

Formule de MANNING STRICKLER :

$$C = \frac{1}{n} RH^{1/6} \dots\dots\dots(2.14)$$

Avec :

RH : rayon hydraulique

n : coefficient de MANNING STRICKLER, il prend des valeurs selon la nature de la paroi (tableau ci-contre)

Tuyau en béton lisse ou en métal	n = 0,012
Tuyau en béton.....	n = 0,013
Canaux en béton	n = 0,250
Tôle ondulée (frisée).....	n = 0,450

Exercice 1:

On veut déterminer le diamètre d'un collecteur d'eau usée. Ce collecteur doit prendre en charge les évacuations des logements et équipements suivants:

Nombre de logements 150 nombre d'habitants par logement=7, Mosquée 500 places, Cinéma 150 places.

Estimation des évacuations:

Evacuation par habitant 200 l/j/hab

Cinéma 4 l/j/place

Mosquée 4 l/j/place

- i) Déterminer le débit moyen d'eau usée
- ii) Déterminer le débit de pointe d'eau usée
- iii) Déterminer le diamètre de la conduite si la vitesse d'écoulement = 0,9m/s

Solution

i) $Q_{\text{moy}} = Q_{\text{moy}(EU)} = \frac{a \cdot \alpha \cdot N}{86400} = 1,96 \text{ l/s}$

ii) $K_p = 3.28$ $Q_p = 6.42 \text{ l/s}$

iii) $D = 0.094 \text{ m}$

Exercice 2:

Dans une conduite circulaire, nous savons qu'il coule un débit de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une pente de 0,0002. Le coefficient de Manning est de 0,01 et le rapport $Y/D=0,25$. Déterminer le diamètre de la conduite ?

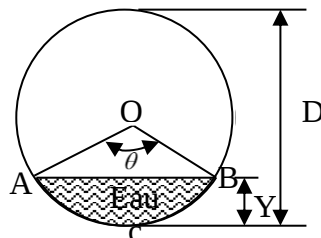


Figure 1

Solution :

i) La surface du triangle OAB= $0.108d^2$

La surface de OACB

$$360^\circ \longrightarrow \pi d^2/4$$

$$120 \longrightarrow x$$

$$X = 120 * \pi d^2 / 360 * 4 = 0.262 d^2$$

La surface hachurée = $0.154 d^2$

ii) le périmètre

$$360^\circ \longrightarrow \pi d$$

$$120 \longrightarrow x$$

$$X = 120 * \pi d / 360 = 1.047d$$

$$\text{iii) } RH = 0.154 d^2 / 1.047d = 0.147d$$

$$\text{iv) } C = 72.647d^{1/6}$$

v) le diamètre

$$Q = S * C (RH * I)^{1/2}$$

$$Q^2 = S^2 * C^2 (RH * I)$$

$$d = 3.245m$$

Exercice 3:

Une ville de 35000 hab. est assainie par une conduite d'assainissement en PVC d'une pente moyenne $I=2\%$ est d'un coefficient $C=62$.

1- Si en admettant que la dotation d'alimentation est $a= 175l/j/hab$, que le coefficient de rejet est $\alpha =65\%$ et que le taux d'accroissement annuel de la ville est 2.8%

a- Calculer le débit moyen à évacuer actuellement par la conduite?

b- Calculer le débit maximum à évacuer actuellement ?

c- Calculer le débit moyen à évacuer à l'horizon de 25 ans ?

d- Calculer le débit maximum à évacuer à l'horizon de 25 ans ?

2- Estimer le diamètre de la conduite pour les quatre cas précédents ?

Sachant que le nombre d'habitant à un horizon de 25 ans peut être déterminé par :

$$N = N_0 (1+T)^n$$

Avec

N_0 : nombre d'habitants pendant l'année de référence (actuelle)

T : taux d'accroissement de la population

n : nombre d'années à partir de l'année de référence

CHAPITRE III: Alimentation en eau potable (A.E.P)

III.1. Généralité:

Dans les temps anciens, le transport de l'eau se faisait par des moyens rudimentaires, de nos jours, l'évolution a permis de canaliser l'eau depuis la source jusqu'aux points d'utilisation.

III.2. Captage des eaux:

C'est une opération qui consiste à capter l'eau douce pour la mettre en réserve, puis la distribuer après traitement; l'eau peut provenir soit des eaux souterraines soit des eaux de surface.

a) Eau souterraine : (captage par puits)

L'eau de pluie pénètre dans des profondeurs variables de la terre pour former des nappes ; cette nappe constitue la source de prise d'eau pour l'adduction en eau potable.

b) Eau de surface :

L'origine de cette eau est également la pluie sur les bassins versants du milieu récepteur, elle finit par se déverser dans les cours d'eau, les lacs, rivière....etc, et qui constitue la source de captage des eaux de surface.

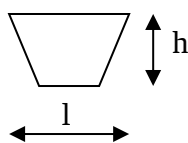
III.3. Qualité d'eau-traitement :

L'eau distribuée pour la consommation provient généralement des barrages, des forages et des sources naturelles. Dans tous les cas, elle doit arriver au consommateur pure et sans saleté. Pour cela avant la distribution, l'eau doit être filtrée et stérilisée de façon à éliminer toutes les matières en suspension et les microbes qu'elle contient.

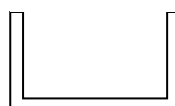
III.4. Adduction des eaux:

Le terme adduction représente l'ensemble des installations reliant la prise d'eau jusqu'à la station de traitement, stockage tel que le château d'eau et réservoir. Il existe deux types d'adduction:

- Adduction par refoulement caractérisée par un écoulement sous pression
- Adduction gravitaire ; caractérisée par un écoulement sous pression, l'eau est acheminée au moyen de canaux ouverts de forme suivant:



Trapèze



Rectangulaire



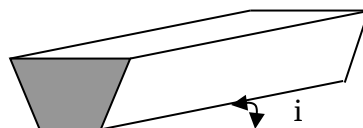
Demi-cercle

III.5. Etude d'un canal:

a) On fixe le débit Q (m^3/s , l/s)

b) La vitesse de l'eau (V) est déterminée en fonction de la nature de la paroi

- $V \longrightarrow$ 0,3m/s à 0,7m/s pour les parois non revêtues
- $V \longrightarrow$ 0,7m/s à 1,2m/s pour les parois revêtues
- La pente (i) $\longrightarrow$ 0,15mm/m à 1mm/m.



c) Connaissant le débit et la vitesse, on déduit l'aire $A_m =$ (la section mouillée)

$$A_m = \frac{Q}{V}$$

d) On détermine ensuite le profil en travers du canal dont la section est égale à A_m .

Remarque:

Les canaux de faible dimension sont généralement des éléments semi-circulaires en béton préfabriqué.

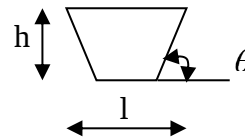
L'inclinaison des parois: Dépend de la nature du terrain

$\theta = 25^\circ$ Terrain meuble, sable

$\theta = 45^\circ$ Terrains revêtus

$\theta = 60^\circ$ Roches

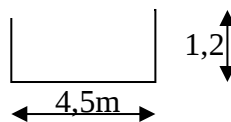
$\theta = 90^\circ$ Roches compactées



Trapèze

Exercice 1:

Soit un canal rectangulaire de longueur 4,5m, la pente i est égal $1/800$. Calculer la vitesse d'écoulement et le débit si la hauteur de l'eau est égale 1,2m et $C=49$.



Solution:

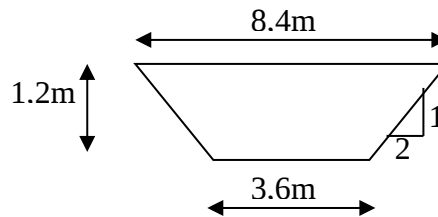
$$R_H = 0.789m$$

$$V = 1.53m/s$$

$$Q = 8.27m^3/s$$

Exercice 2:

Un canal à une section trapézoïdale dont les dimensions sont comme suit:



Déterminer le débit si la hauteur de l'eau égale 1,2m. La pente $i=1/1600$ et le coefficient de chezy $C=49$.

Solution :

$$A_m \text{ surface mouillée} = 7.2m^2$$

$$P_m \text{ périmètre mouillé} = 8.96m$$

$$R_H = 7.2/8.96 = 0.804m$$

$$Q = 7.903m^3/s$$

Exercice 3:

A quel débit doit-on s'attendre dans un canal rectangulaire de 1,22m de large, revêtu de ciment ($n=0,013$), ayant une pente de 4m pour 10000m. Si l'eau a 610mm de profondeur ? Utiliser le coefficient C de Manning.

Solution

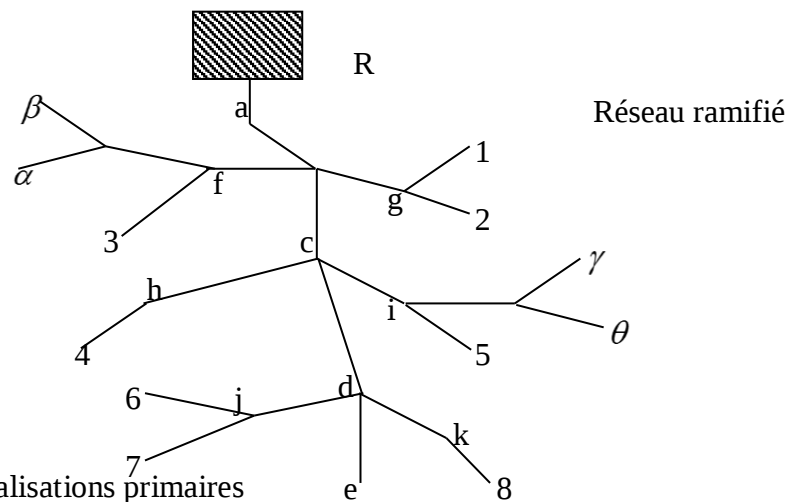
$$Q = S \cdot V = S \cdot (R_H^{2/3} \cdot I^{1/2}) / n = 0.51 m^3/s$$

III.6. Canalisation sous pression (Distribution d'eau):

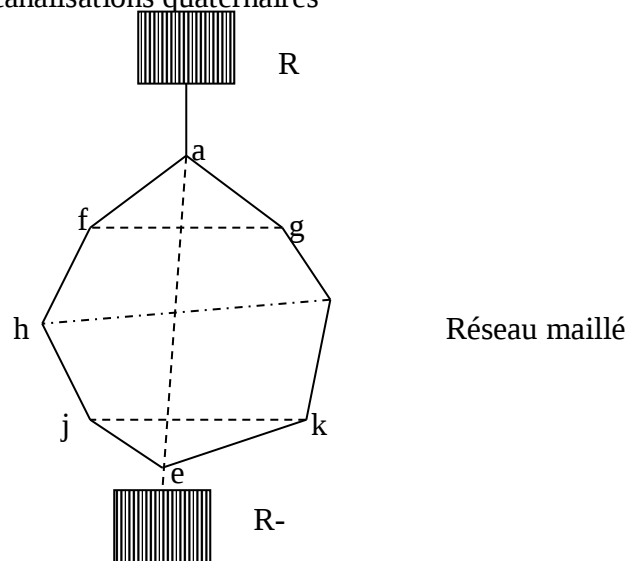
La canalisation sous pression est le moyen le plus utilisé pour la distribution de l'eau. L'eau est maintenue sous pression, elle est à l'abri de contamination.

La canalisation peut être en acier ou en béton. Il existe deux types de réseaux

- 1 - Réseau ramifié
- 2 - Réseau maillé



- a, b, c, d et e canalisations primaires
- f, g, h, i, j et k canalisations secondaires
- 1 à 8 canalisations tertiaires
- α , β , γ et θ canalisations quaternaires



Remarque:

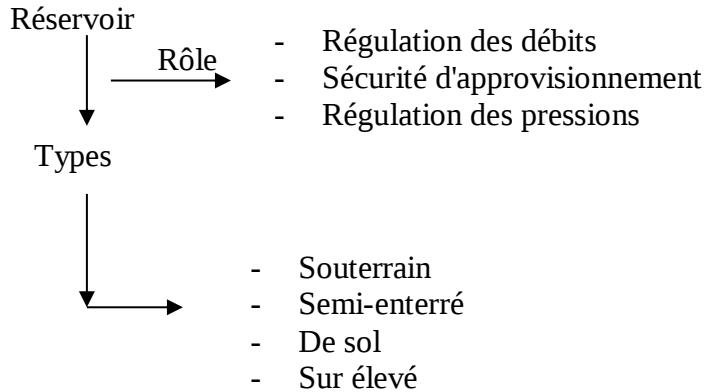
- Dans un réseau ramifié si un arrêt se produit dans un point quelconque du réseau, toutes les conduites placées en aval de l'arrêt sont privées d'eau car l'écoulement se fait dans un sens.
- Cet inconvénient du réseau ramifié est supprimé en assurant l'alimentation retour de la canalisation primaire et secondaire. L'alimentation retour pour les canalisations tertiaires et quaternaires des petites ruelles n'est pas assurée car c'est très coûteux.
- Le réseau maillé est généralement utilisé pour les grandes agglomérations.

Remarque sur le tracé du réseau:

- Il faut rechercher le tracé qui permet de minimiser la longueur de la canalisation.
- Eviter si possible le réseau ramifié donner préférence au réseau maillé.

III.7. Calcul d'un réseau :

a) Généralité :



Capacité d'un réservoir:

$$V_R = V_0 + V_{inc}$$

V_{inc} = volume (réservoir d'incendie) $Q_{ind} = 17l/s$

V_0 = volume maximum journalier de consommation

Robinetterie

1- Robinets vannes:

Placés à chaque point de raccordement afin d'isoler le tronçon pour la réparation

2- Ventouses:

- Utilisées pour évacuation de l'air entraîné par l'eau
- Air s'accumule aux points le plus haut des réseaux

3- Robinet des vidanges:

Placé à la fin des canalisations pour permettre la vidange de tout le réseau.

4- Robinet de branchement:

Placé pour chaque utilisateur

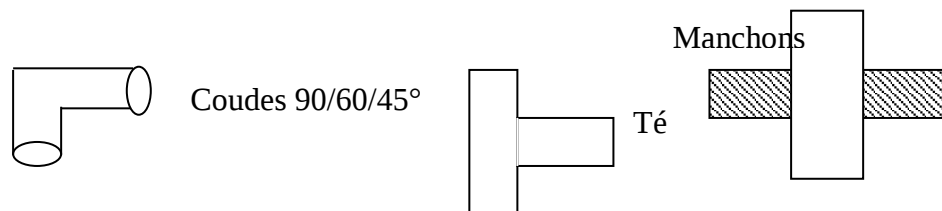
5- Bouche d'incendie (poteau d'incendie)

Sont des organes imposés par les services de protection. Les caractérisations minimales DN100/PN10

DN: Diamètre nominal 100mm

PN: Pression nominale 10bars

Les raccords



Phénomène du coup béliér:

Tout changement rapide de la vitesse d'écoulement peut provoquer des dépressions et surpressions alternatives sont connues sous le nom coup de béliér. Ils peuvent provoquer dommages à la canalisation (fuite d'eau).

Problèmes fréquents du réseau :

- 1- Formation des poches d'air dues à l'augmentation de la température T° et la diminution de la pression P_r
- 2- Coup de béliér du à la propagation d'une onde de pression (ou dépression)
- 3- Détérioration des coudes dus aux grandes vitesses d'écoulement.

Solution :

- 1- prévoir une ventouse (purgeur) aux points hauts du réseau
- 2- prévoir des robinets vannes à ouverture et fermeture progressive (à vis)
- 3- prévoir en face des coudes, des butées pour absorber les effets de vitesse

b) débit de pointe :

La plus grande consommation est enregistrée durant la journée, d'autre part, il faut tenir compte des pertes admissibles liées au rendement du réseau qui sont généralement estimées à 15 %.

L'expression qui donne le débit de pointe Q_p pour alimenter les points à usage d'habitation est :

$$Q_p = \frac{1,15 C.N.K_p}{86400} \quad (l/s)$$

C : dotation journalière (l/j/hab.)

N : nombre d'habitant

K_p : coefficient de pointe.

$$K_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}}$$

Si $K_p > 3$ on prend $K_p=3$

c) vitesse d'écoulement :

La vitesse doit être comprise entre $0,5 \text{ m/s} < V < 1,5 \text{ m/s}$

$V < 1,5 \text{ m/s}$ pour éviter le bruit et les dégradations des conduites.

$V > 0,5 \text{ m/s}$ pour éviter les dépôts.

d) calcul des diamètres :

L'expression qui permet de calculer le diamètre est :

$$Q_p = V.S \quad V : \text{vitesse [m/s]}$$

S : section de la conduite (m^2)

Q_p : débit de pointe (m^3/s)

Sachant que $S = \pi D^2 / 4$

$$D = \sqrt{\frac{4Q_p}{\pi V}} \quad D \text{ (m) : diamètre de la conduite}$$

- Ne pas descendre au-dessous de 0,06m, voire 0,08m. Dans les tronçons sur lesquels il est prévu l'installation de bouches d'incendie, le diamètre minimal sera de 0,1m ou, mieux encore 0,15m.

N.B. :

- Le diamètre D calculé doit être normalisé par le diamètre ϕ , par conséquent la vitesse réelle d'écoulement V_r est :

$$V_r = \frac{4Q_p}{\pi \phi^2} \quad (\text{m/s})$$

Tableau III.1. Les diamètres (mm):

ϕ 40	ϕ 150	ϕ 450
ϕ 50	ϕ 200	ϕ 500
ϕ 60	ϕ 250	ϕ 600
ϕ 80	ϕ 300	ϕ 800
ϕ 100	ϕ 350	ϕ 1000
ϕ 125	ϕ 400	ϕ 1250

e) Pertes de charges :

Elles sont dues aux frottements entre particules du liquide et la paroi de la canalisation.
Elles sont données par la formule de COLEBROOKE :

$$J = \frac{dV^2}{2gD}$$

J : perte de charge (m/m)

V : vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)

g: accélération de la pesanteur (m/s²)

d: En fonction du nombre de REYNOLDS

$$Re = \frac{V.D}{\gamma} \text{ et } K/D$$

K : coefficient de rugosité en m

γ : Coefficient de viscosité cinématique du liquide en mouvement (m²/s).

La formule de COLEBROOKE donne le coefficient de perte de charge

$$\frac{1}{\sqrt{d}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{d}} \right)$$

- S'il s'agit de conduites fonte posées depuis plusieurs années, la nature du revêtement intérieur de ces tuyaux anciens fait pencher pour le coefficient de rugosité $k = 2.10^{-3}m$.

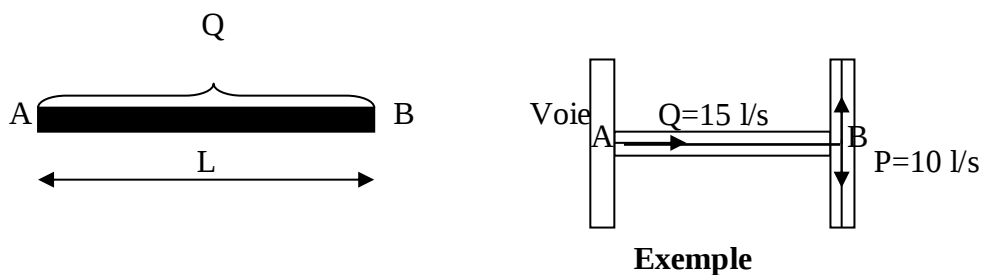
- S'il s'agit de conduites nouvelles, quelle que soit la nature du matériau qui les compose (fonte, acier, béton armé), le revêtement intérieur particulièrement lisse, le coefficient de rugosité $k = 10^{-4}m$

En pratique, on utilise les tables de COLEBROOKE qui donnent les pertes de charges en fonction du débit, la vitesse et le coefficient k.

III. 8.1. Réseau ramifié :

a) Débit fictif équivalent (débit de calcul Qc) :

Un tronçon d'une conduite AB est supposé que le sens d'écoulement étant dirigé de A vers B. Cette conduite destinée à assurer, d'une part, un débit total (débit de route) $Q=15 \text{ l/s}$ uniformément réparti sur un parcours et que, d'autre part, à son extrémité, le débit global nécessaire pour alimenter les conduites des voies an aval soit égal à $P= 10 \text{ l/s}$.

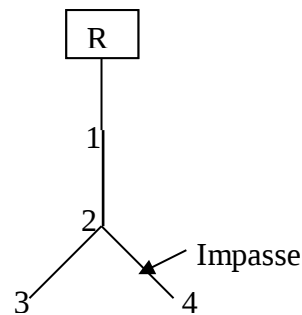


Avec quel débit calculera-t-on la conduite AB?

Comme le débit P d'aval doit nécessairement passer dans la conduite AB, nous pouvons:

- Soit calculer AB comme si la conduite devait avoir, en B, un débit d'extrémité de $15+10=25 \text{ l/s}$. Cette solution à un diamètre surabondant, car les 15 l/s de AB se répartissant uniformément sur cette longueur, se trouvent finalement absorbés en arrivant en B.
- Soit, calculer AB avec un débit inférieur à 25 l/s . Dans ce cas le calcul de la conduite est effectué si elle débitait à son extrémité $q=P+0,55Q$. Pour revenir à notre exemple, la conduite AB serait, en toute rigueur, à calculer, non avec un débit de 25 l/s , mais avec un débit de $q=10+0,55 \times 15=18,25 \text{ l/s}$.

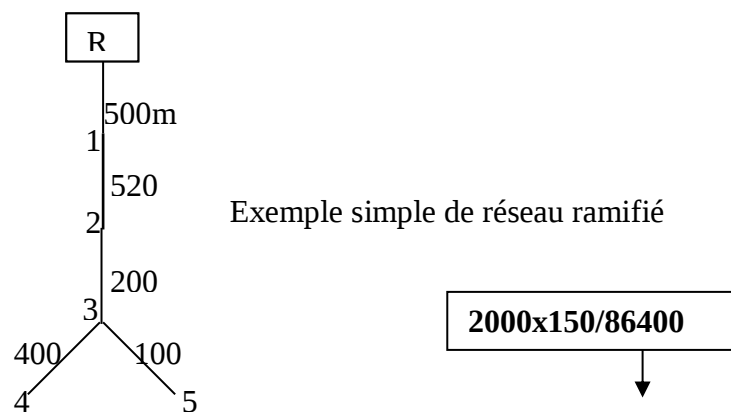
Cette méthode conduit à des diamètres plus faible qu'en prenant comme débit de calcul celui passant en A, encore appelé débit amont. La différence se fait d'autant plus sentir que le débit P d'extrémité est faible devant Q. la limite est celle du débit d'extrémité nul (conduite en impasse); dans ce cas, l'application de la formule s'impose.



Le calcul rigoureux est employé surtout pour l'étude des réseaux importants. En ce qui concerne les installations moyennes, on peut faire le calcul avec le débit d'amont, sauf les conduites en impasse.

b) Calcul d'un réseau ramifié:

Le calcul d'un réseau doit s'effectuer avec méthode. A titre exemple, on effectuera le calcul d'un réseau simple, pour une ville de 2000 habitants, et l'on supposera le schéma de distribution représenté sur la figure.



A raison de 150 l/hab/j, la consommation journalière est de $2000 \times 0,150 = 300\text{m}^3$, ou 3,47 l/s et par habitant $3,47/2000 = 0,0017$ l/s.

Nous dressons successivement les trois tableaux suivants:

Tableau 1: Débit par tronçons

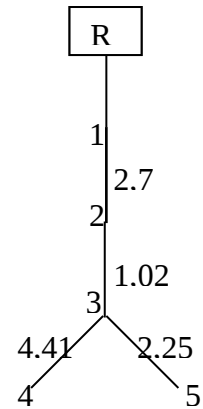
Désignation des tronçons	Nombre d'habitation	Consommation l/s	
		Moyenne	de pointe (K=3)
R-1	0	-	-
1-2	520	$0,0017 \times 520 = 0,9$	2,7
2-3	200	$0,0017 \times 200 = 0,34$	1,02
3-4	850	$0,0017 \times 850 = 1,47$	4,41
3-5	430	$0,0017 \times 430 = 0,75$	2,25
	2000		10,38

(Inclure les pertes du réseau s'ils existent, 15%)

Les valeurs trouvées sont reportées sur le schéma. Ensuite on procède à la répartition des débits selon les différents tronçons. Pour cela, partons de l'extrémité aval du réseau et remontons se proche en proche jusqu'au réservoir.

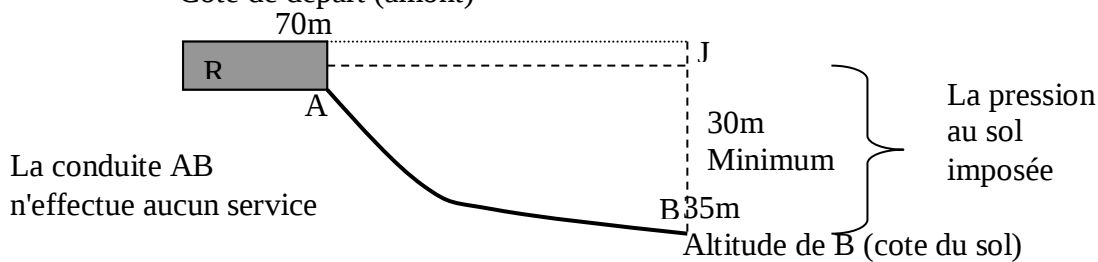
Tableau 2: Répartition des débits**1. Calcul des conduites à partir de débit d'amont**

Désignation des tronçons	En route	Débit l/s	
		aval	du tronçon
3-4	4,41	-	4,41
3-5	2,25	-	2,25
2-3	1,02	6,66	7,68
1-2	2,7	7,68	10,38
1- R	-	10,38	10,38
	10,38		

**2. Calcul à partir de la formule $q=P+0,55Q$**

Désignation des tronçons	En route	Débit l/s	
		Aval P	du tronçon $q=P+0,55Q$
3-4	4,41	-	2,42
3-5	2,25	-	1,24
2-3	1,02	6,66	7,22
1-2	2,7	7,68	9,17
1- R	-	10,38	10,38
	10,38		

La différence entre les deux tableaux est surtout sensible pour les conduites en impasse. Le tableau 3 (calcul des conduites) sera établi en tenant compte des débits amont, sauf pour les conduites en impasse. Pour déterminer le diamètre D , on utilise les tables de COLEBROOKE ($k=2 \cdot 10^{-3}$), la vitesse obtenue est acceptable et que la perte de charge totale donne finalement, au sol, une pression suffisante. Si la pression au sol est insuffisante, il faut recommencer les calculs en prenant un diamètre plus grand pour diminuer les pertes de charges.

Exemple: Côte de départ (amont)

Cote piézométrique aval = Côte piézométrique amont – perte de charge totale
 Pression au sol = Côte piézométrique aval – cote du sol aval

Avec une vitesse voisine 1m/s et $K=2 \cdot 10^{-3}m$

$V=1 \text{ m/s}$ $j=0,0046$ $\phi=0,35m$

La perte de charge totale est $J=0,0046 \times 2000=9,2m$

Pression au sol en B est de $(70-9,2)-35=25,80m \text{ d'eau} < 30m$

Avec une vitesse voisine 0,8m/s et $K=2 \cdot 10^{-3}m$

$V=0,8m/s$ $j=0,0024$ $\phi=0,40m$

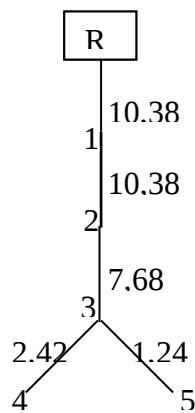
La perte de charge totale est $J=0,0024 \times 2000=4,8m$

Pression au sol en B est de $(70-4,8)-35=30,20\text{m}$ d'eau

Pour satisfaire la condition de pression en B, soit 30m d'eau, il faut prévoir une canalisation de 0,40m de diamètre inférieur.

Tableau 3: calcul des diamètres des conduites

tronçon	Long (m)	ϕ (m)	Débit (l/s)	j	J (m)	V (m/s)	H piéz amont	H piéz aval	Côte du sol	Pression du sol (m)
R-1	500	0,150	10,38	0,0055	2,75	0,60	50,00	47,25	20	27,25
1-2	520	0,150	10,38	0,0055	2,86	0,60	47,15	44,39	21	23,39
2-3	200	0,125	7,68	0,008	1,60	0,65	44,39	42,79	18	24,79
3-4	400	0,080	2,42	0,008	3,20	0,50	42,79	39,59	17	22,59
3-5	100	0,060	1,24	0,022	2,20	0,25	42,79	40,59	16	24,59



A titre indicatif, selon la hauteur des immeubles, on prévoit les pressions maximales suivantes, au sol, exprimées en mètres d'eau.

0,8 à 1bar	08 à 10m	pour R.D.C
1,2 à 1,5 bars	12 à 15m	pour un étage
	16 à 19m	pour 2 étages
	20 à 23m	pour 3 étages
	24 à 27m	pour 4 étages
	28 à 32m	pour 5 étages
	33 à 36m	pour 6 étages
	37 à 40m	pour 7 étages

Remarque:

- La pression minimale est égale à 5m (0,5 bar)
- La pression maximale est égale à 40m (4bars), des pressions supérieures à 40m risquent d'apporter des désordres (fuites notamment).
- $P > P_{\max} \rightarrow$ réducteur de pression
- $P_{\min} \leq P \leq P_{\max} \rightarrow$ fonctionnement normal
- $P < P_{\min} \rightarrow$ surpresseur au sol du bâtiment
- En ce qui concerne les immeubles plus élevés leurs propriétaires se trouvent dans obligation d'installer, dans les sous-sols, des groupes surpresseurs.