

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

PROJET DE FIN D'ETUDES

GENIE CIVIL

TITRE CALCUL DES COLLECTEURS D'EGOUTS DOMESTIQUES
OU PLUVIAUX PAR ORDINATEUR

GC. 0646

PRESENTE PAR AMADOU KHAITA DIAGNE

NUM

DATE : AOUT 1994

DIRECTEUR SOULEYMANE NDIONGUE

CO-DIRECTEUR AMADOU SARR

A MA FAMILLE

A MES PARENTS

A TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUE A MA FORMATION

REMERCIEMENTS

Je remercie MM Souleymane Ndiongue et Amadou Sarr, professeurs à l'Ecole Polytechnique de Thiès pour leur précieux concours apporté à ce Projet de Fin d'Etudes.

Mes sincères remerciements s'adressent également à la Direction Technique de la SONEES pour les informations gracieusement mises à notre disposition.

Je remercie vivement tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué au bon déroulement de ce projet.

SOMMAIRE

Ce rapport de projet de fin d'études se compose de quatre chapitres. Le premier est un chapitre introductif qui pose le problème de l'assainissement en milieu urbain et définit les objectifs de ce projet. Le chapitre 2 donne les grandes lignes de la conception des réseaux d'égouts domestiques et le chapitre 3 traite de son côté des réseaux d'égouts pluviaux.

Les égouts unitaires ne feront pas partie de cette étude du fait de la difficulté qu'ils entraînent pour le traitement des eaux qu'ils transportent même si leur emploi s'avère encore bénéfique dans certains cas.

Le chapitre 4 présente le produit de ce projet de fin d'études qui est un logiciel pour le calcul automatique des collecteurs d'égouts domestiques et pluviaux en milieu urbain.

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	pages
2.1 Échelles à utiliser dans le système métrique pour les projets d'égouts	4
2.2 Pentes minimales nécessaires selon la formule de Manning pour maintenir les vitesses indiquées lorsque l'écoulement se fait à plein	7
2.3 Choix de la pente d'un collecteur	11
3.1 Coefficient de ruissellement pour différentes surfaces	23
3.2 Coefficient de ruissellement pour différents secteurs	24
3.3 Coefficient de rugosité n	26
3.4 Facteur de multiplication F	27
3.5 Diamètres commerciaux (S.I)	21-bis
4.1 Calcul d'un collecteur domestique (dimensionnement)	61
4.2 Calcul d'un collecteur domestique (vérification)	64
4.3 Calcul d'un collecteur pluvial	90

LISTE DES FIGURES

Figures	pages
2.1 Délimitation des sous bassins	5
2.2 Section d'écoulement à la mise en service	16
4.1 Collecteur domestique	58
4.2 Paramètres hydrauliques de l'écoulement partiel	62-bis
4.3 Collecteur pluvial	87

LISTE DES SYMBOLES

ha	=	hectare
hab	=	habitant
L	=	litre
m	=	mètre
min	=	minute
mm	=	millimètre
RESO	=	Réseaux d'Égouts Sur Ordinateur
SONEES	=	Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal

TABLE DES MATIERES

Remerciements	i
Sommaire	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
Liste des symboles	v
CHAPITRE 1. INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2. CONCEPTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS DOMESTIQUES	3
2.1 Introduction	3
2.2 Procédure de calcul	3
2.2.1 Choix du réseau	3
2.2.2 Localisation des regards d'égout	5
2.2.3 Délimitation des sous_bassins	5
2.2.4 Définition des critères de design	6
2.2.4.1 Critères hydrologiques	6
2.2.4.2 Critères démographiques	8
2.2.4.3 Critères topographiques	9
2.2.4.4 Hypothèses utilisées dans le programme	9
2.2.5 Calcul ou choix des paramètres de design	10
2.2.5.1 Choix de la pente des conduites	10
2.2.5.2 Calcul des paramètres de design	12
2.2.5.3 Calcul des diamètres de conduite	13
2.2.5.4 Calcul de l'élevation des radiers	15
2.3 Vérification pour l'écoulement partiel	16
2.4 Préparation d'un tableau de calcul	19

CHAPITRE 3. CONCEPTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS PLUVIAUX	20
3.1 Introduction	20
3.2 Méthodologie	20
3.3 Procédure de calcul	21
3.3.1 Tracé du réseau	21
3.3.2 Localisation des regards	21
3.3.3 Détermination des sous bassins	21
3.3.4 Critères de design	22
3.3.5 Choix ou calcul des paramètres de design d'un tronçon	29
3.3.6 Dimensionnement proprement dit	30
3.3.6.1 Calcul du diamètre	31
3.3.6.2 Calcul de la vitesse coulant pleine	31
3.3.6.3 Calcul de la capacité coulant pleine	32
3.3.6.4 Calcul de l'élevation des radiers	32
3.3.7 Préparation d'une fiche de calcul	32
 CHAPITRE 4. PROGRAMMATION	 33
4.1 Introduction	33
4.2 Calcul des collecteurs d'égouts domestiques	34
4.2.1 Saisie des données	34
4.2.2 Algorithmes de calcul	35
4.2.2.1 Calcul de la valeur cumulative d'une entité	36
4.2.2.2 Calcul de la vitesse d'écoulement partiel	36
4.2.3 Programme	37
4.2.4 Exemple de calcul	58
4.2.4.1 Calcul manuel	58
4.2.4.2 Calcul avec RESO	63
4.2.4.3 Comparaison des résultats obtenus	70
4.3 Calcul des collecteurs d'égouts pluviaux	71
4.3.1 Saisie des données	71
4.3.2 Algorithmes de calcul	71
4.3.3 Programme	71
4.3.4 Exemple de calcul	87

4.3.4.1 Calcul manuel	87
4.3.4.2 Calcul avec RESO	89
4.3.4.3 Comparaison des résultats obtenus	95

CONCLUSION	96
-------------------	----

REFERENCES	97
-------------------	----

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

La collecte et l'évacuation des eaux usées et pluviales sont devenues une nécessité urgente pour les pays du Tiers-Monde. En effet, depuis les indépendances, les gouvernements de ces pays se sont surtout préoccupés de l'approvisionnement en eau des populations, au détriment des systèmes d'assainissement. De nos jours, la pollution de l'environnement a atteint dans les centres urbains de ces pays un degré tel qu'elle constitue un problème majeur.

Au plan de la conception, notamment à l'étape du dimensionnement, l'utilisation de l'ordinateur est d'un grand intérêt puisque les calculs sont souvent longs et répétitifs.

Le but de ce projet de fin d'études est d'élaborer un logiciel pour le calcul automatique des collecteurs d'eaux usées et les collecteurs d'eaux pluviales en milieu urbain. Nous l'avons intitulé RESO (Réseaux d'Egouts Sur Ordinateur).

Ce logiciel s'applique au dimensionnement de conduites circulaires enterrées supportant un écoulement gravitaire.

Les calculs sont essentiellement basés sur la méthodologie exposée dans les références 1 à 4, complétée par des informations recueillies auprès du bureau d'étude de la SONEES.

Nous n'avons pas jugé utile d'inclure dans ce rapport un exposé sur les théories de base de l'hydrologie qui sont très bien détaillées dans la littérature scientifique.

Le rapport se compose de quatre chapitres :

l'introduction constitue le premier chapitre;

le deuxième et le troisième chapitre traitent respectivement de la conception des réseaux d'égouts domestiques et de la conception des réseaux d'égouts pluviaux en milieu urbain. Le quatrième chapitre est réservé à la programmation et sert de guide d'utilisation du logiciel.

CHAPITRE 2

CONCEPTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS DOMESTIQUES

2.1 INTRODUCTION

Les réseaux d'égouts domestiques encore appelés réseaux d'égouts séparatifs ont pour fonction de transporter par gravité les eaux usées des ménages, commerces, institutions et industries, ainsi que certaines eaux parasites. Les conduites utilisées pour le transport de ces eaux doivent être étanches pour éviter une contamination de la nappe phréatique. Ce chapitre expose la procédure complète de calcul incluant la vérification pour l'écoulement partiel à la mise en service du réseau.

2.2 PROCÉDURE DE CALCUL

2.2.1 Choix du réseau

C'est la première étape du dimensionnement. Elle consiste après la délimitation du bassin à dessiner le réseau en tenant compte de la topographie du terrain. Il faut pour cela choisir les chemins les plus courts pour accéder à l'exutoire en indiquant le sens de l'écoulement. Si le réseau d'égouts ne débouche pas sur une station d'épuration, le choix du tracé et la disposition des organes du réseau doit permettre une construction ultérieure d'une telle installation. Les canaux de fuite doivent être réduits au minimum et disposés en plan ou en hauteur de telle façon que leur connexion ultérieure à un intercepteur soit aisée.

Le tracé du réseau doit s'appuyer sur un nombre suffisant de plans et de profils dessinés à une échelle convenable (voir tableau 2.1). Ces plans doivent représenter, outre les habitations à desservir, les rues et les cotes des points importants.

Tableau 2.1

Echelles à utiliser dans le système métrique pour les projets d'égouts (tiré de [2])

	Utilisation	Echelle
Cartes		1:1 000 000
		1:500 000
		1:200 000
		1:100 000
		1:50 000
Plans urbains		1:50 000
		1:20 000
		1:10 000
		1:5 000
		1:2 500
Relevés	Blocs d'habitations	1:2 500
		1:2 000
		1:1 250
		1:1 000
	Plans cadastraux	1:500
		1:200
	Emplacements généraux	1:200
		1:100
		1:50
Dessins partiels	Lignes	1:100
		1:50
		1:20
	Assemblages	1:20
		1:10
		1:5
	Détails	1:10
1:5		
1:1		

* Source: *British Standards Institution* (1968).

2.2.2 Localisation des regards d'égouts

Les regards d'égouts sont des ouvrages très importants dans un réseau d'égouts. Ils permettent l'accès aux conduites pour y effectuer des travaux d'entretien et assurent la ventilation dans le réseau. Il faut prévoir des regards d'égout dans les endroits suivants:

- extrémités amont des conduites
- lorsqu'il y a un important changement de direction ou de pente
- à la jonction de conduites
- lorsque la longueur de la conduite atteint 90 à 120 m.

Après la localisation des regards on procède à leur numérotation.

2.2.3 Délimitation des sous bassins

On établit les limites de service pour chaque tronçon en traçant des lignes frontières passant par le centre des blocs d'habitation (îlots) comme illustré à la figure 2.1.

Les surfaces tributaires des tronçons sont délimitées par les lignes frontières. On détermine l'aire des sous bassins ainsi obtenus et on indique leur valeur sur le plan.

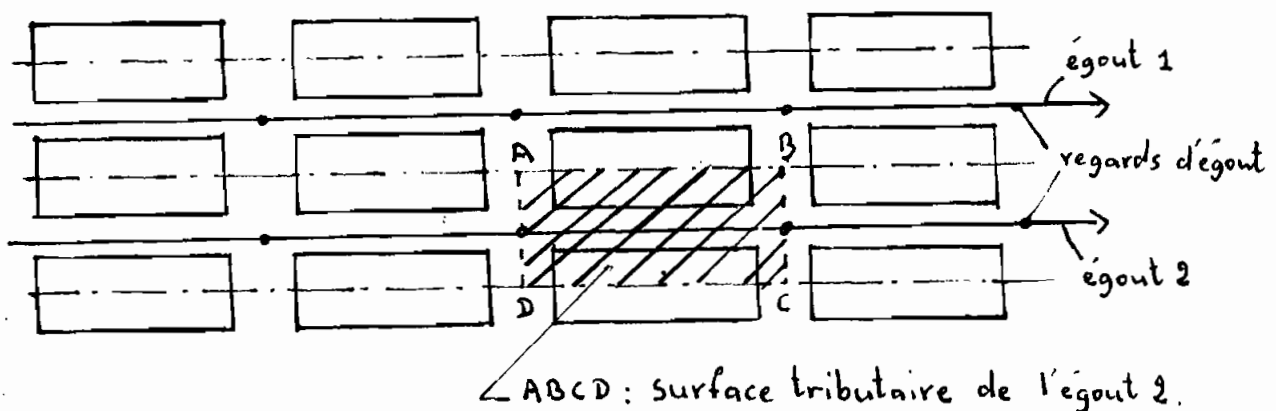


Figure 2.1 : Délimitation des sous bassins

2.2.4 Définition des critères de design

Les critères de design d'un réseau d'égouts domestiques sont relatifs aussi bien à l'hydrologie de l'écoulement qu'à des données topographiques et démographiques. Les plages de variation de certains critères sont réglementées et varient suivant les municipalités.

2.2.4.1 Critères hydrologiques

a) L'infiltration

Elle est constituée par des eaux parasites d'origine souterraine qui pénètrent dans le réseau à cause de défauts d'étanchéité de celui-ci.

b) Le captage

Il s'agit également d'eaux parasites pouvant découler du raccordement de drains de fondation ou de bouches d'égout au réseau, de l'interception de fossés ou de ruisseaux etc.

c) Le diamètre minimal

Un diamètre minimal est généralement préconisé pour faciliter l'entretien des conduites.

d) La vitesse minimale

Des vitesses minimales sont recommandées pour éviter le dépôt de matières en suspension dans les conduites.

e) La pente minimale

Cette exigence repose sur deux raisons essentielles:

- la nécessité d'assurer une vitesse d'autocurage suffisante tout en limitant le diamètre des conduites
- les dispositions constructives: certaines pentes trop faibles posent de grandes difficultés de réalisation.

Le tableau 2.2 donne les valeurs de pente nécessaires pour maintenir une vitesse minimale donnée selon la formule de Manning.

Tableau 2.2

Pentes minimales nécessaires selon la formule de Manning pour maintenir les vitesses indiquées lorsque l'écoulement se fait à plein. (tiré de [2])

TABLEAU . . . PENTES MINIMALES NÉCESSAIRES (SELON LA FORMULE DE MANNING) POUR MAINTENIR LES VITESSES INDICUÉES LORSQUE L'ÉCOULEMENT SE FAIT À PLEIN

Diamètre du drain		Pente minimale nécessaire pour maintenir la vitesse indiquée					
		0,45 m/s (1,5 ft/s)		0,6 m/s (2,0 ft/s)		0,75 m/s (2,5 ft/s)	
(mm)	(in)	<i>n</i> = 0,015	<i>n</i> = 0,013	<i>n</i> = 0,015	<i>n</i> = 0,013	<i>n</i> = 0,015	<i>n</i> = 0,013
200	8	0,0019	0,0025	0,0033	0,0045	0,0052	0,0070
250	10	0,0014	0,0019	0,0024	0,0033	0,0037	0,0052
300	12	0,0011	0,0015	0,0019	0,0026	0,0030	0,0040
380	15	0,00079	0,0011	0,0014	0,0019	0,0022	0,0030
450	18	0,00062	0,00084	0,0011	0,0015	0,0017	0,0023
600	24	0,00043	0,00056	0,00077	0,0010	0,0012	0,0016

f) Équation d'écoulement

Nous utiliserons la formule de Manning qui est l'une des plus utilisées pour le calcul de la vitesse d'écoulement dans une conduite. La formule de Manning s'écrit:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \tag{2.1}$$

n = coefficient de rugosité de Manning

R = rayon hydraulique en m

S = pente de la conduite en m/m

2.2.4.2 Critères démographiques

a) La période de design

C'est la durée de vie économique du réseau. Le terme de la période de design doit correspondre à la date de saturation du réseau. Les facteurs à considérer dans le choix d'une période de design sont :

- le type d'ouvrage et son caractère de permanence
- les coûts d'investissement affectés des taux d'intérêt
- la facilité d'augmenter la capacité des ouvrages
- le risque de désuétude des ouvrages (changement dans la demande, disponibilité de nouvelles techniques, etc)

b) La densité de la population des sous bassins

La densité estimée à la fin de la période de design est utilisée pour le calcul du débit maximal de design.

La densité estimée à la date de début de la mise en service du réseau est utilisée pour le calcul du débit de design minimal.

c) Le débit moyen unitaire des sous bassins

Il correspond au rejet d'eaux usées par habitant et par jour. Généralement on peut estimer le débit moyen unitaire rejeté à 80% de la consommation quotidienne en eau par habitant.

2.2.4.3. Critères topographiques

a) La superficie des sous bassins

Elle peut être mesurée au planimètre ou calculée à partir des coordonnées de points délimitant les sous bassins ou par une méthode graphique quelconque.

La superficie des sous bassins est utilisée pour le calcul du débit moyen de rejet.

b) La couverture minimale du sol

Elle est définie par le code local de construction et permet d'assurer une bonne protection des conduites contre les charges mortes du remblai et surtout les charges vives de circulation.

2.2.4.4 Hypothèses utilisées dans le programme

Comme indiqué précédemment, ces valeurs limites sont variables suivant les réglementations des municipalités. Le programme utilisera les valeurs par défaut exposées ci-dessous:

- vitesse minimale d'autocurage = 0.6 m/s
- vitesse maximale autorisée = 5 m/s (source bureau d'étude SONEES)
- couverture minimale/génératrice supérieure = 1.0 m
- diamètre minimal de conduite = 200 mm
- pente de conduite minimale = 0.003 (source bureau d'étude SONEES).

2.2.5 Calcul ou choix des paramètres de design

Les paramètres de design désigne les valeurs intermédiaires à calculer pour arriver à l'objectif du dimensionnement d'un tronçon qui est de déterminer:

- la pente et le diamètre des conduites
- les vitesses d'écoulement à la mise en service et lorsque la conduite coule pleine
- l'élévation des radiers.

2.2.5.1 choix de la pente des conduites

La pente à donner aux conduites constitue un important critère de design devant satisfaire aussi bien à des conditions techniques qu'à des considérations d'ordre économique. La pente de la rue (ou pente du terrain) sera adoptée si elle est positive sans pour autant être trop forte, ce qui pourrait mener à des vitesses d'écoulement excessives. Il s'avère nécessaire de fixer une valeur maximale admissible pour les conduites. Une valeur de 1% nous a semblé convenable comme pente maximale. Dans le cas où la pente de la rue dépasse cette valeur maximale la couverture minimale requise peut être respectée en commençant par calculer l'élévation du radier aval qui aura la plus faible couverture.

Lorsque la pente de la rue est négative deux options sont possibles:

- 1) considérer une vitesse d'écoulement maximale et calculer la pente correspondante avec l'équation de Manning;
- 2) choisir simplement la pente minimale admissible.

La première option tend à minimiser l'excavation dont les coûts peuvent être prépondérants lorsque les conduites sont produites localement (cas des pays industrialisés). La seconde option permet de réduire les diamètres des conduites et semble mieux convenir lorsque les conduites sont importées. Cette dernière option est retenue dans les calculs effectués par le logiciel RESO.

Le tableau (2.3) ci-après résume le choix de la pente lorsque la deuxième option est retenue.

Tableau 2.3
Choix de la pente des collecteurs
(tiré de [2])

Pente de la rue	Pente de l'égout ^a
< pente min. admissible, ou contraire à l'écoulement.	Adopter la pente min. admissible.
> pente min. admissible, mais < pente max.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Si le t-h supérieur est à la profondeur minimale, adopter une pente égale à celle de la rue. 2) Si le t-h supérieur est situé à une profondeur > min. adopter: <ol style="list-style-type: none"> a) une pente telle que le t-h inférieur soit à la profondeur min., si cette pente est > pente min., sinon b) adopter la pente min. admissible.
> pente max. admissible ^b	<ol style="list-style-type: none"> 1) Si le t-h supérieur est à la profondeur min. disposer le t-h à la profondeur min. et, en installant à différentes profondeurs le t-h supérieur, réaliser la pente max. 2) Si le t-h supérieur est situé à une profondeur > min. adopter: <ol style="list-style-type: none"> a) une pente telle que le t-h inférieur soit situé à la profondeur min., si cette pente < pente max., sinon b) adopter la pente max. admissible en disposant le t-h supérieur à une plus grande profondeur selon les besoins.

^a t-h = trou d'homme.

^b On peut réduire l'excavation: 1) en installant des tuyaux spéciaux capables de supporter des vitesses supérieures, ou 2) en installant des t-h supplémentaires (intermédiaires).

2.2.5.2 Calcul des paramètres de design

Au niveau de chaque tronçon à calculer, il faudra déterminer les paramètres suivants:

- a) augmentation de population: produit de la densité de population et de l'aire tributaire
- b) population cumulative: ensemble des populations occupant les sous bassins depuis l'entrée du réseau jusqu'au sous bassin concerné
- c) débit moyen de rejet : produit du débit unitaire et de l'augmentation de population, additionné au débit moyen ainsi calculé en amont
- d) débit d'infiltration : produit du taux d'infiltration et de la superficie cumulative
- e) débit de captage: produit du taux de captage et de la population cumulative
- f) débit de pointe maximal: produit du débit moyen futur et du facteur de pointe maximal
- g) débit de pointe minimal: produit du débit moyen à la mise en service et du facteur de pointe minimal
- h) débits de design: Les débits de design sont les valeurs extrêmes de débit que l'on peut trouver dans le réseau. Le débit de design maximal est utilisé pour le dimensionnement des conduites coulant pleine.

- Débit de design maximal

il est donné par la relation:

$$Q_{\max} = Q_{\text{moy}_{\max}} * fp_{\max} + \text{Infiltration} + \text{Captage} \quad (2.2)$$

où:

$Q_{\text{moy}_{\max}}$ = débit moyen futur de rejet du sous bassin, m³/jour

fp_{\max} = facteur de pointe maximal au sous bassin

Infiltration = débit d'infiltration cumulé, m³/jour

Captage = débit de captage cumulé, m³/jour

Q_{\max} = débit maximal de design, m³/jour.

- Débit de design minimal

Il est donné par la relation:

$$Q_{\min} = Q_{\text{moy}_{\min}} * f_{p_{\min}} + \text{Infiltration} \quad (2.3)$$

où:

$Q_{\text{moy}_{\min}}$ = débit moyen de rejet du sous bassin à la date de mise en service du réseau, m³/jour

$f_{p_{\min}}$ = facteur de pointe minimal au sous bassin

Infiltration = débit d'infiltration cumulé, m³/jour

Q_{\min} = débit minimal de design, m³/jour

Le débit de design minimal est utilisé pour un calcul de vérification: pour les conduites de grand diamètre (particulièrement pour les grands collecteurs et les intercepteurs), il est important de vérifier les conditions d'écoulement pendant les premières années de mise en service où les débits sont minimaux. Les vitesses trop faibles pendant de longues périodes peuvent provoquer des dépôts dont le curage est coûteux.

Le débit minimal est calculé pour un temps sec où on suppose que le débit de captage est négligeable.

2.2.5.3 Calcul des diamètres de conduite

Les diamètres des conduites sont calculés avec l'équation de Manning en supposant qu'elles coulent pleines.

La vitesse de Manning est donnée par la relation:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

où: V = vitesse en m/s

R = rayon hydraulique en m.

Pour une conduite circulaire coulant pleine, $R = D/4$

S = pente du terrain en m/m

n = coefficient de rugosité de Manning

On sait que:

$$Q_{\max} \frac{\frac{m^3}{\text{jour}}}{24 \frac{h}{\text{jour}} \cdot 3600 \frac{s}{h}} = V_p \cdot A \quad (2.5)$$

où Q_{\max} = débit de design maximal du tronçon, m^3/jour

V_p = vitesse coulant pleine, m/s

A = aire de la section de conduite en m ,

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.6)$$

En substituant dans (2.4) les valeurs de V et A obtenues en (2.5) et (2.6), on obtient le diamètre du tronçon par la relation:

$$D = 1.5483 \cdot 10^3 \left[n \frac{Q_{\max}}{86400 S^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{3}{8}} \quad (2.7)$$

n = coefficient de rugosité de Manning

Q_{\max} = débit de design maximal pour le tronçon, m^3/jour

S = pente du tronçon, m/m

D = diamètre du tronçon, mm.

2.2.5.4 Calcul de l'élevation des radiers

Ce calcul permet de tracer les profils du terrain naturel et des conduites.

$$Z_{ram} = Z_t - D - e \quad (2.8)$$

$$Z_{rav} = Z_{ram} - S L \quad (2.9)$$

Z_t = élévation du terrain au niveau du regard amont en m

D = diamètre de la conduite, m

e = couverture minimale, m

S = pente de la conduite entre les regards amont et aval,
m/m

L = longueur du tronçon, m

Z_{ram} = élévation du radier amont, m

Z_{rav} = élévation du radier aval, m

NB: Pour un design raffiné il faudrait tenir compte de l'épaisseur des parois des conduites

Il sera fixé une pente maximale admissible pour éviter d'avoir de grandes excavations.

lorsque la pente naturelle du terrain dépassera cette valeur maximale l'élévation des radiers sera calculé comme suit:

$$Z_{rav} = Z_t - D - e \quad (2.10)$$

$$Z_{ram} = Z_{rav} + S L \quad (2.11)$$

2.2.3 Vérification pour l'écoulement partiel

Il faut vérifier que la vitesse est supérieure à la vitesse minimale dans tous les tronçons de conduite au début de la mise en service du réseau où les débits sont minimaux. Cette vérification est particulièrement importante pour les grands collecteurs et intercepteurs.

Considérons la conduite circulaire avec un écoulement partiel tel que montré à la figure (2.2).

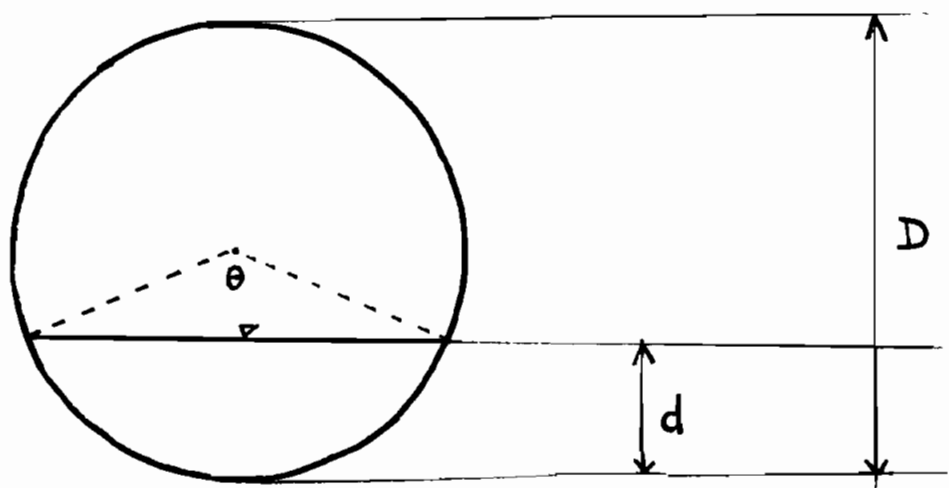


Figure 2.2 Section d'écoulement à la mise en service

On a les relations suivantes:

$$\cos \frac{\theta}{2} = 1 - 2 \frac{d}{D} \quad (2.12)$$

$$A_d = \frac{D^2}{8} [\theta - \sin\theta] \quad (2.13)$$

$$P = \frac{D}{2} \theta \quad (2.14)$$

D = diamètre commercial, m

d = profondeur d'écoulement à la mise en service, m

P = périmètre mouillé, m

A_d = aire de la section d'écoulement, m²

Le rayon hydraulique est calculé à partir des équations (2.13) et (2.14).

$$R_d = \frac{A_d}{P} = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right) \quad (2.15)$$

En remplaçant θ par sa valeur obtenue en (2.12) et en faisant le changement de variable

$$x = 1 - 2 \frac{d}{D} \quad (2.16)$$

on obtient la relation:

$$R_d = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{x \sqrt{1-x^2}}{\arccos x}\right) \quad (2.17)$$

On sait que si la conduite coule pleine le rayon hydraulique est égal à D/4.

En faisant le rapport des vitesses obtenues avec la formule de Manning on obtient la relation:

$$\frac{V_d}{V_p} = 1 - \frac{x \sqrt{1-x^2}}{\arccos x} \quad (2.18)$$

où V_d = vitesse au début de la mise en service
 V_p = vitesse coulant pleine.

D'autre part on a :

$$V_d = \frac{Q_d}{A_d} \quad (2.19)$$

où Q_d = débit minimal au début de la mise en service calculé
avec l'équation (2.3)

A_d = section d'écoulement partiel donné par l'équation(2.13)

on obtient finalement l'équation ci-dessous:

$$(1 - x \sqrt{1 - x^2})^2 \arccos x = \frac{4 Q_d}{D^2 V_p} \quad (2.20)$$

Une valeur approchée de la solution sera déterminée par la méthode dite de dichotomie. L'algorithme de cette méthode assure une convergence linéaire et n'impose pas de grandes restrictions à la fonction à annuler ou à ses dérivées.

(voir chapitre 4, & 4.2.2.2)

La vitesse d'écoulement V_d sera obtenue en remplaçant dans l'équation (2.18), x par sa valeur trouvée en (2.20), la vitesse V_p étant donnée par la formule de Manning où $R = D/4$ (voir équation 2.4).

2.2.4 préparation d'un tableau de calcul

Pour chaque tronçon à calculer, on établit les colonnes donnant:

- le numéro de ligne du tronçon
- la distance entre les regards du tronçon mesurée sur les plans
- l'élévation du sol en m aux regards amont et aval, obtenue sur les plans par interpolation entre les courbes de niveau
- l'aire de la superficie à desservir en ha
- l'aire cumulative en ha
- la densité de population du sous bassin desservi en hab/ha
- la population du sous bassin en hab
- le débit unitaire moyen pour tout le bassin en L/hab.J
- le débit moyen en m^3/J
- les facteurs de pointe maximal et minimal, suggérés par des organismes gouvernementaux ou trouvés dans la littérature.
- le débit d'infiltration en m^3/J , mesuré lorsque la nappe phréatique est haute et en temps sec
- le débit de captage en m^3/J , valeur forfaitaire variant avec l'âge de la conduite.

CHAPITRE 3

CONCEPTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS PLUVIAUX

3.1 INTRODUCTION

L'urbanisation progressive des territoires a pour conséquence l'augmentation des surfaces imperméables, d'où une augmentation significative des débits ruisselés. Il devient alors urgent de doter les centres urbains de réseaux d'égouts pluviaux pour canaliser les eaux de ruissellement. Il est à noter que les débits de ces eaux de ruissellement sont généralement beaucoup plus importants que les débits d'eaux usées domestiques. Ce chapitre expose la méthodologie et la procédure de calcul des réseaux d'égouts pluviaux.

3.2 MÉTHODOLOGIE

Le calcul est basé sur la Méthode Rationnelle en considérant des coefficients de ruissellement fixes. Un coefficient de ruissellement est déterminé pour chaque bassin et supposé constant pendant toute la durée de la pluie de conception. Le diamètre des conduites et la vitesse coulant pleine sont calculés avec l'équation de Manning.

La méthode rationnelle repose sur les hypothèses suivantes:

- 1) l'intensité de l'averse est constante tout au long de l'orage sur tout le sous bassin
- 2) le coefficient de ruissellement est constant tout au long de l'orage et ne varie pas d'une averse à l'autre
- 3) la vitesse d'écoulement dans le réseau correspond à la vitesse à pleine capacité des conduites
- 4) la courbe surface vs temps correspond à une droite, i.e les surfaces imperméables sont réparties uniformément à travers le sous bassin

- 5) le taux de ruissellement associé à une averse de quelque intensité que ce soit est maximal lorsque l'averse est d'une durée égale au temps de concentration
- 6) le débit maximal d'une averse de durée supérieure ou égale au temps de concentration correspond à une fraction de l'averse.

3.3 PROCÉDURE DE CALCUL

La procédure de calcul est semblable à celle des réseaux d'égouts domestiques et comprend plusieurs étapes.

3.3.1 Tracé du réseau

On dessine le réseau sur le plan en tenant compte de la topographie du terrain et on y indique le sens de l'écoulement.

3.3.2 Localisation des regards

Les mêmes règles sont adoptées que pour les réseaux d'égouts domestiques. Les regards sont implantés aux endroits suivants: changements importants de direction ou de pente, jonction de conduites, extrémités amont des conduites, tous les 90 à 120 m. Les regards sont ensuite numérotés.

3.3.3 Détermination des sous bassins

L'ossature du réseau de drainage sert à définir les limites de chaque sous bassin. Les informations suivantes doivent être recueillies: [1]

- occupation potentielle du territoire
- degré de perméabilité du sol perméable
- pentes du terrain naturel et cheminement du drainage en surface.

3.3.4 Critères de design

Les critères de design se rapportent à des données météorologiques et hydrauliques.

a) Fréquence de la pluie de design

L'utilisation de la Méthode Rationnelle implique le choix d'une fréquence de design basée sur l'importance des biens à protéger ou des dégâts associés à un refoulement du réseau [1].

b) Intensité de la précipitation

Le choix de l'intensité I (mm/h) se fait à partir des courbes d'intensité-durée-fréquence (IDF) établies sur la base de données pluviométriques. Un ajustement mathématique de ces courbes a abouti à des modèles d'équation. Ces équations peuvent se résumer à trois types: [4]

$$\text{type 1 : } I = \frac{a}{(b + t)} \quad (\text{Talbot}) \quad (3.1)$$

$$\text{type 2 : } I = a (t - b)^{-n} \quad (3.2)$$

$$\text{type 3 : } I = \frac{a}{t^n + b} \quad (3.3)$$

Dans ces équations t représente la durée de l'averse. Les paramètres a , b et n résultent de l'ajustement mathématique des courbes expérimentales et dépendent de la station considérée et pour une même station du temps de récurrence ou durée de retour choisi .

c) Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement indique la fraction des eaux pluviales qui vont ruisseler sur une surface donnée.

L'utilisation de la Méthode Rationnelle implique habituellement que ce coefficient est fixe.

Aux fins de design, le coefficient de ruissellement est habituellement évalué à partir de l'examen des plans topographiques et d'occupation du sol du bassin de drainage. Des valeurs moyennes de ce coefficient sont données à titre indicatif aux tableaux 3.1 et 3.2 [1].

Tableau 3.1 Coefficients de ruissellement pour différentes surfaces (tiré de [1])

Nature des surfaces	Coefficient
<u>Chaussée</u> béton, béton bitumineux, brique	0.70 à 0.95
<u>Toits</u>	0.75 à 0.90
<u>Gazon, sol sablonneux</u> plat, pente < 2% moyen, pente 2% à 7% abrupt, pente > 7%	0.05 à 0.10 0.10 à 0.15 0.15 à 0.20
<u>Gazon, sol dense</u> plat, pente < 2% moyen, pente 2% à 7% abrupt, pente > 7%	0.13 à 0.17 0.18 à 0.22 0.25 à 0.35
<u>Entrée charretière en gravier</u>	0.15 à 0.30

Tableau 3.2 Coefficients de ruissellement pour différents secteurs (tiré de [2])

Secteur	Coefficient
<u>Secteur commercial</u>	
centre ville	0.70 à 0.95
banlieue	0.50 à 0.70
<u>Secteur résidentiel</u>	
unifamilial	0.30 à 0.50
unités multiples, détachées	0.40 à 0.60
unités multiples, en rangée	0.60 à 0.75
banlieue (peu développée)	0.10 à 0.25
banlieue	0.25 à 0.40
appartements	0.50 à 0.70
<u>Secteur industriel</u>	
léger	0.50 à 0.80
dense	0.60 à 0.90
<u>Parcs, cimetières, prairies</u>	0.10 à 0.25
<u>Terrains de jeux</u>	0.20 à 0.35
<u>En friche</u>	0.10 à 0.30

d) Temps de concentration

Le temps de concentration est défini comme étant le temps nécessaire au ruissellement, issu du point le plus éloigné du bassin, pour se rendre au point de captage à l'étude. Le temps de concentration est effectivement composé d'un temps d'entrée (t_e) et d'un temps d'écoulement (t_f):

$$t_c = t_e + t_f \quad (3.4)$$

t_e = temps de ruissellement en surface ou temps d'entrée en min

t_f = temps d'écoulement en min dans le réseau d'égout, calculé à partir des caractéristiques hydrauliques du réseau.

t_c = temps de concentration en min

- Calcul du temps d'entrée

Le temps d'entrée est le temps d'écoulement en surface des eaux de ruissellement avant d'atteindre le point d'entrée de la conduite. Le temps d'entrée est évalué suivant les caractéristiques de la surface de drainage par différentes formules empiriques [1].

. Modèles propres à des surfaces

si $L < 365$ m, formule de Kerby (ou Hathaway) :

$$t_e = \left(2.187 L \frac{n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{0.467} \quad (3.5)$$

si $L \geq 365$ m, formule de Kirpich :

$$t_e = \frac{0.0195 L^{0.77} F}{S^{0.385}} \quad (3.6)$$

L = longueur maximale du parcours de drainage sur la surface, m

n = coefficient de rugosité de la surface

F = facteur de multiplication propre aux différentes surfaces

Des valeurs de n et F sont données à titre indicatif par les tableaux 3.3 et 3.4.

Tableau 3.3 Coefficient de rugosité n (tiré de [1])

Surface	Coefficient n
surface imperméable unie	0.02
sol décapé uni et compacté, gazon	0.10
gazon délaissé, champ de culture	0.20
pâturage	0.40
forêt feuillue	0.60
forêt de conifères, ou forêt de feuillus avec herbe épaisse	0.80

Tableau 3.4 Facteur de multiplication F (tiré de [1])

Surface	Facteur F
bassin naturel avec un bassin de drainage, écoulement bien défini; ruissellement sur terrain décapé; gazon tondu sur les accotement de route	1
ruissellement en surface, gazon	2
ruissellement en surface sur béton ou sur béton bitumineux	0.4
ruissellement dans un canal en béton	0.2

. Modèles propres à des secteurs mixtes

Les secteurs mixtes sont constitués par un ensemble hétérogène de surfaces et sont caractérisés par un pourcentage des surfaces imperméables. En pratique la plupart des bassins à drainer sont constitués de secteurs mixtes d'où l'utilisation plus courante de ces modèles dont deux sont proposés dans cette étude.

Formule de Schaake :

$$t_e = \frac{1.11 L^{0.24}}{S^{0.16} Imp^{0.26}} \quad (3.7)$$

Formule de la Federal Aviation Agency (USA) : (3.8)

$$t_e = \frac{0.702 (1.1-I) L^{0.5}}{S^{0.33}}$$

L = longueur en m du parcours de drainage mesuré du point d'entrée à l'extrémité du cours d'eau imperméable de la rue.

Imp = proportion des surfaces imperméables (surfaces imperméables/surfaces totales)

S = pente moyenne de la longueur de parcours L en m/m

I = coefficient de ruissellement

En règle générale le temps d'entrée varie entre 5 et 30 minutes selon l'importance du sous bassin.

- Calcul du temps d'écoulement

Le temps d'écoulement dans une conduite est évalué à partir de l'équation suivante:

$$T_f = \frac{L D^2}{K Q_p} = \frac{L}{V_p} \quad (3.9)$$

où : K = constante égale à 76.3944

L = longueur de la conduite en m

D = diamètre de la conduite en m

Q_p = capacité de la conduite coulant pleine en m³/s

V_p = vitesse d'écoulement dans la conduite coulant pleine, en m/s

e) Diamètre minimal des conduites

Un diamètre minimal est défini pour les conduites par le code local de construction et vise à leur faciliter l'entretien.

f) Vitesse minimale d'autocurage

Comme pour les réseaux d'égouts domestiques une vitesse minimale d'écoulement est exigée dans les conduites pour éviter des dépôts.

g) Couverture minimale

Elle dépend du code local de construction et vise à assurer une bonne protection des conduites contre les charges mortes du remblai et surtout les charges vives de circulation.

h) Coefficient de rugosité de Manning

Les mêmes facteurs que pour le réseau d'égouts domestiques sont à prendre en considération [cf chapitre 2].

g) Valeurs suggérées

Le programme propose à l'utilisateur quelques valeurs par défaut pour un dimensionnement préliminaire.

- diamètre minimal des conduites = 200 mm
- vitesse minimale d'autocurage = 0.9 m/s
- couverture minimale = 1 m
- coefficient de rugosité de Manning = 0.013

3.3.5 Choix ou Calcul des paramètres de design d'un tronçon

a) Choix de la pente

Le choix de la pente s'effectue conformément aux règles définies au tableau 2.3 (cf chapitre 2).

b) Facteur de ruissellement au tronçon

C'est le rapport du volume ruisselé au volume précipité. Des valeurs forfaitaires sont proposées pour différentes surfaces (voir tableaux 3.1 et 3.2).

c) Superficie cumulative

C' est l'aire totale de tous les sous bassins desservis depuis l'amont du collecteur jusqu'au tronçon concerné.

d) Superficie imperméable cumulative

C'est le produit de la superficie cumulative et du facteur de ruissellement au tronçon.

e) Facteur de ruissellement global

C'est le rapport de la superficie imperméable cumulative à la superficie cumulative.

f) Débit de pointe

Il est calculé avec la formule de la Méthode Rationnelle:

$$Q_p = 2.78 \times 10^{-3} A I R \quad (3.10)$$

où: A = superficie du bassin en ha

R = facteur de ruissellement global

I = intensité en mm/h

Q_p = débit de pointe en m³/s.

3.3.6 Dimensionnement proprement dit

L'objectif des calculs précédents, une fois le choix du matériau et de la pente de la conduite effectué, est de déterminer les valeurs principales que sont:

- le diamètre
- la vitesse et la capacité coulant pleine
- l'élevation des radiers.

3.3.6.1 Calcul du diamètre

L'équation de Manning permet de tirer l'expression suivante du diamètre:

$$D = 1.5483 \times 10^{-3} \left[n \frac{Q_p}{S^{1/2}} \right]^{3/8} \quad (3.11)$$

où:

n = coefficient de rugosité de Manning

Q_p = débit de pointe, m^3/s

S = pente de la conduite, m/m

3.3.6.2 Calcul de la vitesse coulant pleine

La vitesse coulant pleine est calculée avec l'équation de Manning, en prenant en compte le diamètre commercial correspondant au diamètre calculé en 3.11 :

$$V_p = \frac{1}{n} \left(\frac{D_{com}}{4} \right)^{2/3} S^{1/2} \quad (3.12)$$

où:

n = coefficient de rugosité de Manning

D_{com} = diamètre commercial de la conduite, m

S = pente de la conduite, m/m

V_p = vitesse coulant pleine, m/s .

Tableau 3.5 Diamètres commerciaux (S.I)

Tableau X. - Tubes à emboîtement en fonte ductile.									
Diamètre nominal	Diamètre extérieur	Joint automatique			Joint mécanique				
		Série commerciale			Norme NF A 48-807		Série commerciale (1)		
		K	Épaisseur mm	Longueur m	Épaisseur mm	Longueur m	K	Épaisseur mm	Longueur m
mm	mm								
40	56				5.9	4			
50	66				6.0	4			
60	77	9	6.0	6	6.0	6	9	NF	NF
80	98	9	6.0	6	6.0	6	9	NF	NF
100	118	9	6.1	6	6.1	6	9	NF	NF
125	144	9	6.2	6	6.2	6	9	NF	NF
150	170	9	6.3	6	6.3	6	9	NF	NF
200	222	9	6.4	6	6.4	6	9	NF	NF
250	274	9	6.8	6	6.8	6	9	NF	NF
300	326	9	7.2	6	7.2	6	9	NF	NF
350	378	9	7.7	6	7.7	6	9	NF	NF
400	429	9	8.1	6	8.1	6	9	NF	NF
450	480	9	8.6	6	8.6	6	9	NF	NF
500	532	9	9.0	6	9.0	6	9	NF	NF
600	635	9	9.9	6	9.9	6	9	NF	NF
700	736	9	10.8	7	10.8	6:7	9	NF	7
800	842	9	11.7	7:8.25	11.7	6:7	9	NF	7:8.25
900	945	9	12.6	7:8.25	12.6	6:7	9	NF	7:8.25
1000	1048	7	10.5	7:8.25			7	10.5	7:8.25
1000	1048	8	12.0	7:8.25			8	12.0	7:8.25
1000	1048	9	13.5	7:8.25	13.5	6:7	9	NF	7:8.25
1100	1151	7	11.2	7			7	11.2	7
1100	1151	8	12.8	7			8	12.8	7
1100	1151	9	14.4	7			9	14.4	7
1200	1255	7	11.9	7:8.25			7	11.9	7:8.25
1200	1255	8	13.6	7:8.25			8	13.8	7:8.25
1200	1255	9	15.3	7:8.25			9	15.3	7:8.25
1400	1462	7	13.3	8.155					
1400	1462	8	15.2	8.155					
1400	1462	9	17.1	8.155					
1500	1565	7	14.0	8.135					
1500	1565	8	16.0	8.135					
1500	1565	9	18.0	8.135					
1600	1668	7	14.7	8.135					
1600	1668	8	16.8	8.135					
1600	1668	9	18.9	8.135					

(1) La mention NF indique que la dimension commercialisée est conforme à la norme NF A 48-807.

3.3.6.3 Calcul de la capacité coulant pleine

La capacité coulant pleine est le produit de la vitesse coulant pleine et du diamètre commercial. Le diamètre commercial est le diamètre supérieur le plus proche du diamètre théorique donné par l'équation (3.11) disponible sur le marché. Le tableau 3.5 donne à titre indicatif les diamètres commerciaux de conduite au Québec.

3.3.6.4 Calcul de l'élevation des radiers

La procédure est la même que pour le réseau d'égouts domestique (cf équations 2.8 et 2.9, chap 2).

3.3.7 Préparation d'une fiche de calcul

Une fiche de calcul doit être préparée pour chaque tronçon pour en faciliter le calcul. Cette fiche répertorie de façon ordonnée les éléments suivants:

- le coefficient de rugosité de Manning
- temps de concentration t_c des sous bassins (min)
- le type de formule IDF avec les valeurs des paramètres
- accroissement de superficie (ha)
- coefficient de ruissellement au tronçon
- longueur du tronçon (m)
- élévation du sol aux regards amont et aval

CHAPITRE 4

PROGRAMMATION

4.1 INTRODUCTION

Le logiciel RESO est entièrement écrit en Turbo Pascal et fonctionne sous le système d'exploitation DOS.

Pour le charger en mémoire il suffit d'entrer au clavier le nom RESO à partir du répertoire contenant le fichier RESO.EXE. Le menu principal affiche alors les trois options suivantes:

1. RÉSEAUX D'ÉGOUTS DOMESTIQUES
2. RÉSEAUX D'ÉGOUTS PLUVIAUX
3. QUITTER RESO

Le logiciel effectue un traitement intégré des sections homogènes répertoriées lors de la délimitation des sous bassins. Cet avantage est dû au fait que contrairement aux écoulements sous pression, un tronçon peut être entièrement calculé dès que toutes les informations utiles relatives à sa surface tributaire et à celles situées en amont sont recueillies.

Ce chapitre présente les étapes du calcul automatique des collecteurs d'égouts, de la saisie des données à la sortie des résultats à l'imprimante. Ce calcul sera illustré par des exemples résolus qui serviront de test au logiciel.

4.2 CALCUL DES COLLECTEURS D'ÉGOUTS DOMESTIQUES

4.2.1 Saisie des données

La saisie s'effectue au clavier. Elle constitue une opération à préparer avec soin pour éviter des erreurs et une perte de temps. Cette préparation est d'autant plus nécessaire que le nombre de tronçons à calculer est grand. Par ailleurs aucune analyse des données n'est effectuée par le logiciel d'où la nécessité de s'assurer de la fidélité de leur transmission. L'utilisateur a donc avantage à dresser une fiche de données recueillies à partir du plan du réseau donnant respectivement pour chaque tronçon:

- 1) le numéro de ligne: nombre entier permettant l'identification du tronçon
- 2) la distance entre les regards, assimilée à la longueur du tronçon (m)
- 3) l'élevation Z_{am} du sol au niveau du regard amont (m)
- 4) l'élevation Z_{av} du sol au niveau du regard aval (m)
- 5) l'accroissement de superficie A ou aire de la surface tributaire du tronçon (ha)
- 6) la densité de population au terme de la période de design d_{max} (hab/ha)

- 7) la densité de population au début de la mise en service d_{min} (hab/ha)
- 8) le facteur de pointe global maximal f_{pmax}
- 9) le facteur de pointe global minimal f_{pmin}
- 10) le débit de rejet unitaire q (L/hab/jour)

Le coefficient de Manning est donné au début du calcul et supposé constant pour tous les tronçons.

Le taux d'infiltration sera exprimé en m³/ha/jour et le taux de captage en L/hab/jour. Ces taux seront également supposés constants.

4.2.2 Algorithmes de calcul

L'objectif du dimensionnement d'un tronçon de conduite d'égout consiste à déterminer:

- la pente
- le diamètre
- l'élévation des radiers (pour la vérification des couvertures et le tracé des profils)

La pente est choisie conformément aux règles définies au tableau 2.3. La détermination des autres valeurs fait intervenir les paramètres que sont:

- l'aire de la superficie cumulative allant du sous bassin le plus en amont jusqu'au sous bassin concerné
- la population répartie sur la superficie cumulative ou population cumulative

- le débit de design.

Le dimensionnement est suivi de la vérification de l'écoulement partiel au début de la mise en service du réseau.

Le calcul de la vitesse d'écoulement partiel comprend une étape intermédiaire utilisant la méthode de dichotomie.

4.2.2.1 Calcul de la valeur cumulative d'une entité

L'algorithme présenté ci-dessous effectue le cumul d'une entité:

- initialiser la valeur amont à 0
- i allant de 1 au numéro du tronçon concerné faire:
 - valeur cumulative = valeur initiale + accroissement
 - valeur amont = valeur cumulative (actualisation de la valeur amont).

4.2.2.2 Calcul de la vitesse d'écoulement partiel

Il nécessite la résolution de l'équation 2.20 par la méthode dite de dichotomie. L'algorithme suivant est utilisé:

- choisir la précision ϵ (déclarée constante)
- définir la fonction f à annuler
- déclarer les bornes et le milieu de l'intervalle contenant la racine comme variables
- initialiser la borne inférieure (a) de l'intervalle
- initialiser la borne supérieure (b) de l'intervalle

- tant que $(b-a)$ est inférieur à ε : (répéter)
 - calculer l'abscisse du milieu de l'intervalle,
 $m = (a+b)/2$
 - si $f(a) \cdot f(m)$ est négatif alors faire $m = b$
 ($[a,m]$ devient le nouvel intervalle à considérer
 puisque la fonction y change de signe);
 - si $f(a) \cdot f(m)$ est positif alors faire $a = m$
 ($[m,b]$ devient le nouvel intervalle à considérer)

L'algorithme ci-dessus donne la solution à ε près. Dans le cadre de ce logiciel nous avons choisi ε égal à 10^{-8} .

4.2.3 Programme

Le programme RESO.PAS comprend deux procédures principales qui effectuent le calcul des deux types de réseaux:

- procédure COLLECTEUR DOMESTIQUE
- procédure COLLECTEUR PLUVIAL.

Ces procédures font appel à des sous procédures et fonctions pour le calcul des différents paramètres.

La partie déclarative du programme est commune aux deux procédures principales.

Nous présentons ci-dessous le listing du programme de calcul des collecteurs domestiques.


```
PROGRAM COLLECTEURS_EGOUTS;  
{Ce programme fait le dimensionnement des collecteurs d'égouts domestiques}  
{ et des collecteurs d'égouts pluviaux}
```

```
{ $M 65520, 0, 655360 }
```

```
uses crt,dos,printer;
```

```
      {Partie déclarative}
```

```
const nmax = 500; {nombre maximal de tronçons}
```

```
type
```

```
  tab = array [1..nmax] of real;
```

```
  ptr_ligne = ^fiche;
```

```
  fiche = record
```

```
    numlignel:integer;
```

```
    longl:real;
```

```
    elevaml:real;
```

```
    elevavl:real;
```

```
    airel,airetotal:real;
```

```
densmaxl,densminl,popmaxl,popminl,popmaxtotal,popmintotal:real;
```

```
  fpmaxl:real;
```

```
  fpminl:real;
```

```
  pentel,penteruel:real;
```

```
  qunitl:real;
```

```
  qinfl,qinftotal:real;
```

```
  qcapl,qcaptotal:real;
```

```
  qmoymaxl,qmoymminl:real;
```

```
  qdesignmaxl,qdesignminl:real;
```

```
  phil,phicoml:real;
```

```
  vitel,viteminl:real;
```

```
  capal:real;
```

```
  elevradaml,elevradavl:real;
```

```
  suivant:ptr_ligne;
```

```
end;
```

```
fichier = file of fiche;
```

```

var
    {EGOUTS DOMESTIQUES}
    elev_av, elev_av, long, cm, dens_min, dens_max, q_unit, q_inf, q_cap, aire
    /
    fp_max, fp_min, pente_min, pente_max, speed_min, speed_max, phi_min, phi
    /
    cover_min, q_cap_total, q_inf_total, pop_max_total, pop_min_total,
    pop_max, pop_min, q_moy_max, q_moy_min, q_design_min, q_design_max,
    phi_com, vite, pente, pente_rue, elev_rad_av, elev_rad_av, aire_total, c
    apa,
    vite_min, aire_am, pop_am_max, pop_am_min, q_inf_am, q_cap_am, q_am_max
    /
    vitereel, q_am_min, taux_inf, taux_cap: real;
    num_ligne, j, k, num, choix, choix1, choix2, choix3, choix4, nombre: integer;
    nom_fichier: string[20];
    reseau: fichier;
    ligne: fiche;
    pointeur, ptrl: ptr_ligne;
    fini: boolean;
    strr: string[70];

    {EGOUTS PLUVIAUX}
    termine: boolean;
    aire_sup, aire_imp_am, coef_ruiss, temps, dia_min: real;
    cote_av, cote_av, longueur, pente2, pente_rue2, elev_rad_av2,
    elev_rad_av2, diam, d_com, augm_aire, aire_cumul, aire_imp,
    aire_imp_cumul, coef_global, intens, Q_design, vitesse,
    capacite: tab;
    pointr_ligne: ptr_ligne;
    fich, enreg: fiche;
    tfichier: fichier;

```

{Fin de la partie déclarative}

```

procedure horiz(col,lign,long,car:byte);
var i:byte;
begin
  gotoxy(col,lign);
  for i:=1 to long do write(chr(car));
end;

{*****}

procedure verti(col,lign,long,car:byte);
var i:byte;
begin
  for i:=lign to (lign+long-1) do
  begin
    gotoxy(col,i);
    write(chr(car));
  end;
end;

{*****
*****}

procedure cadre(x1,y1,x2,y2,car1,car2:byte);
begin
  horiz(x1,y1,x2-x1+1,car1);
  verti(x1,y1,y2-y1+1,car2);
  verti(x2,y1,y2-y1+1,car2);
  horiz(x1,y2,x2-x1+1,car1);
  gotoxy(x1,y1);write(#201);
  gotoxy(x1,y2);write(#200);
  gotoxy(x2,y1);write(#187);
  gotoxy(x2,y2);write(#188);
end;

{*****}

procedure normal;
begin
  textcolor(white);
  textbackground(black);
end;

{*****}

procedure menu_principal; forward;

{*****}

```

```

function cherche (num_entre:integer):integer;
var
  trouve:boolean;
  i:integer;
  {ligne:fiche;}
begin
  i:=0;
  trouve:=false;
  {$i-} assign (reseau,nom_fichier);
  reset(reseau);      {$i+}
  repeat
    seek (reseau,i);
    read (reseau,ligne);
    if ligne.numligne1 = num_entre then
      begin
        trouve:=true;
        cherche:=i;
      end;
      i:=i+1
  until eof (reseau) or trouve=true;
  if trouve=false then cherche:=-2;
  {close (reseau);}
end;

{*****}

function f(x:real):real;
var
  kl:real;
  prod:real;
  y1,y2:real;
  begin
    y1:=arctan (sqrt((1-sqr(x))/sqr(x)));
    y2:=x*sqrt(1-sqr(x));
    prod := vite*sqr(phi_com);
    kl:= 4*q_design_min/prod;
    f := y1*sqr(1-y2/y1) - kl;
  end;

{*****}

```

```

procedure diametre_commercial (dth:real);
begin
  if (dth > 0) and (dth < 40)      then phi_com := 40;
  if (dth > 40) and (dth < 50)    then phi_com := 50;
  if (dth > 50) and (dth < 60)    then phi_com := 60;
  if (dth > 60) and (dth < 80)    then phi_com := 80;
  if (dth > 80) and (dth < 100)   then phi_com := 100;
  if (dth > 100) and (dth < 125)  then phi_com := 125;
  if (dth > 125) and (dth < 150)  then phi_com := 150;
  if (dth > 150) and (dth < 200)  then phi_com := 200;
  if (dth > 200) and (dth < 250)  then phi_com := 250;
  if (dth > 250) and (dth < 300)  then phi_com := 300;
  if (dth > 300) and (dth < 350)  then phi_com := 350;
  if (dth > 350) and (dth < 400)  then phi_com := 400;
  if (dth > 400) and (dth < 450)  then phi_com := 450;
  if (dth > 450) and (dth < 500)  then phi_com := 500;
  if (dth > 500) and (dth < 600)  then phi_com := 600;
  if (dth > 600) and (dth < 700)  then phi_com := 700;
  if (dth > 700) and (dth < 800)  then phi_com := 800;
  if (dth > 800) and (dth < 900)  then phi_com := 900;
  if (dth > 900) and (dth < 1000) then phi_com := 1000;
  if (dth > 1000) and (dth < 1100) then phi_com := 1100;
  if (dth > 1100) and (dth < 1200) then phi_com := 1200;
  if (dth > 1200) and (dth < 1400) then phi_com := 1400;
  if (dth > 1400) and (dth < 1500) then phi_com := 1500;
  if (dth > 1500) and (dth < 1600) then phi_com := 1600;
  if (phi_com < phi_min) then phi_com := phi_min;
  if dth > 1600 then
  begin
    writeln;writeln;
    writeln ('          VOTRE DIAMETRE EST EXCESSIF, REVOYEZ VOS
CALCULS');
    menu_principal;
  end;
end;

[*****]

procedure brille(c,f:byte);
begin
  textcolor(c);
  textbackground(f);
end;
procedure stopbrille(c,f:byte);
begin
  textbackground(c);
  textcolor(f);
end;

[*****]

```

```

procedure lecture_donnees_dom ;
begin
  clrscr;
  brille(cyan,white);
  gotoxy(20,1);writeln ('*** Données de calcul du tronçon ***');
  stopbrille(cyan,white);
  brille(white,black);
  writeln;
  window(5,3,70,22);
  writeln('Numéro de ligne (entier naturel) ');
  writeln;
  writeln ('longueur du tronçon, m');
  writeln;
  writeln ('élévation amont, m');
  writeln;
  writeln('élévation aval, m');
  writeln;
  writeln('augmentation d'aire, ha');
  writeln;
  writeln ('densité de population projetée, hab/ha');
  writeln;
  writeln ('densité de pop. à la mise en service, hab/ha');
  writeln;
  writeln ('facteur de pointe global maximal');
  writeln;
  writeln ('facteur de pointe global minimal');
  writeln;
  writeln ('débit unitaire, L/hab.J');
  stopbrille(white,black);
  gotoxy(50,1);   readln(num_ligne);
  gotoxy(50,3);   readln(long);
  gotoxy(50,5);   readln(elev_am);
  gotoxy(50,7);   readln(elev_av);
  gotoxy(50,9);   readln(aire);
  gotoxy(50,11);  readln(dens_max);
  gotoxy(50,13);  readln(dens_min);
  gotoxy(50,15);  readln(fp_max);
  gotoxy(50,17);  readln(fp_min);
  gotoxy(50,19);  readln(q_unit);
  pop_max := dens_max * aire;
  pop_min := dens_min * aire;
  with ligne do
  begin
    numlignel:=num_ligne;
    longl:=long;
    elevaml:=elev_am;
    elevavl:=elev_av;
    airel:=aire;
  end
end

```

```

densmaxl:=dens_max;
densminl:=dens_min;
fpmaxl:=fp_max;
fpminl:=fp_min;
qunitl:=q_unit;
end;
end;

{*****}

procedure affiche_enregistrement (enreg:fiche);
{DESCRIPTION :la procedure utilisée pour l'affichage à l'écran }

{          d'une fiche dont on desire lire le contenu          }

begin
  with enreg do
    begin
      clrscr;
      writeln ('          ***** Données de calcul du tronçon
*****');
      writeln;
      write ('Numéro de ligne');
      gotoxy (50,3); writeln (num_ligne);
      write ('longueur du tronçon, m');
      gotoxy(50,5); writeln (long:3:2);
      write ('élévation amont, m');
      gotoxy (50,7); writeln (elev_am:3:2);
      write ('élévation aval, m');
      gotoxy(50,9); writeln (elev_av:3:2);
      write ('augmentation de superficie, ha');
      gotoxy(50,11); write(aire:3:2);
      write ('densité de population projetée, hab/ha');
      gotoxy(50,13); writeln (dens_max:3:0);
      write ('densité de pop. à la mise en service');
      gotoxy (50,15); writeln (dens_min:3:0);
      write ('facteur de pointe global maximal');
      gotoxy(50,17);writeln (fp_max:1:2);
      write ('facteur de pointe global minimal');
      gotoxy(50,19);write (fp_min:1:2);
      write ('débit unitaire, L/pers.J');
      gotoxy(50,21); write(q_unit:3:2);
      write ('débit d'infiltration, m3/J');
      gotoxy(50,23);write(q_inf:3:2);
      write ('débit de captage, m3/J');
      gotoxy (50,25);writeln (q_cap:3:2);
    end;
  end;
end;

{*****}

```

```

procedure sauvegarde_donnees_dom (pointeur:ptr_ligne);forward;

{*****}

procedure lecture_fiche (intr:integer);
var
i:integer;
enr:fiche;
begin
  {$I-} assign(reseau,nom_fichier);
  reset(reseau); {$I+}
  i:=cherche(intr);
  if i < 0 then writeln('Fichier inexistant')
  else
  begin
    seek(reseau,i);
    read(reseau,enr);
    affiche_enregistrement (enr);
  end;
end;

{*****}

procedure hypotheses_dom;
var choice:integer;
begin
  clrscr;
  gotoxy(30,2);
  brille(cyan+blink,white);
  write ('HYPOTHESES DE CALCUL');
  cadre(29,1,51,3,205,186);
  stopbrille(cyan+blink,white);
  brille(white,black);
  gotoxy(1,6);writeln;
  writeln (' ':20,' Vitesse minimale      : 0.6 m/s':20);
  writeln (' ':20,' Vitesse maximale      : 5 m/s');
  writeln (' ':20,' Pente minimale        : 0.003 m/m');
  writeln (' ':20,' Pente maximale        : 0.01 m/m');
  writeln (' ':20,' Diamètre minimal       : 200 mm');
  writeln (' ':20,' Couverture minimale    : 1.0 m');
  writeln (' ':20,' Infiltration          : 5.61 m3/ha/J');
  writeln (' ':20,' Captage                : 10 L/hab/J');
  writeln (' ':20,' Coefficient de Manning : 0.013');
  cadre(20,6,62,17,205,186);
  stopbrille(white,black);
  normal;
  writeln;
  writeln;writeln;
  writeln ('                1: Valider
2:Redéfinir');

```



```

brille(red,white); gotoxy(39,23); readln (choice);
normal;
if choice in [1..2] then
begin
case (choice) of
1: begin
speed_min := 0.6;
speed_max := 5.0;
phi_min := 200.0;
cover_min := 1.0;
pente_min := 0.003;
pente_max := 0.010;
taux_inf := 5.61;
taux_cap := 10;
cm := 0.013;
end;
2: begin
clrscr;
writeln ('NOUVELLES HYPOTHESES:');
writeln;writeln;
write ('Vitesse minimale en m/s : '); readln
(speed_min);
write ('Vitesse maximale en m/s : '); readln
(speed_max);
write ('Pente minimale en m/m : '); readln
(pente_min);
write ('Pente maximale en m/m : '); readln
(pente_max);
write ('Diamètre minimal en mm : '); readln
(phi_min);
write ('Couverture minimale en m : '); readln
(cover_min);
write ('Infiltration en m3/ha/jour : '); readln
(taux_inf);
write ('Captage en L/hab/jour : '); readln
(taux_cap);
write ('Coefficient de Manning : '); readln (cm);
end;
end;
end;
end;

{*****}

procedure cumul_aire_dom;
begin
aire_total:=aire_am + aire;
aire_am:=aire_total;
ligne.airetotall :=aire_total;
end;

{*****}

```

```

procedure population_cumulative_future;
begin
  pop_max_total:=pop_am_max + pop_max/2;
  pop_am_max:=pop_max_total;
  ligne.popmaxtotal:=pop_max_total;
end;

{*****}

procedure population_cumulative_actuelle;
begin
  pop_min_total:=pop_am_min + pop_min/2;
  pop_am_min:=pop_min_total;
  ligne.popmintotal:=pop_min_total;
end;

{*****}

procedure infiltration;
begin
  q_inf := taux_inf * aire_total;
  ligne.qinftotal:=q_inf;
end;

{*****}

procedure captage;
begin
  q_cap := 0.001 * taux_cap * pop_max_total;
  ligne.qcapttotal:=q_cap;
end;

{*****}

procedure debit_moyen_max;
begin
  population_cumulative_future;
  q_moy_max := 0.001 * q_unit * pop_max + q_am_max; {m3/j}
  q_am_max := q_moy_max;
  ligne.qmoymaxl:=q_moy_max;
end;

{*****}

```

```

procedure debit_moyen_min;
begin
  population_cumulative_actuelle;
  q_moy_min := 0.001 * q_unit * pop_min + q_am_min;
  q_am_min := q_moy_min;
  ligne.qmoyminl:=q_moy_min;
end;

{*****}

procedure debit_design_max;
begin
  infiltration;
  captage;
  debit_moyen_max;
  q_design_max := q_moy_max * fp_max + q_inf + q_cap;
  ligne.qdesignmaxl:=q_design_max;
end;

{*****}

procedure debit_design_min;
begin
  infiltration;
  debit_moyen_min;
  q_design_min := q_moy_min * fp_min + q_inf;
  ligne.qdesignminl := q_design_min;
end;

{*****}

procedure calcul_pente_dom;
begin
  pente_rue := (elev_am - elev_av)/long;
  ligne.penteruel := pente_rue;
  if pente_rue < pente_min then
    begin
      pente := pente_min;
      ligne.pentel := pente;
    end
  else if pente_rue > pente_max then
    begin
      pente:= pente_max;
      ligne.pentel := pente;
    end
  else pente := pente_rue;
  ligne.pentel := pente;
end;

{*****}

```

```

procedure diametre_dom;
var
  z,valeur:real;
begin
  z:=q_design_max/86400/sqrt(pente);
  phi:=1548.3*exp((3/8)*ln(cm*z));
  ligne.phil:=phi;
  diametre_commercial (phi);
  ligne.phicoml:=phi_com;
  writeln;
  writeln ('APPUYER SUR RETURN POUR LES RESULTATS COMPLETS');
  readln;
end;

```

{*****}

```

procedure vitesses;
const epsilon = 1E-8;
var m1,m2,m,a,b:real;
begin
  calcul_pente_dom;
  vite := (exp((2/3)*ln(0.001*phi_com/4))*sqrt(pente))/cm;
  ligne.vitel :=vite;
  clrscr;
  a:=0.01;
  b:=0.09;
  while (b-a) > epsilon do
    begin
      m := (a+b)/2.0;
      if (f(a)*f(m)) < 0 then b:=m else a:=m;
    end; {while}
    m1:= m*sqrt(1-sqr(m));
    m2:= arctan((1-sqr(m))/sqr(m));
    vite_min := (1-m1/m2)*ligne.vitel;
    if vite_min < 0.00 then vite_min:=0.00;
    ligne.vite_minl := vite_min;
  end;

```

{*****}

```

procedure capacite_dom;
begin
  vitesses;
  capa := vite*pi*sqr(0.001*phi_com)/4;
  ligne.capal := capa;
end;

```

{*****}

```

procedure elevation_radriers_dom;
begin
  if pente < pente_max then
  begin
    elev_rad_am := elev_am - 0.001*phi_com - l;
    elev_rad_av := elev_rad_am - pente*long;
  end
  else
  begin
    elev_rad_av := elev_av - 0.001*phi_com - l;
    elev_rad_am := elev_rad_av + pente*long;
  end;
  ligne.elevradaml := elev_rad_am;
  ligne.elevradavl := elev_rad_av;
end;

{*****}

procedure recommandations;
begin
  writeln ('APPUYER SUR RETURN POUR RECOMMANDATIONS');
  readln;
  clrscr;
  writeln ('Recommandations:');writeln;
  writeln ('1. Vérifier vos unités. Si elles sont correctes
alors:');
  writeln;
  writeln ('2. Vérifier vos facteurs de pointe ');
  writeln;
  writeln ('3. Augmenter la pente de la conduite et/ou');
  writeln;
  writeln ('4. Diminuer le coefficient de rugosité des
conduites');
  writeln;
  writeln ('5. Réviser le plan de votre réseau');
end;
{*****}

procedure affichage_resultats_dom;
begin
  clrscr;
  cumul_aire_dom;
  population_cumulative_future;
  population_cumulative_actuelle;
  debit_design_max;
  debit_design_min;
  calcul_pente_dom;
  diametre_dom;
  vitesses;
  capacite_dom;
  elevation_radriers_dom;

```

```

with ligne do
begin
clrscr;
writeln ('***** RESULTATS DU TRONCON ', numlignel, '
*****');
writeln;
writeln('Superficie cumulative      : ', airetotal:3:2, '
ha');
writeln('population cumulative future : ', popmaxtotal:6:0, '
hab');
writeln('population cumulative actuelle: ', popmintotal:6:0, '
hab');
writeln('Pente de la rue                  : ', penteruel:1:3, '
m/m');
writeln('Pente de la conduite              : ', pentel:1:3, ' m/m');
writeln('Débit de design max                : ', qdesignmaxl:3:2, '
m3/s');
writeln('Débit de design min                : ', qdesignminl:3:2, '
m3/s');
writeln('Diamètre théorique                 : ', phil:3:1, ' mm');
writeln('Diamètre commercial                : ', phicoml:3:1, ' mm');
writeln('Vitesse coulant pleine             : ', vitel:2:2, ' m/s');
writeln('Capacité coulant pleine           : ', capal:3:2, ' m3/s');
writeln('Elevation radier amont             : ', elevradaml:3:2, '
m');
writeln('Elevation radier aval              : ', elevradavl:3:2, '
m');
writeln('Vitesse de mise en service        : ', viteminl:2:2, '
m/s');
writeln;writeln;
if vitel < speed_min then
begin
writeln('ATTENTION! VITESSE COULANT PLEINE TROP FAIBLE');
recommandations;
end
else if viteminl < speed_min then
begin
writeln ('ATTENTION! VITESSE DE MISE EN SERVICE TROP
FAIBLE');
recommandations;
end;
end;readln;
writeln;writeln;
writeln ('APPUYER SUR RETURN POUR CONTINUER');
readln;
end;
{*****}

```

```

procedure impression_donnees_dom;
begin
  clrscr;
  writeln (lst,'DONNEES DU TRONCON ',num_ligne);
  writeln (lst,'-----');
  writeln(lst);writeln(lst);
  writeln (lst,'longueur du tronçon           ',long:3:2,'
m');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'élevation amont             ',elev_am:3:2,'
m');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'élevation aval             ',elev_av:3:2,'
m');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'accroissement de superficie   ',aire:3:2,'
ha');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'densité de pop.projetée         ',dens_max:3:0,'
hab/ha');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'densité de pop à la mise en service
',dens_min:3:0,' hab/ha');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'facteur de pointe global maximal   ',fp_max:1:2);
  writeln(lst);
  writeln (lst,'facteur de pointe global minimal   ',fp_min:1:2);
  writeln(lst);
  writeln (lst,'débit unitaire                       ',q_unit:3:2,'
l./hab.J');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'débit d''infiltration                 ',q_inf:3:2,'
m3/J');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'débit de captage                       ',q_cap:3:2,'
m3/J');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'*****');
  writeln(lst);writeln(lst);
end;

{*****}

```

```

procedure impression_resultats_dom;
begin
  writeln(lst,'RESULTATS DU TRONCON ',num_ligne);
  writeln(lst,'-----'); writeln(lst);
  writeln(lst,'Superficie cumulative
',aire_total:3:2,' ha');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Pente de la rue           ',pente_rue:1:3,'
m/m');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Pente de la conduite           ',pente:1:3,'
m/m');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Débit de design maximal
',q_design_max:3:2,' m3/J');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'débit de design minimal
',q_design_min:3:2,' m3/J');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Diamètre théorique           ',phi:3:1,' mm');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Diamètre commercial:       ',phi_com:3:1,'
mm');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Vitesse coulant pleine:     ',vite:2:2,'
m/s');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Capacité coulant pleine:    ',capa:3:2,'
m3/s');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Elevation radier amont:
',elev_rad_am:3:2,' m');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Elevation radier aval:
',elev_rad_av:3:2,' m');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'vitesse de mise en service  ',vite_min:3:2,'
m/s');
  writeln (lst);  writeln(lst);  writeln(lst);
  writeln (lst);  writeln(lst);  writeln(lst);
  writeln (lst);  writeln(lst);  writeln(lst);
  writeln (lst,'                               ...RESO...');
  writeln (lst,'                               Calcul d''un collecteur d''égout
domestique');
  end;

[*****]

```



```

procedure sauvegarde_donnees_dom (pointeur:ptr_ligne);
  var
    en_cours:ptr_ligne;
    nom_fich:namestr;
    i:integer;
  begin
    writeln;
    writeln ('Donner le nom du fichier de sauvegarde des
données');
    readln (nom_fich);
    assign (reseau,nom_fich);
    rewrite (reseau);
    en_cours:=nil;
    new (en_cours);
    en_cours:=pointeur;
    mark (heapptr);
    while en_cours <> nil do
      begin
        en_cours^:=ligne;
        write (reseau,en_cours^);
        en_cours:=en_cours^.suivant;
      end;
    close (reseau);
    release (heapptr);
  end;

{*****}

procedure debut_dom;
  begin
    clrscr;
    writeln ('1: Editer un réseau');
    writeln;
    writeln ('2: Rappeler un réseau');
    writeln;
    writeln ('3: Sauver');
    writeln;
    writeln ('4: Quitter');
    writeln;
    write('          Entrez votre choix [1 2 3 4]  ');
    readln (choix1);
  end;

{*****}

```

```

procedure collecteur_domestique;
{procédure principale}
begin
repeat
  debut_dom;
  case choix1 of
  1: begin
      clrscr;
      writeln ('                                DONNEZ UN NOM AU RESEAU');
      readln (nom_fichier);
      {$I-} assign(reseau,nom_fichier);
      rewrite(reseau); {$I+}
      clrscr;
      writeln('*** Donner le nombre total de tronçons dans le réseau
*** ');
      read(nombre);
      while nombre > nmax do
        begin
          writeln ('nombre excessif,recommencez');
          readln(nombre);
        end;
      hypotheses_dom;
      k:=1;
      fini:=false;
      aire_am:=0;
      pop_am_max:=0;
      pop_am_min:=0;
      q_inf_am:=0;
      q_cap_am:=0;
      q_am_max:=0;
      q_am_min:=0;
      k:=0;
      while (k <= nombre) and not fini do
        begin
          {$I-}
            clrscr;
            assign (reseau,nom_fichier);
            rewrite(reseau); {$I+}
            lecture_donnees_dom;
            clrscr;
            affichage_resultats_dom;
            clrscr;
            writeln;
            writeln;
            writeln ('1: Continuer');
            writeln ('2: quitter');
            writeln ('3: Imprimer les données');
            writeln ('4: Imprimer les résultats');
            writeln;
          {$I+}
        end;
  end;
end;

```

```

writeln ('ENTRER VOTRE CHOIX');
readln (choix3);
case (choix3) of
1: k:= k+1;
2: begin
    break;
    menu_principal;
    if choix1 = 4 then fini:=true;
    if choix1 = 3 then
    begin
        ptr1:=nil;
        new (ptr1);
        sauvegarde_donnees_dom(ptr1);
    end;
    if choix1 = 2 then
    begin
        writeln ('entrer numéro');
        readln (num);
        cherche (num);
        lecture_fiche (num);
    end;
    end;
3: impression_donnees_dom;
4: impression_resultats_dom;
end; {case choix3 of);}
end; {while}
if k > (nombre) then
begin
    writeln ('Erreur:Vous avez dépassé le nombre de
tronçons de');
    writeln ('votre réseau');
    delay(3000);
    debut_dom;
END;
end; {case choix1 of 1}

2: begin
    writeln ('Nom du réseau:');
    readln(nom_fichier);
    writeln ('Entrer le numéro de ligne');
    readln (num);
    cherche (num);
    lecture_fiche (num);
end;

3: begin
    ptr1:=nil;
    new (ptr1);
    sauvegarde_donnees_dom(ptr1);
end;

```

```
        4:exit;
    end {case choixl}
until choixl = 4;
```

```
end;
```

```
{fin de la procédure principale Collecteur Domestique}
```

```
{*****}
```

4.2.4 Exemple de calcul

Nous nous proposons de calculer le collecteur domestique représenté à la figure 4.1.

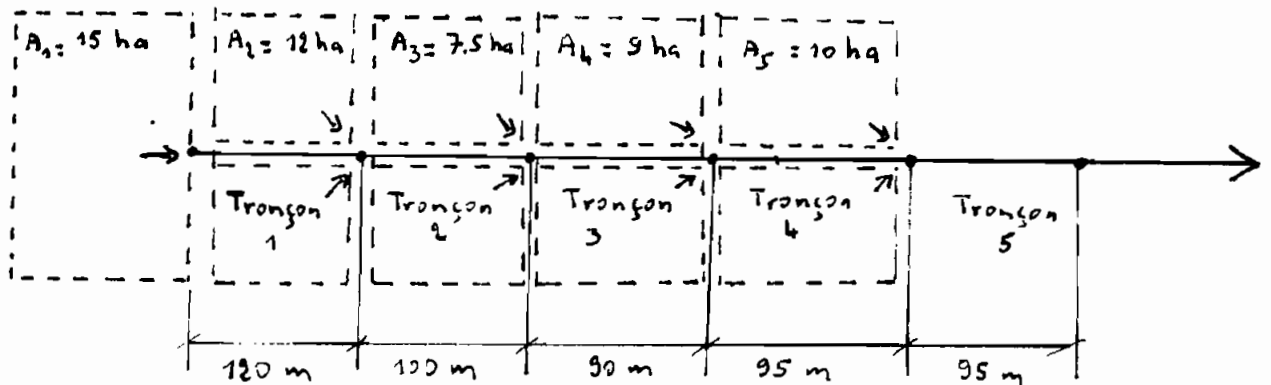


Figure 4.1 Collecteur domestique

4.2.4.1 Calcul manuel

a) Dimensionnement

Le calcul se fait suivant le tableau 4.1. Sur ce tableau, les colonnes [1], [2], [3], [4], [7], [9], [12], [14] représentent des données du réseau. Les autres colonnes sont calculées comme suit:

Calcul de la pente de la rue [5]: $[5] = ([3] - [4])/[2]$

Calcul de la pente de la conduite [6]:

- cas où la pente de la rue est négative ou inférieure à la pente minimale admissible: $[6] = \text{pente minimale admissible}$
- cas où la pente de la rue est comprise entre la pente minimale admissible et la pente maximale admissible:
 $[6] = [5]$
- cas où la pente de la rue est supérieure à la pente maximale admissible: $[6] = \text{pente maximale admissible}$

Calcul de l'aire cumulative [8]: pour le premier tronçon l'aire cumulative se confond avec l'augmentation d'aire. Pour les autres tronçons l'aire cumulative s'obtient en ajoutant l'augmentation d'aire due au tronçon à l'aire cummulative en amont.

Calcul de l'augmentation de la population [10]:

$$[10] = [7] \cdot [9]$$

Calcul de la population cumulative [11]: pour le premier tronçon la population cumulative se confond à l'augmentation de population. Pour les autres tronçons elle s'obtient en ajoutant à l'augmentation de population la population cumulative en amont.

Calcul du débit moyen [13]:

- pour le premier tronçon: $[13] = 10^{-3} \cdot [10] \cdot [12]$
- pour les autres tronçons on ajoute au produit ci-dessus le débit moyen calculé en amont (il s'agit d'un cumul)

Calcul du débit de pointe [15]: $[15] = [13] \cdot [14]$

Calcul du débit d'infiltration [16]:

c'est le produit de l'aire cumulative [8] et du taux d'infiltration exprimé en $m^3/ha/jour$

Calcul du débit de captage [17]:

C'est le produit de la population cumulative [11] et du taux de captage exprimé en L/hab/jour, affecté du facteur de conversion 10^{-3}

Calcul du débit de design [18]: $[18] = [15] + [16] + [17]$

Calcul du diamètre [19]: le diamètre théorique est donné par l'équation (2.7) où $Q = [18]$ et $S = [6]$.

Le diamètre commercial D_{com} est le plus petit diamètre supérieur au diamètre théorique, il est donné par le tableau 3.5.

Calcul de la vitesse coulant pleine [20]: il s'effectue avec l'équation de Manning (2.4), où $R = D_{com}/4$.

Calcul de la capacité coulant pleine [21]: produit de la vitesse coulant pleine et du diamètre commercial

Calcul de l'élevation des radiers [22] et [23] : comme indiqué au paragraphe 2.2.5.4.

Tableau 1 Calcul d'un collecteur domestique (dimensionnement)

Calcul manuel.

N° de ligne	Longueur en m	Elevation du sol en m		Pente de la rue en m/m	Pente de la conduite en m/m	Augmentation d'aire en ha	Aire cumulative en ha	Densité de population en hab/ha	Augmentation de population	Population cumulative en hab	Débit unitaire en L/hab/J	Débit moyen en m3/J	Facteur de pointe maximal	Débit de pointe en m3/J	Débit d'infiltration en m3/J	Débit de captage en m3/J	Débit de design en m3/J	Diamètre en mm	Vitesse coulant pleine en m/s	Capacité coulant pleine en m3	Elevation des radier	
		amont	aval																		amont	aval
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)
1	120	50	49.5	0.004	0.004	15	15	135	2025	2025	55	111.38	5.2	579.18	84.15	20.15	683.58	139.3	0.25	1	139.3	49.5
2	100	49.5	49.22	0.003	0.003	12	27	140	1680	3705	60	112.18	4.5	954.81	151.47	37.05	1143.3	178.3	0.27	1	178.3	49.22
3	90	49.22	49.4	-0.002	0.003	7.5	34.5	140	1050	4755	60	235.16	4.0	1100.7	193.55	47.55	1144.8	189.4	0.33	1	189.4	49.4
4	95	49.4	48.8	0.006	0.006	9	43.5	135	1215	5970	53	339.57	3.8	1290.4	244.04	59.70	1594.1	177.27	0.22	1	177.27	48.8
5	95	48.8	47.0	0.02	0.01	10	53.5	135	1350	7320	50	407.07	3.5	1424.8	300.14	73.20	1798.09	166.14	0.19	1	166.14	47.0

Les chiffres avec astérisx designent les diamètres commerciaux

b) Vérification de l'écoulement partiel

Le calcul est effectué au tableau 4.2 de la page 64.

Les colonnes 1 à 8 ainsi que la colonne [16] restent inchangées par rapport au calcul de dimensionnement.

Calcul de l'augmentation de population [10]:

$$[10] = [7] * [9]$$

Calcul de la population cumulative [11]: pour le premier tronçon la population cumulative se confond à l'augmentation de population. Pour les autres tronçons elle s'obtient en ajoutant à l'augmentation de population la population cumulative en amont.

Calcul du débit moyen [13]:

- pour le premier tronçon: $[13] = 10^{-3} \cdot [10] \cdot [12]$
- pour les autres tronçons on ajoute au produit ci-dessus le débit moyen calculé en amont (il s'agit d'un cumul)

Calcul du débit de pointe [15]: $[15] = [13] \cdot [14]$

Calcul du débit de design [17]: $[17] = [15] + [16]$

Calcul de la vitesse minimale d'écoulement partiel [18]

La vitesse d'écoulement partiel se calcule au moyen de l'abaque de la figure 4.2 où :

V = vitesse d'écoulement partiel, m/s

Vfull = vitesse coulant pleine, m/s

Q = débit d'écoulement partiel, m³/s

Qfull = débit d'écoulement plein, m³/s

R = rayon hydraulique d'écoulement partiel, m

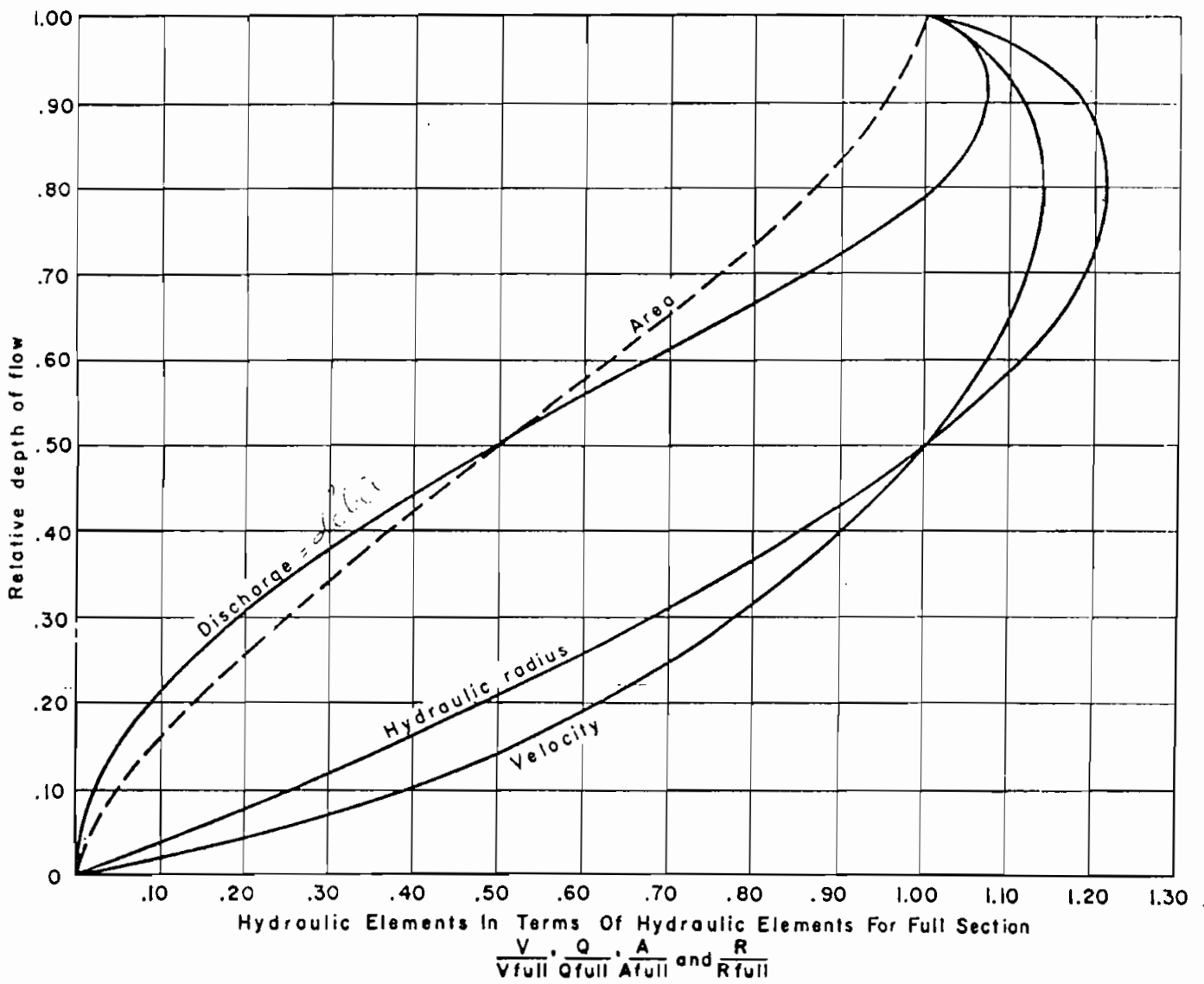


Figure 4.2 : Paramètres hydrauliques de l'écoulement partiel

Rfull = rayon hydraulique d'écoulement plein, m

d = profondeur d'écoulement partiel, mm

D = diamètre de la conduite, mm.

Utilisation de l'abaque

Le paramètre d'entrée sera le rapport des débits Q/Q_{full} sur l'axe des abscisses (se reporter au chapitre 2 pour le calcul de ces débits). L'intersection de la verticale élevée de l'abscisse Q/Q_{full} avec la courbe du débit (discharge) définit le rapport d/D sur l'axe des ordonnées. On trace ensuite à partir de l'ordonnée obtenue une horizontale jusqu'à l'intersection avec la courbe de la vitesse. Le rapport des vitesses V/V_{full} correspond à l'abscisse du nouveau point d'intersection.

La vitesse coulant pleine étant connue (calculée avec l'équation de Manning, voir chapitre 2), on en déduit la vitesse d'écoulement partiel.

Exemple de calcul: ligne n°4

$$Q/Q_{full} = 340.58/1594.11$$

$$= 0.21$$

On tire de l'abaque: $d/D = 0.31$ et $V/V_{full} = 0.79$

$$\text{d'où } V = 0.79 * 0.81$$

$$= 0.64 \text{ m/s}$$

4.2.4.2 Calcul avec RESO

Les résultats du programme sortis à l'imprimante sont présentés aux pages 65 à 69.

Tableau 4.2 Calcul d'un collecteur domestique (vérification)

N° de ligne	Longueur en m	amont		Pente de la rue en m/m	Pente de la conduite en m/m	Augmentation d'aire en ha	Aire cumulative en ha	Densité de population en hab/km ²	Augmentation de population en hab	Population cumulative en hab	Débit unitaire en L/hab/J	Débit moyen en m ³ /J	Facteur de pointe minimal	Débit de pointe en m ³ /J	Débit d'infiltration en m ³ /J	Débit de design en m ³ /J	Vitesse minimale en m/s
		3	4														
1	120	50	49.5	0.004	0.004	15	15	100	1500	1500	55	82.5	0.45	37.13	84.85	230.23	0.42
2	100	49.5	49.22	0.003	0.003	12	27	95	1140	2640	60	150.9	0.40	60.36	154.47	303.93	0.43
3	90	49.22	49.4	-0.002	0.003	7.5	34.5	95	712.5	3353	60	193.85	0.35	67.78	102.55	350.92	0.43
4	95	49.4	48.8	0.006	0.006	9	43.5	100	900	4253	53	241.35	0.40	96.54	244.09	389.57	0.44
	95	48.8	47.0	0.02	0.01	10	53.5	100	1000	5253	50	291.35	0.25	72.84	300.14	372.98	0.32

DONNEES DU TRONCON 1

longueur du tronçon	120.00	m
élévation amont	50.00	m
élévation aval	49.50	m
accroissement de superficie	15.00	ha
densité de pop.projetée	135	hab/ha
densité de pop à la mise en service	100	hab/ha
facteur de pointe global maximal	5.20	
facteur de pointe global minimal	0.45	
débit unitaire	55.00	L/hab.J
débit d'infiltration	84.15	m3/J
débit de captage	10.12	m3/J

RESULTATS DU TRONCON 1

Superficie cumulative	15.00	ha
Pente de la rue	0.004	m/m
Pente de la conduite	0.004	m/m
Débit de design maximal	673.43	m3/J
débit de design minimal	121.28	m3/J
Diamètre théorique	137.5	mm
Diamètre commercial:	150.0	mm
Vitesse coulant pleine:	0.56	m/s
Capacité coulant pleine:	0.01	m3/s
Elevation radier amont:	48.85	m
Elevation radier aval:	48.35	m
vitesse de mise en service	0.52	m/s

...RESO...

Calcul d'un collecteur d'égouts domestiques

DONNEES DU TRONCON 2

longueur du tronçon	100.00	m
élévation amont	49.50	m
élévation aval	49.22	m
accroissement de superficie	12.00	ha
densité de pop.projetée	140	hab/ha
densité de pop à la mise en service	95	hab/ha
facteur de pointe global maximal	4.50	
facteur de pointe global minimal	0.40	
débit unitaire	55.00	L/hab.J
débit d'infiltration	151.47	m3/J
débit de captage	28.65	m3/J

RESULTATS DU TRONCON 2

Superficie cumulative	27.00	ha
Pente de la rue	0.003	m/m
Pente de la conduite	0.003	m/m
Débit de design maximal	1097.11	m3/J
débit de design minimal	209.55	m3/J
Diamètre théorique	175.6	mm
Diamètre commercial:	200.0	mm
Vitesse coulant pleine:	0.57	m/s
Capacité coulant pleine:	0.02	m3/s
Elevation radier amont:	48.30	m
Elevation radier aval:	48.00	m
vitesse de mise en service	0.54	m/s

...RESO...

Calcul d'un collecteur d'égouts domestiques

DONNEES DU TRONCON 3

longueur du tronçon	90.00	m
élévation amont	49.22	m
élévation aval	49.40	m
accroissement de superficie	7.50	ha
densité de pop.projetée	140	hab/ha
densité de pop à la mise en service	95	hab/ha
facteur de pointe global maximal	4.00	
facteur de pointe global minimal	0.35	
débit unitaire	60.00	L/hab.J
débit d'infiltration	193.54	m3/J
débit de captage	42.30	m3/J

RESULTATS DU TRONCON 3

Superficie cumulative	34.50	ha
Pente de la rue	-0.002	m/m
Pente de la conduite	0.003	m/m
Débit de design maximal	1302.94	m3/J
débit de design minimal	259.33	m3/J
Diamètre théorique	187.3	mm
Diamètre commercial:	200.0	mm
Vitesse coulant pleine:	0.57	m/s
Capacité coulant pleine:	0.02	m3/s
Elevation radier amont:	48.02	m
Elevation radier aval:	47.75	m
vitesse de mise en service	0.54	m/s

...RESO...

Calcul d'un collecteur d'égouts domestiques

DONNEES DU TRONCON 4

longueur du tronçon	95.00	m
élévation amont	49.40	m
élévation aval	48.80	m
accroissement de superficie	9.00	ha
densité de pop.projetée	135	hab/ha
densité de pop à la mise en service	100	hab/ha
facteur de pointe global maximal	3.80	
facteur de pointe global minimal	0.40	
débit unitaire	53.00	L/hab.J
débit d'infiltration	244.04	m3/J
débit de captage	53.62	m3/J

RESULTATS DU TRONCON 4

Superficie cumulative	43.50	ha
Pente de la rue	0.006	m/m
Pente de la conduite	0.006	m/m
Débit de design maximal	1556.11	m3/J
débit de design minimal	338.29	m3/J
Diamètre théorique	174.1	mm
Diamètre commercial:	200.0	mm
Vitesse coulant pleine:	0.83	m/s
Capacité coulant pleine:	0.03	m3/s
Elevation radier amont:	48.20	m
Elevation radier aval:	47.60	m
vitesse de mise en service	0.78	m/s

...RESO...

Calcul d'un collecteur d'égouts domestiques

DONNEES DU TRONCON 5

longueur du tronçon	95.00	m
élévation amont	48.80	m
élévation aval	47.00	m
accroissement de superficie	10.00	ha
densité de pop.projetée	135	hab/ha
densité de pop à la mise en service	100	hab/ha
facteur de pointe global maximal	3.50	
facteur de pointe global minimal	0.25	
débit unitaire	50.00	L/hab.J
débit d'infiltration	300.14	m3/J
débit de captage	66.45	m3/J

RESULTATS DU TRONCON 5

Superficie cumulative	53.50	ha
Pente de la rue	0.019	m/m
Pente de la conduite	0.010	m/m
Débit de design maximal	1761.93	m3/J
débit de design minimal	371.55	m3/J
Diamètre théorique	167.4	mm
Diamètre commercial:	200.0	mm
Vitesse coulant pleine:	1.04	m/s
Capacité coulant pleine:	0.03	m3/s
Elevation radier amont:	46.75	m
Elevation radier aval:	45.80	m
vitesse de mise en service	0.98	m/s

...RESO...

Calcul d'un collecteur d'égouts domestiques

4.2.4.3 Comparaison des résultats obtenus

La comparaison montre une bonne concordance entre les résultats du calcul manuel et ceux produits par le logiciel. Les couples (diamètre, pente) ainsi que les élévations des radiers sont identiques pour les deux méthodes de calcul. On note cependant des vitesses de mise en service pour la vérification de l'écoulement partiel plus élevées avec le calcul par logiciel qu'avec le calcul manuel effectué au moyen de l'abaque 4.2.

4.3 CALCUL DES COLLECTEURS D'ÉGOUTS PLUVIAUX

4.3.1 Saisie des données

Les mêmes dispositions que pour le calcul du collecteur domestique sont à prendre. La fiche de données pour chaque tronçon se présente comme suit:

- 1) numéro de ligne (nombre entier)
- 2) longueur du tronçon, m
- 3) élévation du regard amont, m
- 4) élévation du regard aval, m
- 5) augmentation de superficie, ha
- 6) coefficient de ruissellement
- 7) type de courbe IDF avec valeur des paramètres

4.3.2 Algorithmes de calcul

Ils sont basés sur la théorie présentée au chapitre 3.

4.3.3 Programme

Le listing complet du programme est présenté ci-après:

```

{      PROCEDURE PRINCIPALE POUR LES COLLECTEURS PLUVIAUX      }
{La partie déclarative est commune avec la procédure principale}
{pour les collecteurs domestiques}

function type1 (var x,y,z:real):real;
{Equation de courbe IDF type 1 (Talbot)}
begin
  type1 := x/(y+z);
end;

{*****}

function type2 (var x1,x2,x3,x4:real):real;
{Equation de courbe IDF type 2}
begin
  type2 := x1/exp (x4 * ln (x2-x3));
end;

{*****}

function type3 (var y1,y2,y3,y4:real):real;
{Equation de courbe IDF type 3}
begin
  type3 := y1/(exp(y2 * ln (y3)) + y4);
end;

{*****}

procedure lecture_donnees_pluv;

begin
  clrscr;
  with enreg do
    writeln ('      ***** Données du tronçon *****');
    writeln;
    writeln ('Numéro de ligne ');
    writeln;
    writeln ('longueur du tronçon, m');
    writeln;
    writeln ('élévation amont, m');
    writeln;
    writeln ('élévation aval, m');
    writeln;
    writeln ('augmentation de superficie, ha');
    writeln;
    writeln ('coefficient de ruissellement');

```

```

gotoxy(50,3); read(num_ligne);
gotoxy(50,5); read(long);
gotoxy(50,7); read(elev_am);
gotoxy(50,9); read(elev_av);
gotoxy(50,11); read(aire_sup);
gotoxy(50,13); read(coef_ruiss);
write(tfichier,enreg);
end; {lecture_donnees}

```

```
{*****}
```

```

procedure affiche_enregistrement_pluv (enreg:fiche);
{DESCRIPTION :la procedure utilisée pour l'affichage à l'écran
|             d'une fiche dont on desire lire le contenu      }

```

```
BEGIN
```

```
WITH Enreg DO
```

```
BEGIN
```

```
clrscr;
```

```
write ('          ***** Données du tronçon *****');
```

```
writeln;writeln;
```

```
write ('Numéro de ligne');
```

```
gotoxy(50,3); write (num_ligne);
```

```
writeln;writeln;
```

```
write ('longueur du tronçon, m');
```

```
gotoxy(50,5); write(long:3:2);
```

```
writeln;writeln;
```

```
write ('élévation amont, m');
```

```
gotoxy(50,7); write(elev_am:3:2);
```

```
writeln;writeln;
```

```
write ('élévation aval, m');
```

```
gotoxy(50,9); write(elev_av:3:2);
```

```
writeln;writeln;
```

```
write ('augmentation de superficie, ha');
```

```
gotoxy(50,11); write(aire_sup:3:2);
```

```
writeln;writeln;
```

```
write ('coefficient de ruissellement');
```

```
gotoxy(50,13); write(coef_ruiss:1:2);
```

```
writeln;writeln;
```

```
write ('temps de concentration, min');
```

```
gotoxy(50,15); write(temps:2:2);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
{*****}
```

```

procedure sauvegarde_donnees_pluv (pointeur:ptr_ligne);forward;

{*****}

procedure lecture_fiche_pluv (intr:integer);
var
i:integer;
enr:fiche;
begin
  {$I-} assign(tfichier,nom_fichier);
  reset(tfichier); {$I+}
  i:=cherche(intr);
  if i < 0 then writeln('non trouvé')
  else
  begin
    seek(tfichier,i);
    read(tfichier,enr);
    affiche_enregistrement_pluv (enr);
  end;
end;

{*****}

procedure hypotheses_pluv;
var choice:integer;
begin
  clrscr;
  gotoxy(30,2);
  brille(cyan+blink,white);
  write ('HYPOTHESES DE CALCUL');
  cadre(29,1,51,3,205,186);
  stopbrille(cyan+blink,white);
  brille(white,black);
  gotoxy(1,6);writeln;
  writeln (' ':20,' Vitesse minimale      : 0.9 m/s':20);
  writeln (' ':20,' Vitesse maximale      : 5 m/s');
  writeln (' ':20,' Pente minimale        : 0.003 m/m');
  writeln (' ':20,' Pente maximale        : 0.01 m/m');
  writeln (' ':20,' Diamètre minimal      : 200 mm');
  writeln (' ':20,' Couverture minimale   : 1.0 m');
  writeln (' ':20,' Coefficient de Manning : 0.013');
  cadre(20,6,62,17,205,186);
  stopbrille(white,black);
  normal;
  writeln;
  writeln;writeln;

```

```

                1: Valider
writeln ('
2:Redéfinir');
brille(red,white); gotoxy(39,23); readln (choice);
normal;
if choice in [1..2] then
begin
case (choice) of
1: begin
speed_min := 0.9;
speed_max := 5.0;
phi_min := 200.0;
cover_min := 1.0;
pente_min := 0.003;
pente_max := 0.010;
cm := 0.013;
end;
2: begin
clrscr;
writeln ('NOUVELLES HYPOTHESES:');
writeln;writeln;
write ('Vitesse minimale en m/s : '); readln
(speed_min);
write ('Vitesse maximale en m/s : '); readln
(speed_max);
write ('Pente minimale en m/m : '); readln
(pente_min);
write ('Pente maximale en m/m : '); readln
(pente_max);
write ('Diamètre minimal en mm : '); readln (phi_min);
write ('Couverture minimale en m : '); readln
(cover_min);
write ('Coefficient de Manning : '); readln (cm);
end;
end;
end; {if}
end;

{*****}

procedure cumul_aire_pluv (var i:integer);
begin
augm_aire[i]:=aire_sup;
aire_cumul[i] := aire_am + augm_aire[i];
aire_am := aire_cumul[i];
end;

{*****}

```

```

procedure cumul_imp (var i:integer);
begin
  aire_imp[i] := augm_aire[i] * coef_ruiss;
  aire_imp_cumul[i] := aire_imp_am + aire_imp[i];
  aire_imp_am:=aire_imp_cumul[i];
end;

{*****}

procedure fact_ruis_global (var i:integer);
begin
  coef_global[i] := aire_imp_cumul[i]/aire_cumul[i];
end;

{*****}

procedure calcul_pente_pluv (var i:integer);
begin
  cote_am[i]:=elev_am;
  cote_av[i]:=elev_av;
  longueur[i]:=long;
  pente_rue2[i]:=(cote_am[i] - cote_av[i])/longueur[i];
  if pente_rue2[i] < pente_min then
    begin
      pente2[i] := pente_min;
    end
  else if pente_rue2[i] > pente_max then
    begin
      pente2[i] := pente_max;
    end
  else pente2[i]:=pente_rue2[i];
end;

{*****}

procedure temps_entree (var i: integer);
var
  flong,fpenterue2,fimp:real;
begin
  flong:= exp(0.24*ln(long));writeln (flong:2:8);delay(5000);
  fpenterue2:= exp(0.16*ln(abs(pente_rue2[i])));
  writeln (fpenterue2:2:8);delay(5000);
  fimp:= exp(0.26*ln(coef_global[i]));
  writeln (fimp:2:8);delay(5000);
  temps:= (1.11* flong)/(fpenterue2*fimp);
  if (temps) > 30 then temps:=30;
end;

{*****}

```



```

procedure intensite_pluie (var i:integer);
var choix:integer;
    a,b,n,t:real;
begin
    clrscr;
    t:=temps;
    writeln (' Détermination de l''intensité de la pluie de
design ');
    delay (1000);
    writeln;
    writeln ('Choisir l''une des équations de courbe I_D_F
ci_dessous');
    writeln;
    writeln;
    writeln ('1:  $I = a/(b+t)$ ');
    writeln;
    writeln ('2:  $I = a/[(t-b) \exp n]$ ');
    writeln;
    writeln ('3:  $I = a/[(t \exp n) + b]$ ');
    writeln;
    writeln ('NB: Dans ces équations t représente la durée de
l''averse ');
    writeln ('    qui est assimilée au temps de
concentration'));
    writeln ('    Le type 1 est la formule de Talbot. ');
    writeln ('    Le type 3 englobe la formule de Montana. ');
    gotoxy (10,20);
    write ('Entrez votre choix ');
    readln (choix);
    if choix in [1..3] then
        begin
            clrscr;
            case choix of
            1: begin
                    writeln ('1:  $I = a/(b+t)$ ');
                    writeln;writeln;
                    write ('Donner la valeur de a: ');
                    readln (a);
                    writeln;
                    write ('Donner la valeur de b: ');
                    readln (b);
                    Intens[i] := typel (a,b,t);
                end;
            2: begin
                    writeln ('2:  $I = a/[(t-b) \exp n]$ ');
                    writeln;writeln;

```

```

        write ('Donner la valeur de a: ');
        readln (a);
        writeln;
        write ('Donner la valeur de b: ');
        readln (b);
        writeln;
        write ('Donner la valeur de n: ');
        readln (n);
        Intens[i] := type2 (a,t,b,n);
    end;
3: begin
    writeln ('3: I = a/[(t exp n) + b]');
    writeln;writeln;
    write ('Donner la valeur de a: ');
    readln (a);
    writeln;
    write ('Donner la valeur de b: ');
    readln (b);
    writeln;
    write ('Donner la valeur de n: ');
    readln (n);
    Intens[i] := type3 (a,t,n,b);
end;end;end;

end;

{*****}

procedure debit_de_design_pluv (var i:integer);
begin
    Q_design[i] := 2.78 * 0.001 * aire_cumul[i] * intens[i] *
coef_global[i];
end;

{*****}

procedure diametre_pluv (var i:integer);
var d_theo:real;
begin
    diam[i]:= 1000 * exp((3/8)*ln(cm *
Q_design[i]/0.312/sqrt(pente2[i])));
    d_theo := diam[i];
    diametre_commercial(d_theo);
    d_com[i]:=phi_com;
    writeln;
    {writeln ('Diamètre calculé de la conduite: ',diam[i]:4:0,'
mm');
    writeln;

```

```

        writeln('Entrez la valeur en mm du diamètre commercial
correspondant');
        readln (d_com[i]);
        writeln;writeln;
        writeln('          APPUYER SUR RETURN POUR LES RESULTATS
COMPLETS');
        end;

{*****}

procedure vitesse_pluv (var i:integer);
begin
    vitesse[i] :=
(sqrt(pente2[i])/cm)*exp((2/3)*ln((d_com[i]*0.001)/4));
end;

{*****}

procedure capacite_pluv (var i:integer);
begin
    capacite[i] := vitesse[i]*(pi* sqr(0.001 * d_com[i]))/4;
end;

{*****}

procedure elevation_radriers_pluv (var i:integer);
begin
    if pente2[i] < pente_max then
    begin
        elev_rad_am2[i] := cote_am[i] - 0.001*d_com[i] -1;
        elev_rad_av2[i] := elev_rad_am2[i] -
pente2[i]*longueur[i]
    end
    else
    begin
        elev_rad_av2[i] := cote_av[i] - 0.001*d_com[i] -1;
        elev_rad_am2[i] := elev_rad_av2[i] +
pente2[i]*longueur[i]
    end;
end;

{*****}

procedure affichage_resultats_pluv (r:integer);
var
    enreg:fiche;

```

```

begin
  cumul_aire_pluv (r);
  cumul_imp (r);
  fact_ruis_global (r);
  calcul_pente_pluv (r);
  temps_entree (r);
  intensite_pluie (r);
  debit_de_design_pluv (r);
  diametre_pluv (r);
  vitesse_pluv (r);
  capacite_pluv (r);
  elevation_radiers_pluv (r);
  clrscr;
  writeln ('***** RESULTATS DU TRONCON ',num_ligne,'
*****');
  writeln;
writeln('Superficie cumulative           : ',aire_cumul[r]:3:2,'
ha');
writeln('Superficie imperméable cumulative:
',aire_imp_cumul[r]:3:2,' ha');
writeln('Facteur de ruissellement global  :
',coef_global[r]:1:2);
writeln('temps de concentration           : ',temps:2:1,' min');
writeln('Intensité de pluie                 : ',intens[r]:3:2,'
mm/h');
writeln('Pente de la rue                   : ',pente_rue2[r]:1:4,'
m/m');
writeln('Pente de la conduite               : ',pente2[r]:1:4,'
m/m');
writeln('Débit de pointe                     : ',Q_design[r]:3:2,'
m3/s');
writeln('Diamètre calculé                    : ',diam[r]:3:1,' mm');
writeln('Diamètre commercial                 : ',d_com[r]:3:1,'
mm');
writeln('Vitesse coulant pleine              : ',vitesse[r]:2:2,'
m/s');
writeln('Capacité coulant pleine             : ',capacite[r]:3:2,'
m3/s');
writeln('Elevation radier amont                :
',elev_rad_am2[r]:3:2,' m');
writeln('Elevation radier aval                 :
',elev_rad_av2[r]:3:2,' m');
  writeln;
  writeln;
  writeln ('APPUYER SUR RETURN POUR CONTINUER');
  readln;
end;

[*****]

```

```

procedure debut_pluv;forward;

procedure impression_pluv (r:integer);
begin
  clrscr;
  writeln (lst,'DONNEES DU TRONCON ',num_ligne);
  writeln (lst,'-----');
  writeln(lst);writeln(lst);
  writeln (lst,'longueur du tronçon           ',long:3:2,'
m');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'élévation amont           ',elev_am:3:2,'

m');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'élévation aval           ',elev_av:3:2,'

m');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'accroissement de superficie   ',aire_sup:3:2,'

ha');
  writeln(lst);
  writeln (lst,'coefficient de ruissellement
',coef_ruiss:1:2);
  writeln(lst);
  writeln (lst,'temps de concentration           ',temps:2:2,'
min');
  writeln(lst);writeln(lst);
  writeln(lst,'*****');
  writeln(lst);writeln(lst);
  writeln(lst,'RESULTATS DU TRONCON ',num_ligne);
  writeln(lst,'-----'); writeln(lst);
  writeln(lst,'Superficie cumulative:
',aire_cumul[r]:3:2,' ha');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Superficie imperméable cumulative:
',aire_imp_cumul[r]:3:2,' ha');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Facteur de ruissellement global:
',coef_global[r]:1:2);
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Intensité de pluie:
',intens[r]:3:2,' mm/h');
  writeln(lst);
  writeln(lst,'Pente de la rue:
',pente_rue2[r]:1:4,' m/m');
  writeln(lst);

```

```

        writeln(lst,'Pente de la conduite:
',pente2[r]:1:4,' m/m');
        writeln(lst);
        writeln(lst,'Débit de pointe:
',Q_design[r]:3:2,' m3/s');
        writeln(lst);
        writeln(lst,'Diamètre calculé:                ',diam[r]:3:1,'
mm');
        writeln(lst);
        writeln(lst,'Diamètre commercial:            ',d_com[r]:3:1,'
mm');
        writeln(lst);
        writeln(lst,'Vitesse coulant pleine:
',vitesse[r]:2:2,' m/s');
        writeln(lst);
        writeln(lst,'Capacité coulant pleine:
',capacite[r]:3:2,' m3/s');
        writeln(lst);
        writeln(lst,'Elevation radier amont:
',elev_rad_am2[r]:3:2,' m');
        writeln(lst);
        writeln(lst,'Elevation radier aval:
',elev_rad_av2[r]:3:2,' m');
        writeln (lst); writeln(lst); writeln(lst);
writeln (lst); writeln(lst); writeln(lst);
writeln (lst); writeln(lst); writeln(lst);
writeln (lst); writeln(lst); writeln(lst);
        writeln (lst); writeln(lst); writeln(lst);
        writeln (lst,'                ...RESO...');
        writeln (lst,'                Calcul d''un collecteur
pluvial');
        debut_pluv;
        end;

```

[*****]

```

procedure debut_pluv;
begin
    clrscr;
    writeln ('1: Editer un réseau');
    writeln;
    writeln ('2: Rappeler un réseau');
    writeln;
    writeln ('3: Sauver');
    writeln;
    writeln ('4: Quitter');
    writeln;

```

```

write('          Entrez votre choix [1 2 3 4] ');
readln (choix1);
end;

{*****}

procedure collecteur_pluvial;
  {procédure principale}
begin
repeat
  debut_pluv;
  case choix1 of
  1: begin
      clrscr;
      writeln ('          DONNEZ UN NOM AU RESEAU');
      readln (nom_fichier);
      {$I-} assign(tfichier,nom_fichier);
      rewrite(tfichier); {$I+}
      clrscr;
      writeln('*** Donner le nombre total de tronçons dans le réseau
*** ');
      read(nombre);
      while nombre > nmax do
      begin
          writeln ('nombre excessif,recommencez');
          readln(nombre);
      end;
      hypotheses_pluv;
      clrscr;
      aire_am:=0;
      aire_imp_am:=0;
      k:=1;
      termine:=false;
      while (k <= nombre) and not termine do
      begin
          {$I-} clrscr;
          assign (tfichier,nom_fichier);
          rewrite (tfichier); {$I+}
          lecture_donnees_pluv;
          clrscr;
          writeln;
          writeln ('Tapez Return pour les résultats');
          readln;
          affichage_resultats_pluv (k);
          clrscr;
          writeln;
          writeln;

```

```

writeln ('1: Continuer');
writeln ('2: Retour au menu');
writeln ('3: Imprimer');
writeln;
writeln ('ENTRER VOTRE CHOIX');
readln (choix3);
case (choix3) of
1: k:= k+1;
2: begin
    break;
    debut_pluv;
    if choixl = 4 then termine:=true;
    if choixl = 3 then
    begin
        pointr_ligne:=nil;
        new (pointr_ligne);
        sauvegarde_donnees_pluv (pointr_ligne);
    end;
    if choixl = 2 then
    begin
        writeln ('entrer numéro');
        readln (num);
        lecture_fiche_pluv (num);
    end;
    end;
    3:impression_pluv (k);
end; {case choix3}
end; {while}
if k > (nombre) then
begin
    writeln ('Erreur:Vous avez dépassé le nombre de
tronçons de');
    writeln ('votre réseau');
    delay(3000);
    debut_pluv;
end;
end; {case choixl of 1}

2: begin
    writeln ('Entrer le numéro de ligne');
    readln (num);
    lecture_fiche_pluv (num);
end;

3: begin
    pointr_ligne:=nil;
    new (pointr_ligne);
    sauvegarde_donnees_pluv (pointr_ligne);
end;

```



```

        4:exit;
    end {case choix1}
until choix1 = 4;

end; {procedure collecteur_pluvial}

{*****}

PROCEDURE Grille;
{Présentation du logiciel: auteur, encadreurs, cadre de ce
travail}
VAR
    I    : Integer;

BEGIN
    FOR I :=3 TO 70 DO
        BEGIN
            GOTOXY(I,2); Write(#178,#178); Delay(15);
            GOTOXY(I,20); Write(#178,#178); Delay(15);
        END;
        FOR I :=3 TO 20 DO
            BEGIN
                GOTOXY(3,I); Write(#178,#178); Delay(15);
                GOTOXY(70,I); Write(#178,#178); Delay(15);
            END;
        END;
    END;

{*****}

procedure menu_principal;
begin
clrscr;
grille;
    gotoxy(20,4);
    Write('ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES');
    FOR J:=20 TO 46 DO
        BEGIN
            GOTOXY(J,5);Write(#205);Delay(50);
        END;(*FOR*)
    GOTOXY(23,6);Write('PROJET DE FIN D''ETUDES');
    FOR J:=23 TO 44 DO
        BEGIN
            GOTOXY(J,7);Write(#205);Delay(50);
        END;(*FOR*)
    GOTOXY(12,9);
    WriteLN('Titre:      CALCUL DES COLLECTEURS D''EGOUTS
');
    gotoxy(12,10);

```

```

        writeln('          DOMESTIQUES ET PLUVIAUX PAR ORDINATEUR
');
        gotoxy (30,11); textcolor (white+blink);
        Write('LOGICIEL RESO');textcolor(white+blink);
        GOTOXY(20,14);
        textcolor (cyan+blink);
        highvideo;
        textcolor(cyan);
        writeln ('Auteur: Amadou Khaïta Diagne');
        GOTOXY(20,16);
        Writeln('Directeur: Souleymane NDiongue');
        gotoxy(20,18);
        writeln('Co-directeur: Amadou Sarr');
        gotoxy(20,23);
        writeln ('APPUYER SUR RETURN POUR CONTINUER');
        readln;
        clrscr;
        gotoxy (25,8);
        writeln ('1: RESEAUX DOMESTIQUES');
        gotoxy (25,10);
        writeln ('2: RESEAUX PLUVIAUX');
        gotoxy (25,12);
        writeln ('3: QUITTER RESO');
        cadre (23,7,55,14,205,186);
        gotoxy (38,17);
        readln (choix);
        case choix of
        1: collecteur_domestique;
        2: collecteur_pluvial;
        3: exit;
        end;
        end;

{*****}

BEGIN  {PROGRAMME PRINCIPAL}
        normal;
        clrscr;
        menu_principal;

END.    {FIN DU PROGRAMME}

```

4.3.4 Exemple de calcul

Nous nous proposons de calculer le collecteur pluvial représenté à la figure 4.3.

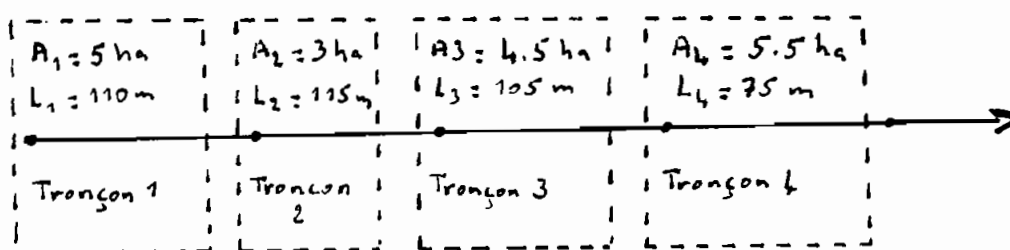


Figure 4.3 Collecteur pluvial

4.3.4.1 Calcul manuel

Le calcul manuel est présenté au tableau 4.3.

Les colonnes [3],[4], [10], [11], [12] sont des données fournies par l'utilisateur.

calcul du temps de concentration [2]: formule de Schaake (voir chapitre 3)

calcul de la superficie imperméable au tronçon [5]:

$$[5] = [3] * [4]$$

calcul de la superficie cumulative [6]: pour le premier tronçon la superficie cumulative se confond avec l'augmentation d'aire. Pour les autres tronçons la superficie cumulative s'obtient en ajoutant l'augmentation d'aire due au tronçon à l'aire cumulative précédente.

calcul de la superficie imperméable cumulative [7]:

pour le premier tronçon la superficie imperméable cumulative se confond à la superficie imperméable du tronçon. Pour les autres tronçons la superficie imperméable cumulative s'obtient en ajoutant la superficie imperméable du tronçon à la superficie imperméable cumulative en amont.

calcul du facteur de ruissellement global [8]: $[8] = [7]/[6]$

calcul de l'intensité de la pluie [9]: à partir de l'équation de courbe IDF choisie. Dans l'exemple de calcul on a:

$$I = 3180 / (t_c + 15)$$

où t_c = temps de concentration [2], min

I = intensité, mm/h.

calcul de la pente de la rue [13]: $[13] = ([10] - [11]) / [12]$

- calcul de la pente de la conduite [14]:

. cas où la pente de la rue est négative ou inférieure à la pente minimale admissible:

$$[14] = \text{pente minimale admissible}$$

. cas où la pente de la rue est comprise entre la pente minimale admissible et la pente maximale admissible:

$$[14] = [13]$$

. cas où la pente de la rue est supérieure à la pente maximale admissible: [14] = pente maximale admissible

calcul du débit de pointe [15]: effectué avec la méthode rationnelle (équation 3.10),

$$[15] = 2.78 * 10^{-3} * [6] * [7] * [8]$$

calcul du diamètre [16]: à partir de l'équation 3.11

calcul de la vitesse coulant pleine [17]: à partir de l'équation 3.12.

calcul de la capacité coulant pleine [18]: produit de la vitesse coulant pleine et du diamètre commercial

calcul de l'élevation des radiers [19] et [20]: comme indiqué au paragraphe 2.2.5.4.

4.3.4.2 Calcul avec RESO

Les résultats du programme sortis à l'imprimante sont présentés dans les pages 91 à 94:

DONNEES DU TRONCON 1

longueur du tronçon	110.00	m
élévation amont	20.00	m
élévation aval	19.80	m
accroissement de superficie	5.00	ha
coefficient de ruissellement	0.35	
temps de concentration	12.37	min

RESULTATS DU TRONCON 1

Superficie cumulative:	5.00	ha
Superficie imperméable cumulative:	1.75	ha
Facteur de ruissellement global:	0.35	
Intensité de pluie:	116.20	mm/h
Pente de la rue:	0.0018	m/m
Pente de la conduite:	0.0030	m/m
Débit de pointe:	0.57	m ³ /s
Diamètre calculé:	728.7	mm
Diamètre commercial:	800.0	mm
Vitesse coulant pleine:	1.44	m/s
Capacité coulant pleine:	0.72	m ³ /s
Elevation radier amont:	18.20	m
Elevation radier aval:	17.87	m

...RESO...

Calcul d'un collecteur pluvial

DONNEES DU TRONCON 2

longueur du tronçon	115.00	m
élévation amont	19.80	m
élévation aval	19.90	m
accroissement de superficie	3.00	ha
coefficient de ruissellement	0.60	
temps de concentration	13.22	min

RESULTATS DU TRONCON 2

Superficie cumulative:	8.00	ha
Superficie imperméable cumulative:	3.55	ha
Facteur de ruissellement global:	0.44	
Intensité de pluie:	112.67	mm/h
Pente de la rue:	-0.0009	m/m
Pente de la conduite:	0.0030	m/m
Débit de pointe:	1.11	m ³ /s
Diamètre calculé:	939.2	mm
Diamètre commercial:	1000.0	mm
Vitesse coulant pleine:	1.67	m/s
Capacité coulant pleine:	1.31	m ³ /s
Elevation radier amont:	17.80	m
Elevation radier aval:	17.45	m

...RESO...

Calcul d'un collecteur pluvial

DONNEES DU TRONCON 3

longueur du tronçon	105.00	m
élévation amont	19.90	m
élévation aval	19.40	m
accroissement de superficie	4.50	ha
coefficient de ruissellement	0.55	
temps de concentration	9.65	min

RESULTATS DU TRONCON 3

Superficie cumulative:	12.50	ha
Superficie imperméable cumulative:	6.03	ha
Facteur de ruissellement global:	0.48	
Intensité de pluie:	129.02	mm/h
Pente de la rue:	0.0048	m/m
Pente de la conduite:	0.0048	m/m
Débit de pointe:	2.16	m ³ /s
Diamètre calculé:	1104.9	mm
Diamètre commercial:	1200.0	mm
Vitesse coulant pleine:	2.38	m/s
Capacité coulant pleine:	2.69	m ³ /s
Elevation radier amont:	17.70	m
Elevation radier aval:	17.20	m

...RESO...

Calcul d'un collecteur pluvial

DONNEES DU TRONCON 4

longueur du tronçon	75.00	m
élévation amont	19.40	m
élévation aval	18.60	m
accroissement de superficie	5.50	ha
coefficient de ruissellement	0.45	
temps de concentration	7.86	min

RESULTATS DU TRONCON 4

Superficie cumulative:	18.00	ha
Superficie imperméable cumulative:	8.50	ha
Facteur de ruissellement global:	0.47	
Intensité de pluie:	139.09	mm/h
Pente de la rue:	0.0107	m/m
Pente de la conduite:	0.0100	m/m
Débit de pointe:	3.29	m ³ /s
Diamètre calculé:	1125.1	mm
Diamètre commercial:	1200.0	mm
Vitesse coulant pleine:	3.45	m/s
Capacité coulant pleine:	3.90	m ³ /s
Elevation radier amont:	17.15	m
Elevation radier aval:	16.40	m

...RESO...

Calcul d'un collecteur pluvial

4.3.4.3 Comparaison des résultats obtenus

On note ici également une bonne concordance des résultats du dimensionnement. Pour le tronçon n°3, le diamètre théorique calculé avec le programme étant de 1104.9 mm, la valeur du diamètre commercial proposée par RESO est de 1200 mm.

Cependant le choix d'un diamètre commercial de 1100 serait tolérable eu égard aux incertitudes sur les calculs.

CONCLUSION

Le travail effectué dans ce Projet de Fin d'Études est une contribution à l'élaboration d'une base de logiciels à l'École Polytechnique de Thiès. Vu sous un angle plus général, il est destiné à faciliter la tâche non seulement aux étudiants dans leurs travaux pratiques, mais aussi à constituer un outil personnel de dimensionnement préliminaire des égouts pour les ingénieurs. Il faudra pour cela l'améliorer tant du point de vue de la présentation que du point de vue de la diversification des cas de réseaux traités. Le logiciel RESO permet le dimensionnement des nouveaux réseaux d'égouts comportant des conduites circulaires enterrées supportant un écoulement gravitaire. Il effectue également la vérification des vitesses minimales au début de la mise en service pour les collecteurs domestiques.

Le logiciel RESO présente cependant certaines lacunes, notamment au niveau de la saisie des données, la présentation des résultats et la gestion des fichiers. Son élargissement aux réseaux comportant des pompes de relèvement le rendrait sans aucun doute beaucoup plus pratique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Labonté, R., F.G Brière et R. Desjardins, Distribution et collecte des eaux en milieu urbain, 3 édition, Ecole Polytechnique de Montréal, 1987.
- [2]. Okun, D.A et G.Ponghis, Collecte et Evacuation des eaux usées des collectivités, Genève, OMS, 1976.
- [3]. Metcalf et Eddy, Wastewater Engineering, Collection and Pumping of Wastewater, Mc Graw Hill, 1981, 432 pages.
- [4]. Réméniéras, G., L'hydrologie de l'ingénieur, Paris, Eyrolles.