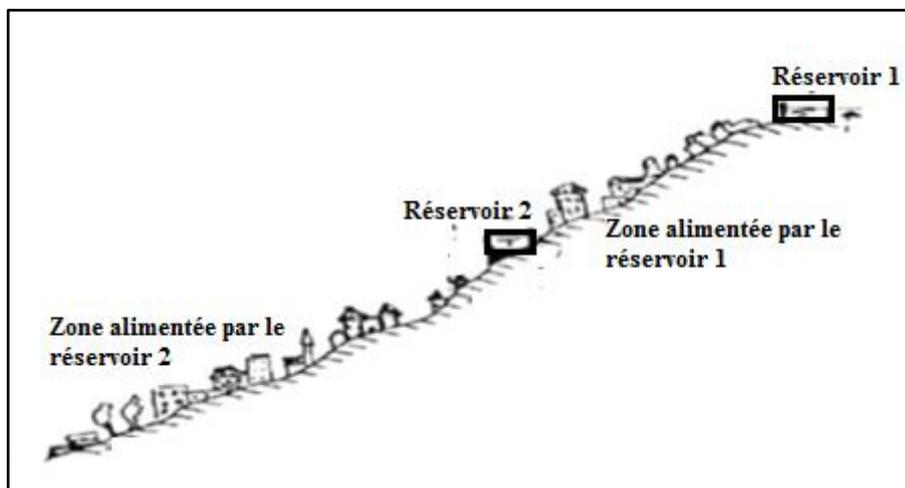


Figure 4. 4. Le réseau étagé

4.2.4 Le réseau mixte

Un réseau mixte (ramifié et maillé) lorsqu'il est constitué d'une partie ramifiée et une autre maillée. Ce type de schéma est utilisé pour desservir les quartiers en périphérie de la ville par les ramifications issues des mailles utilisées dans le centre-ville.

4.3 CALCUL DES CONDUITES D'UN RESEAU

4.3.1 Position du problème

Nous avons deux (02) cas :

Premier cas : la conduite AB n'assure aucun service en route

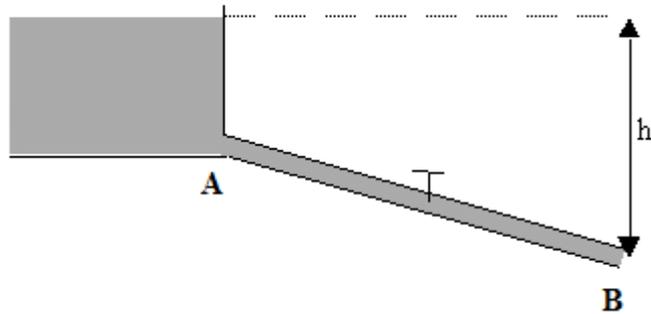


Figure 4. 5. Cas de la conduite sans service en route

Deuxième cas : la conduite AB assure un service en route

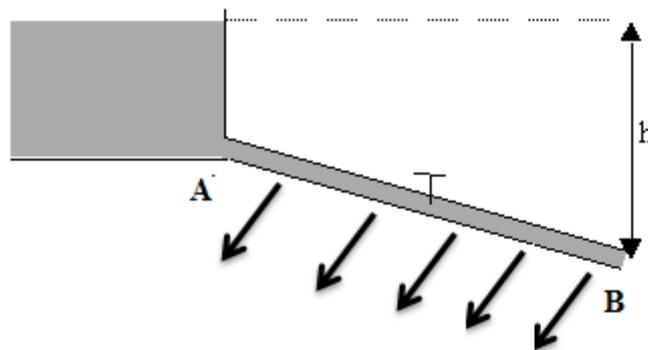


Figure 4. 6. Cas de la conduite avec service en route

Lorsqu'il s'agit du calcul du réseau de distribution, en plus du débit d'extrémité appelé aussi débit aval ; la conduite doit pouvoir distribuer à son parcours l'eau aux abonnés par les nombreux branchements raccordés sur elle : c'est le débit de route

Dans un projet, le débit de route est calculé en fonction du nombre d'utilisateurs à desservir au moment de la pointe et cela en supposant ce débit uniformément réparti sur la longueur l de la rue

Q : débit nécessaire au tronçon

Q/L : débit unitaire

Exemple : calcul d'un tronçon AB

$$Q = 15 \text{ l/s}$$



La conduite AB assure un débit total $Q = 15 \text{ l/s}$ uniformément répartis sur son parcours et d'autre part le débit aval $P = 10 \text{ l/s}$ est nécessaire pour alimenter les voies en aval

Quel est le débit que doit transiter la conduite AB

P : débit d'extrémité ou débit aval, ce débit passe nécessairement dans la conduite AB
Sans être consommé

Soit calculer AB avec le débit en B : $15+10 = 25 \text{ l/s}$ $Q = 15 \text{ l/s}$

$Q = 25 \text{ l/s} \rightarrow \Phi = 0.200 \text{ m}$ soit 200 mm

C'est un grand diamètre puisque 15 l/s seront consommés avant d'arriver en B. C'est à dire la conduite est surdimensionnée

Donc il faut calculer AB avec un débit inférieur. Quel est ce débit ?

Il faut chercher la perte de charge dans AB en supposant :

- un débit uniformément reparti : Q/L
- la conduite a une forme linéaire

4.3.2 Détermination de la relation entre le débit d'extrémité et le débit de route

4.3.2.1 Détermination de la perte de charge

$$J = \lambda \frac{L.V^2}{2.g.D} \quad \text{Avec} \quad V = Q/S$$

$$S = \pi.D^2 / 4 \quad \rightarrow \quad V^2 = 16. Q^2 / \pi^2 .D^4$$

$$J = \lambda \frac{L.16Q^2}{2.g.D.D^4.\pi^2}$$

$$J = \lambda \frac{L.16Q^2}{2.g.D^5.\pi^2}$$

Posons que :

$$R = \lambda \frac{L.16}{2.g.D^5.\pi^2} \quad \text{d'où} \quad J = R. Q^2$$

On a la perte de charge unitaire $j = \lambda \frac{1.V^2}{2.g.d}$

Donc :

$$j = (R / L). Q^2$$

4.3.2.2 Détermination de l'équation de la courbe piézométrique

Soit :

L'expression de la perte de charge unitaire $j = (R / L). Q^2$

I : un point quelconque sur AB

D : diamètre constant de A à B

Le réservoir concrétise la charge au point

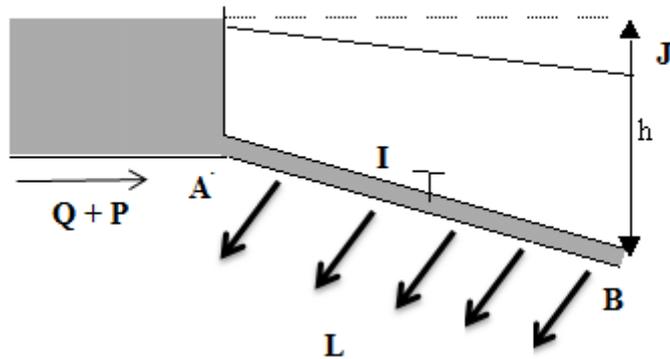


Figure 4. 7. Représentation des différents débits

En A : le débit est $Q+P$

En AI : le débit est $Q.X / L$

En I, il reste le débit $[Q - (Q - X) / L] + P$

Supposant le débit constant sur une longueur infinitésimal dx , la perte de charge correspondante sera :

$$dy = R/L \{ [Q - (Q - X) / L] + P \}^2 dx$$

R/L étant la résistance unitaire de la conduite

En développant la relation ci-dessus, on aura :

$$dy = \{ [(R/L) Q^2] - [(2 X. Q^2. R)/L^2] + [(X^2. Q^2 R)/L^3] + [P^2. R/L] \\ + [2Q. P. R/L] - [2Q. P. X. R /L^2] \} dx$$

En intégrant, nous obtiendrons :

$$Y = \{ [(R/L) Q^2. X] - [(2 X^2. Q^2. R)/2L^2] + [(X^3. Q^2. R)/3 XL^3] + [P^2. R. X/L] \\ + [2Q. P. R. X/L] - [2Q. P. X^2. R /2L^2] \} + C$$

En faisant les simplifications nécessaires, on aura :

$$Y = \{ [R. Q^2 / 3 L^3]. X^3 - [R. Q (P + Q) / L^2]. X^2 + [R (P + Q)]^2 / L X \} + C$$

Pour $X = 0$ $Y = 0$ $C = 0$

Pour $X = L$ $Y = J$

$$J = \{ [R.Q^2/3 L^3].L^3 - [R.Q(P+Q)/L^2].L^2 + [R(P+Q)]^2/L.L \}$$

En simplifiant par les L, on aura :

$$J = [R.Q^2/3] - [R.Q(P+Q)] + R(P+Q)^2$$

On développe :

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P - R.Q^2 + R(P+Q)^2$$

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P - R.Q^2 + R(P^2 + Q^2 + 2P.Q)$$

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P - R.Q^2 + R.P^2 + R.Q^2 + 2R.P.Q$$

On simplifie :

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P + R.P^2 + 2R.P.Q$$

$$J = R.Q^2/3 + R.P^2 + R.P.Q$$

$$J = R(Q^2/3 + P^2 + P.Q)$$

Or J la perte de charge totale sera en fonction d'un débit q qui comprendra et le débit de route Q et le débit d'extrémité P. On aura alors :

$$R.q^2 = R(Q^2/3 + P^2 + P.Q)$$

En simplifiant par R, on aura :

$$q^2 = Q^2/3 + P^2 + P.Q$$

$$q = \pm \sqrt{\frac{Q^2}{3} + P^2 + P \cdot Q}$$

On obtiendra :

$$(P + Q/\sqrt{3})^2 \geq q^2 \geq (P + Q/2)^2$$

Après résolution, on aura :

$$P + 0.57 > q > P + 0.50 Q$$

En définitive, on travaille avec :

$$q = P + 0.55 Q$$

4.3.3 Expression des pertes de charges

Les pertes de charges linéaires se produisent dans les tuyaux sans singularités

D'après Nikuradse, on a :

$$J = \lambda \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} = \Delta H$$

ΔH : perte de charge exprimée en hauteur d'eau

λ : coefficient de perte de charge (sans dimension)

L : longueur de la conduite en mètre

V : vitesse moyenne d'écoulement en m/s

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

Q : débit dans la conduite

Sachant que $Q = V \cdot S$ et faisant les remplacements nécessaires :

$$\Delta H = \lambda \frac{L \cdot 16Q^2}{2 \cdot g \cdot D^5 \cdot \pi^2}$$

$$\Delta H = \lambda \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{g \cdot D^5 \cdot \pi^2}$$

En terme de pression, on aura : $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H$

Soit :

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \lambda \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{g \cdot D^5 \cdot \pi^2}$$

λ est donné par les tables de manuels ou par les constructeurs des différents types de tuyaux
 λ peut s'exprimer en fonction de la rugosité du tuyau

Formule de Karman, Prandtl et Nikuradse

$$1 / \sqrt{\lambda} = 1.74 + 2 \log_{10} (D / 2k)$$

k est une dimension approximative des aspérités intérieure de la conduite

k varie aussi avec la durée de vie de la conduite

pour une conduite lisse, on applique la formule de Blasius : $\lambda = 0.316 / Re^{1/4}$

Alternativement, on utilise les formules :

Perte de charge totale : $J = \Delta H$

Perte de charge unitaire : $j = J/L$

Formule de Colebrook donné par :

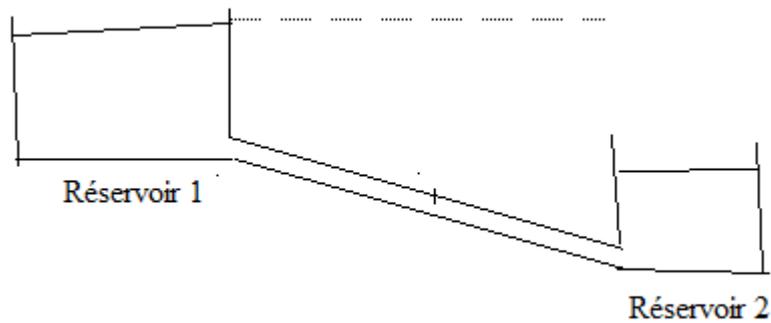
$$1 / \lambda = -2 \ln [(k / 3.7D) + (2.51 / Re \sqrt{\lambda})]$$

k : coefficient de rugosité

Re : nombre de Reynolds

Koch et Vibert ont dressé un tableau des pertes de charges en fonction des débits pour différents diamètres et pour deux valeurs de k : $k = 10^{-4}$ m et $k = 2.10^{-3}$ m

En générale, seuls le débit et la longueur sont connus ; la longueur est donnée par le tracé de la conduite. Entre deux réservoirs, l'eau arrive sous pression, toute la charge étant absorbée par les frottements



$$[Z_1 + (P_1 / \rho \cdot g) + V_1^2 / 2g] - [Z_2 + (P_2 / \rho \cdot g) + V_2^2 / 2g] = J_{1-2}$$

Cote de départ et cote d'arrivée étant imposées, on recherche dans le tableau le diamètre qui donne le débit avec une perte de charge J ($J = j \cdot L$)

On vérifie que la vitesse V dans la conduite reste comprise entre 0.5 et 1.5 m/s

$V < 0.5$ m/s formation de dépôt et d'air

$V > 1.5$ m/s risque du coup de bélier

Pour les vieilles conduites $k = 2 \cdot 10^{-3}$ m

Pour les conduites nouvelles $k = 10^{-4}$ m

Dupont préconise :

Conduite d'adduction : $k = 4 \cdot 10^{-4}$ m

Conduite courte (quelques mètres) : $k = 10^{-4}$ m

Conduite du réseau de distribution : $k = 10^{-3}$ m

En tenant compte de l'accroissement de la consommation avec présence possible de dépôts :

$$k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Dupont donne les coefficients à appliquer aux pertes de charges lues dans les colonnes de

$k = 2 \cdot 10^{-3}$ m en vu d'obtenir les pertes de charge pour les valeurs de $k = 10^{-3}$ m et $k = 4 \cdot 10^{-4}$ m

cas où l'une des deux cotes d'arrivée ou de départ est imposée (cas fréquent)

4.3.4 Lecture de la table de COLEBROOK

Par exemple pour **un débit de 8.12 l/s**, cherchez le débit correspondant dans les tables de Colebrook – pour des valeurs de vitesses acceptables entre $0.5 \text{ m/s} < v < 1.5 \text{ m/s}$

Idéalement la valeur de la vitesse la plus proche possible de 1 m/s

Dans le tableau, le débit **de 8.12 l/s** est compris entre 8.09 l/s et 8.54 l/s (surlignage jaune) prenez la perte de charge correspondante pour $k = 0.1$ mm

Par exemple pour 8.09 l/s, la perte de charge est de 8.75 m/km et déduire le diamètre en haut (surlignage vert) et la vitesse est de 0.9 m/s

Si la valeur du débit calculé est éloignée de la valeur de la table, il faudrait faire l'interpolation

Tableau 4.1 Extrait de la table de Colebrook

Vitesse (m/s)	Diamètre intérieur : 100 mm				Diamètre intérieur : 107 mm			
	Débit (l/s)	Perte de charge (mCE/km)			Débit (l/s)	Perte de charge (mCE/km)		
		k = 0,05 mm	k = 0,1 mm	k = 0,5 mm		k = 0,05 mm	k = 0,1 mm	k = 0,5 mm
0,10	0,79	0,17	0,18	0,20	0,90	0,16	0,16	0,18
0,15	1,18	0,35	0,36	0,42	1,35	0,32	0,33	0,39
0,20	1,57	0,58	0,60	0,72	1,80	0,54	0,55	0,66
0,25	1,96	0,87	0,90	1,10	2,25	0,80	0,82	1,01
0,30	2,36	1,20	1,25	1,56	2,70	1,10	1,15	1,43
0,35	2,75	1,58	1,65	2,10	3,15	1,46	1,52	1,92
0,40	3,14	2,01	2,11	2,71	3,60	1,85	1,94	2,48
0,45	3,53	2,49	2,62	3,40	4,05	2,29	2,41	3,11
0,50	3,93	3,02	3,18	4,16	4,50	2,77	2,92	3,81
0,55	4,32	3,59	3,80	5,01	4,95	3,30	3,49	4,59
0,60	4,71	4,20	4,46	5,93	5,40	3,87	4,10	5,43
0,65	5,11	4,86	5,18	6,93	5,84	4,47	4,76	6,35
0,70	5,50	5,57	5,95	8,01	6,29	5,13	5,46	7,33
0,75	5,89	6,32	6,76	9,16	6,74	5,82	6,22	8,39
0,80	6,28	7,12	7,63	10,40	7,19	6,55	7,01	9,52
0,85	6,68	7,97	8,55	11,71	7,64	7,33	7,86	10,72
0,90	7,07	8,85	9,52	13,09	8,09	8,14	8,75	11,99
0,95	7,46	9,78	10,55	14,55	8,54	9,00	9,69	13,33
1,00	7,85	10,75	11,62	16,10	8,99	9,89	10,68	14,74
1,05	8,25	11,77	12,74	17,72	9,44	10,83	11,71	16,22
1,10	8,64	12,84	13,92	19,41	9,89	11,81	12,79	17,78
1,15	9,03	13,95	15,14	21,19	10,34	12,83	13,92	19,40
1,20	9,42	15,10	16,42	23,04	10,79	13,89	15,09	21,10
1,25	9,82	16,29	17,74	24,97	11,24	14,99	16,31	22,86
1,30	10,21	17,53	19,11	26,98	11,69	16,12	17,57	24,70

Application

$Q = 160$ l/s

$J = 4.00$ m

$L = 2000$ m

$k = 2.10^{-3}$ m

On calcule : $j = J/L = 4/2000 = 0.002$

On consulte les tableaux de Colebrook, on trouve une valeur approximative de j

$j = 0.0019$ pour un diamètre $D = 0.500$ m, on vérifie la vitesse $v = 0.8$ m/s

0.5 m/s < v < 1.5 m/s → valeur acceptable

4.4 DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX

4.4.1 Le réseau ramifié

Le calcul du réseau ramifié se fait en partant de l'extrémité aval du réseau et en remontant de tronçon en tronçon jusqu'au réservoir. Les débits calculés dépendent du coefficient de pointe horaire de l'agglomération.

Le réseau ramifié se compose de la canalisation maîtresse R-1-2-3-4-5-6-7 et des branchements (tronçons).

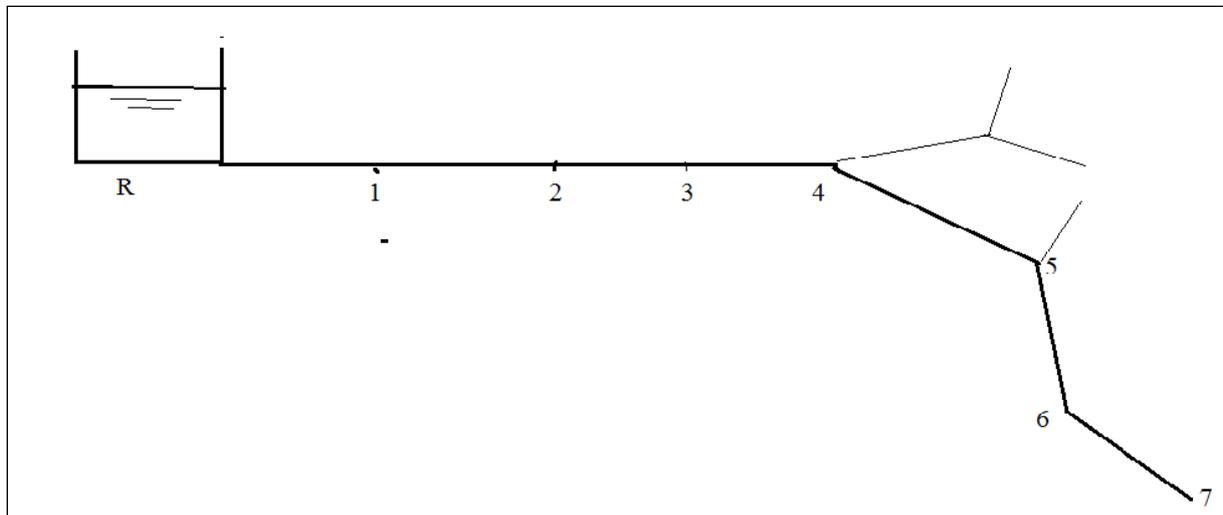


Figure 4. 8 Le réseau ramifié

4.4.1.1 Les données

On doit avoir :

- 1- les longueurs des tronçons du réseau
- 2- les cotes au sol dans chaque point
- 3- les débits dans chaque point
- 4- les pressions nécessaires au sol dans les points

4.4.1.2 Méthode de travail

- 1- Après avoir déterminé les débits consommés au tronçon, on détermine les débits en route et aval en partant de l'extrémité. Si la conduite est en impasse $P=0$
- 2- Le débit déterminé, se référer à l'abaque et tirer le diamètre, la vitesse et la perte de charge unitaire
- 3- Calculez la perte de charge totale J et la hauteur piezométrique aval ainsi que la pression au sol sachant que :

H piezométrique aval = H piezométrique amont - J

Pression au sol = H piezométrique aval - cote au sol

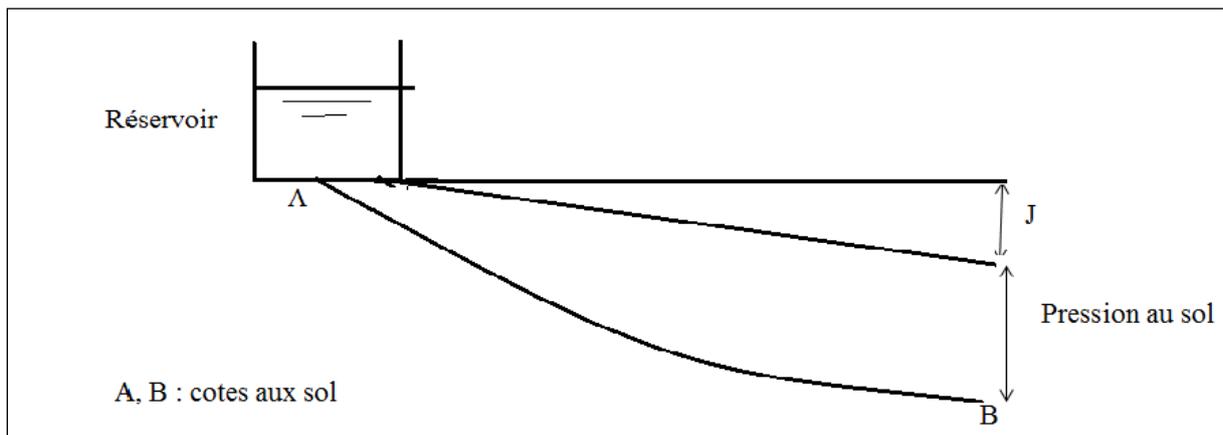


Figure 4. 9 Représentations des différentes cotes

Le débit est calculé d'après la formule suivante : $q = q_{\text{aval}} + 0.55 q_{\text{route}}$

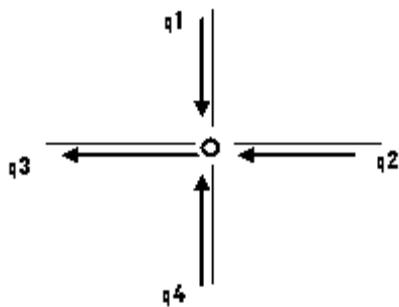
4.4.2 Calcul des réseaux maillés

Pour le calcul du débit, on applique les deux (02) lois de Kirchhoff

Première lois : loi des nœuds

En un nœud quelconque du réseau, la somme algébrique des débits est nulle c'est à dire : la somme des débits entrants est égale à la somme des débits sortants qui quittent ces nœuds (il n'y a pas d'accumulation d'eau dans ce nœud)

Les débits entrants sont considérés positifs et les débits sortants sont négatifs



$$\sum_{i=1}^n q_i = 0$$

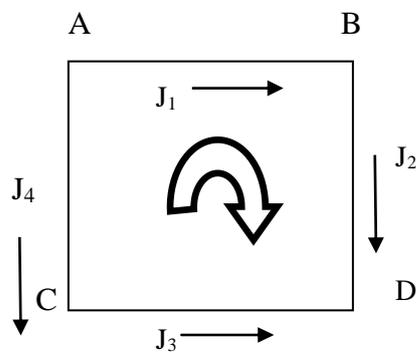
$$q_1 + q_2 - q_3 + q_4 = 0$$

$$q_1 + q_2 - q_3 + q_4 = 0 \quad \rightarrow \quad q_3 = q_1 + q_2 + q_4$$

On suppose que le débit qui arrive au nœud est positif et le débit qui sort du nœud est négatif

Deuxième lois de Kirchhoff : loi des mailles

Le long d'une maille qui forme un parcours orienté et fermé, la somme algébrique des pertes de charge est nulle



Cette loi est appliquée dans le circuit fermé ABCD où l'orientation positive est donnée par le sens du déplacement des aiguilles d'une montre

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

Cette égalité n'est pas vérifiée dès la première approximation, le débit doit être corrigé avec la formule suivante :

$$\Delta q = \frac{-\sum J}{2 \sum J/q}$$

Si la deuxième loi n'est pas encore vérifiée, il faudrait de nouveau corriger les débits d'une nouvelle valeur Δq calculée comme précédemment.

4.5 RENDEMENTS DES RESEAUX

Le rendement du réseau dépend des indicateurs de performance. En général, Le premier travail de maintenance d'un réseau de distribution d'eau potable consiste à contrôler en permanence l'étanchéité de ce réseau

En plus des enquêtes sur sites, Il existe pour cela diverses méthodes et techniques à la disposition des exploitants dont l'opération de recherche de fuites.

Les fuites se manifestent sur les différents organes du réseau : les canalisations et leurs accessoires et les branchements particuliers. Trois grandes familles de fuites peuvent être distinguées, par débit de fuite croissant :

- Les fuites diffuses : ce sont des fuites qui ne peuvent pas être localisées avec les techniques courantes du fait de leur faible débit ;
- Les fuites détectables non-visibles : ce sont des fuites non-visibles que l'on peut détecter avec les moyens usuels d'investigation ;
- Les fuites visibles : ce sont des fuites dont la présence est visible en surface (écoulement, excavation, etc.).

4.5.1 Volumes utilisés en alimentation en eau potable

1. Volume produit: V_{pro}

Volume issu des ouvrages de production, acheminé vers un réservoir ou injecté directement dans le réseau de distribution.

2. Volume distribué: V_{dis}

Volume mis en tête du réseau à partir d'un ouvrage de distribution (réservoir) ou directement d'un ouvrage de production

3. Volume comptabilisé : V_{comp}

Somme des consommations relevées au niveau des appareils de comptage des clients aux autres points de livraison.

4. Volume de service du réseau : V_{serres}

Volume utilisé pour l'exploitation du réseau. V_{serres} : 1 à 2 %

5. Volume détourné : $V_{dét}$

Volume utilisé frauduleusement

6. Volume défaut de comptage : $V_{défcomp}$

Volume résultant de l'imprécision et/ou du dysfonctionnement des organes de comptage, et des erreurs de relevés. $V_{défcomp}$: ± 2 à ± 8 %

7. Volume de fuites : V_{fuit}

Volume résultant des défauts d'étanchéité du réseau de distribution (conduites, branchements et pièces spéciales V_{fuit} : 5 à 25 %

8. Volume facturé: V_{fact}

Volume résultant de la facturation, qui peut être différent de (V_{comp}) à cause des estimations, dégrèvements d'impôt ,etc

9. Volume des pertes en distribution: $V_{pertdis}$

$V_{pert\ dis} = (V_{dét})+(V_{fuit})+(V_{déf.comp})$

10. Volume utilisé : V_{uti}

$V_{uti} = (V_{comp})+(V_{cons.ss.comp})+(V_{serv.rés})+(V_{dét})+(V_{déf.comp})$

En général, Le premier travail de maintenance d'un réseau de distribution d'eau potable consiste à contrôler en permanence l'étanchéité de ce réseau

En plus des enquêtes sur sites, Il existe pour cela diverses méthodes et techniques à la disposition des exploitants dont l'opération de recherche de fuites

4.5.2 Calcul de rendement du réseau

C'est le rapport entre la quantité d'eau consommée et la quantité d'eau introduite dans le réseau.

$$Rd = V.comp / Vm.e.d \quad (\%)$$

V.comp = volume comptabilisé en m³

Vm.e.d = Volume mis en distribution en m³

Rd en milieu urbain: 75 à 80 %

Rd en semi-rural : 80 à 85 %

Rd en rural : 85 à 90 %

En général, les résultats sont évalués selon le tableau d'analyse suivante :

Tableau 4.2. Evaluation du rendement d'un réseau

Classe de rendement	Valeur en %
Bon	sup. à 80%
Moyen	70 à 80%
Mauvais	60 à 70 %
Très mauvais	inf. à 60%

4.5.3 Calcul des indices linéaires des réseaux

1. Formule de calcul de l'indice linéaire de pertes en réseau : ILP

Cet indice permet d'estimer les volumes d'eau moyens perdus par jour pour 1 km de réseau.

Sa valeur évolue selon la densité de population raccordée au réseau. L'ILP est jugé satisfaisant si sa valeur est inférieure aux valeurs de références suivantes :

$$ILP = V \text{ per dis} / Lr \quad (m^3/j/km)$$

Avec : Vper dis : volume des pertes en distribution (m³) pendant une journée

Lr : longueur du réseau hors branchement (km)

Tableau 4.3 .Valeur de l'ILP en fonction de la densité d'abonnés

Densité d'abonnés	Valeur maximum d'ILP (m ³ /j/km)
inf. à 25 abonnés/km	2,5
25 à 50 abonnés/km	5
sup. à 50 abonnés/km	10

2. Indice linéaire de fuites: ILF

$$\text{ILF} = (\text{V.Ft}) / \text{Lr} \text{ (m}^3\text{/j/km)}$$

V.Ft = volume des fuites en m³

Cet indice est utilisé comme indicateur servant pour déterminer la répartition spatiale des fuites dans un réseau,

3. Indice linéaire de consommation : ILC

$$\text{ILC} = \text{Vcomp} / \text{Lr} \text{ (m}^3\text{/j/km)}$$

Vcomp : Volume comptabilisé en m³

ILC : Cet indice peut être utile pour déterminer la nature d'un réseau (situation administrative)

Tableau 4.4. Récapitulatif des différents indicateurs

Type	Rural	Intermédiaire	Urbain
Densité	D < 20	20 < D < 40	D > 40
Type de réseau	ILC < 10	10 < ILC < 30	ILC > 30
Excellent	ILP < 0.7	ILP < 1.5	ILP < 3.3
Moyen	0.7 ≤ ILP ≤ 2.5	1.5 ≤ ILP ≤ 5.2	3.3 ≤ ILP ≤ 12.8
Médiocre	2.5 < ILP	5.2 < ILP	12.8 < ILP

4.6 RECHERCHE DES FUITES

La recherche des fuites consiste en une investigation de terrain visant à localiser avec précision les fuites en vue de leur réparation. Les quatre points d'action pour diminuer les pertes d'eau sont :

- rapidité d'intervention,
- recherche active des fuites par différentes techniques,
- contrôle de la pression,

- restauration ou renouvellement ciblé du réseau.

Ces actions demandent une connaissance précise du terrain, du réseau et le repérage des canalisations. Les points ci-dessous déterminent les actions à mettre en œuvre pour une lutte efficace contre les fuites :

- Le classement pour archivage
- Les recherches de fuites terrain
- Les approches visuelles
- Les manœuvres des vannes
- Les pré-localisations par enregistreurs de bruits
- Les écoutes directes
- Les corrélations acoustiques
- Le test pression des branchements

La recherche des fuites passe par une enquête préliminaire qui consiste à envoyer sur place une équipe dès que l'anomalie a été signalée. Cette enquête préliminaire comporte les points suivants :

- Visiter les lieux et préciser l'emplacement exact de l'infiltration ou fuite (repère sur terrain).
- Vérifier les divers appareils de réseau proches de l'infiltration.
- Faire des manœuvres sur le réseau, mesures des pressions au manomètre.
- Faire éventuellement un test de présence de chlore dans l'eau.
- Procéder à une écoute rapide sur les branchements ou autres points accessibles voisins à l'aide d'un amplificateur de bruit.
- L'expérience montre que dans 60% des cas, cette enquête préliminaire permet de définir le périmètre de la fuite

4.6.1 La recherche de fuites pour un diagnostic terrain du réseau

La recherche de fuite se déroule généralement en deux phases :

- Phase 1 : pré localisation des fuites, c'est un repérage global des foyers (exemple par quartier)
- Phase 2 : localisation plus précise des fuites (rue, ruelle, tronçon.....)

Les méthodes utilisées sont :

- L'écoute au sol
- La corrélation acoustique
- La localisation des fuites

Les appareils pour la recherche des fuites sont :

- Les amplificateurs mécanique et électronique
- Les corrélateurs acoustiques
- Les prés localisateurs de fuites

L'écoute au sol pour détecter les fuites se fait à l'aide des amplificateurs mécaniques et électronique.

a. Amplificateurs mécaniques

Les appareils mécaniques sont de conception simple, utilisés généralement pour des écoutes directes sur réseau, ils donnent généralement satisfaction du fait de leur simplicité et de leur robustesse. Le niveau d'amplification est légèrement réglable et il n'y a aucun dispositif de filtrage. Le plus répandu de ces appareils est l'Hydrosol (figure).



L'hydrosol est fabriqué en fonte d'aluminium
Dimensions :
Hauteur : 120 x 125mm Ø
Tube allongé : 1 mètre



Figure 4. 10. Hydrosol

L'hydrosol amplifie environ 200 fois les sons captés, cet appareil est fabriqué en fonte d'aluminium. En cas de fuite dans une canalisation sous pression, la canalisation vibre au point de sortie d'eau.

C'est cette vibration que détecte l'Hydrosol, il est utilisé pour :

- les recherches et détections de fuites d'eau
- la recherche de canalisations enterrées sous pression

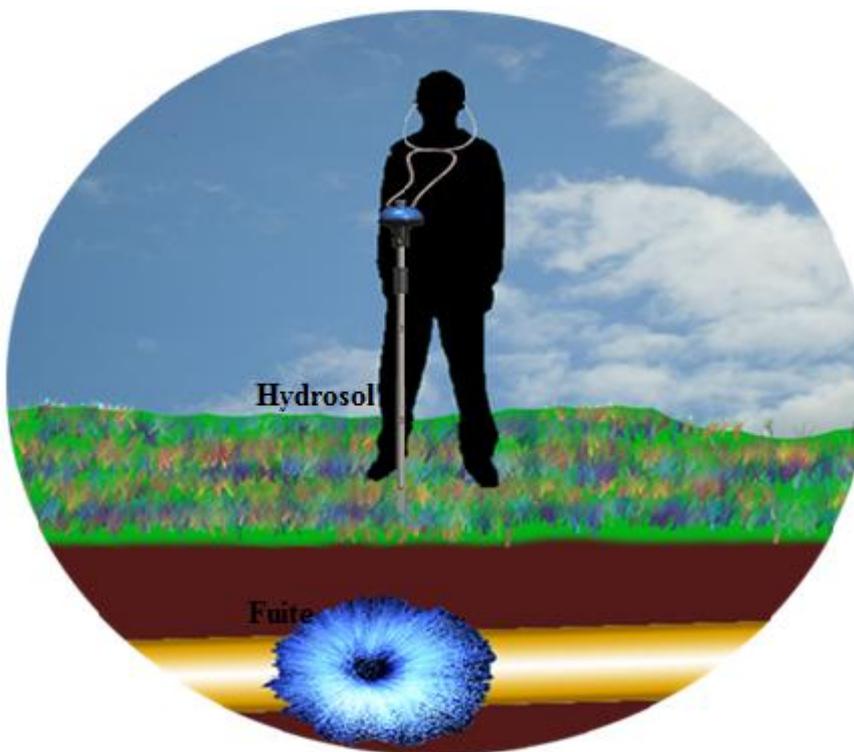


Figure 4. 11. Détection de la fuite par l'hydrosol

b. Amplificateurs électronique

Les appareils électroniques comportent un capteur de type piézo-électrique, un amplificateur réglable, un filtre de fréquence, un casque d'écoute et un dispositif visuel indiquant l'intensité du bruit capté. Toutefois, les dispositifs de filtrage sont très limités et le contrôle visuel peu efficace.

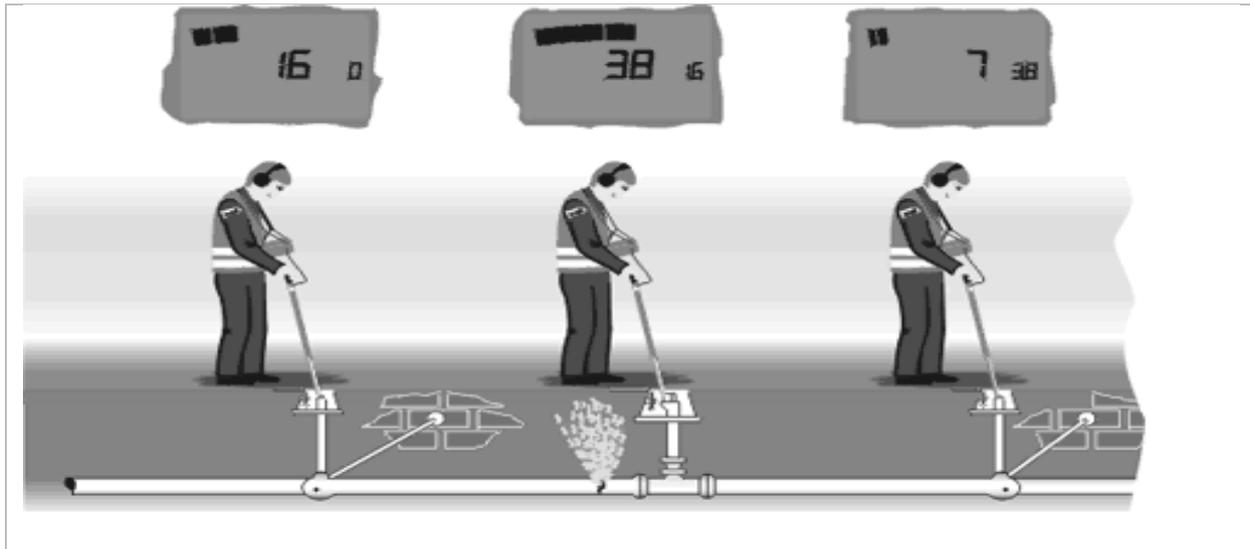


Figure 4. 12. Amplificateur mécanique (Document ONEP)

c. Corrélateur acoustique : corrélation acoustique

Le corrélateur acoustique est une nouvelle technique de recherche de fuites qui a fait son apparition en Europe. La corrélation acoustique est la détection par calcul du positionnement des fuites d'eau sur les réseaux de canalisations en charge et enterrés.

L'équipement de base d'un corrélateur acoustique comprend :

- Une unité centrale
- Des amplificateurs de signal
- Capteurs de bruit de la fuite (type de capteur à choisir selon la nature des matériaux des conduites accéléromètres pour les conduites métalliques et amiante ciment et les hydrophones pour les conduites en plastique)
- Système de liaison avec l'unité centrale (liaison hertzienne, liaison câble)
- Chargeur de batterie
- Casque d'écoute
- Paire d'antenne

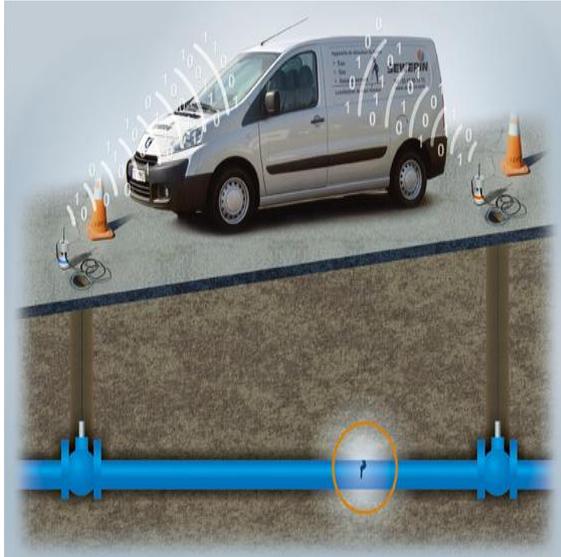


Figure 4. 13. Recherche des fuites par corrélation acoustique (Document ONEP)

a. Principe de corrélation

Le bruit de fuite se propage dans la canalisation en s'éloignant de sa source dans les deux directions, la vitesse de propagation est constante et dépend du matériau et du diamètre de la conduite.

Dans un intervalle de temps donné, le bruit parcourra la même distance de part et d'autre de la fuite. Cette situation est illustrée dans le schéma suivant :

Calculateur du corrélateur

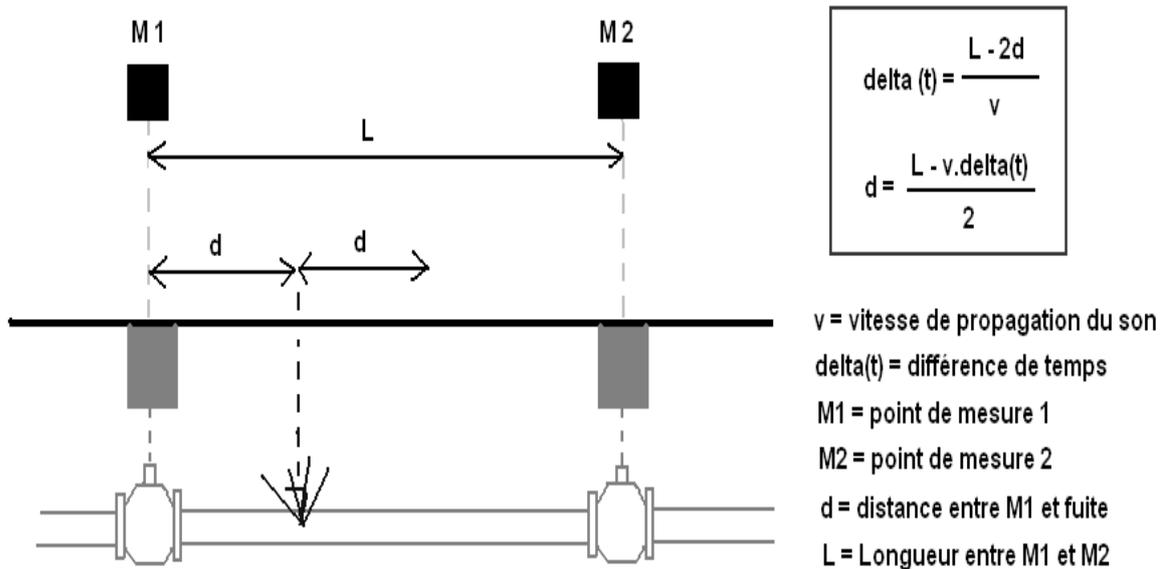


Figure 4. 14. Principe de calcul de la position d'une fuite par le corrélateur acoustique

En théorie, le bruit d'une fuite peut se propager sur des grandes distances, mais en pratique, il est amorti durant son trajet dans les canalisations. De ce fait, l'atténuation est d'autant plus grande que la distance depuis la fuite augmente

Aussi, l'atténuation varie généralement selon la nature des matériaux comme l'indique le tableau ci après (Source ONEP / office national des eaux potables)

Tableau 4.5 Atténuation de la fuite en fonction du matériau (Document ONEP)

Acier	Peu d'atténuation
Fer	↓
Cuivre	
Béton	
Plomb	
Amiante ciment	
PVC	
Polyéthylène haute densité	
Polyéthylène basse densité	Grande atténuation

4.6.2 La localisation des fuites : prés localisateurs de fuites

- a. Principe : Il consiste en la pose d'enregistreur de données acoustiques sur des points d'accès (vannes).

L'écoute se fait la nuit entre 2h et 4h, aux heures de plus bas mouvement de l'eau mais également aux heures où le bruit environnant est le plus faible.

Le pas de temps de l'enregistrement est faible (1s), ce qui réduit considérablement les erreurs commises à cause de bruits ponctuels.



Figure 4.15. Pré localisateur de fuite

b. Interprétation des résultats :

L'interprétation des résultats fait appel à :

- Une lecture visuelle sur les appareils
- Un logiciel d'interprétation des résultats stockés dans les prés localisateurs
 - Si le bruit est < 20 dB : pas de fuites
 - Si le bruit est de 20dB à 30 dB : possibilité de fuites – effectuer des recherches approfondies sur terrain
 - Si le bruit est de 80 dB : fuites probables

Ces appareils indiquent des valeurs en dB et le degré de probabilité de la fuite, le calcul de degré de probabilité de fuite se fait de la façon suivante :

- calcul de différentes caractéristiques de bruit qui sont significatifs de la présence d'une fuite.
- Le « seuil critique de bruit » qui correspond au niveau sonore le plus bas, dépassé pendant 99% du temps d'enregistrement. C'est le paramètre le plus important parce qu'il indique le niveau sonore lorsque aucun autre bruit aléatoire (tel que le bruit de la circulation) ne s'ajoute au bruit de fuite.
- Le « pic » est le niveau sonore le plus fréquemment enregistré, c'est à dire qu'il s'agit du niveau sonore en dB qui se présente le plus souvent (mesuré à intervalle d'une seconde). Plus cette valeur est élevée, plus cet enregistreur risque d'être proche d'une fuite.

c. Caractéristique d'un bruit de fuite

- Le bruit de fuite est « aléatoire », c'est à dire que, si on le représente par une fonction $F(t)$ et $F(t + T)$ pour toutes valeurs de T , ne présentent entre elles aucune ressemblance.
- La propagation du bruit de fuite dans la conduite se fait à vitesse égale de part et d'autre de son origine (à condition que la conduite soit homogène en matériau et diamètre). Ce mode de propagation résulte d'une interaction entre l'eau et la conduite.

- Le bruit de fuite est permanent, alors que la plupart des bruits environnants sont transitoires, et ainsi malgré une puissance instantane importante, peuvent être discriminés par un traitement sur une période longue de l'ordre de 10 secondes ou plus.

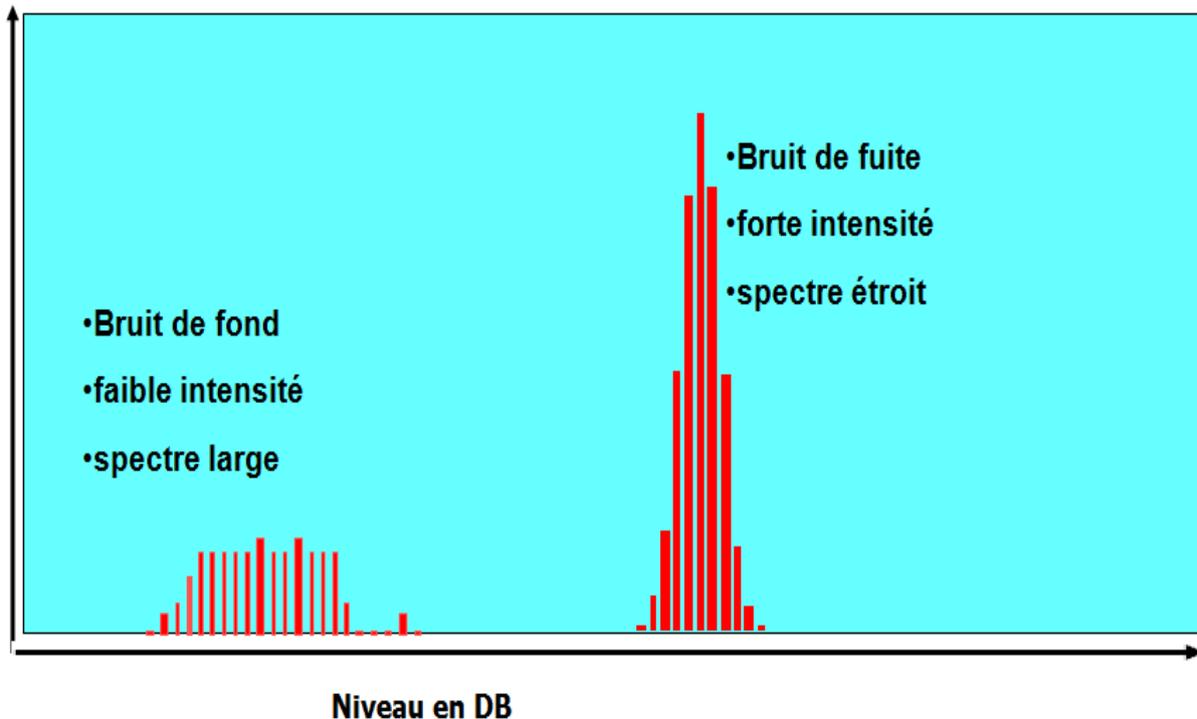


Figure 4. 16. Représentation du spectre d'une fuite (Document ONEP)

4.6.3 Détection et réparation des fuites.

Détecter les fuites par le matériel de localisation des fuites.

Dresser une liste des fuites détectées avec marquage sur le schéma réduit du réseau.

Procéder à la réparation des fuites détectées avec la constitution d'un document descriptif sur les fuites réparées faisant ressortir certaines informations (parties endommagées, causes probables, pièces de rechange utilisées, main d'œuvre etc.....)

Reprendre des essais de recherche au niveau des tronçons ayant fait l'objet de réparation (car une fuite peut cacher une autre)

4.7 EVALUATION DE L'OPERATION APRES LA REPARATION DES FUTES DETECTEES

Une fois les fuites réparées, une contre mesure de débit de nuit doit être réalisée dans le même jour calendaire et la même période nocturne ou la première mesure a été effectuée et ce en vu d'évaluer le débit de fuite qui a été récupéré.

D'après les statistiques des travaux réalisés par l'office national de l'eau potable :

- 90% des fuites sont localisées au niveau des branchements dont :
 - 50% des fuites sont localisée au niveau des robinets de prise en charge.
 - 30% des fuites au niveau des tuyaux en PE.
 - 10% des fuites au niveau des colliers de prise en charge.
 - 10% des fuites au niveau des raccords des compteurs, des raccords en PE à serrage rapide, coude en PE....etc.
- 2% des fuites au niveau des conduites
- 8% des fuites au niveau des pièces spéciales des réseaux