



## MEMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Hydraulique*

**Option: CONCEPTION DES SYSTÈMES D'ASSAINISSEMENT**

**THEME :**

**Dimensionnement et conception du réseau  
d'assainissement de la zone de BOUSSEKOUM,  
commune d'Ouled Rahmoune (Wilaya de Constantine)**

**Présenté par :**

**BENKASSIS Zineb**

**Devant les membres du jury**

| Nom et Prénoms    | Grade      | Qualité   |
|-------------------|------------|-----------|
| KADI Latifa       | M.A.A      | Président |
| ALI SEGHIR Djamel | M.C.A      | Examineur |
| HADJ SADOK Nabila | M.C.A      | Examineur |
| MEDDI Mohamed     | professeur | Promoteur |

**Session 2024/2025**

## Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu qui m'a donné la santé, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce projet.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mes encadrants Prof. MEDDI et Prof. SALAH pour leur disponibilité, leur bienveillance et leur précieux conseils. Leur confiance et leur accompagnement ont été pour moi une véritable source de motivation et d'apprentissage.

Je souhaite aussi exprimer mes remerciements à mes enseignants et à toute l'équipe pédagogique de l'ENSH qui m'ont transmis au fil des années des connaissances et des valeurs essentielles, et qui ont largement contribué à ma formation académique et personnelle.

Mes pensées les plus sincères vont également à ma famille : mes parents (Papa et Minoucha) pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices et leur confiance en moi.

Une mention toute particulière à mes sœurs (Fatima, Selsabil et Douniazed), qui ont toujours cru en moi, qui m'ont encouragée dans les moments difficiles et partagé mes joies dans les réussites. Leur présence constante, leurs conseils, leur patience et leur affection m'ont apporté une force et une sérénité indispensables pour avancer. Je leur dédie une grande part de ce travail, car il porte aussi leur empreinte.

Je tiens aussi à rendre hommage à mes grands-parents, à qui je garde une profonde affection et dont la mémoire continue de m'inspirer chaque jour. Je remercie aussi mon oncle El Amri, pour son soutien, ses conseils et sa présence précieuse dans ma vie.

Une pensée toute spéciale à mon neveu Kahyl, dont l'innocence et la joie de vivre sont pour moi une source quotidienne de bonheur et de motivation.

Je n'oublie pas mes amis (Hayem, Nesrine, ghoulfrane, Karima, Romaissa, Chaima, Mohamed), qui m'ont toujours encouragée, soutenue et accompagnée dans cette aventure. Leur patience, leur présence, leurs conseils et leur amitié sincère ont fait de ce parcours une expérience plus riche, plus humaine et plus agréable.

À toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont participé à cette aventure, je vous dis sincèrement : **merci.**

## Dédicace

- À mon père **Abdelwahab**, pour son soutien moral et matériel.
- À ma mère **Yamina LACHTER**, pour ses sacrifices inestimables et son soutien indéfectible. Aucun mot ne saurait traduire le respect et l'amour éternel que je lui porte.
- À Mon oncle El Amri, pour lesquels il n'existe pas de mots assez forts pour exprimer toute ma gratitude..
- À mes sœurs **Douniazed, Fatima et Selsabil**, à mon beau-frère **AKIM** ainsi qu'à mon petit neveu **Kahyl**..
- À mes chers amis : **Mohammed, Hayem, Nesrine, Ghoufrane, Karima, Romaissa et Chaima**.
- À mes collègues et amies: **Abderahmane, Nouredine, Fares, Mohamed Bouali** pour leur aide précieuse et leur accompagnement tout au long de ce projet.
  - À tous mes collègues des écoles **ENSH** et **ESTI**.
  - Au club scientifique de notre école, **HEC**.

## ملخص

ادى النمو السكاني في دائرة أولاد رحمون إلى إنشاء توسعة سكنية جديدة تُعرف باسم "بوسكوم". وفي هذا الإطار، يهدف مشروعنا إلى تصميم شبكة صرف صحي حديثة تضمن جمع وتصريف المياه المستعملة بشكل سليم. ويهدف المشروع إلى تحسين ظروف المعيشة، وحماية البيئة، والمساهمة في تنمية عمرانية مستدامة في هذه المنطقة الجديدة.

**الكلمات المفتاحية :** الصرف الصحي، التصريف، الفضلات السائلة، التدفق، توسعة سكنية.

## Résumé:

La croissance démographique à Ouled Rahmoun a conduit à la création d'une nouvelle extension résidentielle appelée « Boussekoum ». Dans ce contexte, notre projet porte sur la conception d'un réseau d'assainissement moderne, permettant une collecte et une évacuation adéquates des eaux usées. L'objectif est d'améliorer le cadre de vie, de protéger l'environnement et de favoriser un développement urbain durable dans cette nouvelle zone.

**Mots-clés :** réseau d'assainissement, évacuation, effluents, débit, extension résidentielle.

## Abstract:

The population growth in Ouled Rahmoun has led to the creation of a new residential extension called "Boussekoum." To accompany this urban expansion, our project focuses on the design of a modern sewerage system that ensures proper wastewater collection and disposal. The objective is to improve living conditions, protect the environment, and support sustainable urban development in the new neighborhood.

**Keywords:** sewerage, evacuation, effluents, flow rate, residential extension

# TABLE DES MATIERES

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Remerciements                                                                     |    |
| Dédicaces                                                                         |    |
| Liste des figures                                                                 |    |
| Liste des tableaux                                                                |    |
| Introduction                                                                      | 01 |
| <b>Chapitre I : Présentation de l'agglomération</b>                               |    |
| Introduction                                                                      | 02 |
| I.1. Présentation générale de la commune de Ouled Rahmoune                        | 02 |
| I.2. Présentation de la zone d'étude POS BOUSSEKOUM                               | 02 |
| I.3. La situation géographique                                                    | 02 |
| I.4. Relief et topographie                                                        | 04 |
| I.4.1. Relief                                                                     | 04 |
| I.4.2. Topographie                                                                | 04 |
| I.5. La pédologie                                                                 | 04 |
| I.6. Situation climatique                                                         | 05 |
| I.6.1. Le climat                                                                  | 05 |
| I.6.2. La température                                                             | 05 |
| I.6.3. La pluviométrie                                                            | 06 |
| I.6.4. L'humidité                                                                 | 07 |
| I.7. Situation géologique                                                         | 08 |
| I.7.1. La géologie                                                                | 08 |
| I.7.2. Hydrogéologie                                                              | 09 |
| I.7.3. Sismicité                                                                  | 09 |
| I.8. Etude hydrographique                                                         | 10 |
| I.9. La situation hydraulique                                                     | 10 |
| Conclusion                                                                        | 11 |
| <b>Chapitre II : Étude hydrologique</b>                                           |    |
| Introduction                                                                      | 12 |
| II.1. Choix de la période de retour                                               | 12 |
| II.2. Détermination de l'intensité moyenne de précipitation                       | 12 |
| II.3. Analyse des données pluviométriques et le choix du type de loi d'ajustement | 13 |
| II.3. 1. Analyse statistique des données pluviométriques                          | 13 |
| II.3.2. Ajustement statistique des précipitations journalières maximales          | 15 |
| II.3.2.1. Procédure d'ajustement                                                  | 15 |
| II.3.2.2. Les caractéristiques empiriques                                         | 16 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| II.3.2.3. Ajustement à la loi Log Normale (loi de GALTON)            | 17 |
| II.3.2.4. Ajustement de la série à la loi de GUMBEL                  | 18 |
| II.3.2.5. Ajustement de la série à la loi de GEV                     | 20 |
| II.4. Choix de loi d'ajustement le plus adéquate                     | 21 |
| II.4.1. Test graphique                                               | 21 |
| II.4.2. Test d'adéquation khi carré                                  | 21 |
| II.5. Calcul des pluies et des intensités de courte durée            | 23 |
| II.5.1. Pluies de courte durée                                       | 23 |
| II.5.2. Intensités de courte durée                                   | 23 |
| Conclusion                                                           | 26 |
| <b>Chapitre III : Calcul de base</b>                                 |    |
| Introduction                                                         | 27 |
| III.1. Les systèmes d'évacuation                                     | 27 |
| III.1.1. Système unitaire                                            | 28 |
| III.1.2. Système séparatif                                           | 29 |
| III.1.3. Système pseudo-séparatif                                    | 31 |
| III.2. Facteurs du Choix du système d'assainissement                 | 32 |
| III.3. Les schémas d'évacuation                                      | 33 |
| III.3.1. Le schéma perpendiculaire                                   | 33 |
| III.3.2. Schéma d'équipement par déplacement latéral                 | 33 |
| III.3.3. Schéma d'équipement radial                                  | 34 |
| III.3.4. Schéma par zones étagées                                    | 34 |
| III.4. Choix du schéma d'évacuation                                  | 35 |
| III.5. Découpage de la superficie urbanisée en surfaces élémentaires | 35 |
| III.6. Évaluation de la population                                   | 36 |
| III.7. Estimation du coefficient de ruissellement                    | 37 |
| III.8. Calcul de la population de chaque surface élémentaire         | 40 |
| III.8.1. Calcul du coefficient de ruissellement pondéré total        | 40 |
| III.8.2. Calcul de la densité partielle                              | 40 |
| III.8.3. Calcul du nombre d'habitant de chaque surface élémentaire:  | 41 |
| Conclusion                                                           | 42 |
| <b>Chapitre IV : Évaluation des débits à évacuer</b>                 |    |
| Introduction                                                         | 43 |
| IV.1. Evaluation des débits d'eaux usées                             | 43 |
| IV.1.1. Généralités                                                  | 43 |
| IV.1.2. Nature des eaux usées à évacuer                              | 43 |
| IV.1.2.1. Les eaux usées d'origine domestique                        | 43 |
| IV.1.2.2. Eaux des services publics                                  | 44 |
| IV.1.2.3. Eaux usées industrielles                                   | 44 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.1.2.4. Eaux usées des équipements publics et commerciaux                | 45 |
| IV.1.3. Consommation en eau potable                                        | 45 |
| IV.1.4. Estimation des débits d'eaux usées                                 | 45 |
| IV.1.5. Evaluation du débit moyen journalier                               | 45 |
| IV.2. Évaluation du débit de pointe                                        | 46 |
| IV.3. Les eaux claires parasites                                           | 47 |
| IV.4. Eaux usées de service public                                         | 49 |
| IV.5. Évaluation des débits des eaux pluviales                             | 52 |
| IV.5.1. Méthode rationnelle                                                | 52 |
| IV.5.1.1. Hypothèses de la méthode rationnelle:                            | 52 |
| IV.5.1.2. Validation de la méthode rationnelle                             | 53 |
| IV.5.1.3. Critique de la méthode rationnelle                               | 53 |
| IV.5.2. Méthode superficielle                                              | 53 |
| IV.5.2.1. Validation de la méthode superficielle                           | 55 |
| IV.6. Choix de méthode de calcul                                           | 55 |
| IV.7. Temps de concentration                                               | 56 |
| IV.8. Coefficient réducteur d'intensité                                    | 57 |
| IV.9. Estimation de débit total                                            | 61 |
| Conclusion                                                                 | 61 |
| <b>Chapitre V : Dimensionnement hydraulique du réseau d'assainissement</b> |    |
| Introduction                                                               | 62 |
| V.1. Conception du réseau                                                  | 62 |
| V.2. Dimensionnement d'un réseau d'assainissement                          | 63 |
| V.2.1. Conditions d'écoulement et de dimensionnement                       | 63 |
| V.2.2. Mode de calcul                                                      | 63 |
| Conclusion                                                                 | 65 |
| <b>Chapitre VI : Les ouvrages annexes</b>                                  |    |
| Introduction                                                               | 66 |
| VI.1. Les ouvrages principaux                                              | 66 |
| VI.2. Les canalisations                                                    | 66 |
| VI.2.1. Type de canalisations                                              | 66 |
| VI.2.2. Choix du type de canalisations                                     | 68 |
| VI.3. Les joints des conduites en béton armé                               | 68 |
| VI.4. Différentes actions supportées par la conduite                       | 70 |
| VI.5. Protection des conduites                                             | 71 |
| VI.6. Les ouvrages annexes                                                 | 72 |
| VI.6.1. Les branchements                                                   | 72 |
| VI.6.2. Ouvrages de collecte en surface                                    | 73 |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>VI.6.3. Les gargouilles</b>                                                  | <b>73</b> |
| <b>VI.6.4. Les caniveaux</b>                                                    | <b>74</b> |
| <b>VI.6.5. Les bouches d'égout</b>                                              | <b>74</b> |
| <b>VI.6.6. Regard</b>                                                           | <b>74</b> |
| <b>VI.6.6.1. Types de regards</b>                                               | <b>76</b> |
| <b>VI.7. Ouvrages spéciaux</b>                                                  | <b>77</b> |
| <b>VI.7.1. Déversoirs d'orage</b>                                               | <b>77</b> |
| <b>VI.7.1.1. Emplacement des déversoirs d'orage</b>                             | <b>77</b> |
| <b>VI.7.1.2 Types de déversoirs d'orage</b>                                     | <b>78</b> |
| <b>VI.7.1.3. Données de base pour le dimensionnement d'un déversoir d'orage</b> | <b>80</b> |
| <b>VI.7.1.4. Dimensionnement de déversoir d'orage</b>                           | <b>81</b> |
| <b>Conclusion</b>                                                               | <b>84</b> |
| <b>Chapitre VII : ORGANISATION DU CHANTIER</b>                                  |           |
| <b>Introduction</b>                                                             | <b>85</b> |
| <b>VII.1. Exécution des travaux</b>                                             | <b>85</b> |
| <b>VII.1.1. Vérification et manutention des canalisations</b>                   | <b>86</b> |
| <b>VII.1.2. Décapage de la couche de terre végétale</b>                         | <b>86</b> |
| <b>VII.1.3. Implantation des jalons (piquetage)</b>                             | <b>86</b> |
| <b>VII.1.4. Exécution des fouilles pour les regards et les tranchées:</b>       | <b>87</b> |
| <b>VII.1.4.1. Dimensionnement des tranchées en terrain naturel:</b>             | <b>87</b> |
| <b>VII.1.5. Aménagement du lit de pose:</b>                                     | <b>88</b> |
| <b>VII.1.6. Mise en place des conduits</b>                                      | <b>89</b> |
| <b>VII.1.7. Assemblage des conduites</b>                                        | <b>90</b> |
| <b>VII.1.8. Essais d'étanchéité des conduites et des joints:</b>                | <b>90</b> |
| <b>VII.1.9. Exécution des regards</b>                                           | <b>90</b> |
| <b>VII.1.9.1. Étapes de construction d'un regard</b>                            | <b>90</b> |
| <b>VII.1.9.2. Raccordement des branchements</b>                                 | <b>91</b> |
| <b>VII.1.9.3. Dimensions et structure</b>                                       | <b>92</b> |
| <b>VII.1.9.4. Équipements intérieurs</b>                                        | <b>92</b> |
| <b>VII.1.9.5. Dalle supérieure et dispositifs de fermeture</b>                  | <b>92</b> |
| <b>VII.1.10. Étapes d'exécution d'un regard</b>                                 | <b>93</b> |
| <b>VII.1.11. Boîtes de branchement</b>                                          | <b>93</b> |
| <b>VII.1.12. Exécution des déversoirs d'orage</b>                               | <b>94</b> |
| <b>VII.1.13. Remblaiement et compactage de la tranchée:</b>                     | <b>94</b> |
| <b>VII.2. Devis quantitatif estimatif</b>                                       | <b>95</b> |

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| <b>VII.2.1. Détermination des différents volumes</b>         | <b>95</b>  |
| <b>VII.3. Planification des travaux</b>                      | <b>96</b>  |
| <b>VII.3.1. Technique de la planification</b>                | <b>97</b>  |
| <b>VII.3.1.1. Méthodes basées sur le réseau</b>              | <b>97</b>  |
| <b>VII.3.1.2. Méthode basée sur le graphique</b>             | <b>98</b>  |
| <b>VII.3.2. Les étapes de la planification</b>               | <b>98</b>  |
| <b>VII.3.2.1. Collecte des informations</b>                  | <b>98</b>  |
| <b>VII.3.2.2. Décomposition du projet</b>                    | <b>98</b>  |
| <b>VII.3.2.3. Relations entre les tâches</b>                 | <b>99</b>  |
| <b>VII.3.2.4. Les paramètres de la méthode CPM</b>           | <b>99</b>  |
| <b>VII.3.2.5. Attribution des durées de chaque opération</b> | <b>100</b> |
| <b>VII.3.3. Symboles des différentes opérations</b>          | <b>101</b> |
| <b>Conclusion</b>                                            | <b>102</b> |
| <b>Conclusion général</b>                                    | <b>103</b> |
| <b>Références Bibliographiques</b>                           | <b>104</b> |
| <b>Annexes</b>                                               |            |

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I : Présentation de l'agglomération

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure I.1 :</b> La localisation géographique de la zone de BOUSSEKOUM .....  | <b>03</b> |
| <b>Figure I.2 :</b> Variation des Températures moyenne mensuelles .....          | <b>06</b> |
| <b>Figure I.3 :</b> Répartition mensuelle de la pluie moyenne (1984-2018) .....  | <b>07</b> |
| <b>Figure I.4 :</b> Variation mensuelle de l'humidité –station Ain El bey- ..... | <b>08</b> |
| <b>Figure I.5 :</b> Classification sismique des wilayas d'Algérie .....          | <b>09</b> |
| <b>Figure I.6 :</b> Situation hydrographique du sous bassin de la région .....   | <b>10</b> |

### Chapitre II: Étude hydrologique

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure II.1 :</b> Représentation graphique de la loi de Log-Normale .....                               | <b>17</b> |
| <b>Figure II.2:</b> Représentation graphique de la loi de GUMBEL .....                                     | <b>19</b> |
| <b>Figure II.3:</b> Représentation graphique de la loi de GEV .....                                        | <b>20</b> |
| <b>Figure II.4:</b> Comparaison entre les deux graphes d'ajustement de la série à l'aide du logiciel ..... | <b>22</b> |
| <b>Figure II.5:</b> Courbe intensité durée fréquence .....                                                 | <b>24</b> |

### Chapitre III: Calcul de base

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure III.1:</b> Schéma d'un réseau unitaire .....                               | <b>28</b> |
| <b>Figure III.2:</b> Schéma d'un réseau séparatif .....                              | <b>30</b> |
| <b>Figure III.3:</b> Schéma d'un réseau pseudo-séparatif .....                       | <b>31</b> |
| <b>Figure III.4:</b> Schéma d'écoulement perpendiculaire .....                       | <b>33</b> |
| <b>Figure III.5:</b> Schéma par déplacement latéral .....                            | <b>34</b> |
| <b>Figure III.6:</b> Schéma radial .....                                             | <b>34</b> |
| <b>Figure III.7:</b> Schéma du collecteur par zone étagée .....                      | <b>35</b> |
| <b>Figure III.8:</b> Diagramme de l'évolution démographique de la zone d'étude ..... | <b>37</b> |

### Chapitre IV: Évaluation des débits à évacuer

|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure IV.1:</b> Principe schématique de détermination du coefficient réducteur d'intensité B.SALAH, 2014) ..... | <b>58</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

### Chapitre VI: Les ouvrages annexes

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure VI.1 :</b> Différents types de joints .....                     | <b>70</b> |
| <b>FigureVI.2 :</b> Caniveaux à grilles .....                             | <b>74</b> |
| <b>Figure VI.3:</b> Types de bouche d'absorption des eaux pluviales ..... | <b>75</b> |
| <b>Figure VI.4:</b> Schéma de principe d'un déversoir d'orage .....       | <b>77</b> |
| <b>Figure VI.5:</b> Déversoir à seuil frontal .....                       | <b>79</b> |
| <b>Figure VI.6:</b> Déversoir d'orage à seuil latéral .....               | <b>80</b> |

## **Chapitre VII: Organisation du chantier**

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure VII.1:</b> Coupe transversale d'une tranchée avec la mise en place de la conduite | <b>88</b> |
| <b>Figure VII.2:</b> Pose de la canalisation sur terrain .....                              | <b>89</b> |

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **Chapitre I : Présentation de l'agglomération**

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau I.1:</b> variation de températures moyennes mensuelles –de la région .....       | <b>05</b> |
| <b>Tableau I.2:</b> précipitations mensuelles moyennes (station Ain El bey 1984-2018) ..... | <b>07</b> |
| <b>Tableau I.3 :</b> Les valeurs mensuelles moyennes de l'humidité de l'air.....            | <b>08</b> |

### **Chapitre II : Étude hydrologique**

|                                                                                                          |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau II.1 :</b> les coordonnées de la station climatologique de Ain El Bey, Constantine .....      | <b>14</b> |
| <b>Tableau II.2 :</b> Caractéristiques de l'échantillon .....                                            | <b>14</b> |
| <b>Tableau II.3 :</b> Résultat de l'ajustement à la loi Log-Normal .....                                 | <b>17</b> |
| <b>Tableau II.4 :</b> Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL .....                                  | <b>18</b> |
| <b>Tableau II.5:</b> Résultat de l'ajustement à la GEV .....                                             | <b>19</b> |
| <b>Tableau II.6 :</b> Test d'adéquation de la loi de GEV et la loi de Galton. ....                       | <b>20</b> |
| <b>Tableau II.7 :</b> Pluies de courte durée de différentes périodes de retour et leurs intensit. ....   | <b>22</b> |
| <b>Tableau II.8 :</b> Pluies de courte durée de différentes périodes de retour et leurs intensités ..... | <b>24</b> |

### **Chapitre III: Calcul de base**

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau III.1:</b> La découpages des surfaces élémentaires .....                                              | <b>36</b> |
| <b>Tableau III.2:</b> Estimation de l'évolution future de la population .....                                    | <b>37</b> |
| <b>Tableau III.3 :</b> Valeurs du coefficient de ruissellement selon l'occupation du sol .....                   | <b>38</b> |
| <b>Tableau III.4:</b> Valeur du coefficient de ruissellement selon la catégorie d'urbanisation .....             | <b>38</b> |
| <b>Tableau III.5:</b> valeurs du coefficient de ruissellement selon la densité de population .                   | <b>39</b> |
| <b>Tableau III.6 :</b> valeurs du coefficient de ruissellement selon la caractéristique des surfaces. ....       | <b>39</b> |
| <b>Tableau III.7:</b> du coefficient de ruissellement et du nombre d'habitant de chaque surface élémentaire..... | <b>41</b> |

### **Chapitre IV: Évaluation des débits à évacuer.**

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau IV.1:</b> Estimation des débits d'eaux parasite .....                     | <b>48</b> |
| <b>Tableau IV.2:</b> Estimation des débits des eaux usées domestiques moyennes ..... | <b>49</b> |
| <b>Tableau IV.3:</b> Déterminations des débits des eaux usées des équipements. ....  | <b>50</b> |
| <b>Tableau IV.4:</b> Estimation des débits d'eaux usées .....                        | <b>51</b> |
| <b>Tableau IV.5 :</b> valeur de coefficient réducteur d'intensité $\alpha$ .....     | <b>58</b> |
| <b>Tableau IV.6 :</b> les Valeurs typiques des paramètres .....                      | <b>59</b> |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau IV.7:</b> détermination de coefficient réducteur d'intensité.... ..    | <b>60</b> |
| <b>Tableau IV.8:</b> Calcul des débits pluviaux .....                             | <b>60</b> |
| <b>Tableau IV.9:</b> les résultats des débits totales De chaque sous bassin. .... | <b>61</b> |

## Introduction

### **Introduction :**

L'eau, ressource vitale par excellence, constitue à la fois un élément essentiel du patrimoine naturel et un maillon incontournable du cycle d'assainissement. L'assainissement regroupe l'ensemble des procédés de collecte, de transport et de traitement des eaux usées, en vue de leur épuration avant rejet dans le milieu naturel. L'absence d'un système adéquat entraîne de graves conséquences : infiltration des déchets humains dans les eaux souterraines et superficielles, contamination des sols par les matières fécales, nuisances olfactives et surtout propagation des maladies hydriques, directement liées au manque d'hygiène.

La zone d'étude, Boussekoum, extension de la commune de Ouled Rahmoune dans la wilaya de Constantine, est un espace périurbain et vierge, actuellement non équipé d'un réseau d'assainissement. Cette absence totale d'infrastructures entraîne l'existence de rejets directs dans l'environnement, aggravant les risques de pollution des sols et des eaux et exposant la population à divers problèmes sanitaires. Dans ce contexte, la conception et la réalisation d'un système d'assainissement moderne et adapté apparaissent comme une priorité indispensable pour accompagner le développement futur de la zone et garantir de meilleures conditions de vie aux habitants

Dans le cadre de ce mémoire de fin d'études, nous proposons dans un premier temps de présenter l'agglomération à travers ses caractéristiques géographiques, topographiques et hydrauliques, La suite du travail consiste à évaluer les besoins en évacuation des différentes catégories d'eaux (pluviales, domestiques et autres rejets), en tenant compte à la fois de la topographie du site et de la localisation de l'exutoire. Enfin, le système projeté intégrera des ouvrages annexes, tels qu'un déversoir d'orage, afin de garantir un fonctionnement optimal et pérenne du réseau.

**Chapitre I**

**Présentation de**

**l'agglomération**

**Introduction:**

L'étude du projet d'assainissement de la zone nord-ouest de la commune de Ouled Rahmoun exige nécessairement des données et informations qui sont indispensable au dimensionnement hydraulique de tous les ouvrages composant le système d'évacuation appelé à évacuer les effluents de toute nature confondue. Ces données et informations englobent celles de la situation géographique de ladite commune, topographiques, hydrologiques et hydrauliques.

**I.1. Présentation générale de la commune de Ouled Rahmoun:**

La commune d'Ouled Rahmoun est située géographiquement entre les méridiens de 4G 65 et 5G Est et les parallèles et les parallèles de 40G15 et 40G Nord.

De forme allongée, elle s'étend de l'est à l'ouest sur 30Km environ pour une largeur Nord-Sud n'atteignant à certains endroits que 3.5Km. Elle est constituée en plus du chef-lieu de trois agglomérations secondaires : El Guerrah, Bounouara, Ouled rahmoun

La commune d'Ouled Rahmoun est limitée :

- Au Nord par la commune d'El Khroub et la commune de Ben Badis.
- Au Sud par la Wilaya d'Oum EL Bouaghi.
- À l'Est par la commune d'Ain Abid.
- Au Sud-ouest par la Wilaya de Mila

**I.2. Présentation de la zone d'étude POS BOUSSEKOUM :**

La superficie de la zone d'étude est située au nord-est de l'agglomération chef-lieu Ouled Rahmoun sur la route nationale 10 qui mène vers la wilaya d'Oum El Bouaghi.

**I.3. La situation géographique :**

La zone est délimitée par :

**Au Sud:**

- Sud Est par chaaba et terrain vague.
- Sud-Ouest par la route nationale N°10.

**Au nord:**

- Nord Est par des terrains vagues.
- Nord-Ouest par la route nationale N°10 et des terrains vagues. (Des terrains agricoles).



**Figure I.1 :** La localisation géographique de la zone de BOUSSEKOUM

**Source :** Google EarthPro,2025

#### **I.4. Relief et topographie :**

BOUSSEKOUM possède un relief et une topographie typiques de la région des Hauts Plateaux de l'Est algérien. Ce qui suit met en évidence les caractéristiques majeures :

- **Relief légèrement accidenté:** le territoire est constitué de collines ondulées et de plaines vallonnées.
- **Altitude moyenne :** elle se situe entre 600 et 800 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui correspond du plateau constantinois
- **Présence de cuvettes et de dépression:** certaines zones sont légèrement déprimées, formant des cuvettes favorables à l'agriculture. (DPAT Constantine, 2017 ; ONS, 2011)

**Orientation des pentes:** généralement orientées nord-sud ou est-ouest, selon les micro-reliefs.

## I.5. La pédologie :

La commune de Ouled Rahmoun est influencée par plusieurs facteurs, notamment le climat, la géologie et l'hydrographie de la région. Les types de sols présents dans la région sont:

**Sols argilo-calcaires:** très répandus dans la région, ces sols sont riches en carbonate de calcium, ce qui leur confère une certaine fertilité mais aussi une sensibilité à la sécheresse en raison de leur faible capacité de rétention d'eau.

## I.6. Situation climatique :

### I.6.1. Le climat:

La zone d'étude connaît un climat méditerranéen tempéré avec des étés chauds et secs, des hivers frais et humides, et des précipitations modérées tout au long de l'année.

### I.6.2. La température :

Les températures moyennes mensuelles au voisinage du projet sont données dans le tableau I.1 ci-dessous :

**Tableau I.1:** variation de températures moyennes mensuelles –de la région

| Mois              | Sep   | Oct   | Nov   | Déc  | Jan   | Fév   | Mars | Avr   | Mai   | Juin  | Juil  | Aout  | Moy   |
|-------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Température<br>°C | 21.15 | 16.77 | 11.15 | 7.79 | 6.547 | 7.657 | 9.89 | 12.25 | 16.96 | 22.11 | 25.22 | 25.42 | 15.24 |

**Source :** ANRH Constantine

L'évolution des températures mensuelles au cours de l'année dans la région étudiée est illustrée sur la figure I.4. Les mois de juin à septembre sont les plus chauds, avec un pic de chaleur en juillet et aout atteignant 25°C. En revanche, décembre, janvier et février sont les mois les plus froids de l'année, avec des températures inférieures à 7°C.

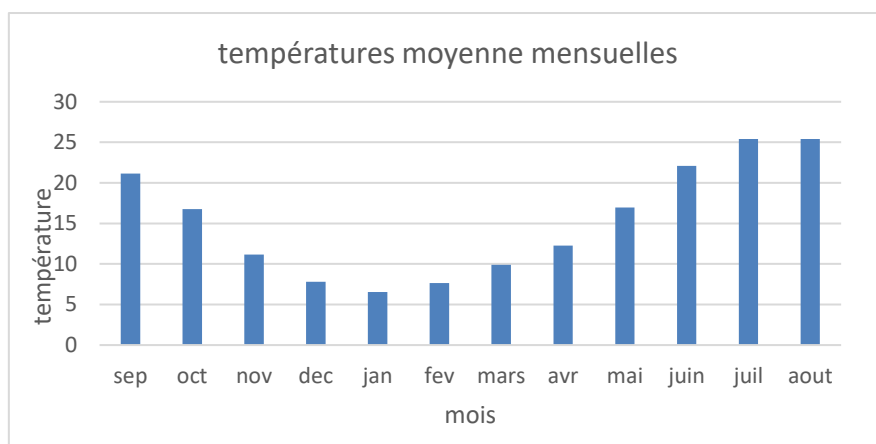


**Figure I.2 :** variation des Températures moyenne mensuelles

### I.6.3. La pluviométrie:

Les précipitations désignent l'ensemble des eaux météoriques recueillies sur un bassin versant ou une surface donnée. La hauteur de précipitation correspond à l'épaisseur de la lame d'eau qui se formerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations tombaient sous forme liquide.

En Algérie, la pluviométrie est mesurée par l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH), notamment dans la wilaya de Constantine. Les données sont enregistrées à l'aide de pluviographes, des instruments qui mesurent la lame d'eau précipitée en fonction du temps. Ces mesures permettent de tracer un pluviogramme sur une période de 24 heures, en général, le papier pluviographique utilisé présente un pas de temps de 5 minutes, une fréquence couramment adoptée en Algérie.

**Tableau I.2:** précipitations mensuelles moyennes (station Ain El bey 1984-2018)

| mois   | sep   | oct   | nov   | dec   | jan   | fev   | mars  | avr   | mai   | juin  | juil | aout  | tatal  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| P (mm) | 40.52 | 41.67 | 54.01 | 82.91 | 75.64 | 56.44 | 63.91 | 52.49 | 42.39 | 17.51 | 4.55 | 10.37 | 542.41 |
| P(%)   | 7.47  | 7.68  | 9.96  | 15.29 | 13.95 | 10.41 | 11.78 | 9.68  | 7.82  | 3.23  | 0.84 | 1.91  | 100    |

**Source :** ANRH Constantine

En analysant les données de la station de Ain El bey, on remarque bien que les mois les plus pluvieux sont décembre, janvier, mars et novembre et les mois les plus secs sont juillet et aout.

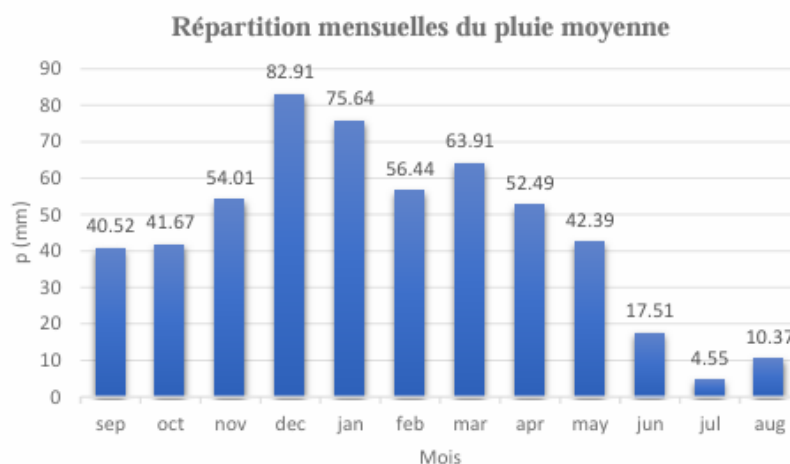


**Figure I.3 :** répartition mensuelle de la pluie moyenne (1984-2018)

La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 542 mm, ce qui confirme le climat semi-aride à tendance humide en hiver

#### I.6.4. L'humidité:

Le taux d'humidité de la zone d'étude a été analysé à partir des données enregistrées par la station de Ain El bey.

**Tableau I.3 :** Les valeurs mensuelles moyennes de l'humidité de l'air

| Mois | Sep    | Oct  | Nov  | Déc  | Jan  | Fév | Mars | Avril | Mai  | Juin | Juil | aout | moy |
|------|--------|------|------|------|------|-----|------|-------|------|------|------|------|-----|
| H %  | 63.106 | 70.1 | 72.9 | 77.5 | 77.4 | 75  | 73.6 | 71.8  | 67.2 | 58.8 | 47.4 | 51.2 | 67  |

**Source :** ANRH Constantine

Cette distribution montre une humidité plus élevée en hiver (jusqu'à 77.5% en décembre) et une baisse significative en été, notamment en juillet (47.4%). Cela confirme un pouvoir évaporant plus important durant la saison chaude, ce qui est un facteur clé à prendre en compte dans la gestion des ressources hydriques.

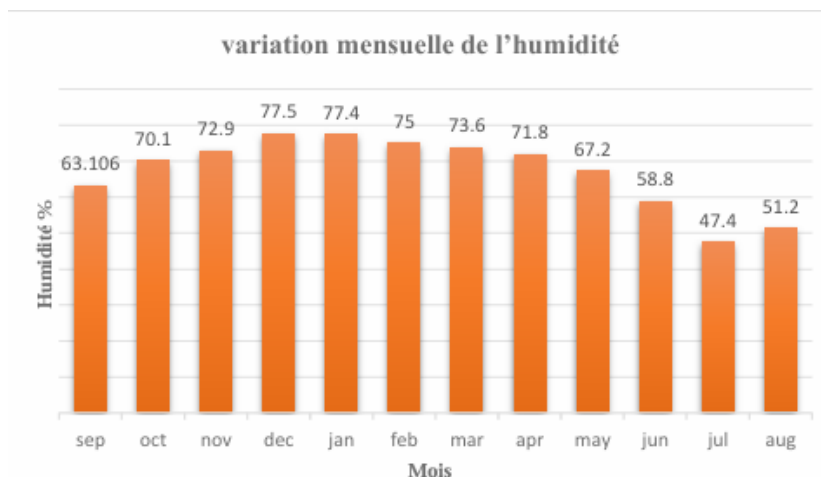


**Figure I.4:** variation mensuelle de l'humidité –station Ain El bey-

## **I.7. Situation géologique :**

### **I.7.1. La géologie:**

La géologie de la zone d'étude est dominée par des formations sédimentaires d'âges secondaire et tertiaire, principalement composées de calcaires, marnes, grès et argiles. Cette structure résulte de l'orogénèse alpine, à l'origine des plissements et failles qui caractérisent la région. Au nord, on observe des reliefs karstiques, tandis que le sud présente des terrains plus plats et argilo-calcaires, favorables à l'agriculture. Cette diversité géologique influence fortement le relief, les sols et les ressources en eau de la région. (SERVICE GÉOLOGIQUE DE L'ALGÉRIE, 2002 ; DJEBAILI, 1984)

### **I.7.2. Hydrogéologie:**

La wilaya de Constantine repose sur plusieurs nappes phréatiques et profondes, principalement contenues dans des formations calcaires karstiques au nord et alluviales ou marneuses au sud. La nappe du crétacé, bien développée, présente un bon potentiel en eau. Les oueds, comme Oued Rhumel, contribuent à la recharge des nappes. Toutefois, la surexploitation et la variabilité climatique menacent l'équilibre de ces ressources.

### **I.7.3. Sismicité :**

La région étudiée est située dans une zone de sismicité modérée, liée à l'activité tectonique de la région tellienne. Bien qu'elle ne soit pas parmi les zones les plus actives d'Algérie, elle reste exposée à des secousses légères à moyennes, en raison de failles

régionales encore actives. Des tremblements de terre y ont été enregistrés par le passé, mais leur intensité reste généralement faible à modérée.

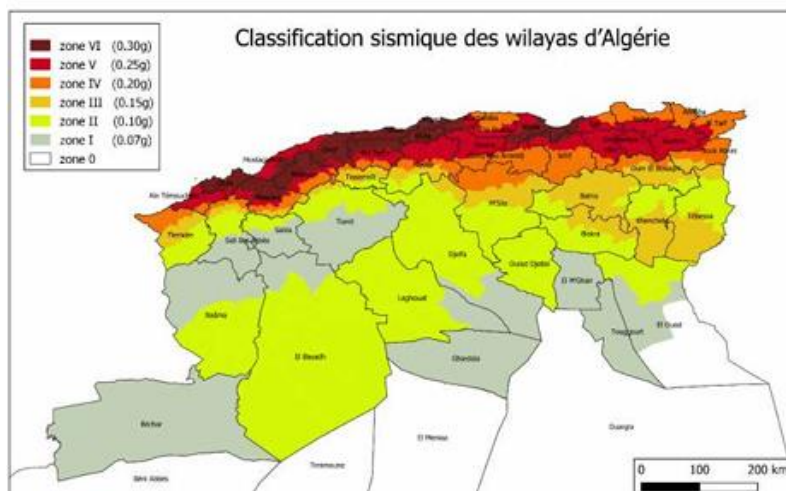
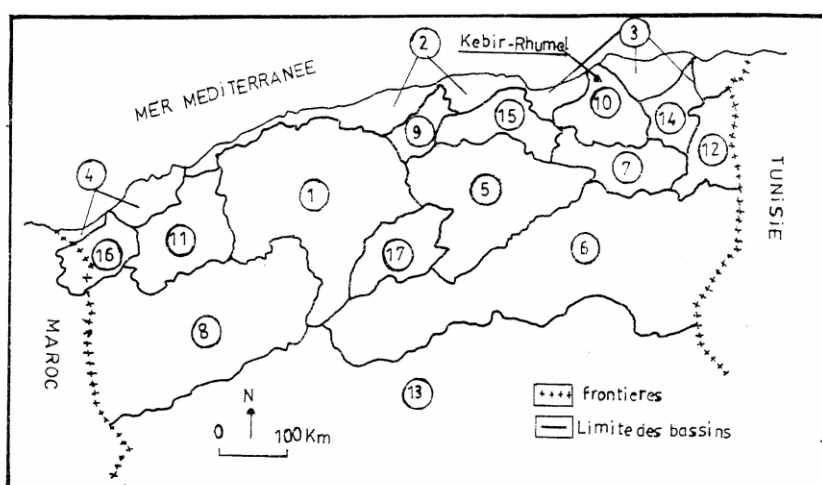


**Figure I.5:** Classification sismique des wilayas d'Algérie

Source : RPA, 2024

## I.8. Etude hydrographique :

Selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) la commune de Ouled Rahmoun appartient au grand bassin versant de Kabîr Rhumel (Code 10), elle se situe dans le sous bassin (Code 10-5-Oued Bumerzoug).



1-Cheliff, 2-cotiers algerois, 3-cotiers constantinois, 4-cotier oranais, 5-Chott hodna  
6-Chott melhir , 7-Hauts plateaux constantinois , 8-hauts plateau oranais , 9-Isser  
10-Kebir-Rumel, 11-macta, 12-medjerdah, 13-sahra, 14-seybouse, 15-soummam  
16-Tafna , 17-zahrez

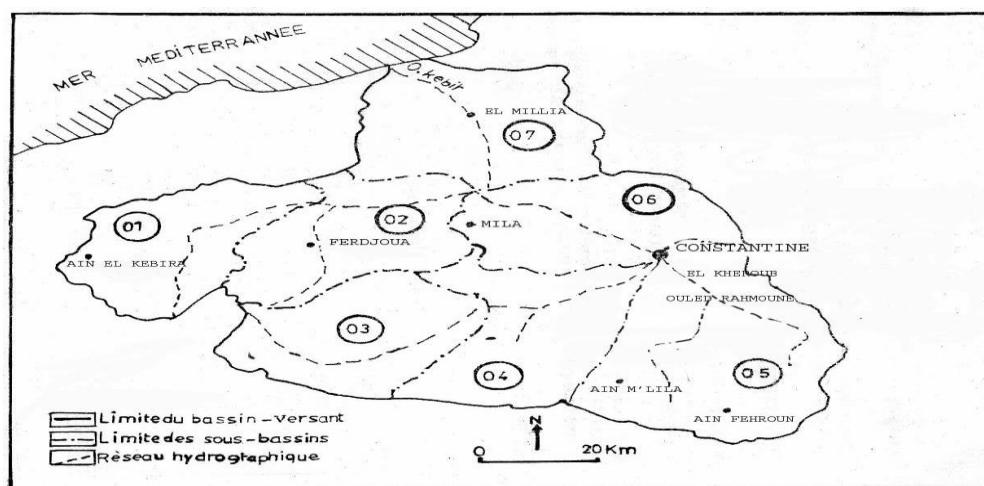


**Figure I.6 :** Situation hydrographique du sous bassin de la région

### I.9. La situation hydraulique :

La zone étudiée se situe en périphérie urbaine. En raison de son caractère encore peu urbanisé, elle ne dispose pas, à ce jour, d'un réseau d'alimentation en eau potable (AEP) ni d'un système d'assainissement structuré.

### Conclusion

La présentation de la zone d'étude a permis de rassembler les informations géographiques, climatiques, géologiques et socio-démographiques nécessaires à la compréhension du contexte. Ces éléments représentent un préalable indispensable à la définition des choix techniques et à l'orientation des étapes ultérieures du projet.

# **Chapitre II**

## **Étude hydrologique**

**Introduction :**

Le rôle principal d'un système d'assainissement est de protéger les agglomérations contre les inondations. Il est donc essentiel de bien connaître la pluviométrie d'une région avant de procéder au dimensionnement du réseau d'assainissement.

L'étude hydrologique permet de déterminer l'intensité pluviométrique adéquate, en se basant sur une série de pluies maximales journalières et une période de retour choisie avec rigueur. Ces données doivent être soigneusement sélectionnées et traitées afin d'aboutir à un dimensionnement à la fois économique et capable de drainer efficacement les eaux usées et de ruissellement.

**II.1. Choix de la période de retour :**

Le temps de retour correspond à la période nécessaire avant qu'une averse d'une intensité spécifique ne se reproduise. Il est déterminé à la suite d'une étude technico économique visant à équilibrer les coûts de construction de réseau d'assainissement avec ceux liés à son entretien. Dans les zones fortement urbanisées, les projets d'assainissement prennent en compte la dimension des collecteurs principaux, ce qui implique l'utilisation de temps de retour plus longs, généralement compris entre 20 et 50 ans, afin d'estimer les débits maximaux. En Algérie, une période de retour de dix ans ( $T = 10$ ) ans est le plus souvent retenue pour ce type de calcul.

**II.2. Détermination de l'intensité moyenne de précipitation :**

Lors de la conception des réseaux d'assainissement, des systèmes de drainage ou encore des dispositifs de lutte contre l'érosion, il est crucial d'évaluer l'intensité moyenne maximale des précipitations. A intensité égale, les pluies qui provoquent les débits les plus élevés à un point donné du réseau sont celles dont la durée est au moins équivalente au temps que met l'eau pour atteindre ce point, appelé temps de concentration.

L'ingénieur chargé du projet doit donc déterminer, pour chaque point du réseau, l'intensité moyenne maximale correspondant à un intervalle de temps  $\Delta t$ . Cette intensité doit être estimée en fonction de la période de retour choisie (10, 20, ou 50), c'est – à – dire la fréquence à laquelle une telle intensité est susceptible d'être atteinte ou dépassée.

Ainsi, l'analyse des événements pluvieux nécessite le calcul des intensités moyennes maximales pour plusieurs valeurs de l'intervalle de référence  $\Delta t$ , réparties de manière échelonné.

La moyenne d'intensité est calculé en fonction de la quantité d'eau tombée pendant une période donnée :

Soit : 
$$I_{\text{moy maximale}} = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

L'évaluation de l'intensité des précipitations repose sur une démarche structurée en plusieurs étapes :

- **Analyser les données de précipitations** disponibles et sélectionner la loi statistique la plus appropriée pour modéliser ces données avec précision.
- **Déterminer les paramètres** de la loi choisie en s'appuyant sur les informations historiques et les relevés pluviométriques.
- **Calculer l'intensité moyenne des précipitations**, en appliquant les résultats issus de l'analyse statistique.

### II.3. Analyse des données pluviométriques et le choix du type de loi d'ajustement :

#### II.3. 1. Analyse statistique des données pluviométriques:

Pour mener une étude des précipitations dans le cadre de projets d'assainissement, il est indispensable de disposer d'une série de données représentant les hauteurs maximales de précipitations journalières sur la plus longue période possible.

La station climatologique la plus proche et la plus représentative est la station de Ain El Bey, située à proximité de la ville de Constantine qui recèlent des données fiables caractérisent les conditions climatiques dans la zone d'étude.

Les caractéristiques de cette station sont présentées dans le tableau :

**Tableau II.1** : les coordonnées de la station climatologique de Ain El Bey, Constantine

| Station    | Code    | latitude | Longitude | Altitude (m) | Période (année) |
|------------|---------|----------|-----------|--------------|-----------------|
| Ain El Bey | 6041900 | 36.28 °N | 06.62 E   | 694          | 1970- 2021      |

Pour la station choisie, on dispose d'une série de données comportant les précipitations max journaliers pour 51 années d'observation ; les valeurs de cette série sont reportées dans le tableau:

**Tableau II.2:** précipitation maximales journalières

| Année | Pjmax (mm) | Année | Pjmax (mm) | Année | Pjmax (mm) |
|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| 1970  | 31.4       | 1990  | 40.5       | 2010  | 40.9       |
| 1971  | 43         | 1991  | 55.6       | 2011  | 38.1       |
| 1972  | 46.8       | 1992  | 72.3       | 2012  | 27.9       |
| 1973  | 41.6       | 1993  | 53.2       | 2013  | 39.1       |
| 1974  | 24.6       | 1994  | 63.9       | 2014  | 26.9       |
| 1975  | 31         | 1995  | 37.8       | 2015  | 98         |
| 1976  | 40         | 1996  | 29.2       | 2016  | 35.1       |
| 1977  | 70.6       | 1997  | 39.6       | 2017  | 32         |
| 1978  | 21.8       | 1998  | 49.8       | 2018  | 54.1       |
| 1979  | 60.9       | 1999  | 36.1       | 2019  | 39.9       |
| 1980  | 35         | 2000  | 35         | 2020  | 18         |
| 1981  | 64         | 2001  | 55.1       | 2021  | 15         |
| 1982  | 31.8       | 2002  | 61.1       |       |            |
| 1983  | 29.9       | 2003  | 36.7       |       |            |
| 1984  | 102.5      | 2004  | 88.8       |       |            |
| 1985  | 29.1       | 2005  | 31         |       |            |
| 1986  | 49.1       | 2006  | 35.1       |       |            |
| 1987  | 28         | 2007  | 81         |       |            |
| 1988  | 49.6       | 2008  | 33.6       |       |            |
| 1989  | 37.6       | 2009  | 65.6       |       |            |

Source : ANRH, Constantine

### II.3.2. Ajustement statistique des précipitations journalières maximales :

Étant donné que la pluie constitue le principal facteur déclencheur des crues exceptionnelles, l'estimation des débits de pointe peut s'appuyer sur l'analyse statistique des précipitations extrêmes.

Cette approche permet de résumer les informations hydrologiques issues de longues séries de mesures à l'aide de quelques paramètres représentatifs du phénomène étudié. Elle repose sur la modélisation mathématique des données observées.

Le principal enjeu réside dans le choix d'un modèle probabilistes capable de représenter au mieux la série expérimentale, autrement dit, de réaliser un ajustement théorique satisfaisant (Ph. Bois, Ch. Obled et I. Zin, 2007).

Dans ce cadre, l'analyse débute par l'ajustement des données observées des précipitations journalières maximales. L'objectif est d'identifier la loi de probabilité offrant la meilleure adéquation à l'échantillon composite. Plusieurs lois statistiques ont été testées, avec une attention particulière portée à la loi de Gumbel, la loi Log Normal et la loi de GEV.

#### II.3.2.1. Procédure d'ajustement :

Soit une série d'observation, où  $x_i$  représente la valeur observée de la variable aléatoire pour la  $i$ -ème donnée. L'ajustement statistique se déroule selon les étapes suivantes :

**a) Classement des données :**

Trier la série d'observations par ordre croissant.

**b) Attribution du rang et calcul des fréquences :**

Associer à chaque valeur son rang  $i$  (variant de 1 à  $N$ , le nombre total d'observations), puis calculer la fréquence expérimentale correspondante

**c) Calcul des caractéristiques empiriques :**

Déterminer les principaux paramètres statistiques de la série : moyenne, écart-type, coefficient de variation, etc.

**d) Ajustement graphique :**

Tracer les données sur un papier de probabilité ou un graphique adapté, afin de visualiser la pertinence de l'ajustement à la loi théorique choisie.

**e) Détermination des quantiles et des intervalles de confiance :**

Calculer les quantiles correspondant à différentes périodes de retour (par exemple 10, 50, 100 ans) ainsi que leur intervalle de confiance, afin d'évaluer la fiabilité des estimations.

**II.3.2.2. Les caractéristiques empiriques:**

- La somme des précipitations maximales journalières durant 51 ans d'observation

$$\sum_{i=1}^N x_i = 2334.3 \text{ mm}$$

$x_i$  : précipitation maximale journalière de l'année  $i$

- La moyenne des précipitations maximales journalières

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = \frac{2334.3}{51} = 44.89 \text{ mm}$$

$\bar{x}$  moyenne des précipitations maximales journalières

$x_i$  précipitation maximale journalière de l'année  $i$

$N$  le nombre d'années d'observation  $N=51$

- L'écart type  $\sigma_x$

Pour  $> 30$  ans on a

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} = 19.3$$

- Le coefficient de variation  $C_v$

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} = 0.43$$

Les caractéristiques de la série pluviométrique sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau II.3 :** Caractéristiques de l'échantillon

| Paramètre de l'échantillon    | Valeur |
|-------------------------------|--------|
| Nombre d'années d'observation | 51     |
| Valeur maximale (mm)          | 103    |
| Valeur minimale (mm)          | 15     |
| Médiane (mm)                  | 39.4   |
| Moyenne (mm)                  | 44.89  |
| Écart-type                    | 19.3   |
| Coefficient de variation      | 0.429  |

### II.3.2.3. Ajustement à la loi Log Normale (loi de GALTON):

L'ajustement de la série de données à la loi Log Normale a été réalisé à l'aide du logiciel HYFRAN. Les principaux résultats issus de cette analyse sont synthétisés ci-dessous :

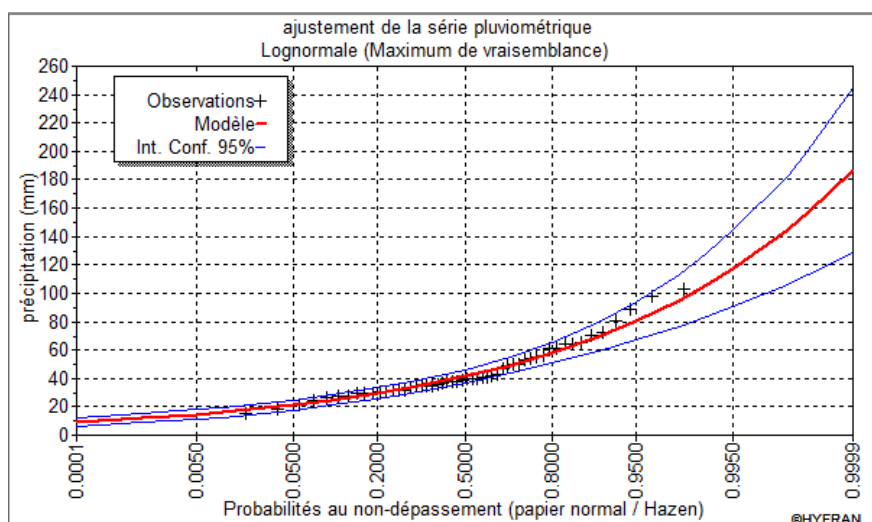
**Figure II.1 :** Représentation graphique de la loi de Log-Normale

**Tableau II.4 :** Résultat de l'ajustement à la loi Log-Normal

| Période de retour | Probabilité de fréquence | Pmaxj | Écart-type | Intervalle de confiance |
|-------------------|--------------------------|-------|------------|-------------------------|
| 10000             | 0.9999                   | 186   | 29.7       | 128 – 245               |
| 2000              | 0.9995                   | 157   | 22.5       | 113 – 291               |
| 1000              | 0.9990                   | 144   | 19.6       | 106 – 183               |
| 200               | 0.9950                   | 117   | 13.8       | 90.3 – 144              |
| 100               | 0.9900                   | 106   | 11.5       | 83.4 – 129              |
| 50                | 0.9800                   | 95    | 9.46       | 76.4 – 114              |
| 20                | 0.9500                   | 80.5  | 6.97       | 66.8 – 94.2             |
| 10                | 0.9000                   | 69.5  | 5.29       | 59.1 – 79.9             |
| 05                | 0.8000                   | 58.2  | 3.81       | 50.7 – 65.6             |
| 03                | 0.6667                   | 49.2  | 2.89       | 43.6 – 54.9             |
| 02                | 0.5000                   | 41.4  | 2.32       | 36.8 – 45.9             |

#### II.3.2.4. Ajustement de la série à la loi de GUMBEL :

L'ajustement de la série de données à la loi de GUMBEL a été réalisé à l'aide du logiciel HYFRAN. Les principaux résultats issus de cette analyse sont synthétisés ci-dessous :

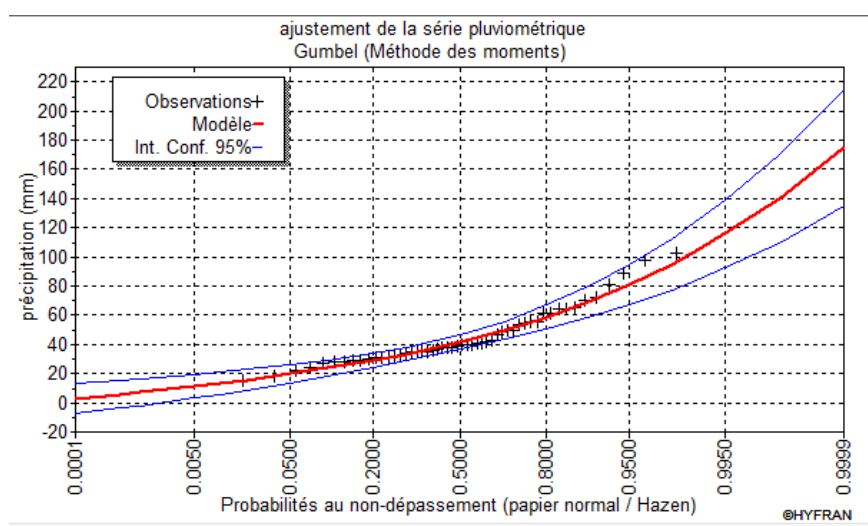


**Figure II.2 :** Représentation graphique de la loi de GUMBEL

**Tableau II.5 :** Résultat de l'ajustement à la loi de GUMBEL

| Période de retour | Probabilité de fréquence | Pmaxj | Écart-type | Intervalle de confiance |
|-------------------|--------------------------|-------|------------|-------------------------|
| 10000             | 0.9999                   | 175   | 20.4       | 135 - 215               |
| 2000              | 0.9995                   | 150   | 17.0       | 117 - 184               |
| 1000              | 0.9990                   | 140   | 15.5       | 110 - 170               |
| 200               | 0.9950                   | 116   | 12.0       | 92.3 - 139              |
| 100               | 0.9900                   | 105   | 10.5       | 84.8 - 126              |
| 50                | 0.9800                   | 94.9  | 9.00       | 77.2 - 113              |
| 20                | 0.9500                   | 80.9  | 7.05       | 67.0 - 94.7             |
| 10                | 0.9000                   | 70.0  | 5.58       | 59.1 - 81.0             |
| 05                | 0.8800                   | 58.8  | 4.13       | 50.7 - 66.9             |
| 03                | 0.6667                   | 49.8  | 3.12       | 43.7 - 55.9             |
| 02                | 0.5000                   | 41.7  | 2.45       | 36.9 - 46.5             |

### II.3.2.5. Ajustement de la série à la loi de GEV:

L'ajustement de la série de données à la loi de GEV a été effectué à l'aide du logiciel HYFRAN. Les principaux résultats obtenus à l'issue de cette analyse sont présentés ci-dessous.

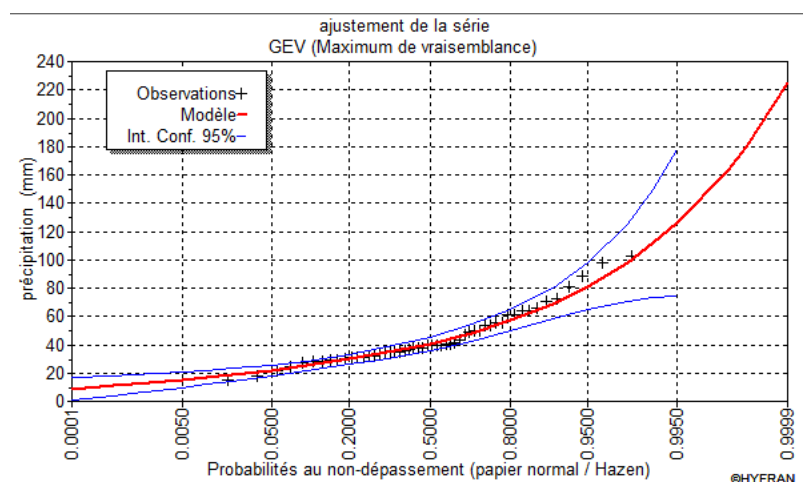


**Figure II.3:** Représentation graphique de la loi de GEV

**Tableau II.6:** Résultat de l'ajustement à la GEV

| Période de retour | Probabilité de fréquence | Pmaxj | Écart-type | Intervalle de confiance |
|-------------------|--------------------------|-------|------------|-------------------------|
| 200               | 0.9950                   | 126   | 26.4       | 74.1 - 178              |
| 100               | 0.9900                   | 112   | 19.5       | 73.4 - 150              |
| 50                | 0.9800                   | 98.1  | 13.9       | 70.8 - 125              |
| 20                | 0.9500                   | 81.2  | 8.48       | 64.6 - 97.8             |
| 10                | 0.9000                   | 69.1  | 5.66       | 58.0 - 80.2             |
| 05                | 0.8000                   | 57.3  | 3.82       | 49.8 - 64.8             |
| 03                | 0.6667                   | 48.4  | 2.93       | 42.7 - 54.2             |
| 02                | 0.5000                   | 40.9  | 2.38       | 36.2 - 45.5             |

## II.4. Choix de loi d'ajustement le plus adéquate:

Pour appliquer une loi d'ajustement à un échantillon de données, il est indispensable de vérifier au préalable les conditions d'homogénéité et de stationnarité. Dans le cadre de cette étude, trois lois de probabilité ont été considérées comme modèles d'ajustement : la loi de **Gumbel**, la loi de **Galton (log-normale)** et la loi **GEV**. Le choix de la loi la plus représentative repose d'abord sur une analyse graphique de l'ajustement, complétée par un test de dispersion. L'examen de la disposition des points sur le papier de probabilité permet ainsi de juger de la pertinence de chaque loi et de décider de son acceptation ou de son rejet.

### II.4.1. Test graphique:

Ce test repose sur l'observation visuelle des courbes d'ajustement. Il consiste à analyser la disposition des points sur le papier de probabilité et à vérifier si ceux-ci présentent un alignement satisfaisant, sans déviations marquées ni courbures anormales.

### II.4.2. Test d'adéquation khi carré:

D'après les graphes, il apparaît que la série de données pluviométriques s'ajuste convenablement aux lois de GEV et Log Normale. Cependant, pour identifier la loi qui représente le mieux les données, il est nécessaire de recourir à un test d'adéquation, en l'occurrence le test du khi deux.

Également connu sous le nom de test de Pearson, ce test permet d'évaluer la compatibilité d'une loi statistique avec un échantillon de taille  $N$ , en comparant les valeurs observées et théoriques du  $\chi^2$ . Un seuil de signification  $\alpha = 5\%$  est fixé, et la décision dépend du nombre de degrés de liberté associés à la loi. Si la probabilité  $P(\chi^2)$  est supérieure à 0.05, l'hypothèse nulle  $H_0$ , selon laquelle la loi testée est adaptée aux données, est acceptée, dans le cas contraire,  $H_0$  est rejetée.

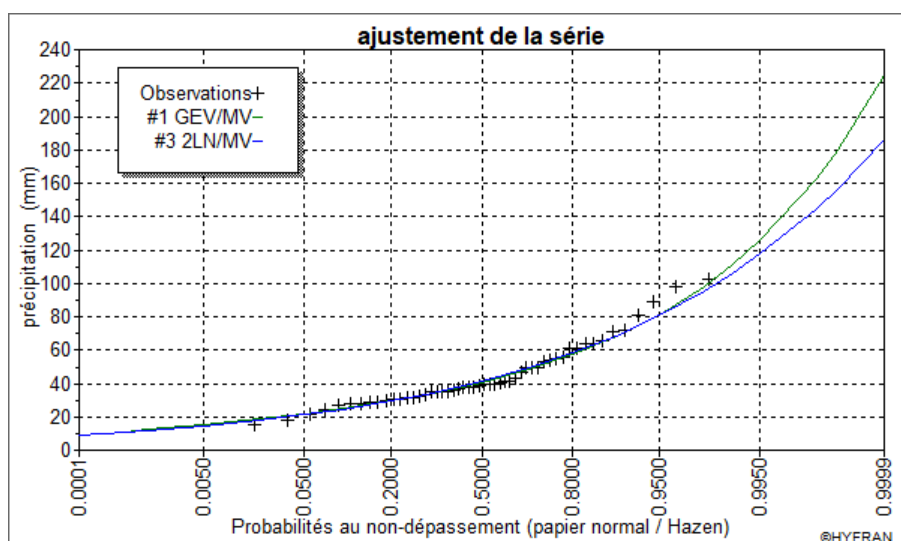
La démarche suivie pour le calcul du  $\chi^2$  théorique et du  $\chi^2$  empirique est la suivante

- Le  $\chi^2$  empirique est calculé à l'aide du logiciel HYFRAN
- Le  $\chi^2$  théorique est déterminé à partir de la table de Pearson, en fonction de la probabilité  $\alpha = 0.05$  et du nombre de degré de liberté.

Les résultats sont exposés dans le tableau suivant :

**Tableau II.7 :** Test d'adéquation de la loi de GEV et la loi de Galton..

| Loi de distribution | Nombre de classe | Degré de liberté | $\chi^2$ théorique | $\chi^2$ calculé |
|---------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Log Normal          | 9                | 6                | 12.5916            | 5.81             |
| GEV                 | 9                | 5                | 11.0705            | 7.19             |

**Figure II.4:** Comparaison entre les deux graphes d'ajustement de la série à l'aide du logiciel

Dans les deux cas, les points sont très proches de la droite théorique, ce qui indique une bonne convergence.

On en conclut qu'une loi est bien ajustée lorsque la valeur du  $\chi^2$  calculé est inférieure à celle du  $\chi^2$  théorique.

Dans notre étude, l'application du test du khi-deux a montré que les deux lois sont compatibles avec les données. Toutefois, en combinant l'analyse visuelle et les résultats du test, la loi de GEV s'est révélée être celle qui s'ajuste le mieux à notre série de données.

## II.5. Calcul des pluies et des intensités de courte durée:

### II.5.1. Pluies de courte durée:

À partir des données relatives aux pluies annuelles et journalières maximales issues du rapport d'analyse fréquentielle des précipitations en Algérie, le calcul des pluies de courte durée est effectué à l'aide de la formule de K. Body (1981), appliquée pour une période de 24 heures et pour différentes fréquences

$$P_{cd} = P_{jmax\ p\%} \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

$P_{cd}$  : pluie de courte durée mm

$P_{jmax\ p\%}$  : pluie maximale journalière pour chaque fréquence mm

$t$  : durée en heure

$b$ : exposant climatique de la région ( $b=0.3$ ), il est donné par l'ANRH.

### II.5.2. Intensités de courte durée:

Les intensités maximales de durée  $h$  et période de retour  $T$  ans sont calculées par la relation

$$I_{t, p\%} = P_{t, p\%} \frac{P_{t, p\%}}{t}$$

Les calculs et les graphiques sont résumés dans le tableau ci-dessous :

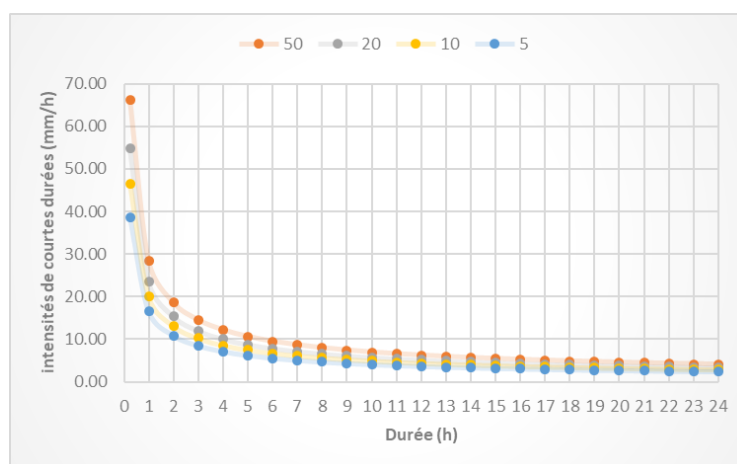


**Figure II.5:** Courbe intensité durée fréquent

**Tableau II.8 :** Pluies de courte durée de différentes périodes de retour et leurs intensités

| period de retour | 50       |           | 20       |           | 10       |           | 5        |           |
|------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| duree (h)        | pcd (mm) | Ic (mm/h) | pcd (mm) | Ic (mm/h) | pcd (mm) | Ic (mm/h) | pcd (mm) | Ic (mm/h) |
| 0.25             | 16.54    | 66.17     | 13.69    | 54.77     | 11.65    | 46.61     | 9.66     | 38.65     |
| 1                | 28.40    | 28.40     | 23.51    | 23.51     | 20.01    | 20.01     | 16.59    | 16.59     |
| 2                | 37.22    | 18.61     | 30.81    | 15.40     | 26.22    | 13.11     | 21.74    | 10.87     |
| 3                | 43.60    | 14.53     | 36.09    | 12.03     | 30.71    | 10.24     | 25.47    | 8.49      |
| 4                | 48.77    | 12.19     | 40.37    | 10.09     | 34.36    | 8.59      | 28.49    | 7.12      |
| 5                | 53.21    | 10.64     | 44.04    | 8.81      | 37.48    | 7.50      | 31.08    | 6.22      |
| 6                | 57.13    | 9.52      | 47.29    | 7.88      | 40.24    | 6.71      | 33.37    | 5.56      |
| 7                | 60.67    | 8.67      | 50.22    | 7.17      | 42.74    | 6.11      | 35.44    | 5.06      |
| 8                | 63.91    | 7.99      | 52.90    | 6.61      | 45.02    | 5.63      | 37.33    | 4.67      |
| 9                | 66.92    | 7.44      | 55.39    | 6.15      | 47.14    | 5.24      | 39.09    | 4.34      |
| 10               | 69.72    | 6.97      | 57.71    | 5.77      | 49.11    | 4.91      | 40.73    | 4.07      |

|    |       |      |       |      |       |      |       |      |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 11 | 72.37 | 6.58 | 59.90 | 5.45 | 50.97 | 4.63 | 42.27 | 3.84 |
| 12 | 74.86 | 6.24 | 61.97 | 5.16 | 52.73 | 4.39 | 43.73 | 3.64 |
| 13 | 77.24 | 5.94 | 63.93 | 4.92 | 54.40 | 4.18 | 45.11 | 3.47 |
| 14 | 79.50 | 5.68 | 65.81 | 4.70 | 56.00 | 4.00 | 46.44 | 3.32 |
| 15 | 81.67 | 5.44 | 67.60 | 4.51 | 57.53 | 3.84 | 47.70 | 3.18 |
| 16 | 83.75 | 5.23 | 69.32 | 4.33 | 58.99 | 3.69 | 48.92 | 3.06 |
| 17 | 85.76 | 5.04 | 70.98 | 4.18 | 60.40 | 3.55 | 50.09 | 2.95 |
| 18 | 87.69 | 4.87 | 72.58 | 4.03 | 61.77 | 3.43 | 51.22 | 2.85 |
| 19 | 89.56 | 4.71 | 74.13 | 3.90 | 63.08 | 3.32 | 52.31 | 2.75 |
| 20 | 91.37 | 4.57 | 75.63 | 3.78 | 64.36 | 3.22 | 53.37 | 2.67 |
| 21 | 93.12 | 4.43 | 77.08 | 3.67 | 65.59 | 3.12 | 54.39 | 2.59 |
| 22 | 94.83 | 4.31 | 78.49 | 3.57 | 66.79 | 3.04 | 55.39 | 2.52 |
| 23 | 96.49 | 4.20 | 79.86 | 3.47 | 67.96 | 2.95 | 56.36 | 2.45 |
| 24 | 98.10 | 4.09 | 81.20 | 3.38 | 69.10 | 2.88 | 57.30 | 2.39 |

on a la formule suivante de MONTANARD :

$$I_{t(15 \text{ min})}(\mathbf{p} \%) = I_{24}(\mathbf{p} \%) \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1}$$

Où :

$I_{t(15 \text{ min})}(\mathbf{p} \%)$  : intensité moyenne de précipitation pour une averse de fréquence ( $\mathbf{p} \%$ ).

$I_{24}(\mathbf{p} \%)$  : intensité moyenne de précipitation pour une journée de fréquence ( $\mathbf{p} \%$ ) donné.

$\mathbf{t}$  : durée de l'averse en heure,  $t=0.25\text{h} = 15\text{min}$  pour une période de retour de 10 ans.

$\mathbf{b}$  : exposant climatique de la région ( $b=0.3$ ), il est donné par l'ANRH.

Pour l'estimation de notre intensité, nous n'admissions qu'une averse ayant lieu une fois tous les 10 ans durant 15 min, peut-être la valeur optimale

Nous aurons donc:

$$I_{t(15 \text{ min})}(10 \%) = I_{24}(10 \%) \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} = \frac{p(10 \%)}{24} \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1}$$

D'après la loi de GEV:

$$I_{t(15 \text{ min})}(10 \%) = \frac{69.1}{24} \left(\frac{0.25}{24}\right)^{0.3-1} = \mathbf{70.28 \text{ mm/h}}$$

**Alors**

$$\mathbf{I = 70.69 \left(\frac{10000}{3600}\right) = 195.22 \text{ l/s/ha}}$$

### **Conclusion:**

L'étude hydrologique nous a permis de déterminer l'intensité moyenne maximale des précipitations. A partir des résultats obtenus par l'ajustement de la série pluviométrique a la loi de GEV, nous avons pu établir que :

$$\mathbf{I = 195.22 \text{ l/s/ha}}$$

# **Chapitre III**

## **Calcul de base**

## Introduction :

Ce chapitre est destiné à faire un calcul préliminaire ayant pour objectif l'élaboration de certains paramètres qui nous serviront comme paramètres fondamentaux pour l'estimation de la population à l'horizon de calcul afin d'estimer le débit des effluents domestiques. L'estimation de certains paramètres liés à l'estimation des débits pluviaux sont également à considérer. Ces derniers exigent à leur tour un découpage adéquat des surfaces urbanisées afin d'estimer d'une façon plus rapprochée les paramètres directes d'estimation de ces débits pluviaux. Cette initiation nous conduit au bon dimensionnement du système d'évacuation.

### III.1. Les systèmes d'évacuation :

Un système d'évacuation des eaux regroupe l'ensemble des dispositifs et équipement conçus pour collecter, traiter et éliminer les eaux usées ainsi que les déchets solides, dans le but de préserver l'environnement et de protéger la santé publique. Il existe plusieurs types de systèmes, notamment collectifs et individuels, dont l'installation est strictement encadrée afin d'assurer leur efficacité et leur sécurité.

Lors de la conception d'un réseau d'assainissement en milieu urbain, deux éléments essentiels doivent être pris en compte

- La gestion des eaux pluviales afin de limiter les risques d'inondation et de préserver es milieux naturels
- L'assainissement non collectif pour assurer une élimination appropriée des eaux usées en respectant les normes en vigueur et en choisissant les solutions les plus adaptées.

La mise en place d'un réseau d'assainissement doit répondre à deux principales exigences :

**Assurer une évacuation efficace des eaux pluviales afin** de prévenir l'inondation des zones urbanisées et d'éviter toute stagnation d'eau après les précipitations

**Garantir l'évacuation des eaux usées domestiques** comprenant les eaux ménagères, les eaux de vannes, ainsi que les effluents industriels.

L'évacuation des eaux peut s'effectuer soit sous pression à l'aide d'ouvrages spécifiques, soit par gravité, en fonction de la topographie et de la nature du sol.

Différents systèmes d'évacuation peuvent ainsi être envisagés selon les besoins et les contraintes du site.

On distingue:

### III.1.1. Système unitaire:

Ce système permet l'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales dans un même collecteur, il en résulte donc des ouvrages d'évacuation et d'épuration beaucoup plus importants. Ce système est pratique car il nécessite qu'un seul branchement par l'habitation. Ce système est généralement surdimensionné pour l'évacuation des pointes des eaux pluviales, le fonctionnement de la station d'épuration est compromis par l'arrivée des eaux de différentes origines avec une composition différente

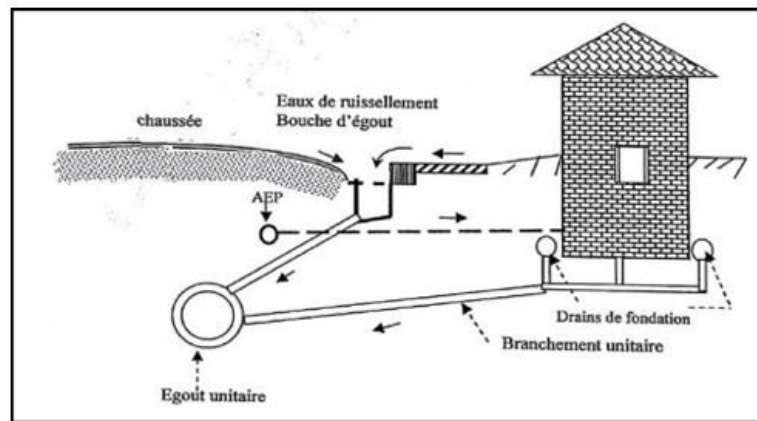


**Figure III.1:** Schéma d'un réseau unitaire

Source SALAH, 2014

#### Domaine d'utilisation:

- Lorsque le milieu récepteur est situé à une grande distance des points de collecte.
- En présence d'une topographie peu marquée faible relief.
- Dans les communes caractérisées par une forte imperméabilisation et un relief accentué.
- Lorsque le débit d'étiage du cours d'eau réceptrice est élevé.

#### Avantages:

- Conception simplifiée un seul collecteur et un unique raccordement par bâtiment.
- Faible encombrement du sous-sol.
- Solution économiquement avantageuse.

- Respect de l'approche traditionnelle adoptée dans le développement historique des villes.

**Inconvénients:**

- Variation importante du débit entrant à la station d'épuration.
- Dilution des eaux usées par les eaux pluviales en cas d'orage.
- Apport massif de sable vers la station d'épuration.
- Transport d'une charge polluante élevée lors des premières pluies après une période de sécheresse.

Rejet direct dans le milieu naturel du mélange "eaux usées - eaux pluviales" au niveau des déversoirs d'orage

**Contraintes d'exploitation :**

- Nécessité d'un entretien régulier des déversoirs d'orage et des bassins de stockage.
- Difficulté à quantifier précisément les rejets directs dans le milieu récepteur.

**III.1.2. Système séparatif:**

Un système séparatif est un système d'assainissement composé de deux réseaux.

**Réseau pluvial :** dédié à l'évacuation des eaux de pluie, principalement lors des épisodes de forte précipitation. Il suit généralement la ligne de plus grande pente pour acheminer rapidement les eaux vers les cours d'eau les plus proches.

**Réseau d'eaux usées :** destiné collecter les eaux usées domestiques et industrielles. Ces eaux sont acheminées vers la station d'épuration via un réseau dont la pente peut être relativement faible.

Ce système évite la surcharge de la station d'épuration par les eaux pluviales et contribue à une meilleure protection de l'environnement en assurant un traitement spécifique des eaux usées.

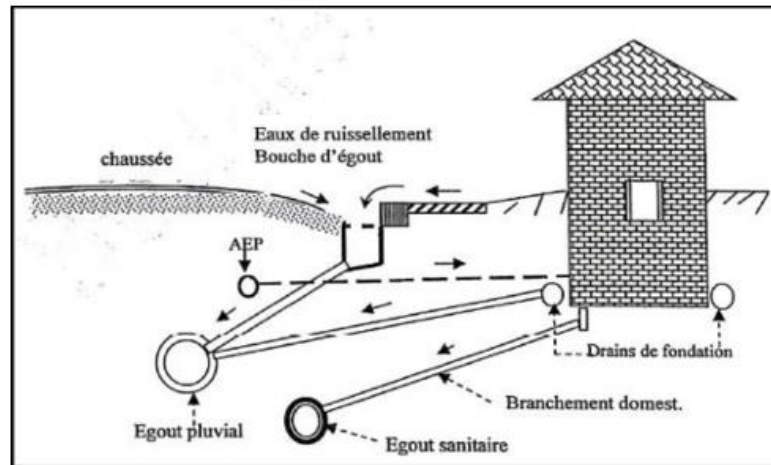


**Figure III.2:** Schéma d'un réseau séparatif

Source SALAH, 2014

#### Domaine d'utilisation :

- Petites et moyennes agglomérations.
- Extension des villes.
- Faible débit d'étiage du cours d'eau réceptrice.

#### Avantages :

- Réduction du diamètre moyen des canalisations du réseau d'eaux usées
- Simplification de l'exploitation de la station d'épuration
- Amélioration de la protection de l'environnement contre les pollutions domestiques
- Limitation de certains coûts d'exploitation, notamment ceux liés au relevage des effluents

#### Inconvénient :

- Forte occupation du sous-sol.
- Coût d'investissement élevé.
- Risque accru d'erreurs de branchement.

#### Contraintes d'exploitation :

- Nécessité d'une surveillance renforcée des branchements.
- Entretien régulier d'un linéaire étendu de collecteurs pour les eaux usées et pluviales.
- Maintenance des ouvrages spécifiques tels que siphons, dispositifs de chasse, et avaloirs.

- Entretien des postes de relèvement et des chambres à sables.
- Détection et localisation des anomalies (erreurs de branchement, infiltration d'eaux parasites, inspections par caméra).

### III.1.3. Système pseudo-séparatif:

C'est un système dans lequel on divise les eaux pluviales en deux parties.

Une partie des eaux de ruissellement, issue uniquement des surfaces des voiries, est évacuée par des aménagements spécifiques tels que les caniveaux, aqueducs ou fossés, directement vers le milieu naturel.

L'autre partie, en provenance des toitures, des cours et des jardins, est dirigée vers le réseau d'eaux usées.

Cette séparation présente l'avantage de faciliter l'évacuation des éléments solides en amont du réseau, évitant ainsi les problèmes liés à un débit ou une pente insuffisants.

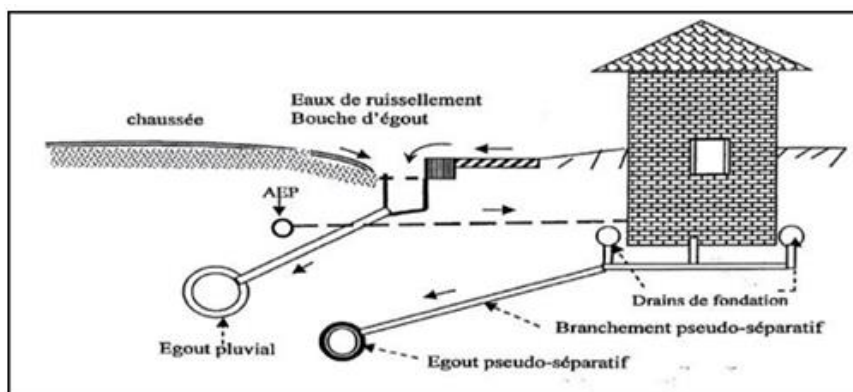


**Figure III.3:** Schéma d'un réseau pseudo-séparatif

Source SALAH, 2014

#### Domaine d'utilisation:

- La présence d'un milieu récepteur à proximité constitue un atout.
- Ce système est recommandé pour les petites et moyennes agglomérations.
- Il est particulièrement adapté lorsque les surfaces imperméabilisées collectives (telles que les voiries et parkings) sont étendues et présentent des pentes marquées.
- Il peut également être envisagé dans les régions tropicales climat sec.

**Avantages:**

- Intègre les eaux usées domestiques ainsi qu'une partie des eaux de ruissellement des habitations, ce qui simplifie la gestion des flux.
- Un seul branchement par habitation est nécessaire, ce qui facilite tant l'installation que la maintenance du réseau.
- Ce système élimine le risque d'erreurs de raccordement pouvant conduire au déversement d'eaux usées dans le réseau pluvial.
- Une déconnexion partielle des eaux pluviales du réseau unitaire engendre cependant une variabilité des débits en station d'épuration, ainsi que des rejets ponctuels via les déversoirs d'orage.

**Inconvénients :**

- La mise en place de deux réseaux distincts nécessite un investissement élevé.
- Les eaux de ruissellement provenant des voiries sont rejetées directement dans le milieu naturel, sans traitement préalable, même en période sèche.
- L'effet de chasse est limité, notamment en raison des apports de sables et de déchets lors des épisodes pluvieux, ce qui favorise l'ensablement du réseau.
- Ce type de système est aujourd'hui rarement recommandé pour les nouvelles installations, sauf dans certaines régions à climat tropical sec.

**Contraintes d'exploitation :**

- Une maintenance régulière des déversoirs d'orage et des bassins de stockage est indispensable pour garantir leur bon fonctionnement.
- Une surveillance rigoureuse de raccordements est également essentielle afin de prévenir tout dysfonctionnement ou pollution accidentelle.

**III.2. Facteurs du Choix du système d'assainissement :**

- L'occupation du sol et la densité de la population.
- La topographie du terrain naturel.
- Les dispositions particulières relatives à l'assainissements adoptés par la collectivité locale.
- S'il s'agit d'une extension du réseau, il faut tenir compte du système existant.
- L'aspect économique : une étude comparative de plusieurs variantes est nécessaire.

En tenant compte des critères évoqués, nous avons choisi le système unitaire pour l'évacuation, car il assure une gestion centralisée et facilite le contrôle du réseau, ce qui limite les risques de dysfonctionnement liés à la séparation des flux.

### III.3. Les schémas d'évacuation:

Dans les réseaux d'assainissement, l'écoulement se fait généralement par gravité. Toutefois, dans certains cas particuliers, des aménagements spécifiques sont nécessaires, en fonction du relief et de la topographie. On distingue ainsi cinq principaux schémas d'évacuation:

#### III.3.1. Le schéma perpendiculaire:

Ce schéma consiste à amener perpendiculairement à la rivière un certain nombre de collecteurs. Il ne permet pas la concentration des eaux vers un point unique d'épuration, il convient lorsque l'épuration n'est pas jugée nécessaire et aussi pour l'évacuation des eaux pluviales.

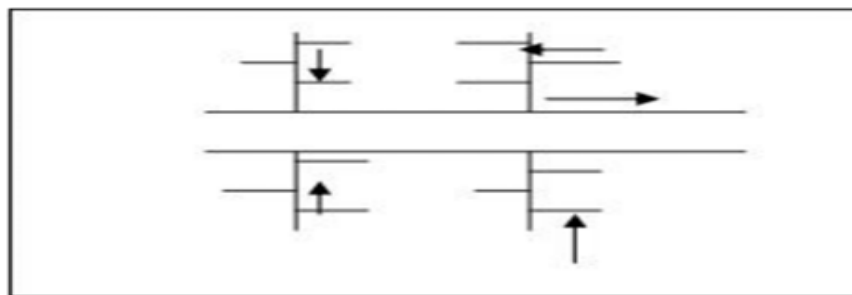


**Figure III.4:** Schéma d'écoulement perpendiculaire

Source SALAH, 2014

#### III.3.2. Schéma d'équipement par déplacement latéral:

Ce schéma, également appelé à collecteur latéral, consiste à recueillir les eaux usées dans un collecteur disposé parallèlement au cours d'eau. Il permet de transférer les effluents vers l'aval de l'agglomération. Son principal inconvénient réside dans la nécessité fréquente de stations de relèvement pour assurer l'écoulement.

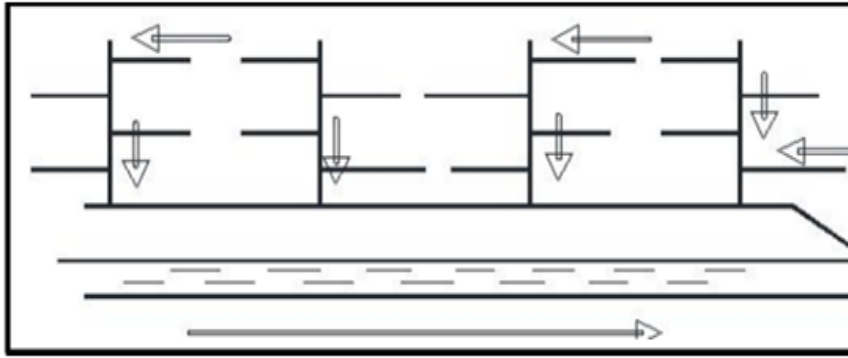


**Figure III.5 :** Schéma par déplacement latéral

Source SALAH, 2014

### III.3.3. Schéma d'équipement radial:

Le schéma comporte plusieurs schémas en éventail

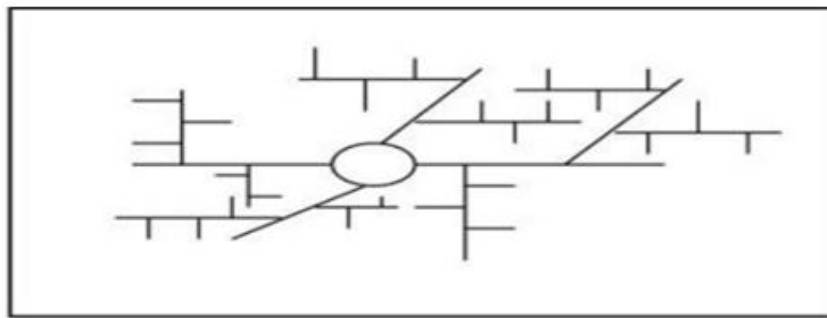


**Figure III.6:** Schéma radial

Source SALAH, 2014

### III.3.4. Schéma par zones étagées:

Ce schéma reprend le principe du déplacement latéral, mais en y ajoutant plusieurs collecteurs longitudinaux. Il a pour avantage de soulager le collecteur situé en aval des apports provenant des zones amont de l'agglomération.

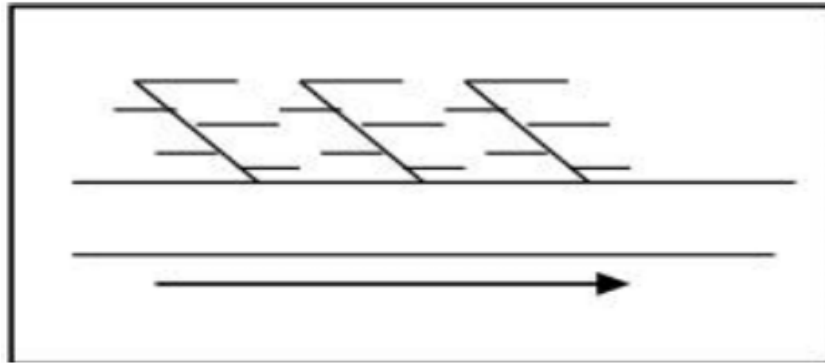


**Figure III.7:** Schéma du collecteur par zone étagée

Source SALAH, 2014

#### III.4. Choix du schéma d'évacuation:

- Le choix du schéma d'évacuation à adopter dépend de plusieurs paramètres, parmi lesquels
- Les contraintes techniques locales, incluant les caractéristiques du système existant, la topographie du terrain et la répartition géographique des populations à desservir.
- Les considérations économiques, telles que les coûts d'investissement et les frais d'exploitation et de maintenance.
- Les enjeux environnementaux, notamment la nature des rejets et la sensibilité du milieu récepteur.
- L'organisation de l'implantation des canalisations au sein des voiries existantes.

Nous avons retenu le schéma d'évacuation par déplacement latéral, car il offre une meilleure fluidité de circulation lors de l'évacuation et permet de limiter les points de congestion.

#### III.5. Découpage de la superficie urbanisée en surfaces élémentaires:

- Les paramètres suivants sont pris en compte lors du découpage en surfaces élémentaires
- Les limites naturelles telles que les rivières, les talwegs ou collines
- La configuration géologique et topographique du sol
- L'occupation du sol, afin d'identifier des zones présentant des coefficients de ruissellement élevés.
- Le tracé existant des routes et voies de communication

Dans notre cas particulier, cette méthode de subdivision du site en surfaces élémentaires est adaptée pour optimiser la gestion des eaux pluviales et concevoir un système d'assainissement performant. Elle permet une meilleure compréhension de la répartition des eaux de pluie sur l'ensemble du site et facilite la définition des infrastructures nécessaires pour leur collecte, leur traitement et leur évacuation de manière efficace.

**Le tableau III.1:** La découpages des surfaces élémentaires :

| Numéro des surfaces élémentaires | Surface (ha) |
|----------------------------------|--------------|
| 1                                | 1.5          |
| 2                                | 2.44         |
| 3                                | 2.6          |
| 4                                | 3.23         |
| 5                                | 3.9          |
| 6                                | 4.06         |
| 7                                | 2.84         |
| 8                                | 2.15         |
| 9                                | 3.55         |
| 10                               | 3.44         |

### III.6. Évaluation de la population:

La projection de la population sera déterminée par la formule suivante

$$P = P_0 (1+t)^n$$

P: population à l'horizon donné (2053)

P<sub>0</sub>: Population de l'année de référence (2025)

t: Taux d'accroissement à long terme

n: nombre d'années séparant les deux populations (n= 28 ans)

D'après la DAUC de Constantine, la commune a connu une évolution démographique importante à la décennie précédente à cause de l'accroissement important du taux

d'accroissement de la population. Le taux d'accroissement utilisé comme base de calcul est de 1,7% en 2020, en absence de données

**Tableau III.2:** Estimation de l'évolution future de la population

| Horizon (année)  | 2025  | 2053  |
|------------------|-------|-------|
| Estimation (hab) | 10370 | 16625 |

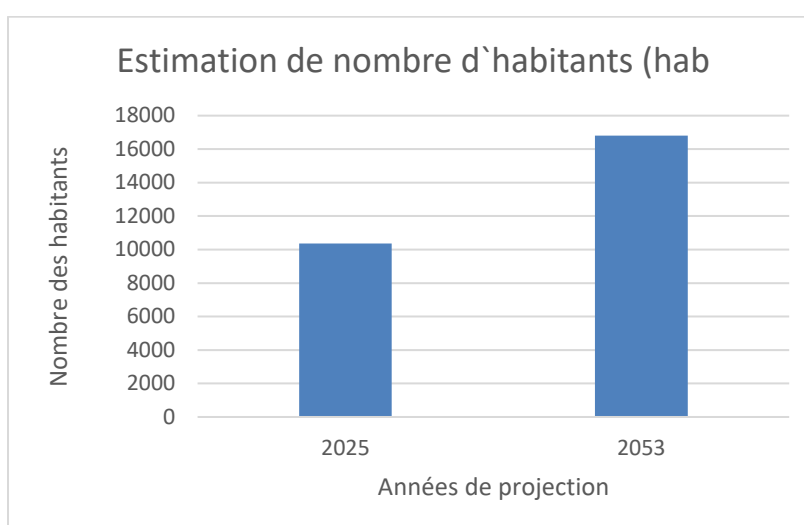


**Figure III.8 :** Diagramme de l'évolution démographique de la zone d'étude

### III.7. Estimation du coefficient de ruissellement:

Le coefficient de ruissellement est défini comme le rapport entre le volume d'eau ruisselée et le volume total de précipitations reçu par la surface concernée. Étant donné que le débit des eaux pluviales peut varier considérablement, parfois du simple au double, il est essentiel de subdiviser la superficie urbanisée en surfaces élémentaires les plus homogènes possible. Cela permet de limiter les erreurs dans le calcul du coefficient de ruissellement moyen pondéré.

Ce coefficient est déterminé en tenant compte de plusieurs facteurs :

## ➤ Selon le type d'utilisation du sol :

**Tableau III.3 :** Valeurs du coefficient de ruissellement selon l'occupation du sol

| Type d'occupation du sol |                  | Cr          |
|--------------------------|------------------|-------------|
| Commercial               |                  | 0.70 – 0,95 |
| Résidentiel              | Lotissement      | 0.3 – 0.5   |
|                          | Collectifs       | 0.5 – 0.75  |
|                          | Habitat dispersé | 0.25 – 0.4  |
| Industriel               |                  | 0.5– 0.8    |
| Parcs et jardins public  |                  | 0.05 – 0.25 |
| Terrains de sport        |                  | 0.1– 0.3    |
| Terrains vagues          |                  | 0.05– 0.15  |
| Terres agricoles         | Drainées         | 0.05– 0.13  |
|                          | Non drainées     | 0.03– 0.07  |

Source: satin et Al, 2006

## ➤ Selon la catégorie d'urbanisation :

**Tableau III.4:** Valeur du coefficient de ruissellement selon la catégorie d'urbanisation

| Catégorie d'urbanisation | Cr          |
|--------------------------|-------------|
| Habitations tres denses  | 0.90        |
| Habitations denses       | 0.60 – 0.70 |
| Habitations moins denses | 0.40 – 0.50 |
| Quartiers résidentiels   | 0.20 – 0.30 |
| Square – garde - prairie | 0.05 – 0.20 |

Source: Water Environement Federation,1970

## ➤ Selon la densité de la population :

**Tableau III.5:** valeurs du coefficient de ruissellement selon la densité de population

| Densité de la population habitant/ha | Cr          |
|--------------------------------------|-------------|
| 20                                   | 0.20        |
| 30 – 80                              | 0.20 – 0.25 |
| 60 – 150                             | 0.25 – 0.30 |
| 150 – 200                            | 0.30 – 0.45 |
| 200 – 300                            | 0.45 – 0.60 |
| 300 – 400                            | 0.60 – 0.80 |
| >400                                 | 0.90        |

Source: Water Environment Federation, 1970

## ➤ Selon la nature de la surface :

**Tableau III.6 :** valeurs du coefficient de ruissellement selon la caractéristique des surfaces

| Nature de la surface                                    | Cr          |
|---------------------------------------------------------|-------------|
| Toits en métal, tuile, ardoise                          | 0.9         |
| Chaussée avec pneu de joints                            | 0.85 – 0.90 |
| Pavés en pierres naturelles, brique avec joints ciments | 0.75 – 0.85 |
| Pavage en blocages                                      | 0.40 – 0.50 |
| Surfaces goudronnées                                    | 0.25 – 0.60 |
| Chemin en gravier                                       | 0.25 – 0.30 |
| Gare, terrain de sport                                  | 0.10 – 0.30 |
| Parc, jardins, gazons                                   | 0.05 – 0.25 |
| Forets                                                  | 0.01 – 0.20 |

Source: SALAH, B. Cours d'assainissement.

Il est à noter que, pour l'estimation du coefficient de ruissellement, les valeurs ont été adaptées en fonction de l'occupation du sol et de la nature des surfaces.

### III.8. Calcul de la population de chaque surface élémentaire :

Les étapes suivantes sont mises en œuvre afin d'estimer avec précision le nombre d'habitants

- Le coefficient de ruissellement est d'abord déterminé pour chaque type de surface.
- Un coefficient de ruissellement pondéré global est ensuite calculé en tenant compte de la répartition des différentes surfaces.
- La densité de population partielle est évaluée pour chaque unité spatiale (ou surface élémentaire).
- Enfin, le nombre d'habitants est estimé pour chaque surface élémentaire à partir de sa densité et de sa superficie.

#### III.8.1. Calcul du coefficient de ruissellement pondéré total:

Le coefficient de ruissellement est donné par l'expression

$$C_{rp} = \frac{\sum C_{ri} A_i}{A}$$

Avec

$C_{rp}$ : coefficient de ruissellement pondéré total.

$C_{ri}$ : coefficient de ruissellement de chaque surface élémentaire.

$A_i$ : surface élémentaire de chaque surface élémentaire.

$A$ : surface totale de la zone urbanisée.

#### Application numérique:

$$C_{rp} = \frac{\sum C_{ri} A_i}{A} = \frac{23.27}{30} = 0.78$$

#### III.8.2. Calcul de la densité partielle:

La formule pour la densité Partielle de chaque surface élémentaire est la suivante

$$D_i = \frac{C_{ri} P}{C_{rp} A}$$

Avec

$D_i$ : densité partielle d'une surface élémentaire considérée en (hab/ha)

$C_{ri}$ : coefficient de ruissellement de chaque surface élémentaire

$P$ : population globale à l'horizon de calcul

$C_{rp}$ : coefficient de ruissellement pondéré total

$A$ : surface totale de la zone urbanisée(ha)

### III.8.3. Calcul du nombre d'habitant de chaque surface élémentaire:

Le nombre d'habitant de chaque surface élémentaire est donnée par l'expression suivante

$$P_i = D_i \cdot A_i$$

Tel que

$P_i$  : population partielle de la surface élémentaire considéré

$A_i$ : surface partielle de la surface élémentaire considérée(ha)

**Tableau III.7:** du coefficient de ruissellement et du nombre d'habitant de chaque surface élémentaire

| N°SE  | Aire (ha) | Cr   | Ai. Cri | Densité par (ha) | Nombre d'habitant |
|-------|-----------|------|---------|------------------|-------------------|
| SE 01 | 1.5       | 0.6  | 0.9     | 405.28           | 608               |
| SE 02 | 2.44      | 0.83 | 2.03    | 560.64           | 1368              |
| SE 03 | 2.6       | 0.8  | 2.08    | 540.38           | 1405              |
| SE 04 | 3.23      | 0.8  | 2.59    | 540.38           | 1745              |
| SE 05 | 3.9       | 0.8  | 3.13    | 540.38           | 2107              |

|       |      |      |      |        |      |
|-------|------|------|------|--------|------|
| SE 06 | 4.06 | 0.82 | 3.33 | 553.89 | 2249 |
| SE 07 | 2.84 | 0.75 | 2.13 | 506.60 | 1439 |
| SE 08 | 2.45 | 0.7  | 1.71 | 472.83 | 1158 |
| SE 09 | 3.55 | 0.8  | 2.84 | 540.38 | 1918 |
| SE 10 | 3.44 | 0.8  | 2.75 | 540.38 | 1859 |

### Conclusion :

À travers ce chapitre, nous avons déterminé les paramètres essentiels servant de base à l'évaluation quantitative des différents débits susceptibles d'être véhiculés par les collecteurs d'assainissement. Nous avons également estimé de manière approchée les surfaces élémentaires, grâce à un découpage de la superficie urbanisée, afin de déterminer le coefficient de ruissellement correspondant. En outre, le choix s'est porté sur un système unitaire pour l'évacuation des eaux, associé à un schéma d'évacuation par déplacement latéral, ce qui constitue la solution la mieux adaptée aux caractéristiques de notre zone d'étude.

**Chapitre IV**

**Évaluation des débits à  
évacuer**

**Introduction:**

Ce chapitre a pour objectif de présenter les outils nécessaires à une estimation précise des débits à considérer lors de la conception des réseaux d'assainissement, dans le but de garantir une collecte et une évacuation efficaces des eaux usées et des eaux pluviales.

**IV.1. Evaluation des débits d'eaux usées :****IV.1.1. Généralités:**

L'évaluation des débits des eaux usées joue un rôle fondamental dans la conception des réseaux d'assainissement, car elle permet de déterminer avec précision les volumes d'eau à évacuer et à traiter. Cette estimation est essentielle non seulement pour garantir une collecte et une évacuation efficaces, mais aussi pour prévenir les risques sanitaires liés à l'exposition aux eaux usées, dont la composition peut être à l'origine de maladies correctement les conduites, tandis que l'analyse des débits de pointe, elle permet de dimensionner correctement les conduites, tandis que l'analyse des débits minimums assure la capacité d'auto-nettoyage des canalisations.

**IV.1.2. Nature des eaux usées à évacuer:**

Elle dépend de l'origine de ces eaux usées, on compte :

Les eaux usées d'origine domestique.

Les eaux usées d'origine industrielle.

**IV.1.2.1. Les eaux usées d'origine domestique:**

Pour estimer leur valeur, nous suivons les étapes suivantes afin de déterminer les eaux domestiques, c'est-à-dire l'ensemble des eaux rejetées par les habitants au cours de leur activités quotidiennes.

**Quantité à évacuer :**

La détermination des normes de consommation en eau potable repose sur plusieurs facteurs essentiels. Elle commence par l'évaluation de la consommation actuelle, qui intègre notamment :

- La dotation en eau potable réellement disponible.

- Le type d'habitat et le niveau de confort qu'il offre.
- Les conditions climatiques propres à la région.

A cela s'ajoute la prise en compte des besoins en eau des secteurs publics et industriels. Ces différents paramètres font que les normes de consommation en peuvent varier selon les régions et évoluer au fil du temps.

#### **IV.1.2.2. Eaux des services publics:**

Les eaux usées issues des services publics proviennent principalement des opérations de nettoyage des espaces urbains tels que les rues, trottoirs et places publiques. Ces eaux sont généralement chargées en matières grasses, en raison de la présence de résidus comme les huiles de vidange, les graisses alimentaires et d'autres déchets organiques. Leur traitement est donc essentiel avant tout rejet dans le milieu naturel, afin de prévenir la pollution des sols et des cours d'eau.

#### **IV.1.2.3. Eaux usées industrielles:**

Les eaux usées industrielles proviennent des activités de diverses unités de production et sont souvent chargées en substances chimiques, parfois toxiques. La quantité d'eaux évacuées par les industries dépend de plusieurs facteurs clés, tels que :

**La nature de l'industrie** : les rejets varient selon qu'il s'agisse d'une industrie de fabrication, de transformation ou de traitement.

**Le taux de recyclage réalisé** : un taux élevé de réutilisation interne réduit considérablement le volume d'eaux usées à évacuer.

**Le procédé de fabrication employé** : certains procédés industriels sont plus gourmands en eau ou génèrent davantage de rejets polluants.

Avant leur rejet dans le milieu naturel, ces eaux doivent satisfaire à des exigences spécifiques, notamment

- L'absence de matières corrosives, solides ou toxiques susceptible de nuire à l'environnement ou à la santé publique.
- Une température inférieure à 35°C, afin de ne pas perturber les écosystèmes aquatiques.

**IV.1.2.4. Eaux usées des équipements publics et commerciaux:**

L'estimation de volumes d'eaux usées générées par les équipements publics et commerciaux repose sur la dotation en eau nécessaire à chaque type d'activité, ainsi que sur le nombre de personnes fréquentant ces installations. Par exemple, dans le cas d'un stade, la consommation d'eau et la production des eaux usées dépendent du nombre de spectateurs présents lors d'un événement. Pour un hôtel, elle sera calculée en fonction du nombre de chambres occupée quotidiennement.

Cette estimation est essentielle pour évaluer les besoins en eau potable et en assainissement, et pour évaluer les besoins en eau potable et en assainissement, et pour planifier les infrastructures adéquates, en particulier celles liées à la collecte, au traitement et à l'évaluation des eaux usées.

**IV.1.3. Consommation en eau potable:**

Suite aux informations fournies par la subdivision DRE de Constantine, une dotation en eau potable de **200 l/j /hab** a été retenue.

**IV.1.4. Estimation des débits d'eaux usées:**

L'estimation de la quantité d'eaux usées produites par une agglomération repose principalement sur la consommation d'eau par habitant. En effet, plus cette consommation est élevée, plus le volume d'eaux usées généré le sera également.

Le niveau d'urbanisation de l'agglomération influence également les rejets. Les zones urbaines, caractérisées par une forte densité de population et une activité économique soutenue, génèrent des volumes d'eaux usées plus importants. À l'inverse, les zones rurales, en raison de leur population plus clairsemée et de leur activité économique moins développée, produisent généralement moins d'eaux usées.

Ces éléments doivent être pris en compte dans la planification et la conception des systèmes de traitement et d'évacuation des eaux usées, afin d'assurer une gestion efficace et durable des ressources hydriques.

**IV.1.5. Evaluation du débit moyen journalier:**

Le débit moyen journalier rejeté est calculé par l'expression suivante

$$Q_{moy, j} = \frac{(Kr.D.N)}{86400} \text{ (l/s)}$$

Avec

D : dotation journalière prise égale à 200 l/j/hab.

N : nombre d'habitants à l'horizon étudié (hab).

$Q_{moy, j}$  : débit moyen rejeté quotidiennement en (l/s).

$K_r$  : coefficient de rejet pris égal à 80% (=0.8) de la quantité d'eau potable consommé.

## IV.2. Évaluation du débit de pointe :

En raison des variations significatives du débit des eaux usées au cours de la journée, il est indispensable de déterminer le débit de pointe, c'est-à-dire le débit maximal instantané.

Ce paramètre est crucial pour la conception adéquate des réseaux et des installations de traitement. Le débit de pointe peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{pte} = K_p \cdot Q_{moy.j}$$

Avec

$Q_{pte}$  : débit de pointe d'eaux usées.

$Q_{moy.j}$  : débit moyen journalier d'eaux usées.

$K_p$  : coefficient de pointe.

Ce coefficient de pointe peut être

### a) Estimé de façon moyenne

$$K_p = 24/14$$

$$K_p = 24/10$$

### b) Relié à la position de la conduite dans le réseau

$$K_p = 3 \quad \text{en tête du réseau}$$

$$K_p = 2 \quad \text{à proximité de l'exutoire}$$

$$\text{C) Calculé à partir du débit moyen journalier: } K_p = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_{moy.j}}} \quad \text{si } Q_{moy.j} \geq 2.8 \text{ l/s}$$

$$K_p = 3 \quad \text{si } Q_{moy.j} \leq 2.8 \text{ l/s}$$

### IV.3. Les eaux claires parasites :

Les eaux claires parasites proviennent principalement des infiltrations liées aux précipitations ou à la remontée de la nappe phréatique. Elles pénètrent dans les réseaux d'assainissement par les joints défectueux, déboîtés ou par des fissures présentes dans les conduites.

Le débit de ces eaux est difficile à quantifier avec précision, seule une modélisation permet d'en fournir une estimation approximative. En pratique, ce débit est généralement évalué à environ **0.15 l/s/ha**.

La présence de ces eaux parasites perturbe le bon fonctionnement des stations d'épuration, en augmentant artificiellement les volumes à traiter. (**Source** : prof.SALAH)

On peut évaluer ce dernier en utilisant la formule ci-dessous :

$$Q_{para} = K.A_i$$

Avec :

$Q_{para}$  : débit des eaux usées parasite l/s

$K = 0.15$  l/s/ha.

$A_i$  : surface élémentaire de chaque surface élémentaire

**Tableau IV.1:** Estimation des débits d'eaux parasite.

| SE | Aire (ha) | K (l/s/ha) | Q par (l/s) |
|----|-----------|------------|-------------|
| 1  | 1.5       | 0.15       | 0.225       |
| 2  | 2.44      | 0.15       | 0.366       |
| 3  | 2.6       | 0.15       | 0.39        |
| 4  | 3.23      | 0.15       | 0.485       |
| 5  | 3.9       | 0.15       | 0.585       |
| 6  | 4.06      | 0.15       | 0.609       |
| 7  | 2.84      | 0.15       | 0.426       |
| 8  | 2.15      | 0.15       | 0.323       |
| 9  | 3.55      | 0.15       | 0.533       |
| 10 | 3.44      | 0.15       | 0.516       |

**Tableau IV.2:** Estimation des débits des eaux usées domestiques moyennes

| SE | Pop 2043<br>(hab) | Dotation<br>(l/j/hab) | $Q_{\text{moy}}$<br>Aep (l/s) | Kr  | $Q_{\text{rej moy}}$<br>(l/s) |
|----|-------------------|-----------------------|-------------------------------|-----|-------------------------------|
| 1  | 608               | 200                   | 1.407                         | 0.8 | 1.136                         |
| 2  | 1368              | 200                   | 3.167                         | 0.8 | 2.533                         |
| 3  | 1405              | 200                   | 3.253                         | 0.8 | 2.602                         |
| 4  | 1745              | 200                   | 4.039                         | 0.8 | 3.231                         |
| 5  | 2107              | 200                   | 4.877                         | 0.8 | 3.902                         |
| 6  | 2249              | 200                   | 5.206                         | 0.8 | 4.165                         |
| 7  | 1439              | 200                   | 3.331                         | 0.8 | 2.665                         |
| 8  | 1158              | 200                   | 2.681                         | 0.8 | 2.145                         |
| 9  | 1918              | 200                   | 4.440                         | 0.8 | 3.552                         |
| 10 | 1859              | 200                   | 4.303                         | 0.8 | 3.442                         |

#### IV.4. Eaux usées de service public :

Ces eaux proviennent essentiellement du nettoyage des espaces publics et contiennent généralement des matières grasses.

Les débits sont déterminés en fonction des besoins spécifiques à chaque activité ainsi que du nombre de personnes fréquentant les lieux.

**Tableau IV.3:** Déterminations des débits des eaux usées des équipements

| SE | Équipement            | Nombre | Unité          | Quantité | Dotation<br>(l/unité/j) | Q <sub>potable</sub><br>(l/s) | Coefficient<br>de rejet | Q <sub>moy.j</sub><br>(l/s) | Q <sub>moy.j</sub><br>total<br>(l/s) |
|----|-----------------------|--------|----------------|----------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 01 | École<br>primaire     | 01     | Élève          | 250      | 20                      | 0.058                         | 0.8                     | 0.046                       | 0.046                                |
| 02 | Mosquée               | 01     | Fidèle         | 2800     | 20                      | 0.324                         | 0.8                     | 0.259                       | 0.537                                |
|    | Marché<br>proximité   | 01     | m <sup>2</sup> | 6000     | 5                       | 0.347                         | 0.8                     | 0.278                       |                                      |
| 03 | Lycée                 | 01     | Élève          | 1100     | 20                      | 0.255                         | 0.8                     | 0.204                       | 0.25                                 |
|    | Section<br>tribunal   | 01     | m <sup>2</sup> | 1000     | 5                       | 0.058                         | 0.8                     | 0.046                       |                                      |
| 04 | Jardin<br>public      | 01     | m <sup>2</sup> | 300      | 5                       | 0.017                         | 0.8                     | 0.014                       | 0.323                                |
|    | CEM                   | 01     | Élève          | 700      | 20                      | 0.183                         | 0.8                     | 0.146                       |                                      |
|    | Polyclinique          | 01     | m <sup>2</sup> | 1500     | 5                       | 0.087                         | 0.8                     | 0.070                       |                                      |
| 06 | Centre<br>commerciale | 01     | m <sup>2</sup> | 1000     | 10                      | 0.116                         | 0.8                     | 0.093                       | 0.347                                |

|           |                        |    |                |      |    |       |     |       |       |
|-----------|------------------------|----|----------------|------|----|-------|-----|-------|-------|
|           | <b>École</b>           | 01 | Enfant         | 250  | 20 | 0.058 | 0.8 | 0.046 |       |
|           | <b>Maison de jeune</b> | 01 | m <sup>2</sup> | 1700 | 10 | 0.167 | 0.8 | 0.134 |       |
|           | <b>Crèche</b>          | 01 | Enfant         | 400  | 20 | 0.093 | 0.8 | 0.074 |       |
| <b>09</b> | <b>École</b>           | 01 | Enfant         | 250  | 20 | 0.058 | 0.8 | 0.046 | 0.046 |

Après avoir en compte l'ensemble des données précédemment mentionnées, le débit total des eaux usées pour chaque surface élémentaire peut être déterminé, les résultats correspondants sont présentés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau IV.4:** Estimation des débits d'eaux usées

| <b>N° Surface élémentaire</b> | <b>Q<sub>dom.</sub><br/>moy<br/>(l/s)</b> | <b>Q<sub>équi.</sub>moy<br/>(l/s)</b> | <b>Q<sub>usé.</sub>moy<br/>(l/s)</b> | <b>K<sub>p</sub></b> | <b>Q<sub>usé p</sub><br/>(l/s)</b> | <b>Q<sub>para</sub><br/>(l/s)</b> | <b>Q<sub>usé total</sub><br/>(l/s)</b> |
|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 01                            | 1.136                                     | 0.046                                 | 1.182                                | 3                    | 3.546                              | 0.225                             | 3.771                                  |
| 02                            | 2.533                                     | 0.554                                 | 3.087                                | 2.92                 | 9.014                              | 0.366                             | 9.38                                   |
| 03                            | 2.602                                     | 0.25                                  | 2.852                                | 2.98                 | 8.499                              | 0.39                              | 8.889                                  |
| 04                            | 3.231                                     | 0.323                                 | 3.554                                | 2.82                 | 10.022                             | 0.485                             | 10.507                                 |
| 05                            | 3.902                                     | /                                     | 3.902                                | 2.77                 | 10.809                             | 0.585                             | 11.394                                 |
| 06                            | 4.165                                     | 0.347                                 | 4.512                                | 2.68                 | 12.092                             | 0.609                             | 12.701                                 |
| 07                            | 2.665                                     | /                                     | 2.665                                | 3                    | 7.995                              | 0.426                             | 8.421                                  |
| 08                            | 2.145                                     | /                                     | 2.145                                | 3                    | 6.435                              | 0.323                             | 6.758                                  |
| 09                            | 3.552                                     | 0.046                                 | 3.598                                | 2.82                 | 10.14                              | 0.533                             | 10.673                                 |
| 10                            | 3.442                                     | /                                     | 3.442                                | 2.85                 | 9.809                              | 0.516                             | 10.325                                 |

Avec:

**Q<sub>dom.moy</sub>** : Débit des eaux usées domestiques moyenne (l/s)

$Q_{\text{équi.moy}}$  : Débit des équipements moyenne (l/s)

$Q_{\text{usé p}}$  : débit des eaux usées de pointe (l/s)

$Q_{\text{para}}$  : débit d'infiltration (l/s)

## IV.5. Évaluation des débits des eaux pluviales :

Les eaux pluviales correspondent aux précipitations atmosphériques, comme la pluie ou la neige. Pour en estimer le débit, notamment lors d'événement pluvieux de fréquence décennale et d'une durée de 15 minutes, deux méthodes couramment utilisées dans le domaine sont privilégiées : la méthode rationnelle et la méthode superficielle. Ces approches permettent une évaluation précise des débits générés par les précipitations.

### IV.5.1. Méthode rationnelle:

Il s'agit d'une méthode permettant d'estimer le débit en subdivisant le bassin versant en zones délimitées par des lignes isochrones. Elle consiste à calculer les débits générés par une averse d'intensité moyenne "i", supposée constante pendant toute la durée de la pluie, sur des surfaces d'influence de superficie "A", en appliquant un coefficient de ruissellement  $C_r$ . La méthode rationnelle s'exprime à travers la formule suivante :

$$Q = C_r \cdot I \cdot \alpha A$$

Avec:

$Q$ : débit d'eau de ruissellement (l/s)

$C_r$ : coefficient de ruissellement

$I$ : intensité de précipitation (l/s/ha)

$A$ : surface de l'aire d'influence (ha)

$\alpha$ : coefficient correcteur de l'intensité tenant compte de la distribution de la pluie dans l'espace.

**IV.5.1.1. Hypothèses de la méthode rationnelle:**

- Le coefficient de ruissellement est considéré constant d'une averse à l'autre.
- L'intensité de l'averse est supposée uniforme dans le temps et répartie de manière homogène sur l'ensemble du bassin versant.
- Le débit de pointe  $Q_p$  exprimé en  $m^3/s$ , de l'hydrogramme de ruissellement dépend directement de l'intensité des précipitations  $i$  et de la superficie de bassin  $A$
- L'intervalle de récurrence du débit de pointe  $Q_p$  est supposé identique à celui de l'averse de même intensité uniforme.

**IV.5.1.2. Validation de la méthode rationnelle:**

Cette méthode est particulièrement efficace pour des surfaces relativement restreintes, généralement inférieures à 10 hectares. Elle donne de meilleurs résultats sur des aires encore plus petites, en raison d'une estimation plus précise du coefficient de ruissellement.

Elle est donc adaptée aux situations où le temps de concentration ne dépasse pas 30 minutes. En revanche, son application aux zones étendues est limitée, car les calculs deviennent alors complexes et peu pratiques.

**IV.5.1.3. Critique de la méthode rationnelle:**

Le bassin versant est modélisé en zones élémentaires, chacune caractérisée par un coefficient de ruissellement  $C_r$  supposé constant, tant spatialement que durant toute la période de prélèvement. Cette méthode simplifie la réalité en négligeant le stockage temporaire de l'eau du ruissellement ainsi que les surfaces non imperméabilisées, telles que les dépressions ou les fissures du terrain.

**IV.5.2. Méthode superficielle:**

La méthode superficielle, également appelée modèle de Caquot, constitue une évolution de la méthode rationnelle. En intégrant l'ensemble des mécanismes d'écoulement, elle permet de déterminer le débit de pointe en différents points caractéristiques des tronçons.

Ce débit est ensuite utilisé pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages d'évacuation des eaux.

La méthode s'appuie sur la formule suivante:

$$Q(f) = K_u^{\frac{1}{u}} \times I_u^{\frac{v}{u}} \times C_r^{\frac{1}{u}} \times A_u^{\frac{w}{u}}$$

Où:

**Q(f)** : débit pluvial de fréquence f , f = 90%(m<sup>3</sup>/s).

**I** : pente moyenne du collecteur du sous bassin considéré (m/m)

**A** : surface du sous bassin considéré (ha) 0.5<sup>b(f)</sup>

**K, u, v, w** : coefficients d'expression. Ils sont donnés par les relations

$$k = \frac{0.5^{b(f)} \times a(f)}{6.6}$$

$$v = -0.41 \times b(f)$$

$$u = 1 + 0.287 b(f)$$

$$w = 0.95 + 0.507 \times b(f)$$

a(f) et b(f) sont des paramètres de la relation : i(t,f) = a(f) × t<sup>b(f)</sup>

Où

i(t,f) : intensité de pluie de durée t et de fréquence de non dépassement f .

t= 15min et f= 90%

La pente moyenne du collecteur du sous bassin est donnée par la relation :

$$I = \frac{C_{am} - C_{av}}{L}$$

C<sub>am</sub> : cote amont du collecteur (m).

C<sub>av</sub> : cote aval du collecteur (m).

L : longueur du collecteur (m).

On divise de parcours L du collecteur en tronçons et on détermine la longueur et la pente moyenne de chacun séparément.

Pour des tronçons places en séries, la pente équivalente est donnée en utilisant la formule suivante :

$$I_{eq} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{\sum_{i=1}^N \sqrt{L_i}} \right]^2$$

$L_i$  : distance partielle du tronçon  $i$  en mètre.

$I_i$  : pente du tronçon.

Si les tronçons sont placés en parallèles, on utilise la formule :

$$I_{eq} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N L_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \right]^2$$

$L_i$  : distance partielle du tronçon  $i$  en mètre.

$I_i$  : pente du tronçon  $i$  (m/m).

$N$  : nombre de tronçons.

#### IV.5.2.1. Validation de la méthode superficielle:

La méthode superficielle n'est valable que dans des conditions bien définies, qui garantissent la fiabilité et la pertinence des résultats obtenus :

- **Le coefficient de ruissellement ( $C_r$ )** : doit être compris entre 0.2 et 1, afin de refléter la diversité des caractéristiques de surface du bassin versant.
- **Le coefficient d'allongement ( $M$ )** : doit se situer entre 0.8 et 2, pour représenter correctement la géométrie du bassin et la configuration de son réseau hydrographique.
- **La superficie totale de la zone étudiée** : ne doit pas excéder 200 hectares, condition nécessaire pour maintenir une précision adéquate dans les calculs.
- **La pente moyenne ( $I$ )** : doit être comprise entre 0.2 % et 0.5 % afin d'assurer une estimation cohérente des écoulements de surface et des temps de concentration.

Le respect strict de ces conditions d'application est indispensable pour garantir la validité des résultats issus de l'utilisation de la méthode superficielle.

#### IV.6. Choix de méthode de calcul:

Après avoir analysé les spécificités de notre zone d'étude notamment la superficie, la pente et le coefficient de ruissellement et en tenant compte des hypothèses propres à chaque

méthode, nous avons opté pour la méthode rationnelle. Celle-ci s'est révélée la plus adaptée aux caractéristiques des surfaces élémentaires étudiés, garantissant ainsi la pertinence et la fiabilité des calculs réalisés.

#### IV.7. Temps de concentration:

Le temps de concentration correspond à la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau atteigne l'exutoire depuis le point le plus éloigné du bassin versant. Il permet de caractériser ce dernier et intervient dans le calcul des débits de pointe des eaux pluviales, car il représente également le temps requis pour que le débit maximal soit atteint à l'exutoire.

Son calcul est complexe, car il dépend de nombreux paramètres tels que la pente, la nature du sol, le degré de saturation du terrain, ainsi que les différents temps de parcours de l'eau : temps pour atteindre les rigoles, les bouches d'égout, puis pour circuler dans les collecteurs.

Le temps de concentration « $t_c$ » se compose de :

- $t_1$  (min) temps mis par l'eau pour s'écouler dans les canalisations :

$$t_1 = \frac{L}{60.V}$$

Avec :

$L$  : longueur de canalisation (m).

$V$  : vitesse d'écoulement (m/s).

Le terme  $\frac{1}{60}$  pour la conversion de secondes (s) en minutes (min).

- $t_2$  : temps mis par l'eau pour atteindre le premier ouvrage d'engouffrement. En général, il varie de 2 à 20 min.
- $t_3$  : temps de ruissellement superficiel dans un bassin ne comportant pas de canalisations:

$$t_3 = \frac{L_s}{11 \times \sqrt{I}}$$

$L_s$  : parcours superficiel de l'eau dans le bassin (km)

$I$  : pente moyenne du parcours (%)

Donc, trois (03) cas peuvent être envisagés :

- Le bassin ne comporte pas de canalisation :  $t_c = t_3$
- Le bassin comporte un parcours superficiel puis une canalisation :  $t_c = t_1 + t_3$ .
- Le bassin est urbanisé et comporte une canalisation :  $t_c = t_1 + t_2$ .

❖ Dans le cas général, pour les zones peu allongées, le temps de concentration «  $t_c$  (min) »

est donné par la relation suivante : 
$$t_c = 3.98 \times \left[ \frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{0.77}$$

Avec :

**L** : cheminement hydraulique le plus long (km).

**I** : pente moyenne du chemin parcouru (%).

#### IV.8. Coefficient réducteur d'intensité:

La distribution des précipitations au sein d'un bassin versant est généralement irrégulier, surtout dans le cas de pluies de courte durée et de forte intensité. Pour intégrer cette variabilité spatiale, il est nécessaire d'introduire un paramètre de correction spécifique à chaque zone élémentaire. Ce paramètre prend la forme d'un coefficient de réduction de l'intensité, noté  $\alpha$ , dont la valeur est inférieure ou égale à 1.

Le coefficient  $\alpha$  peut être déterminé selon l'une des deux méthodes suivantes

##### a) En fonction de la forme du bassin (des relations empiriques) :

Le coefficient réducteur d'intensité  $\alpha$ , qui permet de prendre en compte la variabilité spatiale de l'intensité des précipitations, est évalué à l'aide de relations empiriques fondées sur la distribution spatiale des pluies. En d'autres termes, sa valeur est déterminée selon une loi de répartition des précipitations dans l'espace.

- Dans le cas de bassins allongés (de forme étroite et rectangulaire, par exemple), ce coefficient  $\alpha$  est défini comme suit :

$$\alpha = 1 - 0.006 \sqrt{\frac{d}{2}}$$

- Dans le cas de bassins ramassés (de forme carrés, cercles ...), ce coefficient sera

$$\alpha = 1 - 0.005 \sqrt{\frac{d}{2}}$$

Avec :

d : longueur du milieu de l'aire élémentaire (m).

#### a) En fonction de la nature des pluies :

La distribution des précipitations au sein d'un bassin versant est souvent irrégulier, notamment en cas de pluies brèves et intenses. Cette irrégularité résulte de plusieurs facteurs, tels que la nature des formations nuageuses, la direction des vents, et d'autres conditions météorologiques. Pour en tenir compte, on utilise un coefficient réducteur d'intensité, noté  $\alpha$ , dont la valeur est inférieure à 1. Ce coefficient est établi sur la base d'observations empiriques.

Prenons à titre d'exemple un bassin versant assimilable à un rectangle de longueur  $x$  et de largeur moyenne  $y$ , traversé par un collecteur principal reliant les points 1, 2 et 3.

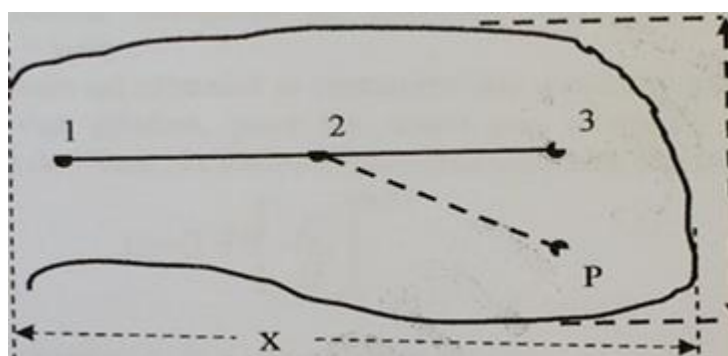


**Figure IV.1** : principe schématique de détermination du coefficient réducteur d'intensité (SALAH, 2014)

Dans le bassin, le point P se trouve en amont du collecteur 1-2 et il est utile pour calculer la distance P-2. La distance entre le point P, situé en amont du segment d'égout étudié, et le point 2 du bassin prend en compte cette distance.

**Tableau IV.5** : valeur de coefficient réducteur d'intensité  $\alpha$  (SALAH, 2014)

| P-2 m     | 200  | 400  | 600  | 800  | 1000 | 1200 | 1400 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Y < x/2$ | 0.91 | 0.88 | 0.85 | 0.83 | 0.81 | 0.79 | 0.77 |
| $Y > x/2$ | 0.90 | 0.86 | 0.83 | 0.80 | 0.78 | 0.76 | 0.75 |
| P-2 m     | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2600 | 2800 |

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Y < x/2$ | 0.76 | 0.75 | 0.73 | 0.72 | 0.70 | 0.69 | 0.68 |
| $Y > x/2$ | 0.72 | 0.70 | 0.69 | 0.67 | 0.66 | 0.64 | 0.63 |

**Remarque:**

Lorsque P-2 est inférieur à 200 m, on estime que  $\alpha$  est égale à 1.

Lorsque P-2 dépasse 2800m, il est nécessaire d'ajouter un autre collecteur.

**b) Cas pratique :**

Pour un bassin rectangulaire de longueur  $x$  et largeur  $y$ , certaines formules empiriques permettent aussi de calculer  $\alpha$  selon la forme et la taille du bassin comme

$$\alpha = 1 - a \left( \frac{L}{A} \right)^b$$

Avec :

$L$  : longueur principale de la surface élémentaire.

$A$  : surface de la surface élémentaire.

$a, b$  : sont des paramètres empiriques. Leur valeur dépend du contexte local, notamment

- Du type de pluie (orageuse, frontale, etc..).
- De la durée de la pluie.
- Des caractéristiques géographiques de la région (topographie, climat etc).
- Et parfois même des méthodes de mesure ou de modélisation utilisées.

**Interprétation des paramètres:**

- $a$  est un facteur d'échelle qui ajuste l'importance de la réduction d'intensité selon le rapport  $\frac{L}{A}$  (longueur sur surface).
- $b$  contrôle la sensibilité de la réduction en fonction de la forme du bassin (plus  $b$  est grand, plus l'effet de la forme est prononcé).

**Tableau IV.6 :** les Valeurs typiques des paramètres

| Type du bassin                               | $a$       | $b$       |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|
| Petits bassin, pluies courtes (5 -15 min)    | 0.3 – 0.6 | 0.2 – 0.4 |
| Bassins moyens, pluie modérées (15 – 60 min) | 0.2 – 0.4 | 0.3 – 0.5 |

|                                     |           |           |
|-------------------------------------|-----------|-----------|
| Grands bassins, pluie longues (>1h) | 0.1 – 0.3 | 0.4 – 0.6 |
|-------------------------------------|-----------|-----------|

**Tableau IV.7:** détermination de coefficient réducteur d'intensité:

| N° SE | A (ha) | Longueur (m) | a   | b   | $\alpha$ |
|-------|--------|--------------|-----|-----|----------|
| 1     | 1.5    | 216.15       | 0.4 | 0.3 | 0.88     |
| 2     | 2.44   | 254.54       | 0.4 | 0.3 | 0.89     |
| 3     | 2.6    | 565.91       | 0.4 | 0.3 | 0.87     |
| 4     | 3.23   | 487.47       | 0.4 | 0.3 | 0.88     |
| 5     | 3.9    | 322.39       | 0.4 | 0.3 | 0.90     |
| 6     | 4.06   | 578.85       | 0.4 | 0.3 | 0.88     |
| 7     | 2.84   | 365          | 0.4 | 0.3 | 0.89     |
| 8     | 2.15   | 207.47       | 0.4 | 0.3 | 0.90     |
| 9     | 3.55   | 288.25       | 0.4 | 0.3 | 0.90     |
| 10    | 3.44   | 284.63       | 0.4 | 0.3 | 0.90     |

**Tableau IV.8:** Calcul des débits pluviaux

| N°SE | A (ha) | i (l/s/ha) | $\alpha$ | C <sub>r</sub> | Q <sub>pluv</sub> (l/s) | Q <sub>pluv</sub> (m <sup>3</sup> /s) |
|------|--------|------------|----------|----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 1    | 1.5    | 195.22     | 0.88     | 0.6            | 154.61                  | 0.15461                               |
| 2    | 2.44   | 195.22     | 0.89     | 0.83           | 351.92                  | 0.35192                               |
| 3    | 2.6    | 195.22     | 0.87     | 0.8            | 353.33                  | 0.35533                               |
| 4    | 3.23   | 195.22     | 0.88     | 0.8            | 443.91                  | 0.44391                               |
| 5    | 3.9    | 195.22     | 0.90     | 0.8            | 548.38                  | 0.54838                               |
| 6    | 4.06   | 195.22     | 0.88     | 0.82           | 571.28                  | 0.57128                               |
| 7    | 2.84   | 195.22     | 0.89     | 0.75           | 370.24                  | 0.37024                               |
| 8    | 2.15   | 195.22     | 0.90     | 0.7            | 264.43                  | 0.26443                               |
| 9    | 3.55   | 195.22     | 0.90     | 0.8            | 498.90                  | 0.49890                               |
| 10   | 3.44   | 195.22     | 0.90     | 0.8            | 483.34                  | 0.48334                               |

### IV.9. Estimation de débit total :

Le débit total évacué par un système d'assainissement correspond à la somme des débits individuels qui le constituent. En d'autre terme, il s'agit de l'addition de l'ensemble des débits des effluents circulant dans le réseau d'assainissement.

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{usée dom}} + Q_{\text{usée équi}} + Q_{\text{parasite}} + Q_{\text{pluvial}}$$

**Tableau IV.9:** les résultats des débits totales De chaque sous bassin.

| N°SE  | Q <sub>usée</sub> (l/s) | Q <sub>parasite</sub> (l/s) | Q <sub>pluvial</sub> (l/s) | Q <sub>tot</sub> (l/s) | Q <sub>tot</sub> (m³/s) |
|-------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| 01    | 3.771                   | 0.225                       | 154.61                     | 158.606                | 0.158                   |
| 02    | 9.38                    | 0.366                       | 351.92                     | 361.666                | 0.361                   |
| 03    | 8.889                   | 0.39                        | 353.33                     | 362.609                | 0.362                   |
| 04    | 10.507                  | 0.485                       | 443.91                     | 454.902                | 0.454                   |
| 05    | 11.394                  | 0.585                       | 548.38                     | 560.359                | 0.560                   |
| 06    | 12.701                  | 0.609                       | 571.28                     | 584.59                 | 0.584                   |
| 07    | 8.421                   | 0.426                       | 370.24                     | 379.087                | 0.379                   |
| 08    | 6.758                   | 0.323                       | 264.43                     | 271.511                | 0.271                   |
| 09    | 10.673                  | 0.533                       | 498.90                     | 510.106                | 0.510                   |
| 10    | 10.325                  | 0.516                       | 483.34                     | 494.181                | 0.494                   |
| Total | <b>92.819</b>           | <b>4.458</b>                | <b>4040.34</b>             | <b>4137.617</b>        | <b>4.193</b>            |

### Conclusion :

À travers ce chapitre, nous avons procédé à une analyse détaillée des débits à évacuer, en intégrant les eaux usées domestiques, industrielles et publiques, les eaux claires parasites ainsi que les eaux pluviales. Cette évaluation constitue une étape fondamentale, car elle offre une vision globale et précise des sollicitations hydrauliques auxquelles le réseau devra

répondre, et pose ainsi les bases nécessaires au dimensionnement rationnel et durable des ouvrages projetés.

**Chapitre V**

**Dimensionnement**

**hydraulique du réseau**

**d'assainissement**

**Introduction:**

Le calcul hydraulique constitue une étape essentielle dans la conception d'un réseau d'assainissement. Il vise à déterminer les dimensions optimales des ouvrages composant le réseau (conduites, regards, ouvrages de visite, etc) en tenant compte des caractéristiques de l'écoulement des eaux usées ou pluviales.

Ce dimensionnement repose sur plusieurs paramètres : débit, vitesse d'écoulement, pente, coefficient de frottement, entre autres. Il doit également se conformer aux normes en vigueur afin d'assurer le bon fonctionnement du système et la sécurité des personnes et des biens.

En permettant d'optimiser la conception, le calcul hydraulique évite les surdimensionnements coûteux tout en garantissant un écoulement efficace. Il est généralement réalisé à l'aide de logiciels spécialisés capables de simuler le comportement du réseau en fonction des conditions hydrauliques et topographiques.

**V.1. Conception du réseau :**

La conception d'un réseau d'assainissement consiste à représenter, sous forme de schéma, l'ensemble des éléments constituant les différentes branches du réseau.

**➤ Les collecteurs :**

Les collecteurs doivent être dimensionnés pour assurer, en toutes circonstances, l'évacuation des débits provenant des conduites qu'ils desservent. Ils se définissent par plusieurs caractéristiques

- Leur emplacement dans le tracé du réseau.
- Leur profondeur d'enfouissement.
- Leurs dimensions diamètres intérieur et extérieur
- Leur pente.
- La nature de leurs joints et la méthode de pose.

**➤ Les regards:**

Les regards (de visite, de jonction, etc) assurent la connexion, le contrôle et l'entretien du réseau. Ils sont caractérisés par:

- Leur emplacement.

- Leur profondeur.
- Leurs altitudes de fond et de dalle (côtes).

## V.2. Dimensionnement d'un réseau d'assainissement :

Certaines conditions doivent être vérifiées :

### V.2.1. Conditions d'écoulement et de dimensionnement:

Le dimensionnement des collecteurs d'assainissement doit tenir compte des éléments suivants

- **Le débit à évacuer** : Il varie fortement dans les réseaux unitaires. En effet, le débit en période sèche principalement domestique est généralement négligeable comparé au débit de pointe en période pluviale.
- **La pente du collecteur** : Elle est déterminée par la topographie naturelle du terrain. Il convient d'éviter à la fois des profondeurs excessives, qui compliquent les travaux, et des profondeurs trop faibles, qui compromettent l'efficacité hydraulique. La pente influe directement sur la vitesse d'écoulement dans le collecteur. Celle-ci doit respecter une limite inférieure pour garantir l'auto-curage, et une limite supérieure, comprise entre 5 et 8 ms, afin d'éviter l'érosion des parois internes et la détérioration des joints,
- **Le matériau du collecteur** : Il conditionne la rugosité interne, la résistance mécanique, l'épaisseur des parois, le type de joint utilisé et les modalités de manutention lors de la pose des conduites.
- **L'auto-curage** : Ce phénomène permet d'évacuer les particules fines sables, argiles apportées par les pluies de faible intensité, afin d'éviter les dépôts et l'encrassement du réseau. L'auto-curage est assuré par une vitesse minimale de 0.6 m/s pour 1/10 du débit en section pleine, et de 0.3 m/s pour 1/100 de ce même débit.

### V.2.2. Mode de calcul:

Avant d'effectuer le calcul hydraulique d'un réseau d'assainissement gravitaire, les hypothèses suivantes sont posées :

- **L'écoulement est supposé uniforme et a surface libre**, ce qui implique que le gradient hydraulique des pertes de charge est équivalent à la pente du radier fond de la conduite

- **La perte de charge** est interprétée comme une perte d'énergie potentielle, correspondant à la différence de niveaux du plan d'eau entre l'amont et l'aval.

Il est important de noter que les canalisations d'égouts, bien que dimensionnées pour un **débit de pleine section (Qps)**, ne transportent en réalité, la plupart du temps, que des volumes d'eau inférieure à cette capacité théorique.

Avant d'engager les calculs, il convient de définir un certain nombre de paramètres caractéristiques. L'écoulement dans les collecteurs d'assainissement étant à surface libre, il est régi par la formule de continuité, qui exprime la conservation du débit volumique.

$$Q = V.S$$

Avec :

S : section mouillée m<sup>2</sup>

V : vitesse d'écoulement ms

Q : débit m<sup>3</sup>s

La vitesse est déterminée par l'expression :

$$V = K_s R^{2/3} \sqrt{I_m}$$

Où : **R(m)** : rayon hydraulique

**K<sub>s</sub>** : coefficient de rugosité

**I<sub>m</sub>** : pente du collecteur

L'expression de débit devient :

$$Q = K_s S R^{2/3} \sqrt{I_m}$$

D'où:

La formule de diamètre est :

$$D_{cal} = \left( \frac{3.2036 \cdot Q_t}{K_s \sqrt{I}} \right)^{2/8}$$

Le débit en pleine section est donc:

$$Q_{ps} = V_{ps} \cdot \frac{\pi (D_{nor})^2}{4}$$

$D_{nor}$  : diamètre normalisé de la conduite en (mm)

On obtient la vitesse de pleine section :

$$V_{ps} = K_s \left( \frac{D_{nor}}{4} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{I}$$

Par la suite on calcule les vitesses et les hauteurs :

$$R_V = \frac{V}{V_{ps}} \rightarrow V = R_V \cdot V_{ps}$$

$$R_H = \frac{H}{D_{nor}} \rightarrow H = R_H \cdot D_{nor}$$

$$R_{V\ min} = \frac{V_{min}}{V_{ps}} \rightarrow V_{min} = R_{V\ min} \cdot V_{ps}$$

$$R_{H\ min} = \frac{H_{min}}{D_{nor}} \rightarrow H_{min} = R_{H\ min} \cdot D_{nor}$$

Pour la vérification de l'auto curage on a deux conditions à vérifier :

**1<sup>ère</sup> condition** : vitesse d'écoulement ( $V \geq 1.00$  m/s)

**2<sup>ème</sup> condition** :  $V_{min} > 0,60$  m/s pour  $Q_{min} \sim (Q_{ps} / 10)$ .

$$V_{min} > 0.30 \text{ m/s pour } Q_{min} \sim (Q_{ps} / 100)$$

**Résultats du dimensionnement** : Annexe 05

### Conclusion:

Ce chapitre a permis de procéder au dimensionnement des collecteurs projetés. Les données recueillies et analysées ont servi à définir les sections adéquates des conduites à mettre en place. Ces résultats constituent une base essentielle pour la conception d'un réseau d'assainissement performant et pérenne, capable de satisfaire les besoins actuels tout en anticipant ceux à venir dans la zone d'étude.

## **Chapitre VI**

# **Les ouvrages annexes**

**Introduction :**

Les ouvrages annexes constituent des éléments complémentaires, mais essentiels, d'un réseau d'assainissement. Ils jouent un rôle clé dans le fonctionnement de l'ensemble du système en permettant la collecte, le transport, le traitement éventuel et la restitution des eaux usées ou pluviales dans le milieu naturel.

Ces ouvrages doivent assurer une parfaite étanchéité, y compris en cas de mouvements de terrain, afin de garantir l'efficacité de l'évacuation des eaux. De plus, ils doivent offrir une grande durabilité afin d'assurer la pérennité de l'infrastructure, tout en nécessitant le minimum d'entretien.

**VI.1. Les ouvrages principaux:**

Les ouvrages principaux regroupent l'ensemble des éléments destinés à évacuer les effluents jusqu'au point de rejet ou à la station d'épuration. Ils comprennent notamment les conduites, les joints, ainsi que les ouvrages visitables, qui permettent d'en assurer l'entretien et le suivi.

**VI.2. Les canalisations :**

Les canalisations d'assainissement sont des conduites intégrées au réseau d'évacuation, destinées à assurer le transport des différents effluents (eaux usées domestiques, eaux pluviales, etc.) entre deux points de desserte

**VI.2.1. Type de canalisations:**

Il existe plusieurs types de conduites, qui se distinguent par la nature de leurs matériaux et par leur usage spécifique :

**Conduites en béton non armé :**

Les conduites en béton non armé sont produites de manière mécanique selon un procédé garantissant une forte compacité du béton. Leur longueur utile ne doit pas dépasser 2,50 mètres. Ces conduites présentent une rupture soudaine, en particulier lorsque la hauteur de recouvrement est insuffisante, phénomène qui survient généralement durant les premières années d'exploitation. Il est déconseillé d'utiliser les tuyaux en béton non armé pour les canalisations accessibles (dites visitables).

**Conduites en béton armé :**

Les tuyaux en béton armé sont fabriqués mécaniquement selon des procédés garantissant une forte compacité du béton, tels que la compression radiale, la vibration ou encore la centrifugation. Ces conduites sont renforcées par deux types d'armatures :

- Des barres droites appelées génératrices ;
- Des spires hélicoïdales continues, disposées avec un pas régulier ne dépassant pas 1,5 mètre.

La longueur utile de ces tuyaux ne doit pas dépasser 2 mètres.

**Conduites en amiante-ciment :**

Les tuyaux et les éléments de raccordement en amiante-ciment sont élaborés à partir d'un mélange homogène de ciment Portland et de fibres d'amiante, préparé en présence d'eau. Ce type de conduite se décline en deux variantes, selon le procédé d'assemblage : soit à emboîtement, soit avec des extrémités lisses, sans emboîtement.

Les dimensions disponibles couvrent une gamme de diamètres allant de 60 à 500 mm, avec des longueurs standards comprises entre 4 et 5 mètres. L'étanchéité des assemblages est assurée exclusivement par des joints préformés, garantissant une pose rapide et fiable.

**Conduites en chlorure de polyvinyle (P.V.C) :**

Le PVC (polychlorure de vinyle) est une matière plastique d'origine synthétique, obtenue par polymérisation du monomère de chlorure de vinyle. La fabrication de ce matériau commence par une poudre de résine à laquelle sont ajoutés divers additifs spécifiques, permettant d'améliorer ses propriétés. Après extrusion, les tubes sont refroidis puis découpés aux longueurs souhaitées.

Les canalisations en PVC sont disponibles dans une large gamme de diamètres, généralement compris entre 110 mm et 700 mm. Leur longueur utile varie de 4 à 6 mètres, en fonction des normes et des fabricants.

Parmi les principaux avantages de ce type de conduit, on peut citer :

- Une bonne compatibilité avec les eaux usées domestiques,

- Une résistance mécanique adaptée aux sollicitations courantes,
- Une grande légèreté facilitant la manipulation et la pose,
- Une excellente résistance à l'abrasion.

Cependant, le principal inconvénient du PVC reste sa sensibilité aux variations de température, pouvant influencer ses performances à long terme.

### VI.2.2. Choix du type de canalisations:

Le choix des types de conduites à utiliser dans un réseau d'assainissement dépend de plusieurs critères techniques, notamment :

- La pente naturelle du terrain, qui influence le régime d'écoulement.
- Les diamètres requis en fonction des débits à évacuer.
- La nature géotechnique du sol traversé, qui peut affecter la pose et la durabilité des conduites.
- La composition chimique des eaux usées, susceptible d'agresser certains matériaux.
- Les contraintes mécaniques extérieures, telles que les charges de remblai ou de circulation.

Dans le cadre de notre projet, deux types de conduites ont été retenus selon leur fonction

- **Le béton armé** : sera utilisé pour les collecteurs principaux desservant les agglomérations.
- **Le PVC** : quant à lui, sera réservé aux conduites secondaires, dont les diamètres ne dépassent pas 630 mm. Ce matériau est privilégié pour sa légèreté, sa résistance à la corrosion et sa facilité de mise en œuvre.

### VI.3. Les joints des conduites en béton armé :

Le choix approprié du type d'assemblage entre les conduites est étroitement lié à la qualité du joint utilisé. Ce dernier doit être sélectionné en fonction de plusieurs facteurs, notamment la nature des eaux véhiculées (domestiques, industrielles, agressives), la stabilité du sol environnant, ainsi que les caractéristiques propres aux tuyaux, telles que le matériau, le diamètre et l'épaisseur des parois.

Dans le cas des conduites en béton armé, plusieurs types de joints peuvent être utilisés, chacun répondant à des exigences spécifiques d'étanchéité, de flexibilité et de résistance mécanique. Ces joints assurent non seulement la continuité hydraulique du réseau, mais aussi la protection contre les infiltrations et les déformations dues aux mouvements du sol ou aux charges extérieures.

Dans les réseaux utilisant des conduites en béton armé, plusieurs types de joints peuvent être employés, chacun répondant à des conditions spécifiques de pose, de pression et de nature de sol. Les principaux types de joints sont les suivants:

- **Joint type Rocla** : Ce joint assure une excellente étanchéité aussi bien pour les eaux usées transportées que pour les infiltrations extérieures. Il convient à tous les diamètres de conduites, ce qui en fait une solution polyvalente et fiable.
- **Joint à demi-emboîtement** : Constitué d'un cordon de bourrage au mortier de ciment, ce type de joint est recommandé dans les terrains stables. Toutefois, il présente un risque de suintement sous forte pression et n'est pas adapté aux zones à forte pente, où les contraintes hydrauliques sont plus importantes.
- **Joint à collet** : Également bourré au mortier de ciment, ce joint est réservé aux terrains de bonne qualité et aux pentes faibles. Il offre une étanchéité limitée et ne supporte pas les pressions importantes ni les mouvements de sol.
- **Joint torique** : Adapté aux sols peu porteurs ou instables, ce type de joint offre une étanchéité satisfaisante sous pression modérée. Il est généralement utilisé pour des conduites de grand diamètre, notamment entre 700 mm et 900 mm.
- **Joint plastique** : Ce joint combine plusieurs éléments d'étanchéité, dont un cordon de butée en bitume et une bague ou un manchon en matière plastique. Il garantit une excellente étanchéité, y compris sous charge, et peut être mis en œuvre dans la majorité des sols, à condition que la pose soit correctement exécutée.

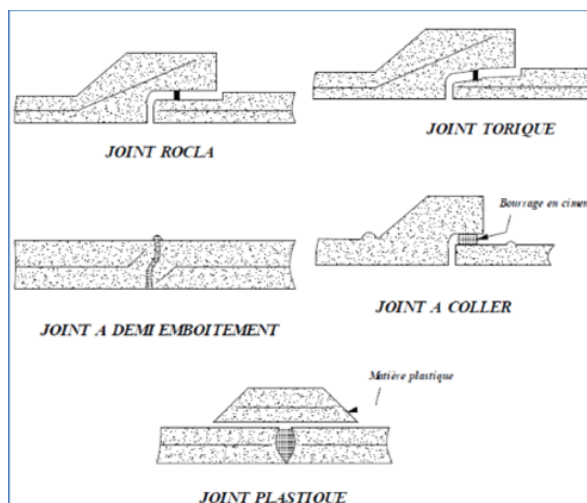


Figure VI.1 : Différents types de joints

#### VI.4. Différentes actions supportées par la conduite :

Les conduites d'assainissement sont soumises à divers types de sollicitations, tant internes qu'externes, ce qui impose un choix rigoureux du matériau afin de garantir la durabilité et la fiabilité du réseau. Parmi les principales actions subies, on peut distinguer :

- **Actions mécaniques internes :**

Ces efforts proviennent du frottement des particules solides (sables, graviers, etc.) en suspension dans l'eau usée. Ces particules, en mouvement constant, entraînent une abrasion progressive des parois internes des conduites, pouvant réduire leur épaisseur et leur durée de vie.

- **Actions statiques externes :**

Elles sont générées par les charges permanentes ou occasionnelles qui s'exercent sur les conduites enfouies. Il s'agit notamment du poids des remblais, du trafic routier en surface, ainsi que des charges induites par le mouvement de l'eau à l'intérieur des canalisations. Ces contraintes doivent être prises en compte pour éviter les déformations ou ruptures des conduites.

**Actions chimiques internes :**

Ces sollicitations surviennent principalement à l'intérieur des conduites et résultent de la présence de substances chimiques agressives, notamment dans les eaux d'origine industrielle. Ces agents peuvent provoquer des réactions de corrosion ou de dégradation des matériaux constitutifs de la canalisation, réduisant ainsi leur longévité. Le choix du matériau doit donc prendre en compte la résistance chimique nécessaire face aux effluents transportés.

**VI.5. Protection des conduites :**

Afin de limiter les effets néfastes des différentes sollicitations (mécaniques, chimiques, statiques), plusieurs mesures de prévention peuvent être mises en œuvre :

- **Réduction du temps de séjour des eaux usées** : Il est essentiel de minimiser la durée de stagnation des effluents dans les conduites afin d'éviter la formation de dépôts et les réactions chimiques indésirables.
- **Nettoyage régulier des dépôts** : Les dépôts doivent être évacués fréquemment, car ils favorisent les fermentations anaérobies, responsables de la production de sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), un gaz hautement corrosif qui détériore la partie non immergée des canalisations.
- **Bonne aération du réseau** : Une ventilation efficace limite la condensation d'humidité sur les parois et contribue à abaisser la concentration en  $H_2S$ , réduisant ainsi les risques de corrosion.
- **Revêtement interne des conduites** : L'utilisation de ciment sulfaté ou de ciment limoneux, dosé correctement (entre 300 et 350 kg/m<sup>3</sup> de béton), permet d'améliorer la résistance chimique des canalisations.
- **Prévention de l'intrusion des sables** : Une implantation judicieuse des bouches d'égout permet d'éviter l'entrée de sables, réduisant ainsi l'abrasion interne.
- **Rinçage périodique des conduites** : Le nettoyage fréquent du réseau assure le maintien des performances hydrauliques et empêche l'accumulation de matières solides.

## VI.6. Les ouvrages annexes:

Les ouvrages annexes sont nécessaires pour l'entretien et exploitation du réseau d'égout.

### VI.6.1. Les branchements:

Les branchements doivent garantir des conditions d'hygiène optimales pour les habitations tout en assurant le bon fonctionnement hydraulique du réseau de collecte. Un branchement particulier comprend généralement les éléments suivants:

- **Le raccordement au bâtiment**, avec, si nécessaire (selon la longueur et la pente), la mise en place d'un regard de façade situé en limite de propriété ou sur le domaine public ;
- **Une canalisation de liaison** entre le bâtiment et le réseau collectif ;
- **Le raccordement à l'égout public.**

Il est recommandé que le diamètre des branchements soit inférieur à celui de la conduite principale afin de limiter les risques d'obstruction.

Pour des raisons hydrauliques et sanitaires, les branchements doivent être réalisés sous un angle de 45° à 60° par rapport à l'axe principal de la conduite publique, afin d'éviter tout reflux d'eau vers les installations privées.

Le raccordement effectif de la canalisation de branchement peut se réaliser selon trois méthodes, choisies en fonction de la nature et des dimensions du réseau public.

- **Branchement simple ou par culotte :**

Ce dispositif est utilisé lors de la mise en place initiale du réseau. Il constitue la solution privilégiée lorsque l'emplacement du futur branchement est déjà déterminé à l'avance.

- **Raccord de piquage :**

Ce type de raccordement est adapté aux conduites principales de petit diamètre. Il s'effectue par collage à l'aide d'un mortier adhésif. Un recouvrement minimal de 6 cm est nécessaire pour assurer l'étanchéité et la stabilité de l'ensemble.

- **Branchement par tulipe ou bout lisse avec arrêtoirs :**

Ce système est utilisé sur les canalisations principales en béton (armé ou non) de diamètre supérieur ou égal à 0,4 m. Le raccordement est réalisé au moyen d'une tulipe ou d'un bout lisse équipé d'arrêtoirs, qui empêchent toute intrusion excessive de la pièce à l'intérieur de la conduite principale.

### **VI.6.2. Ouvrages de collecte en surface:**

Les ouvrages de collecte en surface sont principalement conçus pour la récupération des eaux pluviales. On distingue généralement deux grandes catégories:

- **Les ouvrages de collecte et de transport :** tels que les fossés, gargouilles et caniveaux, qui assurent l'écoulement des eaux à ciel ouvert vers les points d'engouffrement ou les collecteurs.
- **Les ouvrages d'engouffrement :** implantés en tête ou le long du réseau principal, comme les bouches d'égout, les avaloirs et les grilles, qui permettent l'entrée des eaux de ruissellement dans le réseau enterré.

### **VI.6.3. Les gargouilles:**

Les gargouilles sont des conduites de section carrée ou rectangulaire, encastrées dans le sol, utilisées pour acheminer les eaux pluviales vers un collecteur lorsqu'aucun égout n'est disponible à proximité immédiate. Elles sont exclusivement réservées à l'évacuation des eaux de pluie ; les eaux domestiques ne doivent en aucun cas y transiter, afin de préserver l'hygiène publique et d'éviter toute pollution du milieu naturel.

#### VI.6.4. Les caniveaux:

Les caniveaux sont des ouvrages annexes intégrés à la voirie, conçus pour recueillir les eaux pluviales s'écoulant depuis la chaussée, et éventuellement depuis les trottoirs lorsqu'ils existent. Ils constituent le premier niveau de collecte en surface avant le transfert des eaux vers les dispositifs d'engouffrement ou les collecteurs souterrains.

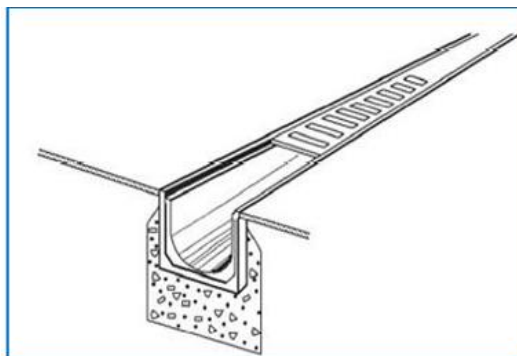


Figure VI.2 : Caniveaux à grilles

#### VI.6.5. Les bouches d'égout:

Les bouches d'égout sont des dispositifs de surface conçus pour collecter les eaux pluviales ainsi que les eaux de lavage des voiries. Elles sont généralement situées aux points bas des caniveaux, soit au niveau de la chaussée, soit sous les trottoirs.

L'espacement moyen entre deux bouches d'égout est de l'ordre de 50 mètres. La section d'entrée de chaque bouche est déterminée en fonction de cette distance, de manière à permettre l'absorption efficace du débit d'eau généré en amont, notamment lors des épisodes pluvieux intenses.

Les bouches d'égout peuvent être classées selon deux critères :

- **Le mode de captation de l'eau** : on distingue les bouches à **absorption latérale**, où l'eau pénètre par les côtés, et celles à **absorption par le haut**, où l'eau entre par la surface supérieure.
- **Le système de rétention des déchets**: qui permet d'éviter que les solides n'atteignent le réseau souterrain.

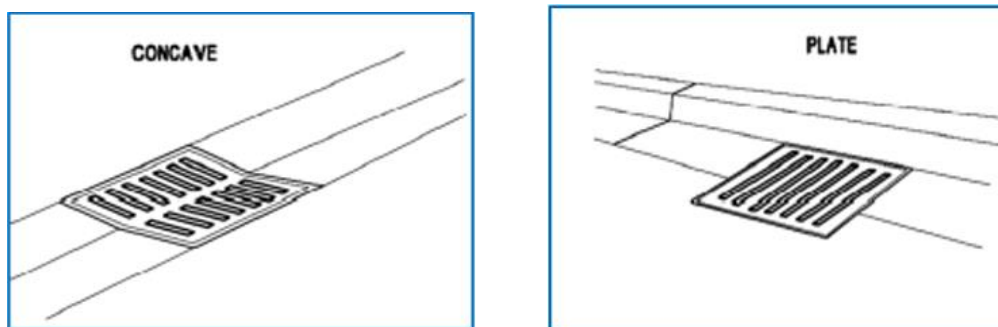


**Figure VI.3:** Types de bouche d'absorption des eaux pluviales

#### VI.6.6. Regard:

Les regards constituent des ouvertures d'accès permettant au personnel d'entretien d'intervenir pour la surveillance, la maintenance et le bon fonctionnement du réseau d'assainissement. Leur conception dépend de plusieurs facteurs, notamment la pente du terrain, l'encombrement local et le type de système d'évacuation mis en place. En plus de leur fonction d'accès, les regards participent également à l'aération du réseau.

L'espacement entre deux regards varie selon la topographie :

- Entre 35 et 50 mètres en terrain accidenté ;
- Entre 50 et 80 mètres en terrain plat.

L'installation de regards est requise aux emplacements suivants sur les canalisations :

- À chaque changement de direction.
- À chaque raccordement entre conduits.
- Aux points de chute.
- À chaque variation de pente.
- Lors de tout changement de diamètre.

### VI.6.6.1. Types de regards:

Différents types de regards sont utilisés dans les réseaux d'assainissement, chacun répondant à des besoins spécifiques selon la configuration du réseau et les conditions du terrain :

- **Regard de visite** : Destiné à l'entretien, l'inspection et le curage des canalisations, il assure également une bonne ventilation. L'espacement entre deux regards de visite varie généralement entre 35 et 80 mètres.
- **Regard de ventilation** : Conçu pour limiter les phénomènes de fermentation et la formation de gaz tels que l'hydrogène sulfuré. Il peut comporter des tampons perforés, des tuyaux d'évacuation prolongés à l'air libre, ou encore des cheminées d'aération placées dans l'axe de la conduite.
- **Regard de jonction** : Permet la connexion de deux collecteurs tout en assurant une bonne ventilation, un alignement correct des niveaux d'eau, une adaptation aux dénivelés et l'absence de reflux.
- **Regard simple** : Sert à raccorder des conduites de même diamètre ou de diamètres différents, en assurant la continuité hydraulique du réseau.
- **Regard latéral** : Utilisé lorsque l'espace est restreint ou lorsque les canalisations présentent de grands diamètres. Il est souvent placé sur le côté du collecteur principal.
- **Regard double** : Spécifiquement conçu pour les réseaux séparatifs, il permet de gérer simultanément les eaux usées et les eaux pluviales.
- **Regard toboggan** : Construit pour dissiper les remous dans les zones où les écoulements présentent des vitesses importantes.
- **Regard de chute** : Utilisé principalement en terrain accidenté, il permet de dissiper l'énergie des eaux en chute, tout en limitant l'érosion et les turbulences. C'est l'un des regards les plus courants en assainissement.

Dans notre étude, nous avons retenu deux types de regards : les regards de visite, qui permettent l'inspection et l'entretien des collecteurs, et les regards de chute, indispensables pour dissiper l'énergie des eaux en chute, et assurer la continuité hydraulique du réseau.

## VI.7. Ouvrages spéciaux:

### VI.7.1. Déversoirs d'orage:

Un déversoir d'orage est un ouvrage hydraulique conçu pour évacuer les excès de ruissellement lors des fortes pluies, en dérivant une partie du débit vers un exutoire secondaire. Il permet ainsi de limiter la surcharge du réseau principal en aval, en assurant un déversement contrôlé au-delà d'un certain seuil de débit.

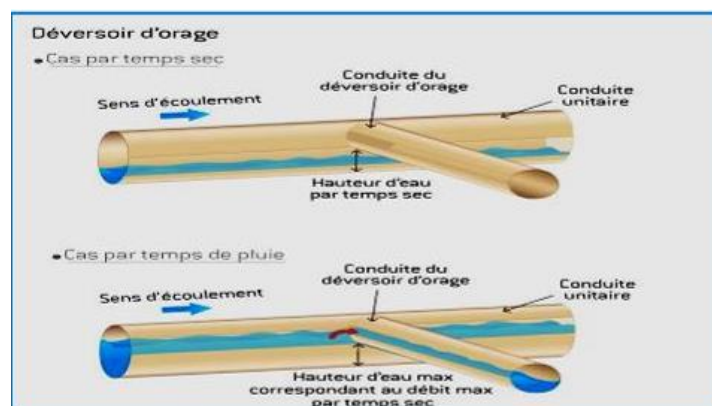


Figure VI.4: Schéma de principe d'un déversoir d'orage

Source (Hydraulique Urbaine, 2013)

#### VI.7.1.1. Emplacement des déversoirs d'orage:

Les déversoirs d'orage sont implantés à des points stratégiques du réseau afin d'optimiser son fonctionnement hydraulique et de prévenir les surcharges. Ils sont généralement situés :

- **En amont de la station d'épuration**, pour réguler le débit entrant et éviter toute surcharge hydraulique susceptible d'altérer le rendement épuratoire.
- **Au sein du réseau**, notamment en zone intermédiaire, pour limiter les diamètres des collecteurs aval ou soulager ponctuellement une section de conduite sujette à des débits excessifs.

Avant leur implantation, plusieurs facteurs doivent être pris en compte :

- **Le milieu récepteur** : Il est essentiel d'évaluer sa capacité de dilution et son pouvoir auto-épurateur afin d'assurer un rejet compatible avec l'équilibre écologique local.

- **Les capacités de la station d'épuration** : Il convient de vérifier que les ouvrages de traitement (décantation, aération, etc.) sont dimensionnés pour les débits restants, afin de garantir un fonctionnement optimal sans surcharge.
- **La topographie du site** : Les pentes naturelles et leurs variations influencent le positionnement des déversoirs, en particulier pour assurer un écoulement gravitaire et éviter les refoulements.

#### VI.7.1.2 Types de déversoirs d'orage:

Les déversoirs d'orage se déclinent en plusieurs types, selon divers facteurs tels que la pente du terrain, le débit d'écoulement et la position de la station d'épuration (STEP) dans le réseau. On distingue notamment les ouvrages à seuil déversant, regroupés en deux grandes catégories :

##### ➤ Déversoir à seuil haut

Ce type constitue la forme classique des déversoirs. Le seuil est placé à une hauteur permettant normalement le passage intégral du débit vers la station d'épuration. Lorsque le débit dépasse cette capacité, l'excédent est évacué par surverse.

Le fonctionnement peut être influencé par la vitesse d'approche de l'eau, surtout si elle est parallèle au seuil. Cependant, cette perturbation reste généralement négligeable, ce qui permet d'appliquer les formules classiques pour le dimensionnement.

Ce type de déversoir inclut généralement un rétrécissement, dont le diamètre est calculé précisément pour diriger uniquement le débit destiné au traitement, tout en rejetant l'excès vers un exutoire.

##### ➤ Déversoir à seuil bas

Ce dispositif consiste en une ouverture latérale pratiquée dans un collecteur, à une position inférieure. Son comportement hydraulique dépend de plusieurs facteurs : pente du radier, conditions amont et aval, pourcentage de débit à dériver, etc.

La ligne d'eau peut y prendre des formes très variées : présence de ressauts, niveaux d'eau différents en amont et en aval, variations de hauteur selon les conditions de débit. En raison de cette complexité, de nombreuses configurations de fonctionnement sont

possibles, et plusieurs formules empiriques ont été proposées dans la littérature, parfois contradictoires.

D'un point de vue hydraulique, le comportement des déversoirs à seuil haut est mieux maîtrisé et plus largement documenté que celui des seuils bas, dont l'analyse reste plus délicate.

➤ **Déversoir à seuil frontal :**

Le déversement dans un déversoir à seuil frontal s'effectue en alignement avec le collecteur d'amenée ou à l'endroit d'un changement de direction de l'écoulement. Dans cette configuration, il est essentiel que le seuil ne soit pas trop surélevé, afin de ne pas réduire de manière significative la section utile de passage du flux.

Ce type de déversoir est particulièrement adapté à une implantation sur une branche secondaire du réseau, adjacente à un collecteur de berge. Toutefois, son bon fonctionnement suppose l'absence de perturbations hydrauliques, notamment celles liées à des mises en charge en aval, qui pourraient compromettre l'écoulement gravitaire et l'efficacité du déversement.



**Figure VI.5:** Déversoir à seuil frontal

**Source** (Hydraulique Urbaine, 2013)

➤ **Déversoir d'orage à seuil latéral**

Le déversoir à seuil latéral, qu'il soit biais ou unilatéral, à seuil haut ou seuil bas, constitue une configuration classique en assainissement. Il peut être équipé de dispositifs de vannage pour un meilleur contrôle des débits.

Son principal avantage réside dans la possibilité d'implanter un seuil de grande longueur sans nécessiter une emprise importante, ce qui le rend particulièrement adapté aux sites contraints en espace.

À l'aval de la chambre de déversement, le débit conservé vers le réseau unitaire (acheminé vers la station d'épuration) peut être réglé à l'aide d'un orifice calibré placé à l'entrée du collecteur aval. Le choix de l'équipement de régulation dépend du type de seuil :

- Pour un seuil latéral bas (rapport important entre le diamètre du collecteur d'entrée et la hauteur du seuil) :

Il n'est généralement pas possible d'installer un orifice calibré réglable, en raison des contraintes hydrauliques.

- Pour un seuil latéral haut (rapport entre la hauteur du seuil et le diamètre du collecteur)

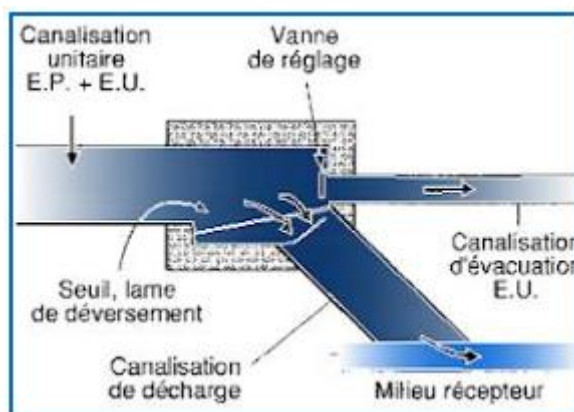


**Figure VI.6** Déversoir d'orage à seuil latéral

**Source** (Hydraulique Urbaine, 2013)

L'installation d'une vanne réglable est nécessaire afin de calibrer avec précision le débit dirigé vers la station d'épuration.

Dans notre cas, le choix s'est porté sur un déversoir latéral, en raison des contraintes liées à la topographie, à la localisation de la décharge ainsi qu'à l'implantation de la station d'épuration (STEP).

### **VI.7.1.3. Données de base pour le dimensionnement d'un déversoir d'orage:**

Lorsqu'un déversoir d'orage est implanté à un emplacement donné, il est indispensable de déterminer les débits caractéristiques susceptibles de traverser l'ouvrage :

- Le débit maximum admissible des eaux pluviales,
- Le débit en temps sec,

- Le débit limite admissible dans le collecteur aval.

Par ailleurs, il est nécessaire de préciser les caractéristiques des collecteurs, notamment :

- La pente motrice moyenne,
- Les diamètres des collecteurs amont et aval,
- Les conditions d'écoulement (fluvial ou torrentiel),
- La charge hydraulique moyenne disponible pour l'évacuation vers la décharge,
- La zone d'implantation et sa topographie.

#### VI.7.1.4. Dimensionnement de déversoir d'orage:

Pour les déversoirs rejetant dans les oueds, l'intégralité du surplus des eaux pluviales est déversée, qu'il s'agisse du déversoir ou de la conduite vers la STEP prévue. Le principe retenu repose sur une dilution double, c'est-à-dire que l'on conserve un débit d'eaux pluviales équivalent au double du débit d'eau en temps sec.

##### a) Mode de calcul

La somme des débits pluviales ( $Q_p$ ) et des débits en temps sec ( $Q_{us}$ ) est appelée débit total de dimensionnement.

$$Q_t = Q_p + Q_{us}$$

Pour la STEP, il est prévu d'avoir un débit de pointe dilué deux fois :

$$Q_{St} = 2. Q_{us}$$

Le débit qui est rejeté vers le CHAABA :

$$Q_R = Q_t - Q_s$$

- On détermine la valeur de la lame déversée ( $H_r$ )
- On détermine la longueur du seuil, déversant ( $L$ )

##### b) Données hydrauliques du déversoir

- Diamètre d'entrée :  $D_e = 1000$  mm

- Débit total à l'entrée :  $Q_t = 3.6120 \text{ m}^3/\text{s}$
- Débit en temps sec :  $Q_{ts} = 0.1149 \text{ m}^3/\text{s}$
- Débit de pointe dirigé vers l'aval :  $Q_{pte} = 1.0198 \text{ m}^3/\text{s}$
- La pente égale à  $0.0198 \text{ m/m}$

**c) Temps de concentration**

$$t_1 = \frac{L}{60 V} (\text{min}) = \frac{1529.70}{60 \times 4.02} = 7 \text{ min}$$

On prend  $t_2 = 5 \text{ min}$

Le temps de concentration égale

$$T_c = 7 + 5 = 12 \text{ min}$$

**d) Coefficient de retardement**

Le calcul prend en considération le temps de concentration, c'est-à-dire le délai nécessaire à l'eau de pluie pour atteindre le déversoir. Ce paramètre permet de réduire (ou d'ajuster) le débit pluvial pris en compte

$$Z = 1 - \frac{t_c}{100} = 1 - \frac{12}{100} = 0.88$$

**e) Calcul le débit pluvial critique :**

$$Q_{cr} = Q_t \times \left(1 - \frac{t_c}{100}\right) = 3.6120 \times 0.88 = 3.143 \text{ m}^3/\text{s}$$

**f) Calcul le débit déversé :**

$$Q_{dev} = Q_{cri} - Q_{st}$$

$$\text{Tel que } Q_{st} = 2 Q_{pte}$$

$$Q_{dev} = 3.143 - 1.0198 = 2.1235 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{amont} = 1000 \text{ mm}$$

$$Rq = \frac{Q_{cri}}{Q_{ps}} = \frac{3.143}{3.44} = 0.91$$

D'après l'abaque  $R_h = 0.63$  , donc  $h_{amont} = 630 \text{ mm}$

g) **Calcul  $H_{step}$  :**

$$Rq = \frac{Q_{step}}{Q_{ps}} = \frac{1.019}{3.44} = 0.29$$

$$Rh = \frac{h_{step}}{D} \rightarrow h_{step} = R_h \cdot D$$

De l'abaque on détermine  $R_h$  et  $R_v$

$$R_h = 0.35$$

$$R_v = 0.85$$

$$H_{step} = 0.35 \times 1200 = 420 \text{ mm}$$

h) **Détermination de la hauteur d'eau déversée  $h_{dev}$  :**

$$Rh = \frac{h_{cri}}{D} \rightarrow h_{cri} = D \cdot R_h$$

De l'abaque on détermine  $R_h$  :  $R_{hcr} = 0.71$

$$h_{cr} = 0.71 \times 1200 = 852 \text{ mm}$$

$$h_{dev} = h_{cr} - h_{st} = 852 - 420 = 432 \text{ mm}$$

i) **La longueur du seuil déversant :**

La formule utilisée est celle de BAZIN :

$$Q_{dev} = m \cdot L \cdot h_{dev} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{dev}}$$

Avec :

$m$  : coefficient de débit en fonction de type de déversoir

- $m = 0.46$  : déversoir frontale.
- $m < 0.46$  : déversoir latéral.

On a un déversoir latéral, donc  $m = 0.36$

$L$  : longueur du seuil.

$h_{dev}$  : à la hauteur d'eau déversée par le déversoir.

$g$  : pesanteur = 9.81 m/s<sup>2</sup>

$$L = \frac{Q_{dev}}{m \cdot \sqrt{2g} h_{dev}^{3/2}} = 4.690 \text{ m}$$

Le déversoir d'orage a été prévu afin de protéger le corps d'eau Chaâba en période de fortes pluies. Cet ouvrage permet de dériver les excès de débit et d'éviter toute surcharge hydraulique du milieu récepteur. Le raccordement des eaux usées se fait sur la conduite existante de la commune de Ouled Rahmoun, située à proximité du site de diamètre de la conduite de raccordement de Ø800 mm, garantissant la compatibilité hydraulique avec le réseau existant.

## Conclusion

En définitive, le choix des ouvrages annexes constitue un élément essentiel pour assurer la performance et la durabilité du réseau d'assainissement de la commune. L'adoption des regards de visite, des déversoirs d'orage ainsi que des conduites circulaires en béton armé et en PVC de diamètres appropriés, permet non seulement de garantir une bonne évacuation des eaux usées et pluviales, mais aussi de faciliter l'entretien et de réduire les risques d'inondation.

Ces solutions techniques, adaptées aux spécificités topographiques du bassin versant, offrent ainsi une gestion efficace et pérenne des eaux dans la commune.

**Chapitre VII**

**ORGANISATION DU**

**CHANTIER**

**Introduction :**

La réalisation d'un projet de construction, notamment l'installation d'un système d'assainissement, est encadrée par un cadre légal et réglementaire strict, qu'il s'agisse d'un chantier en milieu urbain ou rural. Le respect des règles d'organisation constitue une condition essentielle pour assurer une exécution optimale.

Parmi les méthodes de gestion les plus utilisées, l'occupe une place centrale. Elle a pour objectif de réduire les délais d'exécution et les coûts tout en améliorant la productivité. Son principe repose sur l'élaboration d'un réseau de tâches représentant la succession logique des opérations du projet.

**VII.1. Exécution des travaux:**

La pose des canalisations suit un enchaînement d'étapes précises visant à garantir la qualité et la durabilité de l'ouvrage. Elle comprend:

1. Le contrôle des conditions de manutention des conduites.
2. Le décapage éventuel de la couche de revêtement (goudron).
3. Le piquetage et l'implantation des jalons.
4. L'ouverture des tranchées et la réalisation des fouilles destinées aux regards.
5. L'aménagement du lit de pose.
6. La mise en place et le positionnement des conduites.
7. L'assemblage des tuyaux.
8. La réalisation des essais d'étanchéité des conduites et des joints.
9. La construction des regards.
10. Enfin, le remblaiement des tranchées.

**VII.1.1. Vérification et manutention des canalisations:**

La vérification des conduites concerne principalement l'aspect général, le contrôle de conformité, ainsi que l'identification et le marquage des éventuels défauts. Elle inclut également la vérification des quantités. La manutention doit être réalisée avec précaution, en évitant de faire rouler les conduites ailleurs que sur des chemins de roulement spécifiquement prévus à cet effet.

**VII.1.2. Décapage de la couche de terre végétale:**

Lors de la construction de réseaux publics, la première étape consiste à décaper la couche de terre végétale. Cette opération est généralement effectuée à l'aide d'un bulldozer sur une épaisseur moyenne de 10 cm. Le volume de sol décapé, noté  $V$ , est déterminé par la relation suivante :

$$V=b \times H \times L(m^3)$$

avec:

- $b$  : largeur de la couche végétale (m),
- $L$  : longueur totale de la tranchée (m),
- $H$  : épaisseur de la couche végétale (m)

**VII.1.3. Implantation des jalons (piquetage):**

Le piquetage consiste à positionner les jalons aux points stratégiques du tracé des canalisations. Ces repères doivent être implantés notamment:

- À l'emplacement prévu pour chaque regard,
- Aux points de changement de direction ou de pente,
- Ainsi qu'aux emplacements de branchement ou de jonction des conduites.

**VII.1.4. Exécution des fouilles pour les regards et les tranchées:**

Dans la construction de collecteurs urbains, le mode d'exécution le plus couramment employé est celui de la fouille ouverte en tranchée.

La profondeur de la tranchée est déterminée en fonction des conditions de croisement avec les ouvrages existants et des contraintes liées à l'axe hydraulique. Quant à la largeur de la tranchée, elle dépend de plusieurs paramètres : le type d'emboîtement des tuyaux, leurs dimensions extérieures, l'espace minimal à respecter entre la canalisation et la paroi, les conditions de fondation, l'espace disponible pour l'exécution des fouilles, la profondeur de pose ainsi que la nature du sol rencontré.

L'exécution des fouilles est généralement réalisée au moyen d'une pelle mécanique équipée en rétro, opérant de l'aval vers l'amont du réseau. Ses principales aptitudes sont les suivantes :

- Creuser rapidement et avec précision des tranchées à talus vertical,
- atteindre des profondeurs importantes,
- Intervenir sous la surface d'appui, en travaillant dans la direction de la machine

**VII.1.4.1. Dimensionnement des tranchées en terrain naturel:**

Pour la réalisation des collecteurs posés en terrain naturel, les dimensions de la tranchée sont déterminées selon les expressions suivantes :

**a) Profondeur de la tranchée:**

$$H=e+D+h(m)$$

avec:

- $H$  : profondeur de la tranchée (m),
- $D$  : diamètre de la conduite (m),
- $h$  : hauteur du remblai (m),

- $e$  : épaisseur du lit de sable (m).

b) **Largeur de la tranchée:**

$$B = D + 2c$$

avec:

- $B$  : largeur de la fouille au fond (m),
- $D$  : diamètre de la conduite (m),
- $c$  : espacement minimal entre la conduite et la paroi de la tranchée ( $c = 0,30$  m).

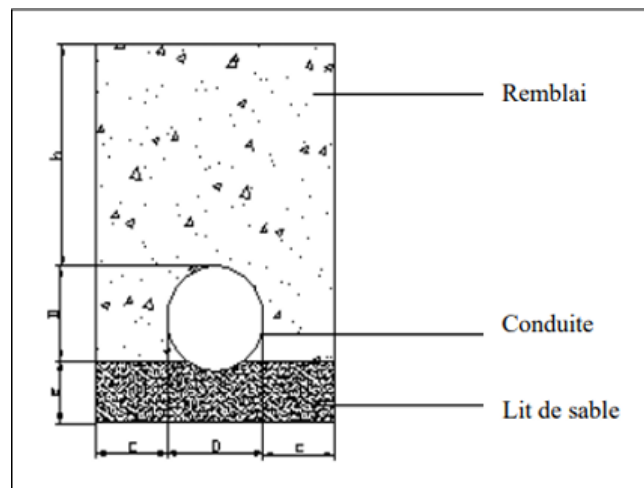


**Figure VII.1:** Coupe transversale d'une tranchée avec la mise en place de la conduite

**VII.1.5. Aménagement du lit de pose:**

La pose des conduites doit être réalisée sur un **lit de sable** d'une épaisseur minimale de 10 cm, soigneusement nivelé conformément aux cotes définies par le profil en long. Des dispositions particulières doivent toutefois être adoptées en fonction de la nature du terrain:

- **Terrains rocheux** : la fouille doit être approfondie de 15 à 20 cm afin de réaliser un lit de pose régulier, tapissé de matériaux pulvérulents, ou, à défaut, de procéder à une pose sur un bain de mortier autolissant.

- **Sols mouillants, marécageux ou organiques** : il est nécessaire de prévoir un support en béton, éventuellement renforcé par des pieux, ou de remplacer le sol instable par un matériau plus résistant.
- **Zones à écoulement ou accumulation d'eau** : il convient d'aménager un lit de pose en matériaux pulvérulents permettant d'assurer un drainage efficace.

#### VII.1.6. Mise en place des conduits :

La pose des conduites est réalisée à l'aide d'engins spécialisés appelés pipelayers, conçus spécifiquement pour la manutention et l'installation des canalisations. Ces équipements permettent de soulever, déplacer, positionner et, le cas échéant, souder les tuyaux avec une grande précision et une efficacité optimale.

Il est essentiel que les opérateurs chargés de leur utilisation soient correctement formés et qualifiés, afin d'assurer non seulement la qualité de l'exécution, mais également la sécurité des interventions sur le chantier.



**Figure VII.2:** Pose de la canalisation sur terrain

**Source :** photo personnelle, 2025

**VII.1.7. Assemblage des conduites:**

L'assemblage des conduites circulaires à emboîtement s'effectue par la réalisation de joints spécifiques. Ceux-ci sont réalisés à l'aide d'une bague en acier renforcée par une armature, coulée sur site à l'intérieur d'un moule. Cette méthode garantit une liaison solide et étanche entre les éléments, assurant ainsi la continuité et la durabilité du réseau.

**VII.1.8. Essais d'étanchéité des conduites et des joints:**

Après la mise en place des conduites dans la tranchée, celles-ci doivent être soumises à un test d'étanchéité afin de vérifier la qualité des assemblages et d'assurer l'absence de fuites. Cette épreuve peut être réalisée selon différentes méthodes, notamment :

- Par mise en pression à l'aide d'eau,
- Par injection d'air comprimé,
- Au moyen de fumée,
- Ou encore par une combinaison eau/air.

**VII.1.9. Exécution des regards:**

Les regards constituent des ouvrages de visite et d'entretien indispensables pour le fonctionnement et la maintenance des canalisations. Leur profondeur et leur épaisseur varient en fonction de la taille et de la profondeur de la conduite principale. En général, les regards sont de forme carrée, avec des dimensions adaptées au diamètre des collecteurs.

**VII.1.9.1. Étapes de construction d'un regard:**

La réalisation d'un regard s'effectue selon une succession d'opérations bien définies :

1. Réglage du fond de fouille : détermine la profondeur exacte à laquelle le radier en béton sera coulé. Le radier comporte une cunette dont la hauteur est au minimum égale au rayon de la canalisation, ainsi que deux banquettes inclinées à 10 %. L'épaisseur du béton ne doit en aucun cas être inférieure à 8 cm.
2. Exécution du béton de propreté : une fine couche de béton est coulée afin de niveler et d'assainir le fond du regard.

3. Ferrailage du radier : mise en place des armatures métalliques pour renforcer le radier.
4. Bétonnage du radier : coulage et compactage du béton dans le moule prévu.
5. Ferrailage des parois : installation des armatures en acier destinées à renforcer les parois.
6. Coffrage des parois : mise en place des moules de bétonnage.
7. Bétonnage des parois : coulage et compactage du béton.
8. Décoffrage des parois : retrait des moules après durcissement du béton.
9. Ferrailage de la dalle : armature en acier pour renforcer la dalle supérieure.
10. Coffrage de la dalle.
11. Bétonnage de la dalle : coulage et compactage du béton.
12. Décoffrage de la dalle.

#### **VII.1.9.2. Raccordement des branchements:**

Lorsqu'une canalisation secondaire (branchement ou bouche d'égout) est connectée à la canalisation principale à la base du regard, certaines dispositions doivent être respectées :

- La génératrice inférieure du branchement doit être située au moins 0,10 m au-dessus de celle de la conduite principale.
- La canalisation de branchement doit être encastrée dans le radier, en assurant la continuité de la cunette et des banquettes.
- L'angle de raccordement ne doit pas dépasser **67°30**.

#### **VII.1.9.3. Dimensions et structure:**

- La section du regard (carrée ou circulaire) ne doit pas être inférieure à **0,90 m**. Cette dimension est portée à **1,00 m** lorsque des échelons de descente sont intégrés.

La cheminée verticale peut être réalisée en maçonnerie de moellons ou en béton armé (épaisseur minimale de 8 cm).

- Une hotte conique ou pyramidale permet, si nécessaire, de raccorder la cheminée à la dalle supérieure.

#### VII.1.9.4. Équipements intérieurs:

- Les échelons, réalisés en acier Tor (DN 20 mm), doivent avoir une longueur de **0,35 m** et être espacés de **0,30 m** d'axe en axe.
- Ils ne sont pas obligatoires pour les regards de profondeur inférieure à 5 m, mais il est recommandé d'en équiper **un regard sur deux**.
- Une série d'échelons percés permet l'installation d'une **crosse mobile de sortie**, comportant un renflement empêchant son retrait accidentel.

#### VII.1.9.5. Dalle supérieure et dispositifs de fermeture:

- La dalle supérieure en béton armé doit avoir une épaisseur minimale de 0,12 m sous trottoir et 0,15 m sous chaussée.
- Elle comporte une feuillure destinée à recevoir les tampons de fermeture.
- Les dispositifs de fermeture doivent résister :
  - À une charge centrée de 30 000 daN sous chaussée (zones circulées),
  - À une charge de 10 000 daN sous trottoir.
- Les tampons doivent comporter un orifice permettant à la fois le levage et l'aération de l'égout.

#### VII.1.10. Boîtes de branchement

Les boîtes de branchement, également appelées boîtes de dérivation, assurent la connexion des raccordements individuels au réseau principal. Elles doivent être:

- **Équipées de grilles** afin de retenir les impuretés et protéger le réseau.

- **Installées de manière linéaire** autant que possible, avec une **pente minimale de 3 %** pour garantir l'écoulement gravitaire des effluents.
- **Conçues avec un diamètre de canalisation inférieur** à celui de la conduite principale, afin d'éviter tout reflux et de maintenir un écoulement optimal.

#### VII.1.12. Exécution des déversoirs d'orage

Lors de la réalisation des déversoirs d'orage, il est essentiel que les coffrages soient suffisamment rigides pour résister à la pression du béton, en particulier durant les opérations de vibration. Le démontage des coffrages doit être effectué avec précaution afin d'éviter toute détérioration du béton déjà mis en place.

#### VII.1.13. Remblaiement et compactage de la tranchée:

Le remblayage constitue une étape cruciale pour assurer la stabilité et la durabilité de l'ouvrage. Les prescriptions principales sont les suivantes:

- Un remblaiement de **30 cm minimum au-dessus de la génératrice supérieure** de la conduite doit être réalisé avec des matériaux appropriés.
- Le **compactage jusqu'à 75 cm** au-dessus de la conduite doit être effectué **manuellement**, afin de limiter les effets dynamiques nuisibles.
- L'utilisation d'engins lourds ou vibrants pour le compactage des remblais supérieurs est possible, mais seulement si la hauteur de recouvrement est **au moins égale à 1 mètre**. En dessous de cette valeur, leur emploi est interdit sans précautions particulières.
- Pour les **couches supérieures du remblai**, la **nature des matériaux** utilisés ainsi que le **degré de compactage** doivent être adaptés en fonction des conditions finales attendues en surface (chaussée, trottoir, espace vert, etc.).

##### **Note importante :**

Lors des opérations de compactage, la force appliquée doit rester inférieure à la charge maximale admissible par la canalisation. Cela permet d'éviter tout risque de détérioration mécanique ou de déformation de la conduite.

## VII.2. Devis quantitatif estimatif :

Le devis quantitatif estimatif a pour objectif d'évaluer le **coût global du projet**. Il est généralement établi au stade du schéma de principe et se base sur le **mètre linéaire de canalisation posée**.

Les principales opérations prises en compte dans ce calcul sont :

- La fourniture et la pose des buses.
- L'exécution des regards (de chute, de visite ou de jonction).
- Les travaux de remblaiement de la tranchée.
- Le transport des terres excédentaires.
- Les travaux de décapage à grande masse.
- Les travaux de décapage de la tranchée.

### VII.2.1. Détermination des différents volumes:

#### Volume des déblais des tranchées $V_d$ :

Dans le cas d'une fouille de forme rectangulaire, le volume des déblais est donné par la relation :

$$V_d = B \cdot L \cdot H_{tr}$$

Avec :

- B: largeur de la tranchée (m)
- a : distance entre la conduite et l'extrémité de la fouille.
- L: longueur totale de la tranchée (m)
- H<sub>tr</sub> : profondeur de la tranchée (m)

$$B = D + 2.a \quad (a = 0.30m)$$

$$H_{tr} = e + h + D \quad (m)$$

Où:

- $e$  : épaisseur de la couche du lit de pose  $e = 0.10m$
- $D$  : diamètre nominal de la conduite
- $h$  : profondeur minimale au-dessus de la génératrice supérieure de la couche (**m**)

#### **Volume de découvert V :**

Le volume de la couche végétale à décaper est :

$$V = b.h'.L \quad (m^3)$$

Avec :

$V$  : volume de la couche végétale ( $m^3$ ).

$h'$  : la hauteur de la couche végétale (m) ;  $h = 0.20m$

$L$  : longueur totale de la tranchée (m).

$b$  : la largeur de la couche végétale (m).

#### **Volume du lit de pose $V_{LP}$ :**

Le volume occupé par le lit de pose est donné par :

$$V_{LP} = e.b.L$$

Avec:

- $e$  : épaisseur du lit de pose ( $e = 0,10$ ).
- $b$  : largeur de la tranchée (m).
- $L$  : longueur totale de la tranchée (m).

**Volume de la conduite  $V_c$ :**

Le volume occupé par la conduite est calculé par :

$$V_c = \frac{L}{4} \pi D^2$$

Avec

D : diamètre de la conduite (m).

L : longueur totale de la tranchée (m).

**Volume du remblai  $V_R$  :**

Le volume du remblai est donné par :

$$V_R = V_{D.F} - V_{\text{évacué}}$$

Avec :

- $V_{D.F}$  : volume des déblais foisonnés ( $V_{D.F} = V_d \cdot K_f$ ).
- $K_f$ : coefficient de foisonnement ( $K_f = 1.25$ ).
- **$V_{\text{évacué}} = V_{LP} + V_c + V_{e.t}$**
- $V_{LP}$ : volume du lit de pose ( $m^3$ ).
- $V_c$ : volume de la conduite ( $m^3$ ).
- $V_{e.t}$ : volume de l'enrobage tamisé ( $m^3$ ).

**VII.3. Planification des travaux:**

La planification d'un projet consiste à organiser et à ordonner l'ensemble des activités à réaliser dans un laps de temps déterminé. Elle a pour finalité d'évaluer les coûts, d'identifier les ressources nécessaires et de définir la séquence optimale d'exécution des différentes tâches. Ce processus repose sur la recherche permanente de solutions permettant de rationaliser l'utilisation de la main-d'œuvre et des moyens techniques disponibles.

Les principaux volets de la planification se résument ainsi :

- **Organisation des postes de travail** : leur aménagement joue un rôle essentiel pour garantir à la fois efficacité et sécurité.
- **Suivi en temps réel** : observer et contrôler les opérations en cours afin de détecter rapidement des pistes d'amélioration.
- **Analyse des tâches** : décomposer et examiner les différentes opérations pour en maîtriser les exigences.
- **Évaluation des durées** : mesurer avec précision le temps requis pour chaque étape et ajuster les délais de manière réaliste.
- **Fixation des objectifs et responsabilités** : clarifier les cibles à atteindre ainsi que le rôle de chaque membre de l'équipe.
- **Optimisation des méthodes** : privilégier des approches simples et performantes pour réduire la complexité des travaux.
- **Stabilisation des postes de travail** : instaurer un cadre régulier et homogène, propice à la productivité et à la qualité.

### VII.3.1. Techniques de la planification :

Deux méthodes de planification prédominantes sont couramment utilisées :

- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

#### VII.3.1.1. Méthodes basées sur le réseau:

##### Définition du réseau:

Un réseau est une représentation graphique d'un projet qui met en évidence l'enchaînement des différentes opérations. Il permet de visualiser les relations entre les tâches qu'elles soient successives, réalisées en parallèle ou convergentes, tout en précisant la durée prévue pour chacune d'elles.

Il y a deux types de réseaux à prendre en compte :

**a. Réseau à flèches :**

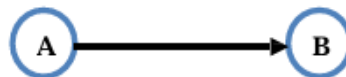
Dans ce type de représentation, chaque opération est illustrée par une flèche, tandis que les nœuds marquent les points de liaison entre les différentes tâches. Ce schéma permet de visualiser clairement la succession des opérations et de mieux comprendre les relations d'enchaînement au sein du projet.



L'opération **A** précède l'opération **B**.

**b. Réseau à nœuds :**

Dans ce type de schéma, chaque nœud correspond à une opération spécifique, tandis que les flèches traduisent les relations de dépendance entre les différentes tâches. Cette représentation met en évidence l'ordre d'exécution des activités et offre une meilleure lisibilité de la logique de réalisation du projet.



L'opération **(B)** ne peut commencer que lorsque l'opération **(A)** est intégralement terminée.

**Construction du réseau :**

La mise en place d'un réseau repose sur une démarche progressive comprenant six étapes principales :

- **Établir la liste des tâches** à réaliser dans le cadre du projet.
- **Identifier les relations de précedence**, en déterminant les tâches qui doivent être accomplies avant d'autres.
- **Construire des graphes partiels** représentant les groupes de tâches liées entre elles.
- **Assembler les graphes partiels** afin d'obtenir une première vision globale du projet.
- **Repérer les tâches de départ et de clôture**, qui définissent les bornes du projet.

- **Finaliser l'assemblage** pour aboutir au réseau complet et cohérent.

#### VII.3.1.2. Méthode basée sur le graphique :

##### Méthode C.P.M (Chemin Critique)

La méthode du chemin critique a pour objectif principal d'optimiser la durée totale d'exécution d'un projet en mettant en évidence les tâches déterminantes. Elle se déroule en trois étapes essentielles :

- **Première phase** : évaluer les ressources humaines nécessaires à l'accomplissement des différentes tâches.
- **Deuxième phase** : analyser en détail le réseau en fonction d'une échelle temporelle (jours, semaines, etc.) afin de suivre précisément l'évolution du projet.
- **Troisième phase** : ajuster le réseau en tenant compte des contraintes propres à l'entreprise, de manière à adapter la planification aux objectifs et aux moyens disponibles.

#### VII.3.2. Les étapes de la planification :

La planification est le procédé visant à définir la séquence et le déroulement des travaux à accomplir. Ce processus englobe les étapes suivantes

##### VII.3.2.1. Collecte des informations :

L'élaboration d'une synthèse issue de l'analyse des données recueillies lors d'études comparatives constitue une étape fondamentale. Elle permet d'exploiter efficacement les enseignements tirés de cette analyse et d'assurer une utilisation optimale du plan de réalisation du projet.

##### VII.3.2.2. Décomposition du projet:

Cette étape est déterminante, car un projet peut être envisagé sous plusieurs angles. Elle consiste à attribuer à chaque tâche un responsable désigné, à identifier les besoins en matériel nécessaires, et à définir une méthodologie adaptée pour chaque volet. Cette approche favorise une gestion plus rigoureuse et précise de la mise en œuvre.

**VII.3.2.3. Relations entre les tâches:**

Au cours de la phase de réalisation, deux types de relations entre les tâches doivent être considérés :

- **L'enchaînement logique**, fondé sur les dépendances techniques entre les opérations.
- **L'enchaînement préférentiel**, basé sur des choix ou des priorités spécifiques liés à la planification.

**VII.3.2.4. Les paramètres de la méthode C.P.M:**

Les éléments essentiels dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

|      |      |
|------|------|
| DCP  | TR   |
| DFP  | DCPP |
| DFPP | MT   |

Avec :

**TR** (Temps de réalisation) : la durée nécessaire pour accomplir la tâche.

**DCP** (Date de commencement au plus tôt) : le moment le plus précoce où la tâche peut commencer.

**DCPP** (Date de commencement au plus tard) : la date limite la plus tardive pour le début de la tâche.

**DFP** (Date de finition au plus tôt) : la date la plus précoce à laquelle la tâche peut être terminée.

**DFPP** (Date de finition au plus tard) : la date limite la plus tardive pour la fin de la tâche.

**MT** (Marge totale) : la marge de temps disponible pour effectuer la tâche sans retarder le projet.

Tel que :  $DFP = DCP + TR$

$DCPP = DFPP - TR$

**Chemin critique (C.C) :**

Il s'agit du trajet reliant les opérations ayant une marge totale nulle (0) et qui détermine la durée totale du projet (DTR). Ainsi, pour identifier un chemin critique, il est nécessaire de vérifier la condition double suivante :

$$C.C \leftrightarrow MT=0$$

$$\leftrightarrow TR_{CC} = DTP$$

**VII.3.2.5. Attribution des durées de chaque opération :**

Pour attribuer correctement le temps nécessaire à un projet, il est crucial de prendre en compte deux facteurs essentiels :

- La disponibilité des ressources, qu'elles soient humaines ou matérielles.
- L'envergure et la complexité du projet.

En utilisant les normes C.N.A.T, on peut appliquer la formule suivante pour calculer le temps nécessaire (T) :  $T = (Q * N) / n$

$$T = \frac{Q.N}{n}$$

Où : Q : Quantité de travail requise.

N : Rendement des ressources.

n : Nombre d'équipes impliquées dans le projet.

**VII.3.3. Symboles des différentes opérations :**

Les principales étapes à exécuter comprennent :

A. Décapage de la couche de la végétation

B. Piquetage.

C. Exécution des tranchées et des fouilles pour les regards.

D. Aménagement du lit de pose.

E. Construction des regards 75.

F. La mise en place des canalisations en tranchée.

G. Construction des ouvrages annexes dispositif d'orage.

H. Assemblage des tuyaux.

I. Réalisation des essais d'étanchéité.

J. Remblai des tranchées.

K. Travaux de finition.

**Tableau VII.1 : calcul des délais**

| Opération | TR jours | DP  |     | DPP  |      | MT |
|-----------|----------|-----|-----|------|------|----|
|           |          | DCP | DFP | DCPP | DFPP |    |
| A         | 5        | 0   | 5   | 0    | 5    | 0  |
| B         | 15       | 5   | 20  | 5    | 20   | 0  |
| C         | 60       | 20  | 80  | 20   | 80   | 0  |
| D         | 25       | 80  | 105 | 145  | 170  | 65 |
| E         | 90       | 80  | 170 | 80   | 170  | 0  |
| F         | 30       | 80  | 110 | 140  | 170  | 60 |
| G         | 40       | 80  | 120 | 130  | 170  | 50 |
| H         | 25       | 170 | 195 | 170  | 195  | 0  |
| I         | 15       | 195 | 210 | 195  | 210  | 0  |
| J         | 20       | 210 | 230 | 210  | 230  | 0  |
| K         | 20       | 230 | 250 | 230  | 250  | 0  |

Le chemin critique est :

**A-B-C-E-H-I-J-K**

Avec un temps de réalisation égal à : **TR= 250 jours**

➤ **Détermination du devis et quantitatif :**

**Tableau VII.2 : Devis estimatif et quantitatif :**

| N°       | Désignation des travaux                                                                                   | Unité     | Quantité        | Prix unitaire (DA) | Montant (DA)        |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|--------------------|---------------------|
| <b>A</b> | <b>TRAVAUX MÉCANIQUES DE TERASSEMENT</b>                                                                  |           |                 |                    |                     |
| <b>1</b> | <b>Décapage de la tranchée</b>                                                                            | <b>M³</b> | <b>1072.119</b> | <b>500</b>         | <b>536059.85</b>    |
| <b>2</b> | <b>Déblai</b>                                                                                             | <b>M³</b> | <b>1856.208</b> | <b>1000</b>        | <b>1856208</b>      |
| <b>3</b> | <b>Pose du lit de sable</b>                                                                               | <b>M³</b> | <b>488.8112</b> | <b>1 500</b>       | <b>733216.80</b>    |
| <b>4</b> | <b>Remblai de la tranchée</b>                                                                             | <b>M³</b> | <b>1467.884</b> | <b>1200</b>        | <b>1761460.80</b>   |
| <b>5</b> | <b>Évacuation des déblaies excédentaires</b>                                                              | <b>M³</b> | <b>7077</b>     | <b>300</b>         | <b>2123100</b>      |
| <b>6</b> | <b>Grillage avertisseur</b>                                                                               | <b>ML</b> | <b>6183</b>     | <b>80,00</b>       | <b>494640</b>       |
| <b>B</b> | <b>FOURNITURE TRANSPORT ET POSE DE CANALISATION EN PVC</b>                                                |           |                 |                    |                     |
| <b>1</b> | <b>DN 315 EN PVC</b>                                                                                      | <b>ML</b> | <b>2208.3</b>   | <b>4180</b>        | <b>9391540</b>      |
| <b>2</b> | <b>DN 400 EN PVC</b>                                                                                      | <b>ML</b> | <b>437.7</b>    | <b>4950</b>        | <b>2166615</b>      |
| <b>3</b> | <b>DN 500 EN PVC</b>                                                                                      | <b>ML</b> | <b>486.02</b>   | <b>6600</b>        | <b>3207732</b>      |
| <b>4</b> | <b>DN 630 EN PVC</b>                                                                                      | <b>ML</b> | <b>649.52</b>   | <b>8800</b>        | <b>5715776</b>      |
| <b>5</b> | <b>DN 800 BA 135 A</b>                                                                                    | <b>ML</b> | <b>399.28</b>   | <b>11000</b>       | <b>4392080</b>      |
| <b>6</b> | <b>DN 1000 BA 135 A</b>                                                                                   | <b>ML</b> | <b>100</b>      | <b>14300</b>       | <b>1430000</b>      |
| <b>7</b> | <b>DN1200 BA 135 A</b>                                                                                    | <b>ML</b> | <b>165</b>      | <b>16500</b>       | <b>2722500</b>      |
| <b>8</b> | <b>DN 1400 BA 135 A</b>                                                                                   | <b>ML</b> | <b>279</b>      | <b>19800</b>       | <b>5524200</b>      |
| <b>C</b> | <b>Construction</b>                                                                                       |           |                 |                    |                     |
| <b>1</b> | <b>Réalisation de regard de visite en Béton armé avec tampon en fonte, de dimension H= 1.50m à 2.0 m)</b> | <b>U</b>  | <b>114</b>      | <b>140 000</b>     | <b>11400000</b>     |
| <b>2</b> | <b>Exécution de déversoir d'orage</b>                                                                     | <b>U</b>  | <b>1</b>        | <b>800 000</b>     | <b>800 000</b>      |
|          | <b>THT</b>                                                                                                |           |                 |                    | <b>54255128.5</b>   |
|          | <b>TVA 19%</b>                                                                                            |           |                 |                    | <b>10308474.415</b> |
|          | <b>TTC</b>                                                                                                |           |                 |                    | <b>64563602.915</b> |

Le prix total de notre projet est : **Six milliards quatre cent cinquante-six millions trois mille six cent deux dinar algérien.**

## **Conclusion**

Au terme de cette étude, il a été possible de dimensionner avec précision les collecteurs projetés, en tenant compte des contraintes techniques et des besoins actuels et futurs de la zone d'étude. Ce travail a permis d'aboutir à un réseau d'assainissement performant, fiable et durable. Parallèlement, l'analyse de l'organisation du chantier a mis en évidence l'importance d'une planification méthodique pour assurer le bon déroulement des travaux, optimiser l'utilisation des moyens disponibles et prévenir d'éventuelles difficultés financières. L'estimation des volumes a conduit à l'évaluation du coût global de l'opération, fixé à **64563602.915 DA**, ce qui confirme la pertinence et la viabilité du projet tant sur le plan technique qu'économique. Avec une durée de réalisation prévue de 250 jours.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Au terme de cette étude, il ressort que la mise en place d'un réseau d'assainissement dans l'agglomération de BOUSSEKOUM (wilaya de Constantine) constitue une nécessité majeure, puisque cette zone, de caractère périurbain, ne dispose actuellement d'aucun système d'assainissement structuré. La conception du projet a pris en considération plusieurs paramètres déterminants, tels que la nature du terrain, les caractéristiques quantitatives et qualitatives des eaux à évacuer, ainsi que le plan d'urbanisation futur de l'habitat. Le choix du système et du schéma d'évacuation a ainsi été effectué en tenant compte de l'ensemble de ces critères.

Pour l'évaluation des débits d'eaux pluviales, la méthode rationnelle a été retenue, donnant une intensité de **195.22 l/s/ha**. Les débits des eaux usées domestiques et publiques ont été calculés en fonction de la répartition de la population, avec un coefficient de rejet de 0,8. Le système retenu est de type unitaire.

Afin d'assurer efficacité et durabilité, le choix des matériaux s'est porté sur des conduites en PVC et en béton armé, reconnues pour leur étanchéité et leur facilité de pose. Des visites de terrain ont permis d'adapter le tracé des collecteurs aux contraintes topographiques locales. Par ailleurs, des bouches d'égout ont été prévues le long des voies principales, implantées dans les caniveaux avec un espacement régulier de 50 mètres.

Un déversoir d'orage de type latéral, associé à une conduite aval libre, a également été proposé afin de diviser le débit de rejet en deux fractions distinctes, améliorant ainsi la gestion hydraulique du réseau. Enfin, le coût global du projet a été évalué à **64563602.915 DA**, avec une durée de réalisation prévue de **250 jours**. Confirmant la faisabilité technique et économique de la solution proposée.

.

# **Références Bibliographiques**

## BIBLIOGRAPHIE

- Google Earth Pro. (2025). Imagerie satellite de la commune d'Ouled Rahmoun. Disponible via Google Earth Pro
- **DPAT Constantine.** Atlas de la Wilaya de Constantine. Constantine : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, 2017.
- Toumi, A. (2010). Méthodes de mesure et d'analyse pluviométrique en Algérie. Revue Algérienne des Sciences Hydriques,
- **DJEBAILI, R.** *La végétation du Constantinois oriental (Algérie)*. Alger : Office des Publications Universitaires, 1984
- **PRA,** Règles Parasismiques Algériennes, 2024
- **SETRA.** *Conception des réseaux d'assainissement – règles de dimensionnement hydraulique*. Paris : Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1992.
- **HYDRAULIQUE URBAINE.** *Déversoir d'orage (assainissement)*. Blog « Hydraulique Urbaine, Étude et Chantier », 25 juillet 2013. [En ligne]. Disponible sur : <https://hydrauliqueformation.blogspot.com/2013/07/deversoir-dorage.html> (consulté le 10 septembre 2025).
- La figure Coupe transversale d'une tranchée avec la mise en place de la conduite (M19 VRD, 2013)
- **M19 VRD – Techniques d'études et de réalisation de VRD : Partie AEP (version intégrale).** Blog Yumpu, 2013. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.yumpu.com/fr/document/view/65275568/m19-vrd-partie-aep-version-integrale> (consulté le 10 septembre 2025)
- SALAH, B., 2014 « polycopié d'assainissement », école nationale supérieure de L'hydraulique, BLIDA BOUMAAZA, M, 2002 « polycopié d'assainissement », Université 08 Mai 1945, Guelma
- OUADJAOUT B, 2024, DIAGNOSTIC ET REHABILITATION DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT DE LA ZONE DE SIDI GHIATH LA COMMUNE DE MEURAD (W. TIPAZA). ENSH.
- BOUDRA M, 2018, Etude du Système d'évacuation des effluents des communes de HAMMA BOUZIANE et de BKIRA vers la STEP de CONSTANTINE. ENSH

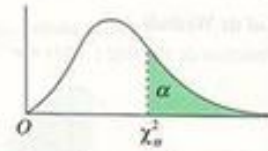
# **Annexes**

# **Annexe 01:** Table de distribution de $\chi^2$ (loi de K.Pearson).

**Table de distribution de  $\chi^2$  (loi de K. Pearson)**

La table donne la probabilité  $\alpha$ , en fonction du nombre de degrés de liberté  $\nu$ , pour que  $\chi^2$  égale ou dépasse une valeur donnée  $\chi^2_\alpha$ .

$$\alpha = P(\chi^2 \geq \chi^2_\alpha)$$



| $\nu$ | $\alpha = 0,990$ | $\alpha = 0,975$ | $\alpha = 0,950$ | $\alpha = 0,900$ | $\alpha = 0,100$ | $\alpha = 0,050$ | $\alpha = 0,025$ | $\alpha = 0,010$ | $\alpha = 0,001$ |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1     | 0,0002           | 0,0010           | 0,0039           | 0,0158           | 2,71             | 3,84             | 5,02             | 6,63             | 10,83            |
| 2     | 0,02             | 0,05             | 0,10             | 0,21             | 4,61             | 5,99             | 7,38             | 9,21             | 13,82            |
| 3     | 0,12             | 0,22             | 0,35             | 0,58             | 6,25             | 7,81             | 9,35             | 11,34            | 16,27            |
| 4     | 0,30             | 0,48             | 0,71             | 1,06             | 7,78             | 9,49             | 11,14            | 13,28            | 18,47            |
| 5     | 0,55             | 0,83             | 1,15             | 1,61             | 9,24             | 11,07            | 12,83            | 15,09            | 20,52            |
| 6     | 0,87             | 1,24             | 1,64             | 2,20             | 10,64            | 12,59            | 14,45            | 16,81            | 22,46            |
| 7     | 1,24             | 1,69             | 2,17             | 2,83             | 12,02            | 14,07            | 16,01            | 18,47            | 24,32            |
| 8     | 1,65             | 2,18             | 2,73             | 3,49             | 13,36            | 15,51            | 17,53            | 20,09            | 26,13            |
| 9     | 2,09             | 2,70             | 3,33             | 4,17             | 14,68            | 16,92            | 19,02            | 21,67            | 27,88            |
| 10    | 2,56             | 3,25             | 3,94             | 4,87             | 15,99            | 18,31            | 20,48            | 23,21            | 29,59            |
| 11    | 3,05             | 3,82             | 4,57             | 5,58             | 17,27            | 19,67            | 21,92            | 24,72            | 31,26            |
| 12    | 3,57             | 4,40             | 5,23             | 6,30             | 18,55            | 21,03            | 23,34            | 26,22            | 32,91            |
| 13    | 4,11             | 5,01             | 5,89             | 7,04             | 19,81            | 22,36            | 24,74            | 27,69            | 34,53            |
| 14    | 4,66             | 5,63             | 6,57             | 7,79             | 21,06            | 23,68            | 26,12            | 29,14            | 36,12            |
| 15    | 5,23             | 6,26             | 7,26             | 8,55             | 22,31            | 25,00            | 27,49            | 30,58            | 37,70            |
| 16    | 5,81             | 6,91             | 7,96             | 9,31             | 23,54            | 26,30            | 28,84            | 32,00            | 39,25            |
| 17    | 6,41             | 7,56             | 8,67             | 10,08            | 24,77            | 27,59            | 30,19            | 33,41            | 40,79            |
| 18    | 7,01             | 8,23             | 9,39             | 10,86            | 25,99            | 28,87            | 31,53            | 34,80            | 42,31            |
| 19    | 7,63             | 8,91             | 10,12            | 11,65            | 27,20            | 30,14            | 32,85            | 36,19            | 43,82            |
| 20    | 8,26             | 9,59             | 10,85            | 12,44            | 28,41            | 31,41            | 34,17            | 37,57            | 45,32            |
| 21    | 8,90             | 10,28            | 11,59            | 13,24            | 29,61            | 32,67            | 35,48            | 38,93            | 46,80            |
| 22    | 9,54             | 10,98            | 12,34            | 14,04            | 30,81            | 33,92            | 36,78            | 40,29            | 48,27            |
| 23    | 10,20            | 11,69            | 13,09            | 14,85            | 32,01            | 35,17            | 38,08            | 41,64            | 49,73            |
| 24    | 10,86            | 12,40            | 13,85            | 15,66            | 33,20            | 36,41            | 39,37            | 42,98            | 51,18            |
| 25    | 11,52            | 13,12            | 14,61            | 16,47            | 34,38            | 37,65            | 40,65            | 44,31            | 52,62            |
| 26    | 12,20            | 13,84            | 15,38            | 17,29            | 35,56            | 38,88            | 41,92            | 45,64            | 54,05            |
| 27    | 12,88            | 14,57            | 16,15            | 18,11            | 36,74            | 40,11            | 43,19            | 46,96            | 55,48            |
| 28    | 13,57            | 15,31            | 16,93            | 18,94            | 37,92            | 41,34            | 44,46            | 48,28            | 56,89            |
| 29    | 14,26            | 16,05            | 17,71            | 19,77            | 39,09            | 42,56            | 45,72            | 49,59            | 58,30            |
| 30    | 14,95            | 16,79            | 18,49            | 20,60            | 40,26            | 43,77            | 46,98            | 50,89            | 59,70            |

Quand  $\nu$  est supérieur à 30, on utilise la table de la loi normale (table de l'écart réduit) avec :

$$t = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2\nu - 1}$$

Nota. — La valeur du coefficient de Bazin a été prise égale à 0,46. Lorsque la pose des canalisations aura été particulièrement soignée, et surtout si le réseau est bien entretenu, les débits pourront être majorés de 20 % ( $\lambda' = 0,30$ ). A débit égal, les pentes pourront être réduites d'un tiers.

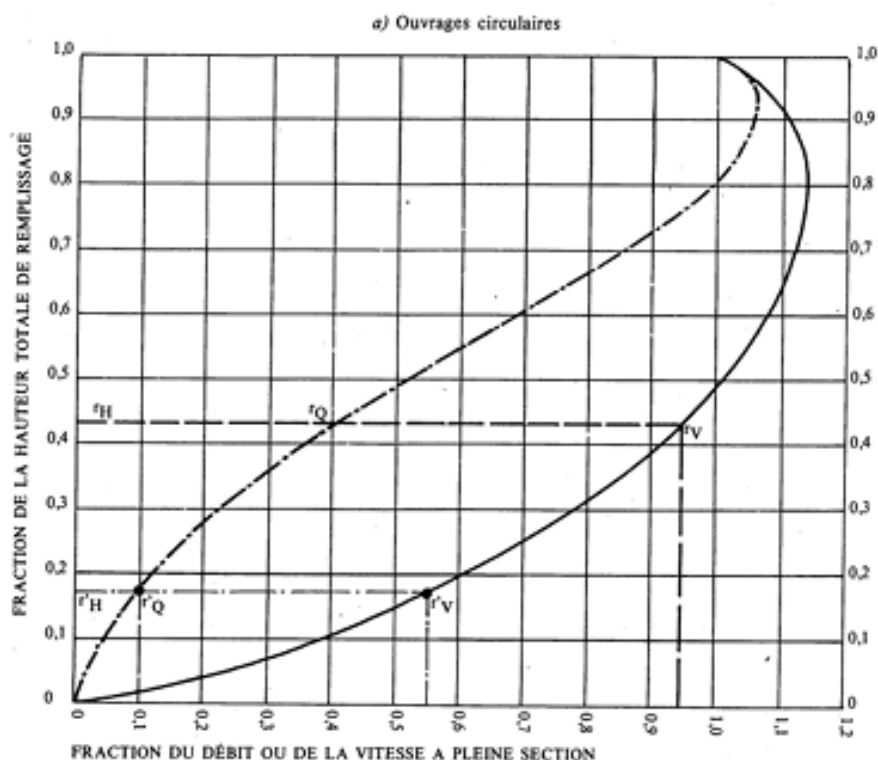
**Annexe 03 : coefficient de Manning Strickler**

**Coefficient de Manning-Strickler Ks**

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>Fossé à parois en herbe</b>      | <b>30</b>  |
| <b>Fossé à parois en terre</b>      | <b>40</b>  |
| <b>Canal en maçonnerie</b>          | <b>60</b>  |
| <b>Conduite en béton</b>            | <b>75</b>  |
| <b>Conduite en fibre ciment</b>     | <b>80</b>  |
| <b>Conduite en fonte ou en grés</b> | <b>90</b>  |
| <b>Conduite en PVC</b>              | <b>100</b> |

## Annexe 04 : variation des débits et des vitesses en fonction du remplissage

### VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE



#### MODE D'EMPLOI.

Les abaques Ab. 3 et Ab. 4 (a et b) utilisés pour le choix des sections d'ouvrages, compte tenu de la pente et du débit, permettent d'évaluer la vitesse d'écoulement à pleine section.

Pour l'évaluation des caractéristiques capacitaires des conduites, ou pour apprécier les possibilités d'autocurage, le nomogramme ci-dessus permet de connaître la vitesse atteinte en régime uniforme pour un débit inférieur à celui déterminé à pleine section.

Les correspondances s'établissent, soit en fonction de la fraction du débit à pleine section, soit en fonction de la hauteur de remplissage de l'ouvrage.

#### Exemples :

Pour  $r_Q = 0,40$ , on obtient  $r_V = 0,95$  et  $r_H = 0,43$ .

Pour  $Q_{PS}/10$ , on obtient  $r'_V = 0,55$  et  $r'_H = 0,17$  (autocurage).

**Nota.** — Pour un débit égal au débit à pleine section, la valeur du rapport  $r_Q = 1,00$  est obtenue avec  $r_H = 0,80$ .

Le débit maximum ( $r_Q = 1,07$ ) est obtenu avec  $r_H = 0,95$ .

La vitesse maximum ( $r_V = 1,14$ ) est obtenue avec  $r_H = 0,80$ .

Ces dernières conditions d'écoulement à caractère assez théorique ne peuvent être obtenues que dans des conditions très particulières d'expérimentation.

### Annexe 05: Calcul hydraulique des collecteurs d'assainissement.

| Tronçon   | Cr <sub>amont</sub><br>(m) | Cr <sub>aval</sub> (m) | Dist (m) | I(m/m) | Q <sub>pluv</sub> (m³/s) | Q <sub>us</sub> (m³/s) | Q <sub>tot</sub> (m³/s) |
|-----------|----------------------------|------------------------|----------|--------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| R10-R9    | 518.3                      | 517.81                 | 44.51    | 0.0110 | 0.00915                  | 0.00022                | 0.00937                 |
| R9-R8     | 517.81                     | 517.43                 | 30       | 0.0127 | 0.0183                   | 0.00044                | 0.01874                 |
| R8-R7     | 517.43                     | 516.12                 | 33.54    | 0.0391 | 0.02745                  | 0.00066                | 0.02811                 |
| R7-R5     | 516.12                     | 512.72                 | 46.46    | 0.0732 | 0.30399                  | 0.00144                | 0.30543                 |
| R5-R6     | 512.72                     | 510.33                 | 47.8     | 0.0500 | 0.33348                  | 0.00222                | 0.3357                  |
| R6-R3     | 510.33                     | 506.93                 | 47.2     | 0.0720 | 0.360813                 | 0.0032                 | 0.364013                |
| R3-R2     | 506.93                     | 504.45                 | 50       | 0.0496 | 0.388146                 | 0.00417                | 0.392316                |
| R2-R34    | 504.45                     | 504.33                 | 9.85     | 0.0122 | 0.748959                 | 0.00515                | 0.754109                |
| R34-R35   | 504.33                     | 502.12                 | 50       | 0.0442 | 1.109772                 | 0.00613                | 1.115902                |
| R35-R36   | 502.12                     | 501.82                 | 50       | 0.0060 | 1.137105                 | 0.0071                 | 1.144205                |
| R36-R37   | 501.82                     | 499.66                 | 50       | 0.0432 | 1.164438                 | 0.00808                | 1.172518                |
| R37-R38   | 499.66                     | 499.33                 | 48       | 0.0069 | 1.219104                 | 0.00906                | 1.228164                |
| R38-R39   | 499.33                     | 497.4                  | 50       | 0.0386 | 1.246437                 | 0.01003                | 1.256467                |
| R39-R40   | 497.4                      | 495.84                 | 45       | 0.0347 | 1.27377                  | 0.01101                | 1.28478                 |
| R40-R41   | 495.84                     | 494.21                 | 45       | 0.0362 | 1.301103                 | 0.011991               | 1.313094                |
| R41-R42   | 494.21                     | 493.58                 | 39       | 0.0162 | 1.328436                 | 0.012968               | 1.341404                |
| R158-R159 | 518                        | 516.02                 | 32.82    | 0.0603 | 0.00915                  | 0.00022                | 0.00937                 |
| R159-R100 | 516.02                     | 514.91                 | 29.39    | 0.0378 | 0.0183                   | 0.00044                | 0.01874                 |
| R18-R19   | 511.4                      | 509.56                 | 50       | 0.0368 | 0.0275                   | 0.00057                | 0.0280697               |
| R19-R108  | 509.56                     | 507.92                 | 24.8     | 0.0661 | 0.055                    | 0.001139               | 0.0561394               |
| R20-R108  | 520.07                     | 507.92                 | 25.2     | 0.4821 | 0.0275                   | 0.00057                | 0.0280697               |
| R108-R109 | 507.92                     | 505.04                 | 40.38    | 0.0713 | 0.0825                   | 0.001709               | 0.084209                |
| R110-R111 | 509.99                     | 507.44                 | 50       | 0.0510 | 0.0275                   | 0.00057                | 0.0280697               |
| R111-R109 | 507.44                     | 505.04                 | 41.87    | 0.0573 | 0.055                    | 0.001139               | 0.056139                |
| R109-R112 | 505.04                     | 503.77                 | 50       | 0.0254 | 0.1375                   | 0.002848               | 0.140348                |
| R112-R113 | 503.77                     | 503.75                 | 50       | 0.0080 | 0.165                    | 0.003418               | 0.1684181               |
| R113-R114 | 503.75                     | 499.46                 | 50       | 0.0858 | 0.1925                   | 0.003987               | 0.196487                |
| R114-R115 | 499.46                     | 497.62                 | 50       | 0.0368 | 0.22                     | 0.004558               | 0.2245575               |
| R115-R116 | 497.62                     | 497.47                 | 19.27    | 0.0078 | 0.2475                   | 0.005127               | 0.2526272               |

|           |        |        |       |        |         |          |           |
|-----------|--------|--------|-------|--------|---------|----------|-----------|
| R117-R118 | 508.37 | 506.47 | 50    | 0.0380 | 0.06698 | 0.001557 | 0.068537  |
| R118-R119 | 506.47 | 503.06 | 50    | 0.0682 | 0.13396 | 0.003115 | 0.1370754 |
| R119-R120 | 503.06 | 500.06 | 50    | 0.0600 | 0.20094 | 0.004673 | 0.2056131 |
| R120-R121 | 500.06 | 498.1  | 50    | 0.0392 | 0.22844 | 0.005242 | 0.233682  |
| R121-R122 | 498.1  | 496.15 | 50    | 0.0390 | 0.25594 | 0.005813 | 0.2617525 |
| R122-R123 | 496.15 | 494.21 | 49.62 | 0.0391 | 0.28344 | 0.006382 | 0.289822  |
| R124-R116 | 499.14 | 497.47 | 35.57 | 0.0469 | 0.04433 | 0.000927 | 0.0452567 |
| R116-R123 | 497.47 | 494.99 | 43.08 | 0.0576 | 0.33616 | 0.00698  | 0.34314   |
| R123-R125 | 494.99 | 491.44 | 50    | 0.0710 | 0.66393 | 0.014288 | 0.678218  |
| R125-R126 | 491.44 | 487.83 | 50    | 0.0722 | 0.70826 | 0.015215 | 0.7234754 |
| R126-R127 | 487.83 | 487.45 | 15.86 | 0.0240 | 0.75259 | 0.016142 | 0.768732  |
| R86-R87   | 499.04 | 496.49 | 50    | 0.0510 | 0.10757 | 0.002513 | 0.1100827 |
| R87-R88   | 496.49 | 493.3  | 50    | 0.0638 | 0.06809 | 0.004037 | 0.0721274 |
| R88-R89   | 493.3  | 489.8  | 50    | 0.0700 | 0.13618 | 0.005562 | 0.1417421 |
| R89-R127  | 489.8  | 487.45 | 35    | 0.0671 | 0.20427 | 0.007087 | 0.2113568 |
| R127-R90  | 487.45 | 486.71 | 25    | 0.0296 | 1.00954 | 0.022793 | 1.0323331 |
| R90-R91   | 486.71 | 485.61 | 50    | 0.0220 | 1.06222 | 0.023912 | 1.0861321 |
| R91-R92   | 485.61 | 484.5  | 50    | 0.0222 | 1.1149  | 0.025031 | 1.1399311 |
| R92-R95   | 484.5  | 483.83 | 50    | 0.0134 | 1.16758 | 0.02615  | 1.1937301 |
| R95-R96   | 483.83 | 483.8  | 50    | 0.0006 | 1.22026 | 0.028388 | 1.248648  |
| R96-R31   | 483.8  | 482.9  | 23.2  | 0.0388 | 1.27294 | 0.029507 | 1.302447  |
| R25-R26   | 500.91 | 498.26 | 50    | 0.0530 | 0.01683 | 0.000357 | 0.017187  |
| R26-R27   | 498.26 | 494.42 | 50    | 0.0768 | 0.03366 | 0.000714 | 0.034374  |
| R27-R28   | 494.42 | 492.12 | 40    | 0.0575 | 0.05049 | 0.001071 | 0.051561  |
| R28-R29   | 492.12 | 489.06 | 40    | 0.0765 | 0.06732 | 0.001428 | 0.068748  |
| R29-R30   | 489.06 | 485.72 | 50    | 0.0668 | 0.08415 | 0.001785 | 0.085935  |
| R30-R31   | 485.72 | 484.9  | 49.64 | 0.0165 | 0.10098 | 0.002142 | 0.103122  |
| R31-R32   | 482.9  | 481.53 | 44.28 | 0.0309 | 1.40977 | 0.032405 | 1.4421752 |
| R32-R33   | 481.53 | 480.81 | 50    | 0.0144 | 1.44562 | 0.033167 | 1.478787  |
| R33-R43   | 480.81 | 480.67 | 18    | 0.0078 | 1.48147 | 0.033929 | 1.515399  |
| R57-R56   | 487.2  | 484.87 | 51.77 | 0.0450 | 0.03741 | 0.000794 | 0.038204  |
| R56-R50   | 484.87 | 481.88 | 50    | 0.0598 | 0.07482 | 0.001588 | 0.076408  |

|           |        |        |       |        |          |          |          |
|-----------|--------|--------|-------|--------|----------|----------|----------|
| R50-R49   | 481.88 | 481.85 | 43.82 | 0.0090 | 0.11223  | 0.002382 | 0.114612 |
| R49-R48   | 481.85 | 481.82 | 50    | 0.0080 | 0.14964  | 0.003176 | 0.152816 |
| R76-R77   | 509.44 | 508.96 | 39.09 | 0.0123 | 0.056823 | 0.001758 | 0.058581 |
| R77-R78   | 508.96 | 508.46 | 48    | 0.0104 | 0.113646 | 0.003516 | 0.117162 |
| R78-R79   | 508.46 | 506.41 | 50    | 0.0410 | 0.170469 | 0.005274 | 0.175743 |
| R79-R80   | 506.41 | 504.29 | 50    | 0.0424 | 0.227292 | 0.007032 | 0.234324 |
| R80-R81   | 504.29 | 502.26 | 50    | 0.0406 | 0.277574 | 0.00879  | 0.286364 |
| R81-R82   | 502.26 | 502.22 | 18    | 0.0022 | 0.334397 | 0.010548 | 0.344945 |
| R99-R100  | 515.3  | 514.91 | 50    | 0.0078 | 0.03864  | 0.001003 | 0.039643 |
| R100-R101 | 514.91 | 514.49 | 50    | 0.0084 | 0.05694  | 0.00245  | 0.05939  |
| R101-R102 | 514.49 | 512.97 | 58.02 | 0.0262 | 0.09558  | 0.00489  | 0.10047  |
| R102-R103 | 512.97 | 509.7  | 50    | 0.0654 | 0.13422  | 0.00589  | 0.14011  |
| R103-R104 | 509.7  | 507.96 | 30    | 0.0580 | 0.17286  | 0.0069   | 0.17976  |
| R17-R16   | 511.3  | 509.43 | 50    | 0.0374 | 0.06698  | 0.001558 | 0.068538 |
| R16-R15   | 509.43 | 505.69 | 50    | 0.0748 | 0.10646  | 0.002545 | 0.109005 |
| R15-R14   | 505.69 | 505.63 | 50    | 0.0012 | 0.14594  | 0.003534 | 0.149474 |
| R14-R107  | 505.63 | 503.81 | 24.9  | 0.0731 | 0.18542  | 0.004522 | 0.189942 |
| R11-R12   | 515.4  | 514.6  | 30    | 0.0267 | 0.00915  | 0.000222 | 0.009372 |
| R12-R13   | 514.6  | 511.33 | 45    | 0.0727 | 0.0183   | 0.000444 | 0.018744 |
| R13-R107  | 511.33 | 509.51 | 27.4  | 0.0664 | 0.02745  | 0.000666 | 0.028116 |
| R107-R104 | 509.51 | 506.46 | 42.9  | 0.0711 | 0.2615   | 0.006398 | 0.267898 |
| R104-R105 | 506.46 | 502.68 | 50    | 0.0756 | 0.50333  | 0.015067 | 0.518397 |
| R105-R106 | 502.68 | 501.99 | 26.22 | 0.0263 | 0.5723   | 0.016836 | 0.589136 |
| R106-R82  | 501.99 | 499.72 | 38.98 | 0.0582 | 0.64127  | 0.018605 | 0.659875 |
| R85-R84   | 502.4  | 500.18 | 48    | 0.0462 | 0.08007  | 0.001943 | 0.082013 |
| R84-R83   | 500.18 | 499.32 | 48    | 0.0179 | 0.16014  | 0.003886 | 0.164026 |
| R83-R82   | 499.32 | 499.22 | 44    | 0.0023 | 0.25862  | 0.005829 | 0.264449 |
| R82-R97   | 499.72 | 498.22 | 50    | 0.0300 | 0.66094  | 0.036914 | 0.697854 |
| R97-R98   | 498.22 | 496.42 | 50    | 0.0360 | 0.728863 | 0.038846 | 0.767709 |
| R98-R42   | 496.42 | 495.08 | 19.73 | 0.0679 | 0.796786 | 0.040778 | 0.837564 |
| R42-R51   | 495.08 | 492.93 | 50    | 0.0430 | 0.887754 | 0.055495 | 0.943249 |
| R51-R52   | 492.93 | 489.97 | 50    | 0.0592 | 0.965754 | 0.057244 | 1.022998 |
| R52-R53   | 489.97 | 486.75 | 50    | 0.0644 | 1.043754 | 0.058993 | 1.102747 |

|          |        |        |       |        |          |          |          |
|----------|--------|--------|-------|--------|----------|----------|----------|
| R53-R54  | 486.75 | 483.57 | 50    | 0.0636 | 1.211754 | 0.060742 | 1.272496 |
| R54-R55  | 483.57 | 483.19 | 50    | 0.0076 | 1.199754 | 0.062491 | 1.262245 |
| R55-R48  | 483.19 | 481.82 | 29.61 | 0.0463 | 1.273014 | 0.064077 | 1.337091 |
| R57-R56  | 482.96 | 482.19 | 18.04 | 0.0427 | 0.03741  | 0.000794 | 0.038204 |
| R56-R50  | 482.19 | 481.88 | 48    | 0.0065 | 0.07482  | 0.001588 | 0.076408 |
| R50-R49  | 481.88 | 481.85 | 38    | 0.0080 | 0.11223  | 0.002382 | 0.114612 |
| R49-R48  | 481.85 | 481.82 | 44    | 0.0070 | 0.14964  | 0.003176 | 0.152816 |
| R48-R47  | 481.82 | 481.79 | 39    | 0.0008 | 1.458504 | 0.068809 | 1.527313 |
| R47-R46  | 481.79 | 481.76 | 40    | 0.0008 | 1.531764 | 0.070365 | 1.602129 |
| R46-R45  | 481.76 | 481.73 | 50    | 0.0006 | 1.605024 | 0.071921 | 1.676945 |
| R45-R44  | 481.73 | 481.7  | 50    | 0.0006 | 1.678284 | 0.073477 | 1.751761 |
| R44-R43  | 481.7  | 481.67 | 50    | 0.0006 | 1.751544 | 0.075033 | 1.826577 |
| R43-R62  | 481.67 | 481.65 | 32    | 0.0060 | 3.270424 | 0.110518 | 3.380942 |
| R62-R63  | 481.65 | 481.24 | 50    | 0.0082 | 3.307834 | 0.111312 | 3.419146 |
| R63-R64  | 481.24 | 480.83 | 50    | 0.0082 | 3.345234 | 0.112106 | 3.45734  |
| R64-R65  | 480.83 | 480.57 | 33    | 0.0079 | 3.382644 | 0.1129   | 3.495544 |
| R65-R66  | 480.57 | 479.17 | 50    | 0.0280 | 3.420054 | 0.113694 | 3.533748 |
| R66-R74  | 479.17 | 478.33 | 50    | 0.0168 | 3.457464 | 0.114488 | 3.571952 |
| R74-DVO  | 478.33 | 476.61 | 50    | 0.0344 | 3.494874 | 0.115282 | 3.610156 |
| R74-Racc | 476.61 | 475.32 | 45    | 0.0287 |          |          | 1.12350  |

**Tableau 02**

| <b>Tronçon</b> | <b>L (m)</b> | <b>Pente<br/>(m/m)</b> | <b>Q (m³/s)</b> | <b>Dcal<br/>(mm)</b> | <b>Dnor<br/>(mm)</b> | <b>Rq</b> | <b>Rv</b> | <b>Rh</b> | <b>H (mm)</b> | <b>V (m/s)</b> | <b>Qps<br/>(m³/s)</b> | <b>Vps<br/>(m/s)</b> | <b>Auto-<br/>curage</b> |
|----------------|--------------|------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| R10-R9         | 44.51        | 0.0110                 | 0.00937         | 111.22               | 315                  | 0.07      | 0.585     | 0.18      | 0.054         | 1.092          | 0.132                 | 1.87                 | vérifié                 |
| R9-R8          | 30           | 0.0127                 | 0.01874         | 140.49               | 315                  | 0.13      | 0.681     | 0.25      | 0.074         | 1.363          | 0.141                 | 2.00                 | vérifié                 |
| R8-R7          | 33.54        | 0.0391                 | 0.02811         | 132.43               | 315                  | 0.11      | 0.653     | 0.23      | 0.068         | 2.296          | 0.248                 | 3.51                 | vérifié                 |
| R7-R5          | 46.46        | 0.0732                 | 0.30543         | 287.99               | 315                  | 0.90      | 1.138     | 0.74      | 0.221         | 5.477          | 0.340                 | 4.81                 | vérifié                 |
| R5-R6          | 47.8         | 0.0500                 | 0.3357          | 320.47               | 400                  | 0.55      | 1.030     | 0.53      | 0.211         | 4.964          | 0.605                 | 4.82                 | vérifié                 |
| R6-R3          | 47.2         | 0.0720                 | 0.364013        | 308.49               | 400                  | 0.50      | 1.001     | 0.50      | 0.200         | 5.789          | 0.726                 | 5.78                 | vérifié                 |
| R3-R2          | 50           | 0.0496                 | 0.392316        | 340.27               | 400                  | 0.65      | 1.063     | 0.58      | 0.233         | 5.101          | 0.603                 | 4.80                 | vérifié                 |
| R2-R34         | 9.85         | 0.0122                 | 0.754109        | 565.69               | 630                  | 0.75      | 1.093     | 0.65      | 0.407         | 3.520          | 1.003                 | 3.22                 | vérifié                 |
| R34-R35        | 50           | 0.0442                 | 1.115902        | 514.59               | 630                  | 0.58      | 1.043     | 0.54      | 0.343         | 5.394          | 1.910                 | 5.13                 | vérifié                 |
| R35-R36        | 50           | 0.0060                 | 1.144205        | 755.35               | 800                  | 0.86      | 1.133     | 0.71      | 0.571         | 3.000          | 1.331                 | 2.65                 | vérifié                 |
| R36-R37        | 50           | 0.0432                 | 1.172518        | 526.48               | 630                  | 0.62      | 1.055     | 0.57      | 0.356         | 5.394          | 1.889                 | 5.06                 | vérifié                 |
| R37-R38        | 48           | 0.0069                 | 1.228164        | 756.13               | 800                  | 0.86      | 1.133     | 0.71      | 0.572         | 3.213          | 1.425                 | 2.84                 | vérifié                 |
| R38-R39        | 50           | 0.0386                 | 1.256467        | 551.84               | 630                  | 0.70      | 1.077     | 0.62      | 0.388         | 5.172          | 1.785                 | 5.73                 | vérifié                 |
| R39-R40        | 45           | 0.0347                 | 1.28478         | 567.80               | 630                  | 0.76      | 1.096     | 0.65      | 0.410         | 5.953          | 1.692                 | 5.43                 | vérifié                 |
| R40-R41        | 45           | 0.0362                 | 1.313094        | 567.76               | 630                  | 0.76      | 1.096     | 0.65      | 0.410         | 5.085          | 1.729                 | 5.55                 | vérifié                 |
| R41-R42        | 39           | 0.0162                 | 1.341404        | 665.88               | 800                  | 0.61      | 1.053     | 0.56      | 0.449         | 4.577          | 2.184                 | 4.35                 | vérifié                 |
| R158-R159      | 32.82        | 0.0603                 | 0.00937         | 80.85                | 315                  | 0.03      | 0.447     | 0.12      | 0.036         | 1.953          | 0.309                 | 4.37                 | vérifié                 |
| R159-R100      | 29.39        | 0.0378                 | 0.01874         | 114.47               | 315                  | 0.08      | 0.596     | 0.19      | 0.056         | 2.061          | 0.244                 | 3.46                 | vérifié                 |

|           |       |        |           |        |     |      |       |      |       |       |       |       |         |
|-----------|-------|--------|-----------|--------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| R18-R19   | 50    | 0.0368 | 0.0280697 | 133.85 | 315 | 0.12 | 0.658 | 0.23 | 0.069 | 2.244 | 0.241 | 3.41  | vérifié |
| R19-R108  | 24.8  | 0.0661 | 0.0561394 | 155.51 | 315 | 0.17 | 0.741 | 0.28 | 0.084 | 3.388 | 0.323 | 4.57  | vérifié |
| R20-R108  | 25.2  | 0.4821 | 0.0280697 | 82.62  | 315 | 0.03 | 0.457 | 0.12 | 0.037 | 5.641 | 0.872 | 12.35 | vérifié |
| R108-R109 | 40.38 | 0.0713 | 0.084209  | 178.50 | 315 | 0.25 | 0.838 | 0.34 | 0.102 | 3.979 | 0.336 | 4.75  | vérifié |
| R110-R111 | 50    | 0.0510 | 0.0280697 | 125.90 | 315 | 0.10 | 0.632 | 0.21 | 0.064 | 2.540 | 0.284 | 4.02  | vérifié |
| R111-R109 | 41.87 | 0.0573 | 0.056139  | 159.74 | 315 | 0.19 | 0.759 | 0.29 | 0.087 | 3.233 | 0.301 | 4.26  | vérifié |
| R109-R112 | 50    | 0.0254 | 0.140348  | 262.37 | 315 | 0.70 | 1.076 | 0.61 | 0.184 | 3.051 | 0.200 | 2.83  | vérifié |
| R112-R113 | 50    | 0.0080 | 0.1684181 | 348.88 | 400 | 0.70 | 1.075 | 0.61 | 0.244 | 2.071 | 0.242 | 1.93  | vérifié |
| R113-R114 | 50    | 0.0858 | 0.196487  | 236.91 | 315 | 0.53 | 1.020 | 0.52 | 0.155 | 5.313 | 0.368 | 5.21  | vérifié |
| R114-R115 | 50    | 0.0368 | 0.2245575 | 291.92 | 315 | 0.93 | 1.139 | 0.76 | 0.227 | 3.887 | 0.241 | 3.41  | vérifié |
| R115-R116 | 19.27 | 0.0078 | 0.2526272 | 408.27 | 500 | 0.58 | 1.043 | 0.54 | 0.272 | 2.300 | 0.433 | 2.21  | vérifié |
| R117-R118 | 50    | 0.0380 | 0.068537  | 185.94 | 315 | 0.28 | 0.864 | 0.36 | 0.108 | 2.994 | 0.245 | 3.47  | vérifié |
| R118-R119 | 50    | 0.0682 | 0.1370754 | 216.09 | 315 | 0.42 | 0.948 | 0.45 | 0.135 | 4.404 | 0.328 | 4.64  | vérifié |
| R119-R120 | 50    | 0.0600 | 0.2056131 | 257.69 | 315 | 0.67 | 1.067 | 0.59 | 0.178 | 4.650 | 0.308 | 4.36  | vérifié |
| R120-R121 | 50    | 0.0392 | 0.233682  | 292.82 | 315 | 0.94 | 1.139 | 0.76 | 0.228 | 4.012 | 0.249 | 3.52  | vérifié |
| R121-R122 | 50    | 0.0390 | 0.2617525 | 305.84 | 400 | 0.49 | 0.994 | 0.49 | 0.197 | 4.229 | 0.534 | 4.25  | vérifié |
| R122-R123 | 49.62 | 0.0391 | 0.289822  | 317.60 | 400 | 0.54 | 1.024 | 0.52 | 0.209 | 4.362 | 0.535 | 4.26  | vérifié |
| R124-R116 | 35.57 | 0.0469 | 0.0452567 | 152.96 | 315 | 0.17 | 0.730 | 0.28 | 0.083 | 2.812 | 0.272 | 3.85  | vérifié |
| R116-R123 | 43.08 | 0.0576 | 0.34314   | 314.69 | 400 | 0.53 | 1.017 | 0.51 | 0.206 | 5.257 | 0.649 | 5.17  | vérifié |
| R123-R125 | 50    | 0.0710 | 0.678218  | 390.63 | 400 | 0.94 | 1.139 | 0.76 | 0.305 | 5.541 | 0.721 | 5.74  | vérifié |
| R125-R126 | 50    | 0.0722 | 0.7234754 | 398.95 | 400 | 1.00 | 1.142 | 0.80 | 0.322 | 5.613 | 0.727 | 5.79  | vérifié |
| R126-R127 | 15.86 | 0.0240 | 0.768732  | 501.91 | 630 | 0.55 | 1.026 | 0.52 | 0.330 | 4.633 | 1.407 | 4.51  | vérifié |

|          |       |        |           |         |      |      |       |      |       |       |       |      |         |
|----------|-------|--------|-----------|---------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|---------|
| R86-R87  | 50    | 0.0510 | 0.1100827 | 210.18  | 315  | 0.39 | 0.930 | 0.43 | 0.130 | 3.737 | 0.284 | 4.02 | vérifié |
| R87-R88  | 50    | 0.0638 | 0.0721274 | 171.99  | 315  | 0.23 | 0.812 | 0.32 | 0.096 | 3.648 | 0.317 | 4.49 | vérifié |
| R88-R89  | 50    | 0.0700 | 0.1417421 | 217.76  | 315  | 0.43 | 0.954 | 0.46 | 0.137 | 4.487 | 0.332 | 4.71 | vérifié |
| R89-R127 | 35    | 0.0671 | 0.2113568 | 254.94  | 315  | 0.65 | 1.063 | 0.58 | 0.175 | 4.897 | 0.326 | 4.61 | vérifié |
| R127-R90 | 25    | 0.0296 | 1.0323331 | 538.80  | 630  | 0.66 | 1.065 | 0.59 | 0.371 | 5.346 | 1.563 | 5.02 | vérifié |
| R90-R91  | 50    | 0.0220 | 1.0861321 | 580.59  | 630  | 0.81 | 1.115 | 0.68 | 0.429 | 4.823 | 1.348 | 4.33 | vérifié |
| R91-R92  | 50    | 0.0222 | 1.1399311 | 590.20  | 630  | 0.84 | 1.128 | 0.70 | 0.443 | 4.900 | 1.354 | 4.35 | vérifié |
| R92-R95  | 50    | 0.0134 | 1.1937301 | 660.12  | 800  | 0.60 | 1.048 | 0.55 | 0.443 | 4.151 | 1.989 | 3.96 | vérifié |
| R95-R96  | 50    | 0.0006 | 1.248648  | 1201.92 | 1400 | 0.55 | 1.030 | 0.53 | 0.793 | 1.313 | 2.250 | 1.27 | vérifié |
| R96-R31  | 23.2  | 0.0388 | 1.302447  | 558.80  | 630  | 0.73 | 1.085 | 0.63 | 0.397 | 6.231 | 1.790 | 5.74 | vérifié |
| R25-R26  | 50    | 0.0530 | 0.017187  | 104.00  | 315  | 0.06 | 0.559 | 0.16 | 0.049 | 2.287 | 0.289 | 4.09 | vérifié |
| R26-R27  | 50    | 0.0768 | 0.034374  | 125.80  | 315  | 0.10 | 0.632 | 0.21 | 0.064 | 3.116 | 0.348 | 4.93 | vérifié |
| R27-R28  | 40    | 0.0575 | 0.051561  | 154.63  | 315  | 0.17 | 0.737 | 0.28 | 0.084 | 3.143 | 0.301 | 4.26 | vérifié |
| R28-R29  | 40    | 0.0765 | 0.068748  | 163.27  | 315  | 0.20 | 0.775 | 0.30 | 0.090 | 3.811 | 0.348 | 4.92 | vérifié |
| R29-R30  | 50    | 0.0668 | 0.085935  | 182.09  | 315  | 0.26 | 0.851 | 0.35 | 0.104 | 3.910 | 0.325 | 4.60 | vérifié |
| R30-R31  | 49.64 | 0.0165 | 0.103122  | 253.37  | 315  | 0.64 | 1.060 | 0.58 | 0.173 | 2.422 | 0.161 | 2.29 | vérifié |
| R31-R32  | 44.28 | 0.0309 | 1.4421752 | 605.72  | 800  | 0.48 | 0.986 | 0.49 | 0.389 | 5.932 | 3.022 | 6.02 | vérifié |
| R32-R33  | 50    | 0.0144 | 1.478787  | 705.73  | 800  | 0.72 | 1.081 | 0.62 | 0.499 | 4.438 | 2.062 | 4.10 | vérifié |
| R33-R43  | 18    | 0.0078 | 1.515399  | 799.42  | 800  | 1.00 | 1.143 | 0.81 | 0.647 | 3.447 | 1.515 | 3.02 | vérifié |
| R57-R56  | 51.77 | 0.0450 | 0.038204  | 144.68  | 315  | 0.14 | 0.696 | 0.26 | 0.077 | 2.627 | 0.267 | 3.77 | vérifié |
| R56-R50  | 50    | 0.0598 | 0.076408  | 177.89  | 315  | 0.25 | 0.836 | 0.34 | 0.101 | 3.634 | 0.307 | 4.35 | vérifié |
| R50-R49  | 43.82 | 0.0090 | 0.114612  | 295.40  | 315  | 0.25 | 0.833 | 0.34 | 0.168 | 1.976 | 0.465 | 2.37 | vérifié |

|           |       |        |          |        |     |      |       |      |       |       |       |      |         |
|-----------|-------|--------|----------|--------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|------|---------|
| R49-R48   | 50    | 0.0080 | 0.152816 | 336.39 | 400 | 0.19 | 0.761 | 0.29 | 0.184 | 1.986 | 0.813 | 2.61 | vérifié |
| R76-R77   | 39.09 | 0.0123 | 0.058581 | 216.67 | 315 | 0.42 | 0.950 | 0.45 | 0.136 | 1.872 | 0.139 | 1.97 | vérifié |
| R77-R78   | 48    | 0.0104 | 0.117162 | 289.79 | 315 | 0.91 | 1.139 | 0.75 | 0.224 | 2.068 | 0.128 | 1.82 | vérifié |
| R78-R79   | 50    | 0.0410 | 0.175743 | 260.94 | 315 | 0.69 | 1.073 | 0.61 | 0.182 | 3.866 | 0.254 | 3.60 | vérifié |
| R79-R80   | 50    | 0.0424 | 0.234324 | 288.84 | 315 | 0.91 | 1.139 | 0.74 | 0.222 | 4.171 | 0.259 | 3.66 | vérifié |
| R80-R81   | 50    | 0.0406 | 0.286364 | 313.95 | 400 | 0.53 | 1.015 | 0.51 | 0.205 | 4.407 | 0.545 | 4.34 | vérifié |
| R81-R82   | 18    | 0.0022 | 0.344945 | 580.43 | 630 | 0.81 | 1.115 | 0.68 | 0.429 | 1.532 | 0.428 | 1.37 | vérifié |
| R99-R100  | 50    | 0.0078 | 0.039643 | 203.78 | 315 | 0.36 | 0.913 | 0.51 | 0.152 | 1.434 | 0.111 | 1.57 | vérifié |
| R100-R101 | 50    | 0.0084 | 0.05939  | 233.86 | 315 | 0.52 | 1.010 | 0.50 | 0.149 | 1.646 | 0.115 | 1.63 | vérifié |
| R101-R102 | 58.02 | 0.0262 | 0.10047  | 230.12 | 315 | 0.49 | 0.997 | 0.46 | 0.139 | 2.869 | 0.203 | 2.88 | vérifié |
| R102-R103 | 50    | 0.0654 | 0.14011  | 219.59 | 315 | 0.44 | 0.960 | 0.55 | 0.165 | 4.364 | 0.321 | 4.55 | vérifié |
| R103-R104 | 30    | 0.0580 | 0.17976  | 246.59 | 315 | 0.59 | 1.046 | 0.36 | 0.108 | 4.482 | 0.303 | 4.28 | vérifié |
| R17-R16   | 50    | 0.0374 | 0.068538 | 186.50 | 315 | 0.28 | 0.865 | 0.39 | 0.116 | 2.976 | 0.243 | 3.44 | vérifié |
| R16-R15   | 50    | 0.0748 | 0.109005 | 194.89 | 315 | 0.32 | 0.890 | 0.73 | 0.363 | 4.327 | 0.344 | 4.86 | vérifié |
| R15-R14   | 50    | 0.0012 | 0.149474 | 476.13 | 500 | 0.88 | 1.136 | 0.53 | 0.159 | 0.984 | 0.170 | 0.87 | vérifié |
| R14-R107  | 24.9  | 0.0731 | 0.189942 | 241.06 | 315 | 0.56 | 1.032 | 0.14 | 0.043 | 4.964 | 0.340 | 4.81 | vérifié |
| R11-R12   | 30    | 0.0267 | 0.009372 | 94.23  | 315 | 0.05 | 0.516 | 0.16 | 0.047 | 1.500 | 0.205 | 2.90 | vérifié |
| R12-R13   | 45    | 0.0727 | 0.018744 | 101.26 | 315 | 0.06 | 0.548 | 0.20 | 0.060 | 2.625 | 0.339 | 4.79 | vérifié |
| R13-R107  | 27.4  | 0.0664 | 0.028116 | 119.89 | 315 | 0.09 | 0.614 | 0.68 | 0.203 | 2.813 | 0.324 | 4.58 | vérifié |
| R107-R104 | 42.9  | 0.0711 | 0.267898 | 275.67 | 315 | 0.80 | 1.112 | 0.61 | 0.244 | 5.275 | 0.335 | 4.74 | vérifié |
| R104-R105 | 50    | 0.0756 | 0.518397 | 349.05 | 400 | 0.70 | 1.075 | 0.64 | 0.319 | 5.369 | 0.744 | 5.92 | vérifié |
| R105-R106 | 26.22 | 0.0263 | 0.589136 | 446.33 | 500 | 0.74 | 1.089 | 0.53 | 0.265 | 4.417 | 0.796 | 4.06 | vérifié |

|          |       |        |          |         |      |      |       |      |       |       |       |      |         |
|----------|-------|--------|----------|---------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|---------|
| R106-R82 | 38.98 | 0.0582 | 0.659875 | 401.27  | 500  | 0.56 | 1.031 | 0.38 | 0.113 | 5.223 | 1.184 | 5.03 | Vérifié |
| R85-R84  | 48    | 0.0462 | 0.082013 | 191.70  | 315  | 0.30 | 0.881 | 0.79 | 0.236 | 3.369 | 0.270 | 3.82 | Vérifié |
| R84-R83  | 48    | 0.0179 | 0.164026 | 296.98  | 315  | 0.98 | 1.140 | 0.56 | 0.352 | 2.714 | 0.168 | 2.38 | Vérifié |
| R83-R82  | 44    | 0.0023 | 0.264449 | 523.17  | 630  | 0.61 | 1.052 | 0.51 | 0.152 | 1.462 | 0.433 | 1.39 | Vérifié |
| R82-R97  | 50    | 0.0300 | 0.697854 | 464.05  | 500  | 0.82 | 1.121 | 0.69 | 0.345 | 4.853 | 0.850 | 4.33 | Vérifié |
| R97-R98  | 50    | 0.0360 | 0.767709 | 464.79  | 500  | 0.82 | 1.122 | 0.69 | 0.346 | 5.322 | 0.931 | 4.74 | Vérifié |
| R98-R42  | 19.73 | 0.0679 | 0.837564 | 426.33  | 500  | 0.66 | 1.064 | 0.59 | 0.293 | 5.933 | 1.279 | 5.52 | Vérifié |
| R42-R51  | 50    | 0.0430 | 0.943249 | 485.65  | 500  | 0.93 | 1.139 | 0.75 | 0.377 | 5.907 | 1.017 | 5.18 | Vérifié |
| R51-R52  | 50    | 0.0592 | 1.022998 | 471.53  | 500  | 0.86 | 1.132 | 0.71 | 0.356 | 5.885 | 1.194 | 5.08 | Vérifié |
| R52-R53  | 50    | 0.0644 | 1.102747 | 477.39  | 500  | 0.89 | 1.137 | 0.73 | 0.364 | 6.215 | 1.245 | 5.34 | Vérifié |
| R53-R54  | 50    | 0.0636 | 1.272496 | 504.91  | 630  | 0.56 | 1.031 | 0.53 | 0.333 | 5.580 | 2.292 | 6.35 | Vérifié |
| R54-R55  | 50    | 0.0076 | 1.262245 | 749.71  | 800  | 0.84 | 1.128 | 0.70 | 0.563 | 3.363 | 1.498 | 2.98 | Vérifié |
| R55-R48  | 29.61 | 0.0463 | 1.337091 | 545.99  | 630  | 0.68 | 1.072 | 0.60 | 0.380 | 5.723 | 1.955 | 5.27 | Vérifié |
| R57-R56  | 18.04 | 0.0427 | 0.038204 | 146.13  | 315  | 0.15 | 0.702 | 0.26 | 0.078 | 2.579 | 0.260 | 3.67 | Vérifié |
| R56-R50  | 48    | 0.0065 | 0.076408 | 270.02  | 315  | 0.76 | 1.095 | 0.65 | 0.195 | 1.565 | 0.101 | 1.43 | Vérifié |
| R50-R49  | 38    | 0.0080 | 0.114612 | 301.99  | 500  | 0.26 | 0.848 | 0.35 | 0.173 | 1.895 | 0.439 | 2.24 | Vérifié |
| R49-R48  | 44    | 0.0070 | 0.152816 | 344.92  | 630  | 0.20 | 0.779 | 0.30 | 0.190 | 1.901 | 0.760 | 2.44 | Vérifié |
| R48-R47  | 39    | 0.0008 | 1.527313 | 1278.17 | 1400 | 0.80 | 1.112 | 0.68 | 1.015 | 1.203 | 1.911 | 1.08 | Vérifié |
| R47-R46  | 40    | 0.0008 | 1.602129 | 1309.79 | 1400 | 0.85 | 1.130 | 0.71 | 1.061 | 1.207 | 1.887 | 1.07 | Vérifié |
| R46-R45  | 50    | 0.0006 | 1.676945 | 1395.40 | 1400 | 0.99 | 1.142 | 0.80 | 1.205 | 1.091 | 1.687 | 0.96 | Vérifié |
| R45-R44  | 50    | 0.0006 | 1.751761 | 1398.98 | 1400 | 1.04 | 1.146 | 0.86 | 1.283 | 1.095 | 1.687 | 0.96 | Vérifié |
| R44-R43  | 50    | 0.0006 | 1.726577 | 1397.30 | 1400 | 1.08 | 1.090 | 0.94 | 1.411 | 1.041 | 1.687 | 0.96 | Vérifié |

|            |    |        |          |         |      |      |       |      |       |       |       |      |         |
|------------|----|--------|----------|---------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|---------|
| R43-R62    | 32 | 0.0060 | 3.380942 | 1263.91 | 1400 | 0.63 | 1.076 | 0.92 | 1.380 | 1.055 | 5.336 | 3.02 | Vérifié |
| R62-R63    | 50 | 0.0082 | 3.419146 | 1196.31 | 1200 | 0.99 | 1.142 | 0.80 | 0.964 | 3.476 | 3.440 | 3.04 | Vérifié |
| R63-R64    | 50 | 0.0082 | 3.45734  | 1201.31 | 1400 | 0.55 | 1.030 | 0.53 | 0.792 | 3.638 | 6.238 | 3.53 | Vérifié |
| R64-R65    | 33 | 0.0079 | 3.495544 | 1215.34 | 1400 | 0.57 | 1.038 | 0.54 | 0.807 | 3.593 | 6.115 | 3.46 | Vérifié |
| R65-R66    | 50 | 0.0280 | 3.533748 | 962.08  | 1000 | 0.90 | 1.139 | 0.74 | 0.740 | 5.672 | 3.910 | 4.98 | Vérifié |
| R66-R74    | 50 | 0.0168 | 3.571952 | 1063.07 | 1200 | 0.73 | 1.084 | 0.63 | 0.755 | 4.722 | 4.925 | 4.36 | Vérifié |
| R74-DVO    | 50 | 0.0344 | 3.610156 | 933.11  | 1000 | 0.83 | 1.125 | 0.70 | 0.697 | 5.210 | 4.333 | 5.52 | Vérifié |
| R74- Racco | 45 | 0.0287 | 1.1235   | 623.33  | 800  | 0.51 | 1.009 | 0.51 | 0.406 | 4.383 | 2.182 | 4.34 | Vérifié |