

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université ABOU BAKR BELKAID Tlemcen

Faculté de technologie

Département d'architecture



Polycopié

Matière : AH643 :

Eau et énergie : infrastructures urbaines et

équipement du bâti

LICENCE 3 ARCHITECTURE

Par

GHAFFOUR Wafaa

2025

Avant-propos

Dans ce support pédagogique de cours intitulé « Equipement du bâti 2 », destiné aux étudiants de Licence 3 en Architecture, nous allons aborder les principes généraux des voiries et réseaux divers, à savoir les systèmes d'alimentation en eau potable et les systèmes d'assainissement du bâtiment.

Ensuite, nous présenterons les différents appareils de plomberie sanitaire. A la fin une partie sur les procédés spéciaux des énergies renouvelables sera traitée.

Ce polycopié se veut le reflet d'un recueil d'informations et d'un état de l'art sur l'ensemble des appareils et installations d'équipements sanitaires dans un bâtiment. Il présente une approche concrète de l'état actuel des grandes familles techniques utilisées couramment dans l'équipement du bâtiment et ne néglige aucune installation traditionnelle dans le but de faciliter l'acquisition des connaissances dans le domaine de l'architecture.

Il intègre ainsi une synthèse, essentiellement dans le domaine du bâtiment, des exigences techniques en matière de l'alimentation en eau potable (AEP), de l'assainissement urbain et du bâtiment aussi, des équipements de la plomberie sanitaire mais aussi des énergies renouvelables.

Le contenu du présent document constitue un large panorama inscrit dans le cadre pédagogique du cours et il a pour objectifs :

- Parvenir à une optimisation de raccordement des différents réseaux d'eau extérieur et intérieur.
- Présenter l'intérêt de la prise en charge des corps d'états secondaires pour l'architecte et les étudiants lors de la phase de conception.
- Acquérir une vision globale sur les différentes installations d'équipements techniques du bâtiment en vue de leurs assurer une bonne installation.

Table des matières

Avant-propos.....	2
Introduction générale	10
Chapitre I : Les voiries et Réseaux Divers (VRD).....	1
1. Introduction	1
2. Définitions	1
3. Typologie d'ouvrages entrant dans le domaine des VRD	1
4. Les œuvres de voiries	2
4.1. Explication d'une voirie.....	2
4.2. Catégorisation administrative de la voie.....	2
4.3. Les différentes couches de la chaussée.....	3
4.4. Les aires de stationnement.....	5
5. Terrassement et VRD	7
5.1. Définition du terrassement.....	7
6. Conclusion	8
Chapitre II : Introduction à l'hydraulique urbaine	9
1. Introduction	9
2. Les sources d'eau	9
1.1. Les eaux souterraines.....	9
1.2. Les eaux de surface.....	10
3. Répartition de l'eau sur la terre	11
4. Le cycle naturel de l'eau	11
1.3. L'évaporation.....	11
1.4. L'évapotranspiration	11
1.5. La condensation.....	11
1.6. Les précipitations.....	11
1.7. L'eau dans les réservoirs naturels	11
5. Procédé de production de l'eau potable	12
6. Etat des lieux des infrastructures de l'eau en Algérie	14
7. Connexion et distribution de l'eau potable	17
8. Conclusion	17
Chapitre III : Alimentation en eau potable dans le réseau public.....	18
1. Introduction	18
2. Définition	18

3. Réseau extérieur de distribution d'eau	18
3.1. <i>Caractéristiques d'un réseau de distribution</i>	18
3.2. <i>Types des demandes en eau</i>	18
4. Le système d'alimentation en eau potable	19
4.1. <i>Le Captage</i>	20
4.2. <i>Traitement des eaux</i>	22
4.3. <i>Adduction</i>	22
4.4. <i>Stockage</i>	23
4.5. <i>Distribution</i>	24
4.6. <i>Pompage (élévation d'eau)</i>	28
5. Conclusion	28
Chapitre IV : Systèmes d'alimentation en eau potable du réseau privé	29
1. Introduction	29
2. Définition	29
3. Constituants d'une distribution intérieure	30
4. Modes de distribution intérieure	30
4.1. <i>Distribution en chandelle : distribution inférieure</i>	30
4.2. <i>Distribution en parapluie : distribution supérieure</i>	32
4.3. <i>Distribution en circuit fermé</i>	33
4.4. <i>Distribution par un réservoir surélevé</i>	34
4.5. <i>Distribution mixte</i>	35
5. Normes techniques du réseau privé de l'AEP	36
5.1. <i>Pression minimale requise</i>	36
5.2. <i>Pertes de charge</i>	36
5.3. <i>Entretien des réseaux intérieurs</i>	37
5.4. <i>Matériaux de tuyauterie</i>	37
6. Conclusion	38
Chapitre V : Systèmes d'assainissement du bâtiment	39
1. Introduction	39
2. Définition	39
3. But de l'assainissement	39
4. Effluents des agglomérations	39
4.1. <i>Eaux usées</i>	39
4.2. <i>Eaux de ruissellements</i>	41
4.3. <i>Caractéristiques des eaux usées</i>	41
5. Histoire de l'Assainissement	42

5.1.	<i>L'Assainissement dans l'Antiquité</i>	42
5.2.	<i>Moyen Âge et Renaissance</i>	44
5.3.	<i>Révolution Industrielle et Assainissement Moderne</i>	44
6.	<i>Systèmes et schémas d'assainissements</i>	45
6.1.	<i>Système unitaire</i>	46
6.2.	<i>Système séparatif</i>	46
6.3.	<i>Le système mixte:</i>	47
6.4.	<i>Système pseudo-séparatif</i>	48
6.5.	<i>Système composite</i>	49
6.6.	<i>Systèmes spéciaux</i>	49
7.	<i>Les paramètres pour sélectionner un système d'assainissement</i>	50
7.1.	<i>Schéma perpendiculaire</i>	50
7.2.	<i>Schéma par déplacement latéral</i>	51
7.3.	<i>Schéma de collecteur par zones étagées</i>	51
7.4.	<i>Schéma radial</i>	52
7.5.	<i>Schéma à collecte transversale oblique</i>	52
8.	<i>Types de conduites d'égout</i>	52
9.	<i>Principe du tracé des collecteurs</i>	53
10.	<i>Conclusion</i>	55
Chapitre VI : Plomberie sanitaire		56
1.	<i>Introduction</i>	56
2.	<i>Eléments d'un réseau d'AEP</i>	56
2.1.	<i>Tuyauteries</i>	56
2.2.	<i>Organes</i>	56
2.3.	<i>Accessoires</i>	57
3.	<i>Les ouvrages d'assainissement</i>	60
3.1.	<i>Conduites circulaires ou ovoïdes</i>	60
3.2.	<i>Les branchements</i>	60
3.3.	<i>Les bouches d'égout</i>	61
3.4.	<i>Les regards</i>	62
	<i>Les regards de visite</i>	62
5.	<i>Réseau intérieur d'assainissement</i>	72
5.1.	<i>Appareils responsables de l'évacuation des eaux usées et des eaux vannes</i>	72
5.2.	<i>Types de réseau d'assainissement</i>	73
5.3.	<i>La collecte</i>	74
5.4.	<i>Règles à respecter dans un réseau d'assainissement</i>	76

6. Conclusion	76
Chapitre VII : Procédés spéciaux (Energies renouvelables).....	77
1. Introduction	77
2. Définition	77
3. Procédé de fonctionnement	77
4. Les composants des centrales hydroélectriques	78
4.1. Une prise d'eau ou une retenue.....	78
4.2. La centrale hydroélectrique, appelée aussi usine.....	78
4.3. Les barrages.....	78
4.4. Les turbines.....	78
4.5. Du moulin à la turbine.....	79
5. Les diverses méthodes d'exploitation de l'énergie hydraulique	79
5.1. Les centrales de lacs.....	80
5.2. Les centrales gravitaires.....	80
5.3. Les centrales au fil de l'eau.....	81
5.4. Les centrales d'éclusée.....	82
5.5. Les stations de transfert d'énergie par pompage ou STEP,.....	82
5.6. La « petite hydroélectricité » (PHE).....	82
6. Avantages et inconvénients de l'énergie hydraulique	82
7. Mesures la puissance d'une centrale hydraulique	83
8. Exemple de Petites centrales hydroélectriques en Algérie	84
9. Autres énergies renouvelables (Energie solaire)	85
9.1. Le soleil.....	87
L'effet photovoltaïque.....	87
9.2. Procédé de fabrication.....	88
9.3. Présentation des technologies photovoltaïques existantes.....	88
Technologie du silicium cristallin.....	88
9.4. Applications photovoltaïques.....	89
9.5. L'intégration architecturale solaire.....	94
10. Autres énergies renouvelables (Energie éolienne)	96
10.1. Définition de l'énergie éolienne.....	96
10.2. Classification des éoliennes selon la taille.....	96
10.3. Différents types d'aérogénérateurs.....	97
10.4. Composantes d'une éolienne.....	99
11. Conclusion	103
Références.....	104

Table des illustrations

Figures

Figure 1. <i>Voie multi usages pour la mobilité</i>	2
Figure 2. <i>Voie pour la vie urbaine</i>	2
Figure 3. <i>Type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches</i>	3
Figure 4. <i>Profil en travers d'une route</i>	4
Figure 5. <i>Constituants d'une route</i>	4
Figure 6. <i>Stationnement longitudinale</i>	5
Figure 7. <i>Stationnement PMR</i>	5
Figure 8. <i>Stationnement en épi</i>	6
Figure 9. <i>Stationnement en bataille</i>	6
Figure 10. <i>Marques routières</i>	6
Figure 11. <i>Remblai et déblai</i>	7
Figure 12. <i>Foisonnement</i>	8
Figure 13. <i>Types de nappe contenu dans un aquifère</i>	9
Figure 14. <i>Les eaux souterraines</i>	10
Figure 15. <i>Les eaux de surface</i>	10
Figure 16. <i>Le cycle de l'eau dans la nature</i>	12
Figure 17. <i>Etapas des cycles de l'eau domestique</i>	12
Figure 18. <i>Le cycle domestique de l'eau</i>	13
Figure 19. <i>L'usine de traitement d'eau potable de Sidi Lahdjel</i>	14
Figure 20. <i>Traitement des eaux potables, étape de clarification</i>	14
Figure 21. <i>Le filtre Aquazur® V</i>	15
Figure 22. <i>Carte des systèmes aquifères du Nord de l'Algérie</i>	15
Figure 23. <i>Exemple de la STEP de Tlemcen</i>	16
Figure 24. <i>Exemple de la STEP de Boumerdes</i>	16
Figure 25. <i>Station de dessalement de l'eau de mer (SDEM) de Tighremt, dans la commune de Toudja, Bejaïa</i>	17
Figure 26. <i>Schéma générale d'un système d'alimentation en eau potable</i>	19
Figure 27. <i>Tours de Prise d'eau d'un barrage</i>	20
Figure 28. <i>Prise d'eau d'un forage</i>	21
Figure 29. <i>Prise d'eau d'une rivière</i>	21
Figure 30. <i>Procédés de traitement des eaux</i>	22
Figure 31. <i>Types d'adduction</i>	23
Figure 32. <i>Réservoir surélevé</i>	23
Figure 33. <i>Réservoir au sol</i>	24
Figure 34. <i>Réseau ramifié</i>	25
Figure 35. <i>Réseau maillé</i>	26
Figure 36. <i>Réseau Maillé à une seule boucle</i>	26
Figure 37. <i>Réseau maillé avec de multiples boucles</i>	26
Figure 38. <i>Raccordement à l'eau potable</i>	29
Figure 39. <i>Constituant du réseau d'AEP intérieur</i>	30
Figure 40. <i>Distribution en chandelle avec nourrice (en pieuvre)</i>	31
Figure 41. <i>Nourrice de distribution</i>	32
Figure 42. <i>Distribution en parapluie</i>	33
Figure 43. <i>Exemple de distribution mixte</i>	34
Figure 44. <i>Distribution à partie du réservoir</i>	34
Figure 45. <i>Distribution mixte</i>	35
Figure 46. <i>Schéma de dotation en eau en coupe</i>	35
Figure 47. <i>Exemple de plan de schéma de distribution d'AEP</i>	36
Figure 48. <i>Le site archéologique d'Harappa</i>	43

Figure 49. Exemple de caniveaux dans la vallée de l'indus.....	43
Figure 50. Sortie de la Cloaca Massima dans le Tibre.....	44
Figure 51. Réseau d'assainissement souterrain à Paris.....	45
Figure 52. Le système unitaire.....	46
Figure 53. Le système séparatif.....	47
Figure 54. Le système mixte.....	47
Figure 55. Le Système pseudo-séparatif.....	48
Figure 56. Le système pseudo-séparatif.....	49
Figure 57. Système sous pression.....	50
Figure 58. Système sous dépression.....	50
Figure 59. Schéma d'assainissement perpendiculaire.....	51
Figure 60. Schéma d'assainissement par déplacement latéral.....	51
Figure 61. Schéma d'assainissement de collecteur par zones étagées.....	51
Figure 62. Schéma d'assainissement radial.....	52
Figure 63. Schéma d'assainissement à collecte transversale oblique.....	52
Figure 64. Les conduites d'égout.....	53
Figure 65. Tracé d'un petit réseau d'assainissement.....	55
Figure 66. Différents types de tuyauteries.....	56
Figure 67. Différents types d'organes.....	56
Figure 68. Différents types d'accessoires.....	57
Figure 69. Compteur.....	57
Figure 70. Robinet d'arrêt.....	57
Figure 71. Robinet de purge.....	58
Figure 72. Raccords.....	58
Figure 73. Réducteur de pression.....	58
Figure 74. Anti béliet.....	59
Figure 75. Coupe présentant les organes du réseau de l'AEP intérieur.....	59
Figure 76. Les branchements.....	61
Figure 77. Les bouches d'égout, par absorption par le haut ou du côté latéral.....	62
Figure 78. Les regards de visite.....	62
Figure 79. Regards de jonction.....	63
Figure 80. Regards double.....	63
Figure 81. Déversoir à seuil latéral et à conduite avale étranglée.....	64
Figure 82. Déversoir à ouverture de fond.....	64
Figure 83. Regard d'accès au réseau.....	65
Figure 84. Positionnement des cheminées d'accès.....	66
Figure 85. Positionnement des réseaux visitables et semi-visitables.....	66
Figure 86. Implantation des regards en zone urbaine.....	67
Figure 87. Positionnement du regard par rapport à la voie.....	67
Figure 88. Regard d'accès.....	68
Figure 89. Regard grille avec panier.....	68
Figure 90. Bouche d'égout sous chaussée.....	69
Figure 91. Regard de branchement.....	69
Figure 92. Tabouret grille sans puisard.....	70
Figure 93. Tabouret grille à puisard avec fond en béton poreux - Réseau d'eau pluviale.....	70
Figure 94. Caniveaux.....	71
Figure 95. Bassin de rétention, noue et fossé.....	71
Figure 96. Appareils sanitaires.....	72
Figure 97. Types d'assainissement.....	73
Figure 98. Le réseau unitaire.....	73
Figure 99. Le réseau séparatif.....	74
Figure 100. Collecteur et colonne de chute.....	74
Figure 101. Raccord, collecteur horizontal.....	75
Figure 102. Chute verticale.....	75
Figure 103. Fonctionnement d'une centrale hydroélectrique.....	79

Figure 104. Centrale de lac.....	80
Figure 105. Principe de fonctionnement d'une centrale gravitaire.....	81
Figure 106. Centrale au fil de l'eau.....	81
Figure 107. Principe de fonctionnement d'une station de transfert d'énergie par pompage.....	82
Figure 109. Part des énergies dans la production mondiale de l'électricité en 2023 (en %).....	84
Figure 108. Aval du barrage d'Erraguene.....	84
Figure 110. Gisement solaire au monde.....	85
Figure 111. Densité du flux solaire.....	86
Figure 112. Potentiel de l'énergie solaire.....	87
Figure 113. L'effet photovoltaïque.....	87
Figure 114. Fabrication du module photovoltaïque.....	88
Figure 115. Systèmes domestiques connectés au réseau.....	89
Figure 116. Grande installation photovoltaïque.....	90
Figure 117. Application isolée en Amérique du Sud.....	90
Figure 118. Système hybride photovoltaïque-éolien.....	91
Figure 119. Toit solaire utilisé pour refroidir la voiture.....	91
Figure 120. Utilisation du photovoltaïque pour une station de télécommunication isolée.....	92
Figure 121. Installation photovoltaïque.....	93
Figure 122. Fonctionnement du module photovoltaïque.....	93
Figure 123. Schéma du fonctionnement des panneaux photovoltaïques.....	94
Figure 124. Le nouvel opéra d'Oslo.....	95
Figure 125. Les cellules Grätzel.....	95
Figure 126. Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	96
Figure 127. Exemples de constructions Darrieus et Savonius.....	97
Figure 128. Éolienne à axe horizontal.....	98
Figure 129. Type de montage de la voilure.....	99
Figure 130. Composantes d'une éolienne.....	100
Figure 131. Typologies du mât.....	102
Figure 132. Gisement éolien en Algérie.....	102

Tableaux

Tableau 1. Avantages et inconvénients du réseau ramifié.....	25
Tableau 2. Avantages et inconvénients du réseau maillé.....	27
Tableau 3. Comparaison des différents systèmes de distribution d'eau potable intérieur.....	36
Tableau 4. Matériaux de tuyauteries d'eau potable intérieur.....	37
Tableau 5. Classification des eaux industrielles.....	41
Tableau 6. Tableau comparatif entre les trois types d'énergies.....	103

Introduction générale

L'énergie et l'eau sont considérées comme des « éléments porteurs de toute civilisation ». C'est pourquoi de cela, les hommes modernes doivent rationaliser leur utilisation, notamment en trouvant des solutions alternatives capables de répondre les humains modernes, il est nécessaire de rationaliser leur utilisation, ce qui implique de trouver des solutions alternatives pour répondre à la pénurie actuelle d'eau causée principalement par le changement climatique et l'utilisation domestique non rationnelle.

Rajoutant à cela l'effet carbone généré par l'utilisation des énergies fossiles qui tendent vers l'épuisement, d'où de nouvelles approches visant à réduire les émissions de ce gaz reposent sur l'utilisation de sources d'énergie renouvelables pour remplacer les combustibles fossiles. Pour préserver le premier (pétrole, gaz, etc.) et récolter les bénéfices de la seconde, qui est considérée comme une énergie autosuffisante.

Ce document traitera une partie des corps d'état secondaire des deux grandes familles d'alimentation et de rejet d'eau qui seront répertoriés et détaillés selon leur mode de mise en œuvre dans différents chapitres.

En premier lieu, les questions d'adduction d'eau dans le réseau urbain et intérieur du bâtiment seront abordées, elles sont étroitement liées au concept d'acheminement et d'approvisionnement d'eau potable.

Ensuite, il s'agira d'aborder les questions liées à l'assainissement au sein du bâtiment et dans le réseau urbain aussi pour assurer l'hygiène et éviter toutes maladies causant des épidémies dans l'agglomération.

Enfin, des généralisations sur de nombreuses formes d'énergie renouvelable, leurs principes de fonctionnement, et les différentes méthodes employées seront discutées. Ce travail ont été réalisé sur la base de la collecte de données précises et ciblées afin d'aider les étudiants à comprendre.

Chapitre I : Les voiries et Réseaux Divers (VRD)

1. Introduction

L'ensemble des projets d'aménagement visant à assurer la viabilité des bâtiments et autres structures en les reliant à divers réseaux urbains sont collectivement appelés VRD (voirie et réseaux divers). Parmi les réseaux essentiels à la communauté urbaine, la dotation en énergie fluide et électrique, la confection d'espaces verts, etc.

Néanmoins, l'objectif de ce chapitre est de présenter deux réseaux : le réseau d'assainissement et le réseau d'eau potable conduite et distribuée. Ces deux réseaux sont considérés comme les plus importants dans le domaine des technologies urbaines.

Le système hydraulique est constitué d'un ensemble d'infrastructures construites et utilisées pour alimenter en eau potable les zones urbaines. En général, l'utilisation de cette eau n'est que temporaire, c'est-à-dire qu'elle doit être récupérée après utilisation.

2. Définitions

Le VRD concerne le domaine d'aménagement du territoire par les diverses voies de viabilisation urbaine. La formation reçue doit préparer l'étudiant à comprendre les différentes techniques et méthodes de calcul pour concevoir un projet de voirie et réseaux divers. L'aménagement peut se définir comme l'organisation et l'équipement d'un site. Les VRD; éléments de viabilité de toute opération, sont les infrastructures de l'aménagement. Toutes ces opérations irréversibles mises en place font que leur importance dans le processus de conception est fondamentale.

La définition technique de chaque élément VRD en lui-même n'est pas complexe. Il est primordial à ce niveau est la bonne coordination de l'ensemble car tous les réseaux sont plus au moins liés.

L'acronyme VRD signifie « Voiries réseaux divers ». Cette expression désigne l'ensemble des concepts et méthodes utilisées pour aborder les quatre principes directeurs de la VRD, qui se manifestent par :

- L'établissement des voiries d'accès,
- la mise en œuvre des réseaux d'alimentation d'eau potable,
- en électricité,
- et dans la mise en œuvre des chemins d'accès aux télécommunications.

Le VRD couvre également l'aménagement, la réalisation et l'entretien des organes du canal d'évacuation des eaux pluviales ou usées. Ces initiatives contribuent de manière significative à l'embellissement d'un cadre, qu'il soit rural ou urbain, lors de travaux d'enfouissement de réseaux, de revêtement routier ou d'aménagement de trottoirs. Elles influencent les changements naturels du paysage, tels que la création de routes et l'établissement de différents réseaux.

3. Typologie d'ouvrages entrant dans le domaine des VRD

On a plusieurs types d'ouvrages qui caractérisent le domaine des VRD¹:

- VRD et terrassement,
- VRD et assainissement,
- VRD et AEP (alimentation en eau potable),
- VRD et énergie (gaz électricité),
- VRD et télécommunications.

¹ https://elearning.centre-univ-mila.dz/a2024/pluginfile.php/21639/mod_resource/content/4/POLYCOPIE%20VRD%20R%20ABADA.pdf

4. Les œuvres de voiries

4.1. Explication d'une voirie

La voirie est un espace multi usages pour la mobilité, mais aussi un espace de la vie urbaine. Elle est souvent décrite en mètres linéaire².

Le changement des traditions de vie stimule l'évolution des trajectoires et des perceptions, tandis que l'émergence des véhicules a favorisé leur progression et leur ajustement aux exigences des communautés tant urbaines que rurales. Concrètement, c'est une étude technique menée spécifiquement dans le secteur du génie civil.

Le réseau routier est un espace partagé qui se doit de permettre une circulation fluide pour les différents utilisateurs (piétons, véhicules).

4.2. Catégorisation administrative de la voie

Selon les normes techniques

On spécifie :

- Les autoroutes,
- Les voies express,
- Les voies de type classique.



Figure 1. Voie multi usages pour la mobilité



Figure 2. Voie pour la vie urbaine

² Antonin Pavard, Patricia Bordin, Anne Dony. Modélisation SIG de la voirie. Congrès INFRA, Nov 2018, Québec, Canada. (hal-02146710)

Selon les normes juridiques

On spécifie :

- Une autoroute,
- Une voie rapide urbaine,
- Une route nationale,
- Une voirie départementale,
- Une voirie communale,
- Une voirie privée.

Selon les normes fonctionnelles

- Une voirie de desserte,
- Une voirie artérielle,
- Une voirie rapide urbaine,
- Une voirie de distribution.

Les exigences suivantes doivent être respectées par une voirie tertiaire destinée à créer un lien de circulation entre des résidences et des quartiers :

- Chaque résidence et chaque lotissement sera desservi par une partie de voirie
- Fournir une bonne accessibilité adéquate pour prévenir les problèmes de circulation.
- Prévoir un aménagement simple pour sécuriser les véhicules à l'arrêt et les piétons.

4.3. Les différentes couches de la chaussée

Pour résister aux efforts pneumatiques horizontaux, la chaussée doit avoir de nombreuses épaisseurs pour éviter les déformations et supporter le poids du trafic (voir schéma du bas). La couche de fondation est protégée d'une couche de surface³³. Ces efforts sont provoqués par :

- La vitesse croissante des déplacements.
- Le déplacement des roues
- La diffusion des charges de ralentissement.

Les empilements successifs de couches de matériaux granulaires forment une structure composite de la chaussée routière⁴⁴.

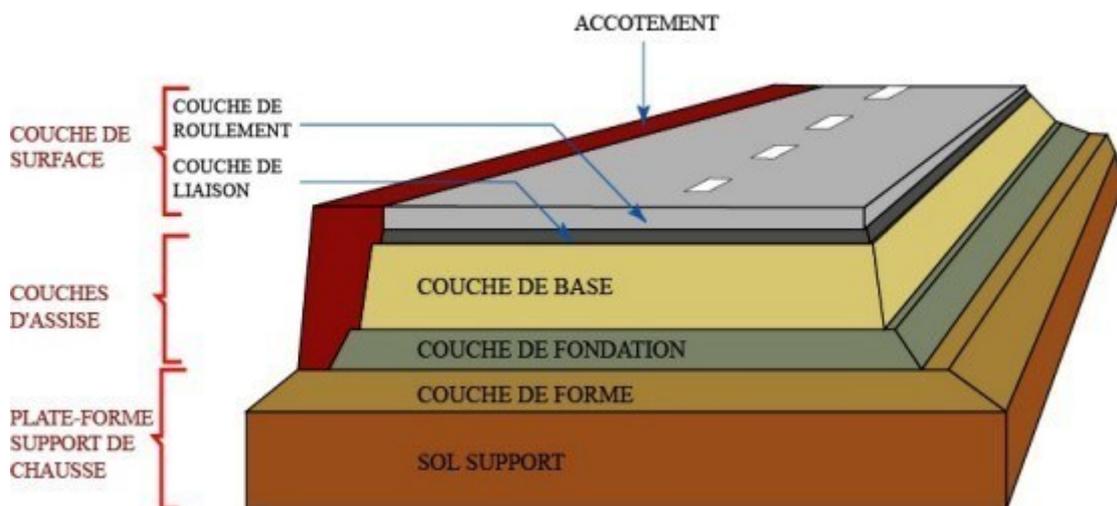


Figure 3. Type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches

³ https://elearning.centre-univ-mila.dz/a2024/pluginfile.php/21639/mod_resource/content/4/POLYCOPIE%20VRD%20R%20ABADA.pdf

⁴ Malick Diakhaté. Fatigue et comportement des couches d'accrochage dans les structures de chaussée. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Limoges, 2007. Français. ffNNT : ff.ftel-00521906f

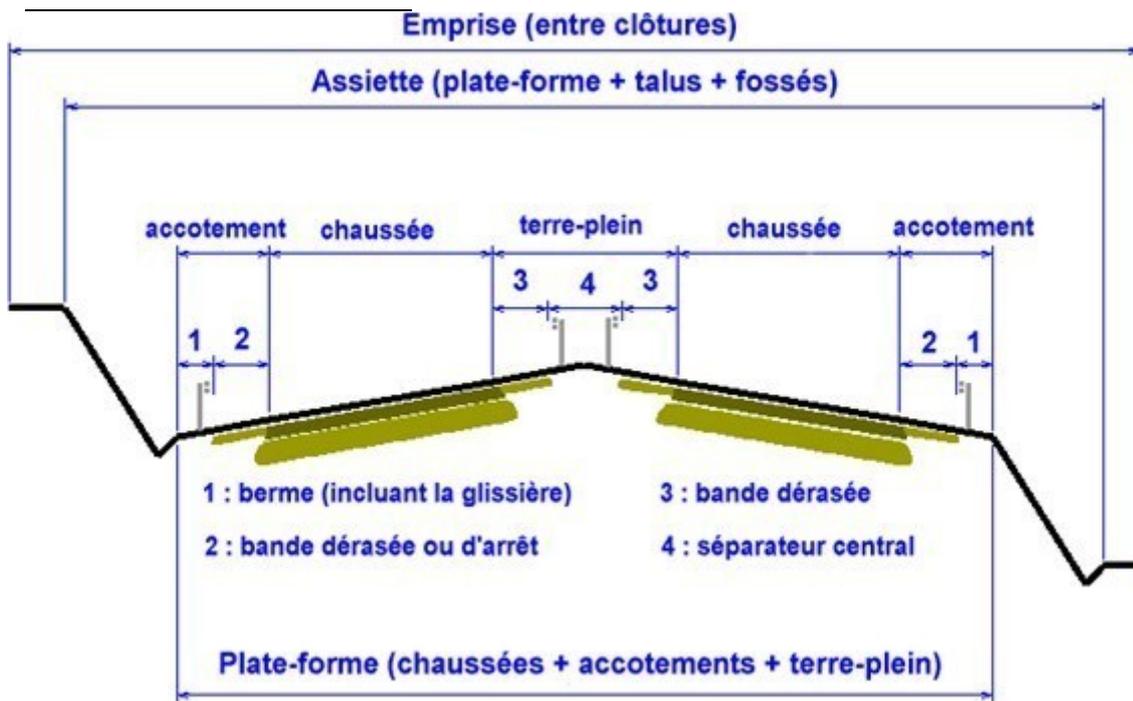


Figure 4. Profil en travers d'une route

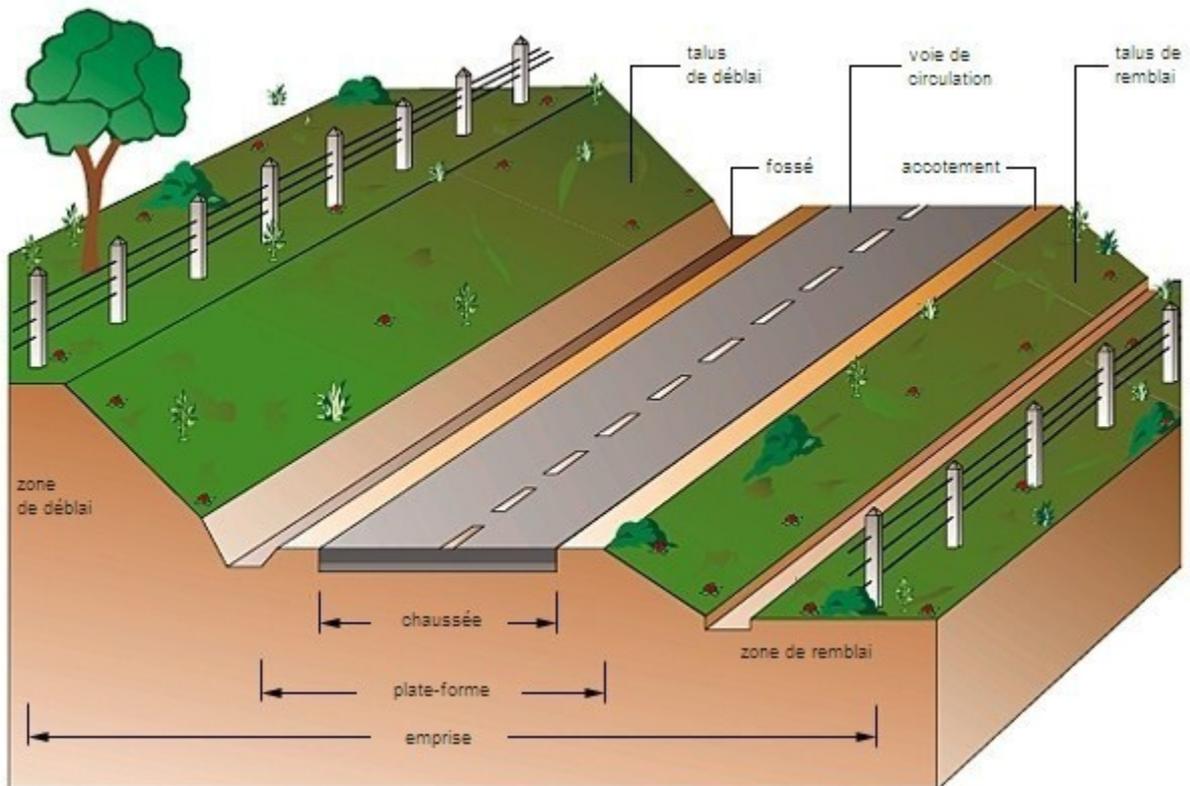


Figure 5. Constituants d'une route

4.4. Les aires de stationnement

Le stationnement désigne l'arrêt temporaire d'un véhicule dans l'espace extérieur public, le long de la voie. Les difficultés liées au stationnement proviennent principalement de l'insuffisance d'espace, notamment en centre-ville, et du comportement des conducteurs.

Les formes de parking

- - Parking le long de la route,
- - Parking public en dehors des voies,
- - Stationnement au palier du sol,
- - Stationnement en sous-terrain et en hauteur.

Le stationnement longitudinal

En ce qui a trait aux stationnements en créneau, la longueur et la largeur de l'emplacement résultent de l'existence d'obstacles sur les côtés ou de murs :

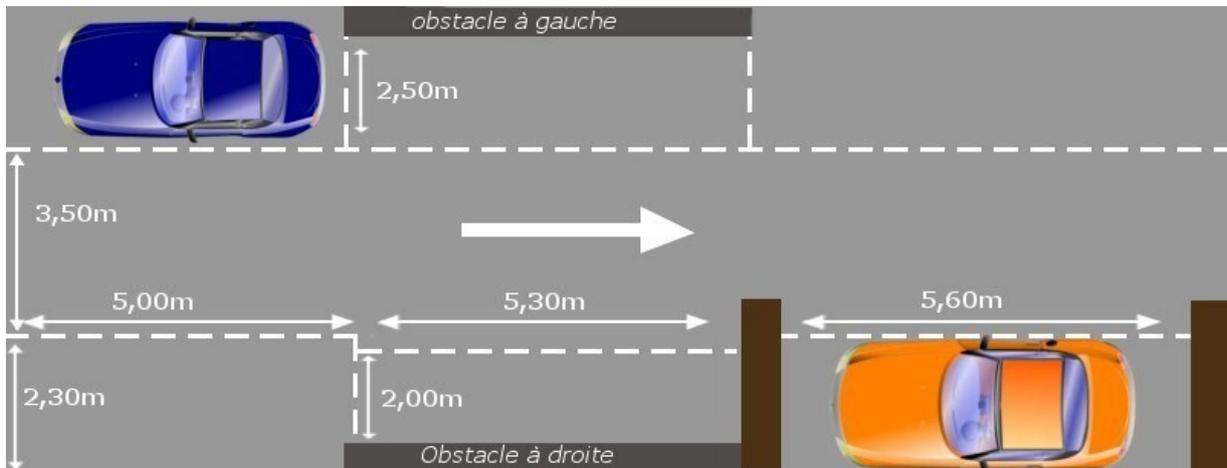


Figure 6. Stationnement longitudinale

Le stationnement pour les personnes à mobilité réduite

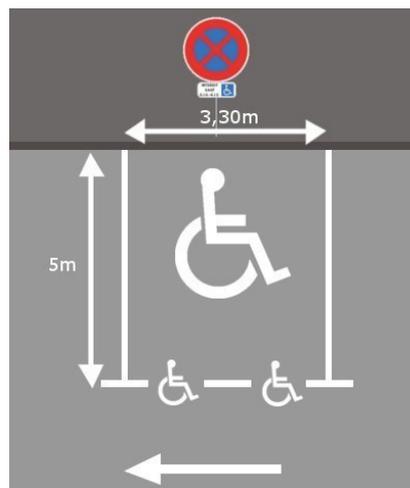


Figure 7. Stationnement PMR

Le stationnement en épi

Concernant les stationnements en épi, les dimensions à respecter sont déterminées par l'inclinaison de l'emplacement. Plus l'angle est bas, plus la longueur minimale requise est logiquement diminuée, cette

dernière étant évaluée de manière perpendiculaire à la voie de circulation⁵ :

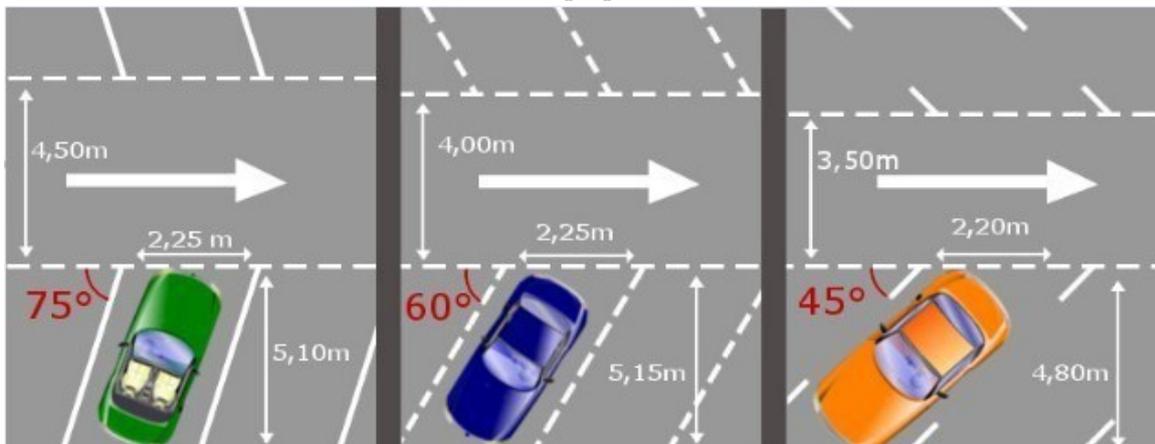


Figure 8. Stationnement en épi

Le stationnement en bataille

Les emplacements en bataille nécessitent des dimensions minimales de 5 mètres de longueur, 5,30 mètres de largeur et une voie de circulation d'au moins 5 mètres entre les rangées:

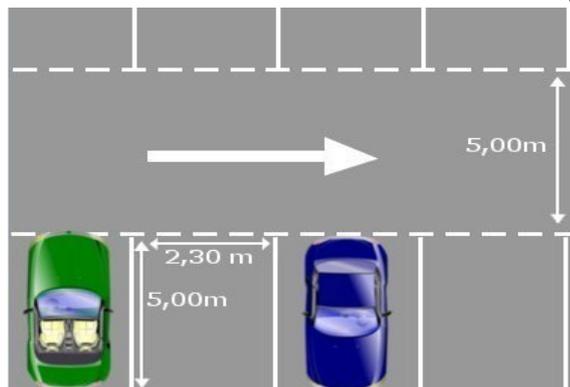


Figure 9. Stationnement en bataille

Marques routières

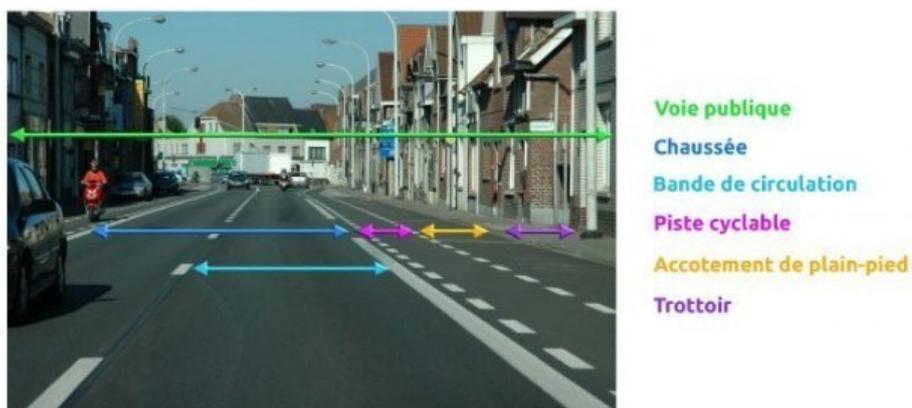


Figure 10. Marques routières

⁵ <https://www.bms-sols.com/marquage-sol-parking-regles/>

5. Terrassement et VRD

Il se réalise lors d'une période capitale qui implique la préparation du site où sera envisagée la réalisation de la construction générale, qu'il s'agisse d'un édifice résidentiel, industriel, commercial ou d'une infrastructure (pont, route).

Il faut noter que les travaux reviennent à l'entreprise chargée du projet qui effectuera le terrassement, et pourra également réaliser différents ouvrages concernant les décapages, les fouilles, les remblais, les déblais et les talus.

5.1. Définition du terrassement

Il couvre toutes les modifications du relief du sol altérant des mouvements effectués sur la surface du sol couvrant ainsi les déblais et remblais.

C'est donc une modification non naturelle de la composition du sol, et désigne les opérations visant à préparer le terrain avant le début des travaux de réalisation. Il est observé assez régulièrement comme des déchets lorsqu'ils sortent de leur site d'excavation avec le titre de « terres excavées »⁶.

Mouvement des terres

Le déblai : il s'agit du processus de creusement du sol pour extraire la terre, réalisé soit manuellement, à l'aide d'une pelle ou d'une pioche, ou en utilisant un équipement mécanique lorsque le terrain est rocheux.

Le remblai : il s'agit de déplacer et de déposer des terres pour remplir les vides, tout en tenant compte du compactage et du coefficient d'expansion du sol.

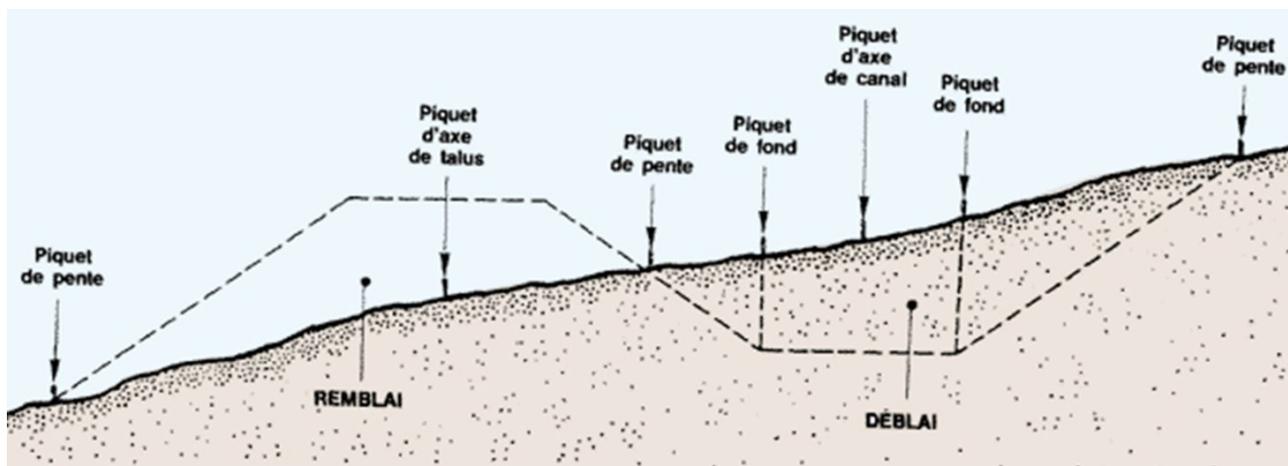


Figure 11. Remblai et déblai

Le tassement se réfère à un affaissement dû à pression physique ou à une charge. Il est conforme à la charge que le sol subit.

Le foisonnement désigne l'augmentation du volume d'une matière. La quantité de terre retirée lors des fouilles est toujours supérieure à celle qui était en position, car elle n'est plus compressée. Afin de déterminer la quantité de terre à déplacer, il est nécessaire de calculer le coefficient de foisonnement.

⁶ Katia Bellagh. Valorisation des sols urbains faiblement pollués dans les travaux de terrassement : le devenir des polluants dans les sols traités compactés. Géotechnique. Université Paris -Est, 2017. Français. ffNNT : 2017PESC1025ff. fftel-01734542f

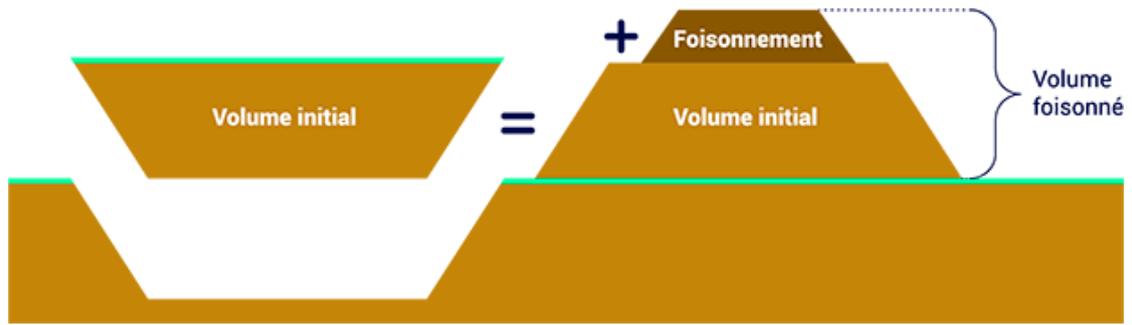


Figure 12. *Foisonnement*

6. . Conclusion

L'intégration des VRD dans les projets urbains permet d'organiser les espaces en garantissant une bonne accessibilité, une alimentation en énergie, une évacuation des eaux usées pluviales ainsi que la mise en place du réseau de communication. Les VRD constituent un pilier fondamental du développement urbain moderne, une planification rigoureuse et une exécution de qualité permettent de garantir un cadre de vie fonctionnel sûr et durable pour les usagers.

Chapitre II : Introduction à l'hydraulique urbaine

1. Introduction

La dotation en eau potable et l'évacuation des eaux résiduaires et pluviales dans les zones urbaines concerne l'hydraulique urbaine. Durant de nombreuses décennies, la préoccupation principale des ingénieurs a été de transporter les eaux plus loin en concevant des réseaux toujours plus larges, plus étendus et dotés d'infrastructures de plus en plus sophistiquées. Une méthode plus respectueuse de l'environnement vise à gérer les eaux pluviales directement à la source, en favorisant l'infiltration et en augmentant les zones de rétention. Cette approche est pertinente largement milieu rural et l'urbain aussi.

2. Les sources d'eau

En compte deux réserves d'eaux naturelles à disposition :

1.1. Les eaux souterraines

Elles se forment dans ensemble de vides où l'eau peut s'accumuler dans le sous-sol que contiennent les roches. Les aquifères ont des caractéristiques très variées, ce sont des réservoirs géologiques, susceptibles de contenir de l'eau⁷.

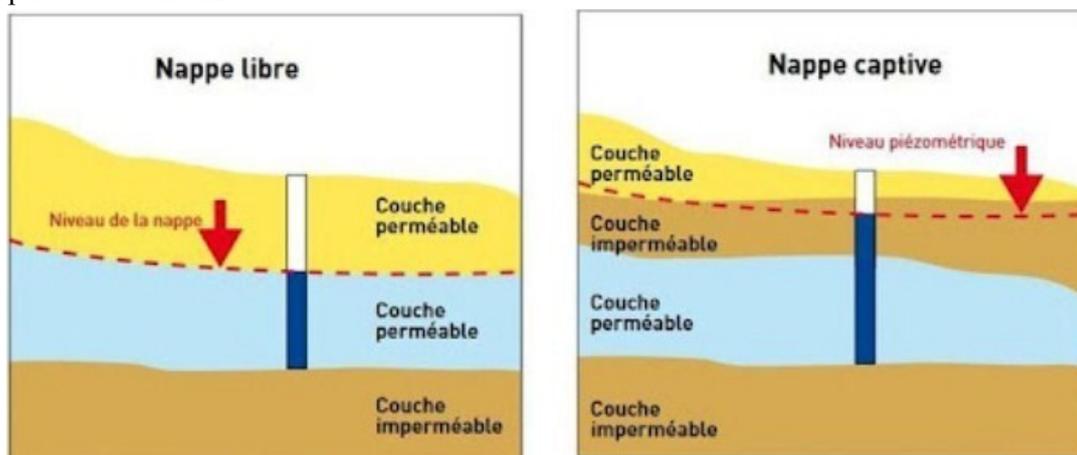


Figure 13. Types de nappe contenu dans un aquifère

L'infiltration des prélèvements dans le sol forment les eaux souterraines. On identifie deux typologie de nappes, également appelées aquifères:

- Les aquifères (libres) se situent à proximité de la surface du terrain.
- Les aquifères captifs qui se situent à une plus grande profondeur.

L'eau de pluie est approvisionnée dans les aquifères dont une partie se franchit dans le sol et traverse la zone non-saturée pour rejoindre la nappe⁸.

⁷ <https://annales.org/ri/2000/05-2000/mourey032-040.pdf>

⁸ <https://annales.org/ri/2000/05-2000/mourey032-040.pdf>

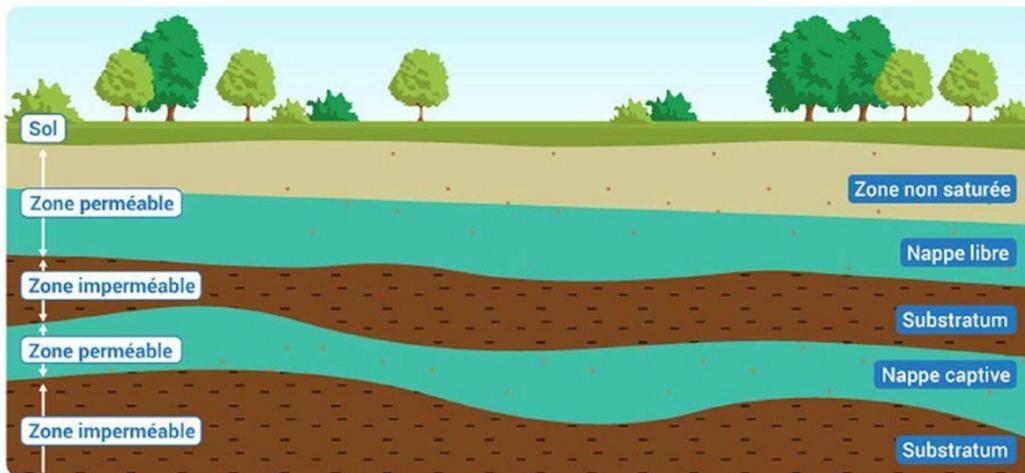


Figure 14. Les eaux souterraines

1.2. Les eaux de surface

Appelées aussi « eaux superficielles », les eaux de surface comprennent toutes les masses d'eau en mouvement ou immobiles qui sont en contact direct avec l'atmosphère. Selon leur position géographique, ces eaux peuvent être de nature douce, saumâtre ou salée.

Parmi les eaux de surface, nous trouvons les plans d'eau du plus volumineux au moins volumineux, à savoir du lac à la mare, en passant par l'étang⁹.

Ils pourront être classés comme ce qui suit : les rivières, les fleuves, les lacs, les ruisseaux, les cours d'eau, les eaux de ruissellement (eaux de pluies), les réservoirs, les lacs de barrage, les mers et les océans, et les eaux côtières.

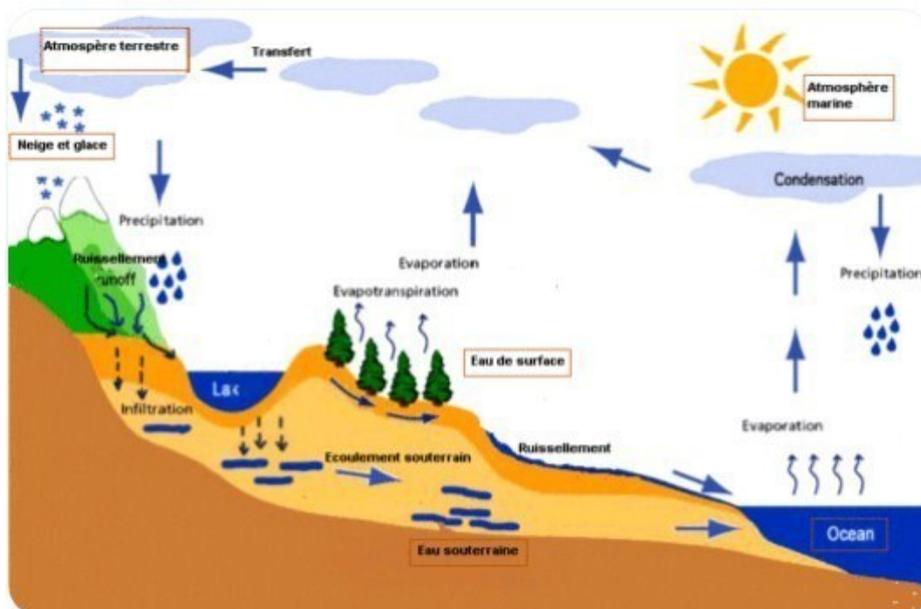


Figure 15. Les eaux de surface

⁹ Pascal Bartout, Laurent Touchart, L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface, Ann. Géo., n° 691, 2013, pages 266-289. <http://doi.org/10.3917/ag.691.266>

3. Répartition de l'eau sur la terre

L'eau présente sur notre planète s'élève approximativement à 1,4 milliard de km³. Le volume d'eau qui existe sur terre est resté constant depuis sa formation. 97,17 % d'eau salée et 2,83 % d'eau douce forment les 1,4 milliard de km³. Ils façonnent l'hydrosphère, donc la totalité des stocks d'eau de la terre.

L'eau salée s'aperçoit dans les mers, les océans et les banquises, elle couvre 2/3 de la surface de la terre. Le sel qu'elle contient provient des roches et des minéraux qui sont entrés en contact avec elle.

4. Le cycle naturel de l'eau

1.3. L'évaporation

L'eau des océans et des mers s'évapore dans l'atmosphère en éliminant son sel et ses impuretés à travers l'énergie solaire.

1.4. L'évapotranspiration

Lorsque l'évaporation provient du sol on parle également de l'évapotranspiration. C'est un mouvement convertissant la vapeur d'eau l'eau provenant des rivières, des lacs, du sol, des animaux, des humains et principalement de la végétation. C'est dans les nuages que cette vapeur d'eau s'accumulera, à l'instar de l'évaporation des mers et des océans.

1.5. La condensation

La vapeur d'eau se refroidit et se transforme en gouttelettes qui vont former les nuages, la brume ou le brouillard au contact de l'atmosphère.

1.6. Les précipitations

Sous l'effet des vents, les nuages se déplacent dans l'atmosphère. Au cours d'une modification climatique et à cause de l'effet gravitationnel, les nuages deviennent plus lourds et tombent sous forme de précipitations, comme la pluie, la grêle ou la neige sur le sol. 79 % des précipitations se déversent sur les océans, tandis que les 21 % restants tombent sur la terre et contribuent à remplir les nappes phréatiques, soit par infiltration, soit par ruissellement.

1.7. L'eau dans les réservoirs naturels

En réalité, l'eau traverse plusieurs sites naturels avant de retourner vers les mers et les océans, et elle peut rester aussi longtemps que possible avant de continuer son cycle.

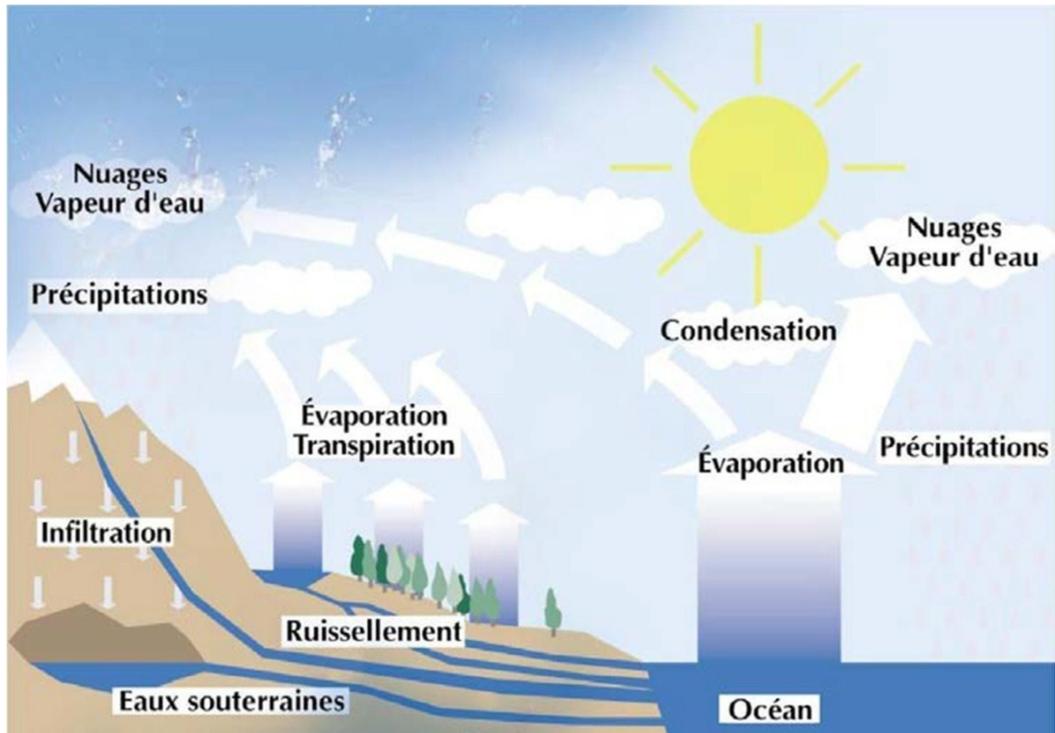


Figure 16. Le cycle de l'eau dans la nature

5. Procédé de production de l'eau potable

La fabrication d'eau potable comprend les étapes suivantes : l'extraction de l'eau à partir de la source naturelle par un mécanisme de captage ; par la suite le traitement éventuel de l'eau extraite pour la rendre propre à la consommation et enfin, son acheminement jusqu'aux emplacements où elle sera entreposée.



Figure 17. Etapes des cycles de l'eau domestique

Tout en suivant le cycle perpétuel de l'eau sur notre planète, il est possible de rediriger l'eau vers un autre cycle, plus bref et limité aux actions humaines. Nous serons en mesure d'employer l'eau du

robinet pour nos besoins en eau, de la purifier après son utilisation avant de la restituer à son environnement naturel, à travers ce bref voyage.

Pour une gestion optimale de l'eau, plusieurs phases doivent être respectées dans le cycle domestique, à savoir :

- Le captage
- Le traitement
- Le stockage
- La distribution
- La collecte
- La dépollution
- Le retour à la nature

62 % de l'eau potable découle des sources souterraines, tandis que les 38 % restants sont issus des eaux de surface (torrents, rivières, lacs). L'eau minérale et l'eau de source sont uniquement issues de sources souterraines, tandis que l'eau du mitigeur ou mélangeur peut avoir plusieurs provenances (eaux de surface, eaux souterraines, etc.). Par le biais du captage dans un forage ou une source, l'eau est extraite. Une excellente qualité de l'eau pourra être garantie par le sol, qui agit comme un filtre naturel. Afin de fournir une eau potable, exempte de toute impureté, un traitement sera nécessaire.

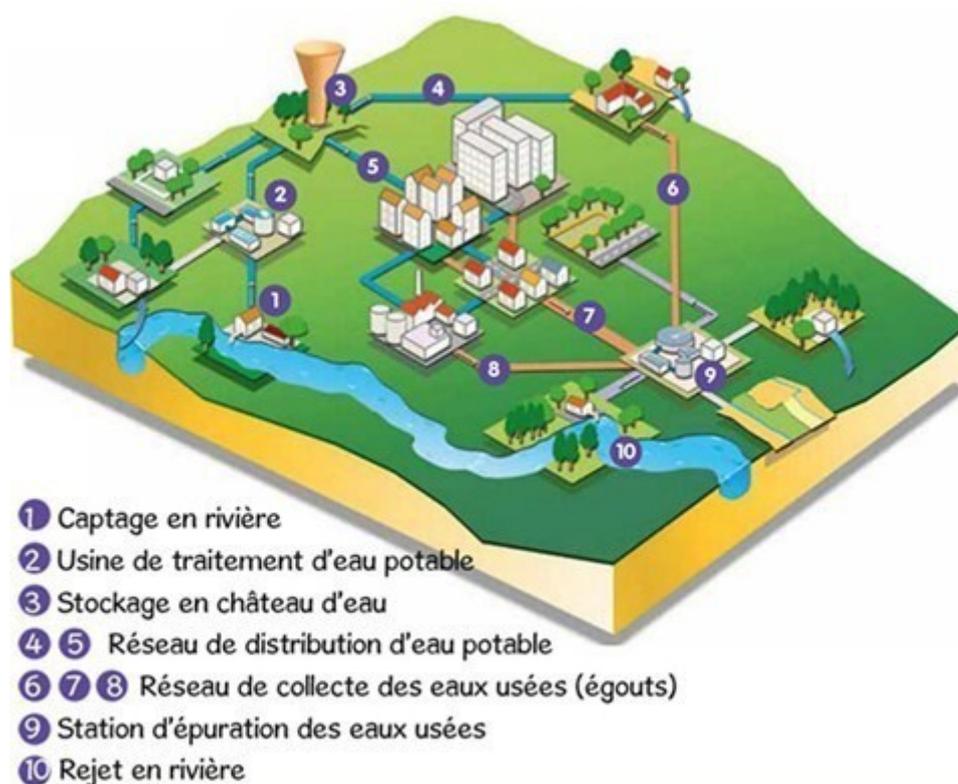


Figure 18. Le cycle domestique de l'eau

6. Etat des lieux des infrastructures de l'eau en Algérie

D'après le rapport portant sur l'étude d'évaluation du secteur de l'eau en Algérie élaboré en 2016, le régime des cours d'eau des eaux de surface au nord algérien sont assurés par un réseau pluviométrique tels que les bassins de Tfna, Soummam, Hodna, Chott Chergui, Chott Zahrez, Isser et côtières oranais,..... La pluviométrie varie entre 300 et 1400 mm / an, alors que dans la région du Sahara et dans le sud de l'Atlas saharien, la pluviométrie ne dépasse guère les 50 mm.

Une portion des prélèvements des précipitations reviens à l'eau verte qui est réservé au couvert végétal qui se divise en consommations agricole, pâturages et forestières.

L'usine de traitement d'eau potable de Sidi Lahdjel représente la deuxième station en importance en Algérie, qui fait partie du grand projet de système de transfert d'eau qui alimente aujourd'hui les villes avoisinantes du couloir de Mostaganem-Arsem-Oran, d'un débit de 561 600 m³/jour.



Figure 19. L'usine de traitement d'eau potable de Sidi Lahdjel

L'eau est issue du barrage de Cheliff et prétraité dans une station de débouillage. Le procédé débute par une mise à l'aération par cascade, une clarification par Densadeg® 2D, procédé de décantation physico-chimique à recirculation externe des boues. Il associe le principe de la décantation lamellaire à un épaisseur intégré¹⁰.



Figure 20. Traitement des eaux potables, étape de clarification

La filtration de l'eau est assurée par 18 filtres à sable Aquazur® V d'un débit unitaire de 1 300 m³/h. La désinfection physico-chimique est mise en place par l'injection de chlore gazeux. Et en fin, la station de Sidi Lahdjel est dotée d'une filière de traitement des boues issue de la décantation d'une capacité minimale de 33,7 T/jour, d'une capacité moyenne de 67,4 T/jour, et d'une capacité maximale de 101 T/jour de matière sèche.

¹⁰ Ministère des Ressources en Eaux - Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT), Alger, Algeria, Consortium SUEZ, 2016.

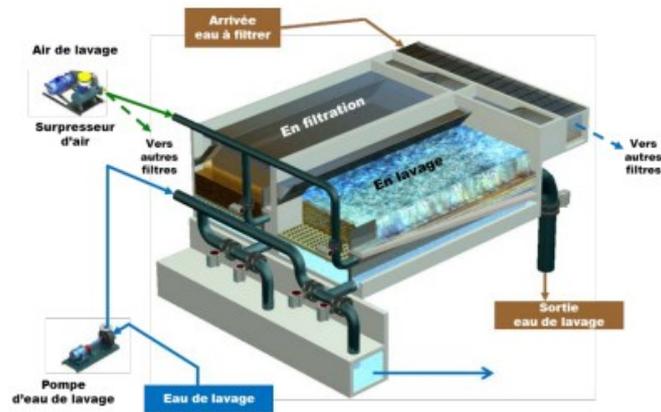


Figure 21. Le filtre Aquazur® V

En ce qui concerne les ressources souterraines disponibles dans les aquifères du nord du pays, elles sont de l'ordre de 177 aquifères, constitué de 9000 sources, 23 000 forages et 60 000 puits, Ces eaux sont estimés à près de 2,5 milliards de m³.

La carte ci-dessous montre l'interprétation géologique des images satellites permettant de quantifier les ressources en eau en Algérie, qui couvre une superficie de plus de 300,000 km² dans le nord de l'Algérie.

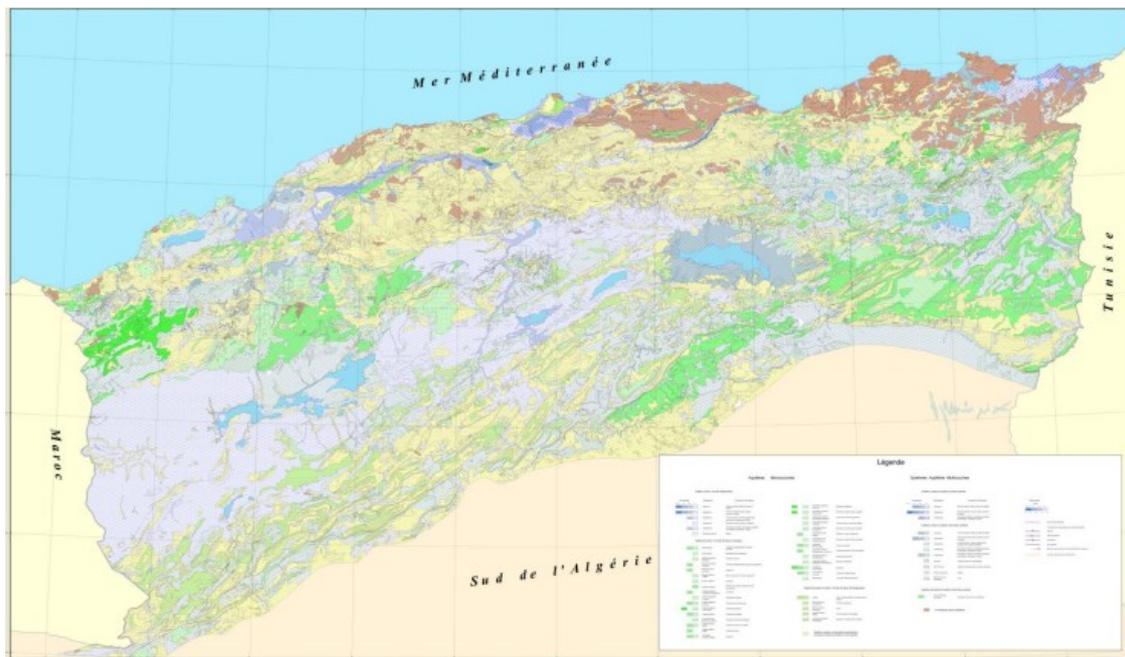


Figure 22. Carte des systèmes aquifères du Nord de l'Algérie

Le secteur de l'eau en Algérie compte d'autres types d'eau telles les eaux usées épurés, à Tlemcen, le périmètre de Hennaya (912ha), alimenté à partir des eaux usées épurées est d'ores et déjà opérationnel.



Figure 23. Exemple de la STEP de Tlemcen

Les eaux usées épurées sont utilisés pour l'irrigation.

Le deuxième exemple de la STEP est celui de Boumerdes, où les eaux usées épurées sont réutilisées pour irriguer un périmètre par la technique du « goutte à goutte ». Ces eaux épurées sont transférées par un système de pompage réalisé par une association de 2 fellahs, à l'aval de la STEP. Les eaux sont stockées dans un bassin d'une capacité totale d'environ 300 000 m³¹¹.



Figure 24. Exemple de la STEP de Boumerdes

L'objectif stratégique, est d'atteindre la sécurisation de l'AEP des populations des grandes villes côtières du Nord, et la réaffectation des eaux de barrages de l'Atlas Tellien pour l'irrigation, et le transfert vers les hauts plateaux. Pour cela, des stations de dessalement de l'eau de mer d'une capacité totale de production de 2.3 hm³/jour ont vu le jour comme réalisées dans les wilayas de Béjaïa (Tighremt-Toudja), de Boumerdes (Cap Djinet), de Tipasa (Fouka), d'Oran (Cap Blanc) et d'El Tarf (Koudiet Eddraouche), d'une capacité de production de 300 000 m³/j chacune.

¹¹ Bureau d'Etude PROGRESS, Etude d'évaluation du secteur de l'eau en Algérie, Etat des lieux, rapport d'étude, Décembre 2016.



Figure 25. Station de dessalement de l'eau de mer (SDEM) de Tighremt, dans la commune de Toudja, Bejaïa

Pour la zone du Sahara, les eaux sont plutôt souterraines saumâtres, nécessitant une déminéralisation.

7. Connexion et distribution de l'eau potable

L'ensemble de conduits et d'appareils organisés forment une installation de distribution d'eau potable, elle a pour but de faciliter le transport et la dotation de l'eau potable aux résidents d'une ou plusieurs municipalités. L'eau est souvent froide, mais certaines municipalités offrent aussi de l'eau chaude destinée à un usage domestique. On identifie deux types de réseaux pour la fourniture d'eau potable:

- Le réseau public de l'eau potable a souvent été considéré comme substitut possible pour l'alimentation en eau des ménages¹², il s'alimente du château d'eau (réservoir de stockage) jusqu'aux collectivités.
- Le réseau de distribution intérieur : s'alimente depuis de l'entrée de l'immeuble jusqu'au dernier consommateur.

8. Conclusion

L'hydraulique urbaine, joue un rôle crucial dans divers champs, tels que la gestion des eaux usées, la prévention des inondations et la préservation des ressources en eau. Aujourd'hui, les défis liés à ces domaines enferment l'ajustement face aux mutations climatiques, l'essor des solutions durables (gestion intégrée des eaux pluviales, perméabilisation des sols, réutilisation des eaux), et la modernisation des infrastructures pour une ville plus résiliente et écologique.

En conclusion, une conception bien pensée de l'hydraulique urbaine est essentielle pour garantir une meilleure qualité de vie, réduire les impacts environnementaux et garantir la durabilité des infrastructures urbaines.

¹² MONTGINOUL, M. (2006). Les eaux alternatives à l'eau du réseau d'eau potable pour les ménages : un état des lieux. Sciences Eaux & Territoires, (45 Ingénieries-EAT), 49–62. Consulté à l'adresse <https://revue.set.fr/article/view/6144>

Chapitre III : Alimentation en eau potable dans le réseau public

1. Introduction

La production d'eau potable englobe toutes les opérations ou traitements visant à obtenir de l'eau potable à partir d'une source naturelle potentiellement polluée. Le type de traitement requis est fortement lié à la qualité de l'eau.

2. Définition

On qualifie d'eau potable celle où ses propriétés respectent les normes légales et qui peut être bue sans risque pour la santé.

3. Réseau extérieur de distribution d'eau

L'approvisionnement en eau potable d'une zone (résidence, village, ville...) pourra être garanti par un réseau extérieur de distribution d'eau.

L'approvisionnement en eau potable se fait par le réseau public, qui peut acheminer l'eau soit par gravité (via un réservoir d'eau), soit grâce à une pression artificielle appliquée sur le réseau (via une station de surpression), jusqu'au compteur.

3.1. Caractéristiques d'un réseau de distribution

La conception des conduites doit avoir une bonne conception afin d'assurer le flux maximal requis pendant les périodes de pointe. Les conduites doivent être enfouies à une profondeur minimale de 80 cm. Il est indispensable que les conduites soient placées à une hauteur supérieure à celle des canalisations d'assainissement pour prévenir toute contamination.

La vitesse de l'eau doit être comprise entre 0,5 m/s et 1,2 m/s, certaines normes admettent 1,5 m/s, une vitesse moindre à 0,5 m/s favorise les dépôts une vitesse supérieure à 1,2 m/s favorise le bruit.

3.2. Types des demandes en eau

Les pratiques de prévision élaborées par les gestionnaires des services d'eau potable devront être améliorées afin d'éviter de sur-dimensionner les infrastructures, et les coûts qui en résultent¹³.

Besoins en eau domestiques

L'eau employée au sein des habitations renferme l'eau utilisée pour la consommation domestique, pour divers usages tels que la toilette personnelle, le lavage du linge et l'entretien des pelouses. Elle est alors formulée en litres par jour et par habitant (en l/jour/hab).

Plusieurs éléments influencent cette consommation : le niveau socio-économique, les pratiques habituelles, l'accessibilité à l'eau, les conditions climatiques, le coût de l'eau, et bien d'autres.

¹³ RINAUDO, J. (2013). Prévoir la demande en eau potable : une comparaison des méthodes utilisées en France et en Californie. *Sciences Eaux & Territoires*, (10), 78–85. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2013.10.11>

Besoins publics

La consommation des administrations, des institutions éducatives, des municipalités et des hôpitaux, représentent les besoins publics.

Besoins industriels

Il faut souligner que la consommation industrielle est conditionnée par le produit fabriqué et surtout par le processus de fabrication employé.

Autres besoins

D'autres besoins d'eau potable figurent:

Les besoins touristiques (des hôtels) : de 400 à 700 l/jour/lit (et pouvant atteindre 1200 l/jour/lit pour les hôtels de luxe).

Les besoins d'irrigation: vu que le prix de l'eau potable est très élevé, son utilisation en irrigation se limite, éventuellement, à quelques cultures de fleurs et à quelques pépinières.

Le besoin en eau pour la lutte contre l'incendie.

4. Le système d'alimentation en eau potable

Représente un ensemble constitué d'organismes visant à approvisionner une agglomération en eau afin de répondre aux besoins humains, industriels et agricoles.

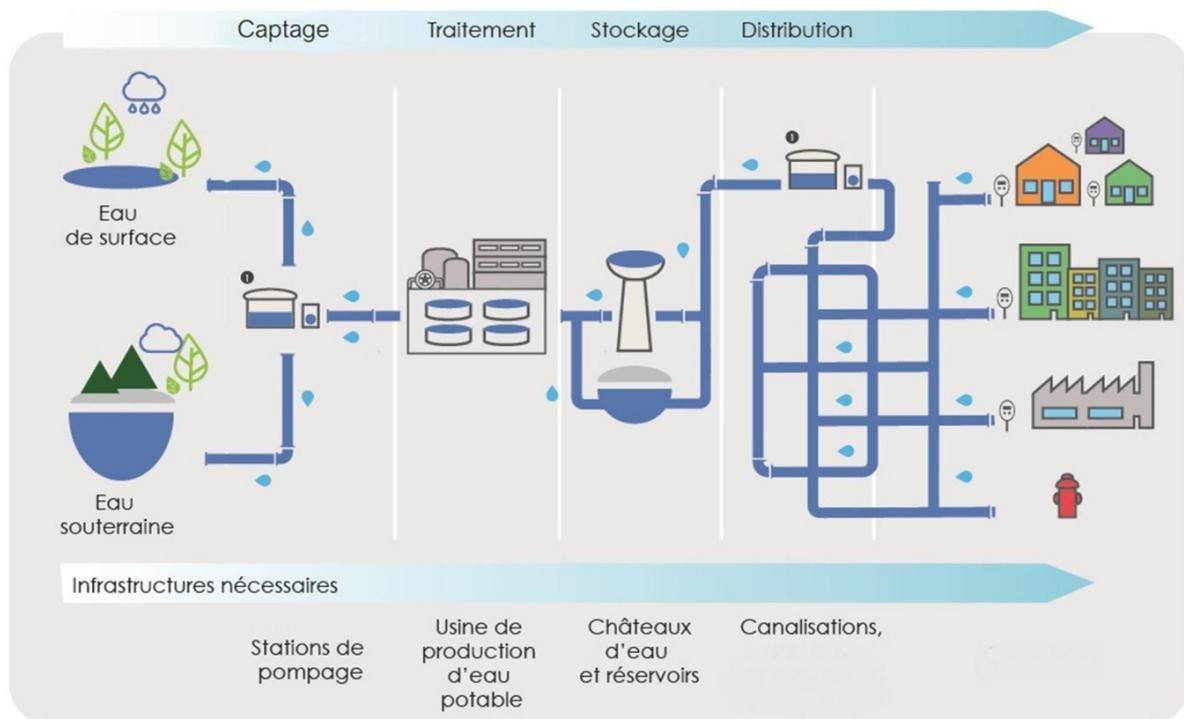


Figure 26. Schéma générale d'un système d'alimentation en eau potable

4.1. Le Captage

Le captage implique la collecte d'eaux qui peuvent être soit de surface (rivières, lacs), ou souterraines (source, nappe, aquifère), à travers une prise d'eau et un système de conduites qui achemine l'eau vers un réservoir destiné à approvisionner en permanence la station de traitement¹⁴.

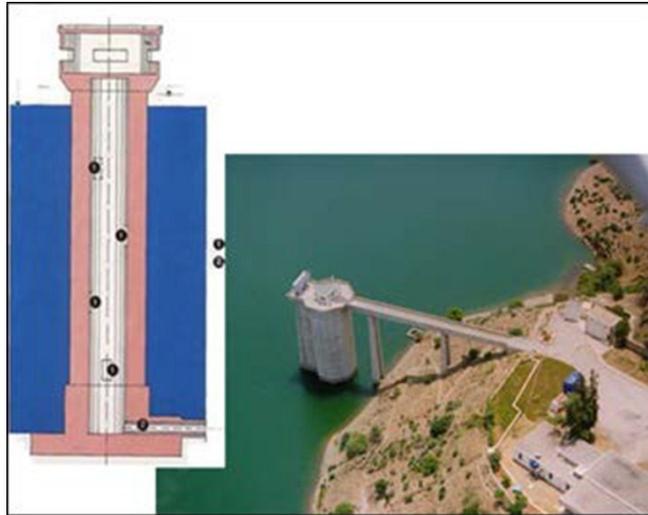


Figure 27. Tours de Prise d'eau d'un barrage

¹⁴ <http://dspace.univ-guelma.dz:8080/xmlui/handle/123456789/9663>

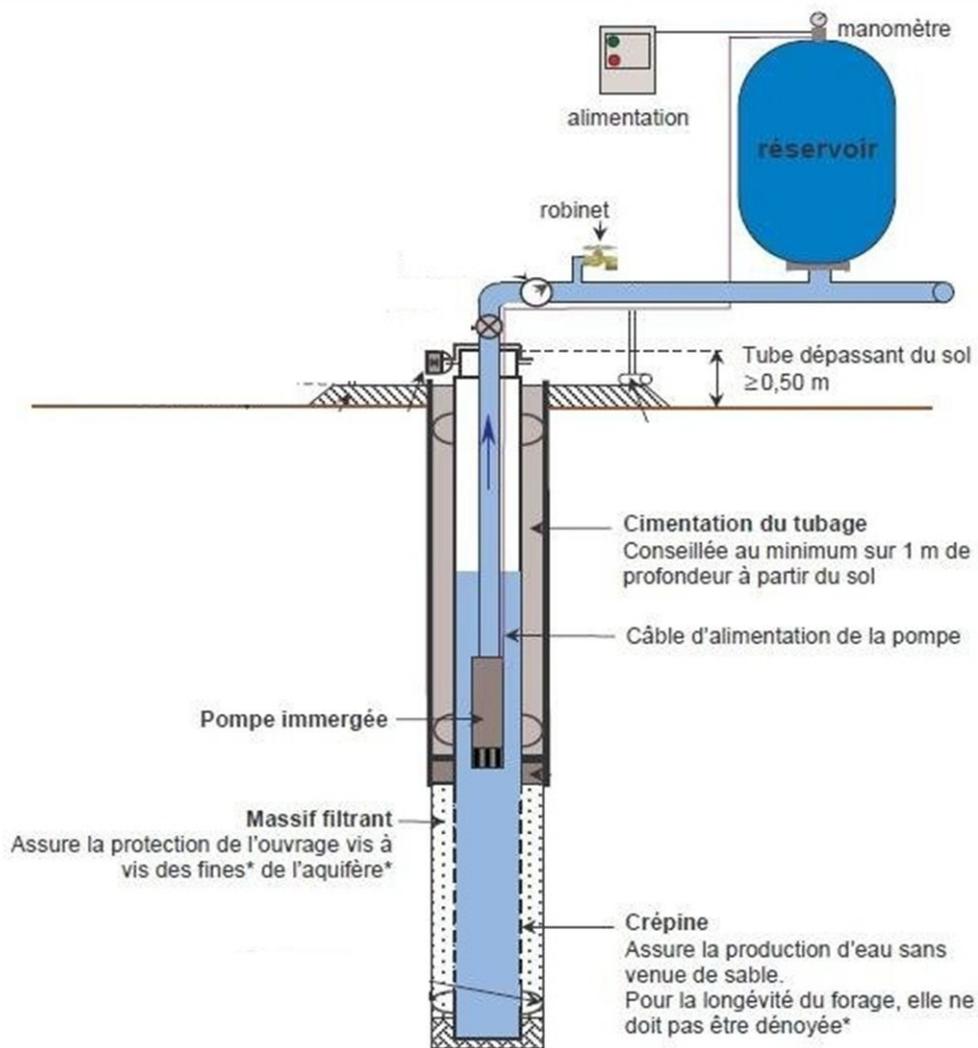


Figure 28. Prise d'eau d'un forage

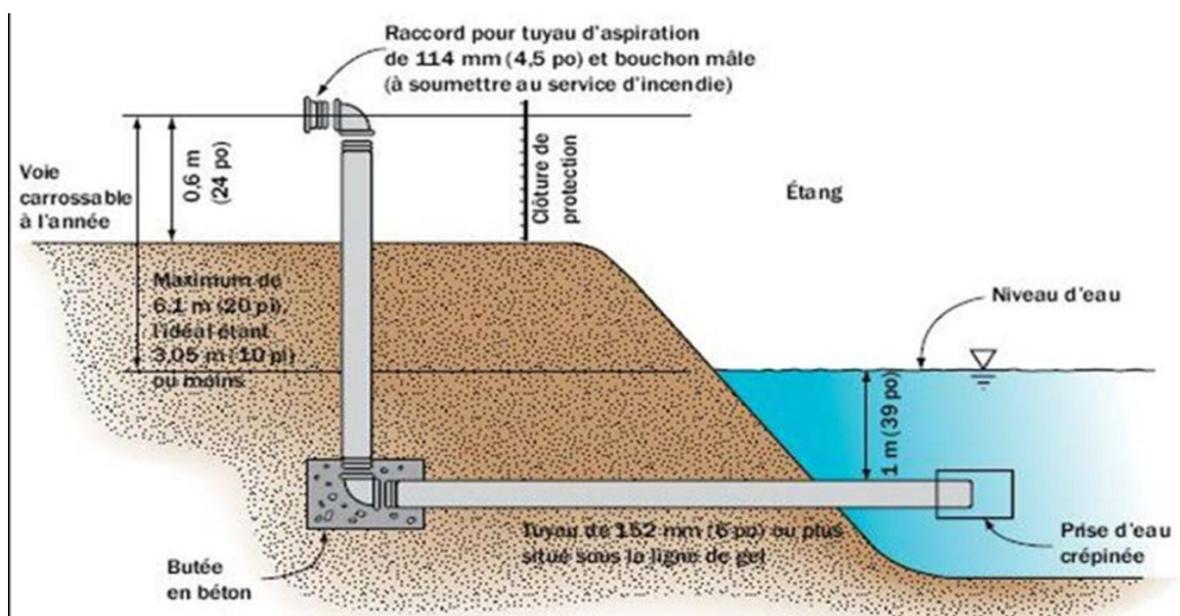


Figure 29. Prise d'eau d'une rivière

4.2. Traitement des eaux

Occasionnellement les eaux captées n'offrent pas en permanence, les qualités requises à la consommation, elles nécessitent un traitement, afin que celle-ci puisse être prise sans aucun danger par la population¹⁵.

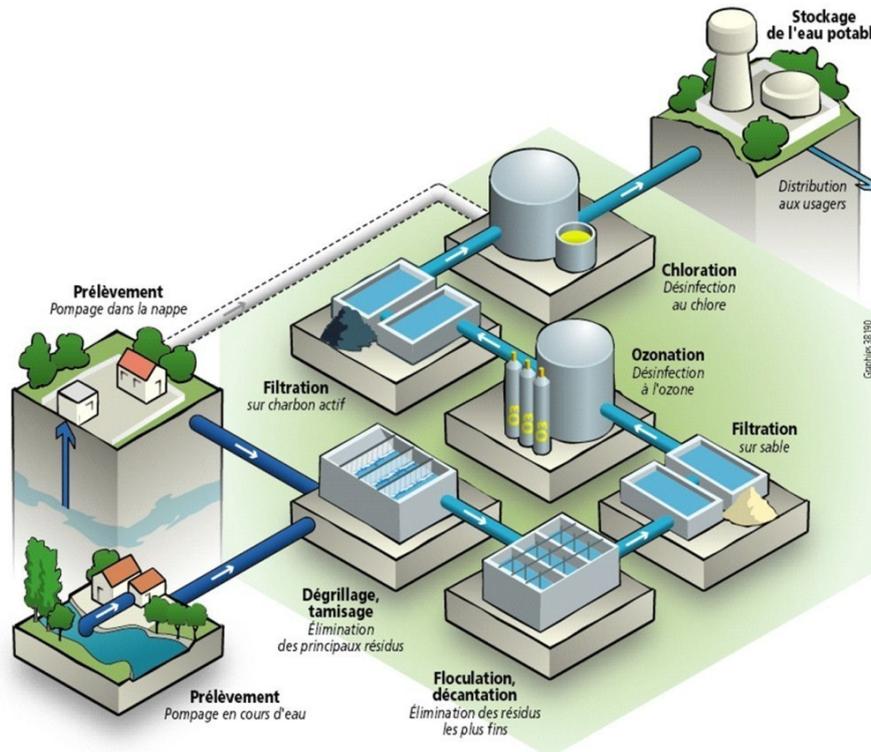


Figure 30. Procédés de traitement des eaux

4.3. Adduction

Cette étape se réalise soit par un écoulement en charge ou aérien, elle couvre tout l'acheminement de l'eau réalisé depuis la zone de captage jusqu'à la distribution.

¹⁵ Cahier des prescriptions techniques, réalisation de réseaux et de branchements d'eaux usées, Sag, 2019, p8

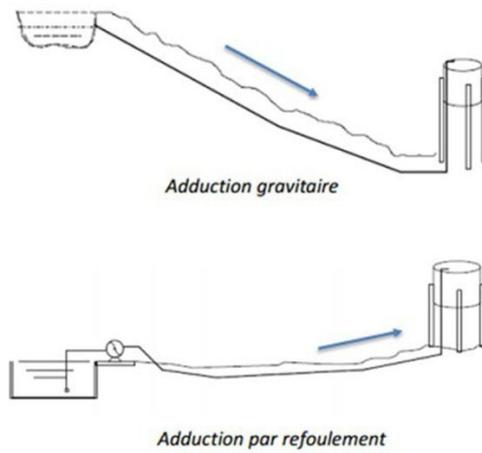


Figure 31. Types d'adduction

4.4. Stockage

Il est fréquent de devoir stocker une portion de l'eau, soit pour contrôler le flux dans les ouvrages qui précèdent, soit pour garantir une sécurité en cas de défaillance. On la conserve donc dans des citernes spécifiques¹⁶.

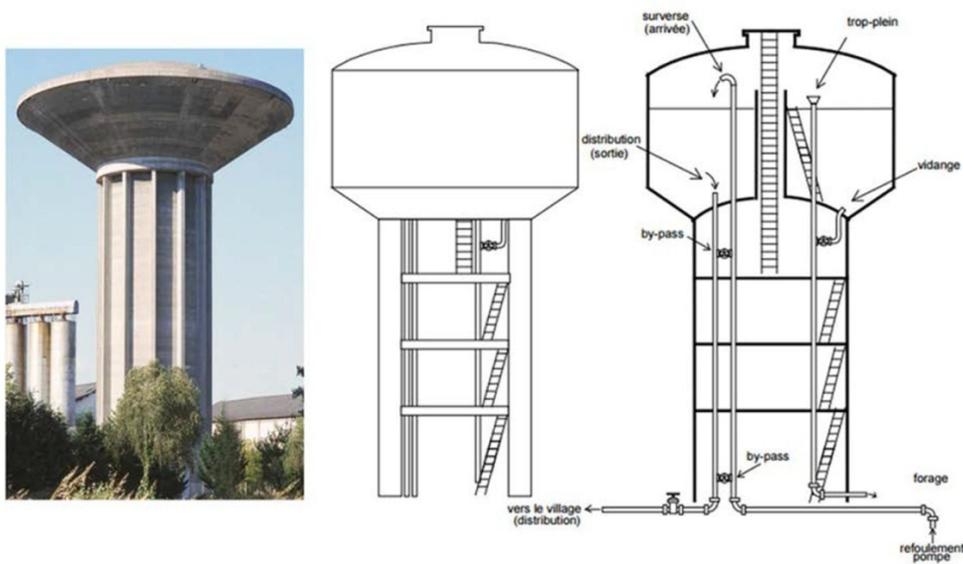


Figure 32. Réservoir surélevé

¹⁶ Ibid

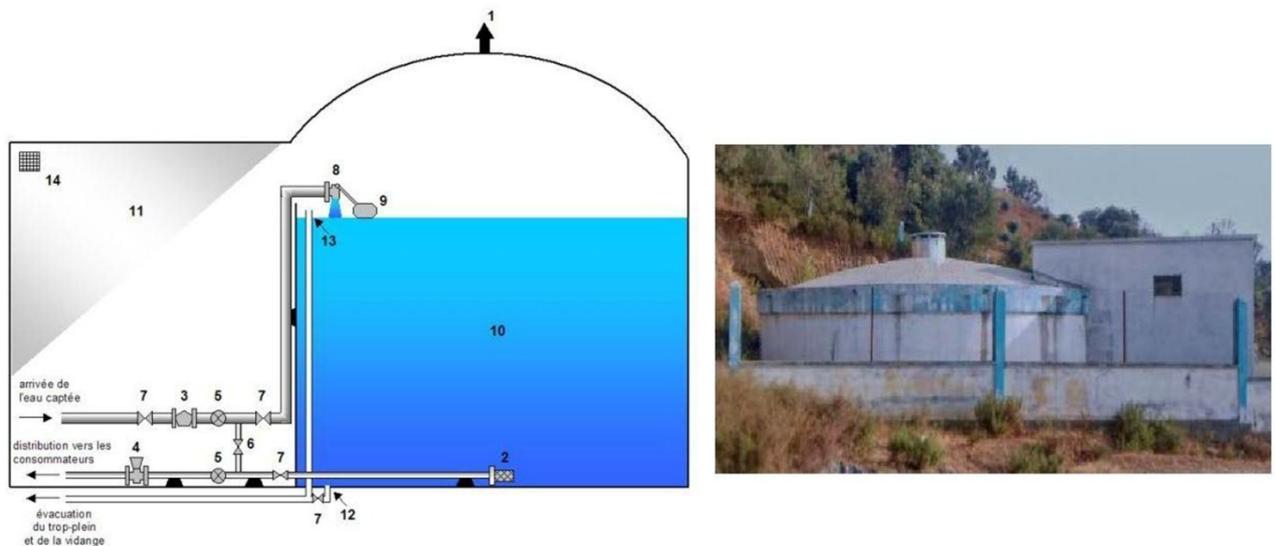


Figure 33. Réservoir au sol

4.5. Distribution

Cette étape consiste à fournir de l'eau avec un débit et une pression moyenne adéquate aux utilisateurs. Elle se réalise par un réseau de conduites sous pression, dimensionnées, dans le but de permettre le passage en chaque point du débit maximal probable¹⁷.

La topologie du réseau est l'illustration schématique des divers composants qui le constituent, ainsi que de leurs interconnexions¹⁸.

Réseau ramifié (en patte d'oie)

La typologie du réseau ramifié ressemble à la structure d'un arbre. A travers ce système, l'eau s'écoule dans une seule direction, il est composé d'un tuyau principal et de conduits secondaires qui sont connectés tout le long du tuyau principal. Il faut noter qu'il n'assure pas de distribution de retour.

Cette catégorie de réseau adopte une configuration en arbre à partir du réservoir d'approvisionnement garantissant la pressurisation. Cette disposition est motivée par la répartition dispersée des abonnés. Toutefois, cette forme de topologie diminue la fiabilité du réseau en cas de rupture d'une conduite, privant d'eau les utilisateurs situés en aval du point de rupture. Cela décrit généralement les réseaux d'approvisionnement en eau dans les zones rurales.

¹⁷ Ibid

¹⁸ J. Bonnin, aide-mémoire d'hydraulique urbaine, Jacques benin, 1982.

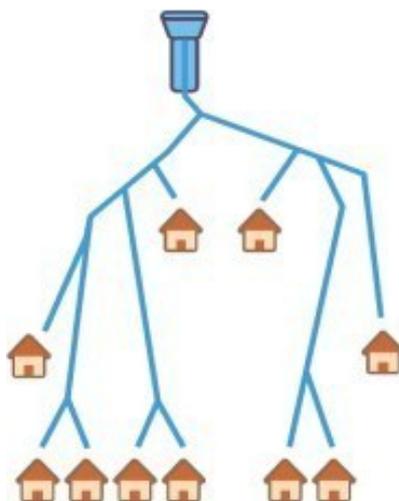


Figure 34. Réseau ramifié

Avantages	Inconvénients
L'hydraulique est maîtrisée sans avoir besoin de calculs ou d'études détaillées, grâce à la compréhension des principes de l'écoulement.	Une rupture de conduite entraîne une suspension du service
Un réseau ramifié offre les longueurs de pose minimales permet d'obtenir un coût d'investissement le plus bas possible.	La régénération de l'eau ne dépend que de la demande en aval. Ainsi, les longues branches destinées à de faibles requêtes entraînent une stagnation de l'eau.

Tableau 1. Avantages et inconvénients du réseau ramifié

Réseau maillé (en circuit fermé)

Selon BEJAOU, il s'agit d'« Une série de tronçons disposés de telle manière qu'il soit possible de décrire une ou plusieurs boucles fermées en suivant son tracé forment le réseau maillé: cette boucle s'appelle une « maille ». Ce système s'adapte très bien au plan des agglomérations urbaines, il présente de nombreux avantages par rapport au réseau ramifié »¹⁹.

¹⁹ BEDJAOU, A, ACHOUR, B, détermination des débits en route dans un réseau maillé par la méthode du modèle rugueux de référence (MMR), Courrier du Savoir – N°19, Mars 2015, pp.139-146. http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/7255/1/ARTICLE_19.pdf.



Figure 35. Réseau maillé

Réseau Maillé à une seule boucle

C'est un réseau qui inclut une boucle unique fournissant un service aux antennes ramifiées. On trouve généralement ces structures dans des zones rurales et semi-rurales.

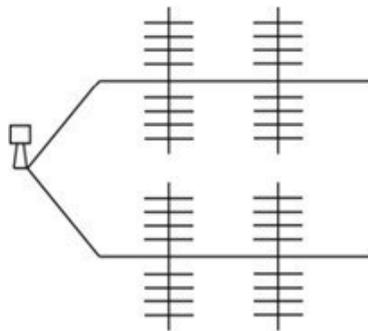


Figure 36. Réseau Maillé à une seule boucle

Réseau maillé présentant de multiples boucles

Leur niveau d'interconnexion très élevé facilite leur exploitation. Ils offrent une illustration parfaite des réseaux en milieu urbain.

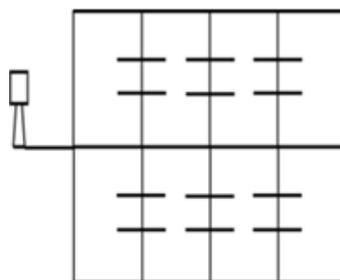


Figure 37. Réseau maillé avec de multiples boucles

Avantages	Inconvénients
Assurer la continuité de la distribution lors d'une interruption, car un autre itinéraire peut compléter le chemin bloqué. L'exploitation est alors facilitée.	L'accroissement des conduites entraîne un accroissement du volume de réseau. Par conséquent, la durée globale de séjour de l'eau a considérablement augmenté.
Etant donné que l'eau peut être répartie sur plusieurs cours d'eau, les débits qui circulent dans les sections sont diminués.	Il se peut que certains segments soient en équilibre de charge à leur extrémité. Ceci indique que le renouvellement de l'eau est en fonction de la demande. Il s'agit donc de dépôts et d'une dégradation du goût de l'eau entraînés par une stagnation locale.
Plus le réseau est interconnecté, moins il y a de perte de pression.	Il arrive parfois que le sens d'écoulement soit difficile à anticiper. Il est courant d'observer les changements de direction de flux au cours d'une journée.
	L'ampleur du réseau est supérieure, ce qui entraîne un coût d'investissement plus important..

Tableau 2. *Avantages et inconvénients du réseau maillé*

Réseaux étagés

Quand l'approvisionnement à travers une seule cuve s'étend sur une pente trop abrupte, cela peut engendrer des pressions excessives dans la partie inférieure du réseau. Il est donc nécessaire d'introduire des réservoirs intermédiaires, ce qui aide à subdiviser le réseau en sous-réseaux avec une dénivellation convenable. Ces réservoirs peuvent être alimentés par la même source, Le réseau étagé peut, en effet, être maillé ou ramifié.

Tracés des canalisations

La distinction des tracés de canalisation se fait sur la base de l'itinéraire des canaux d'eaux. Commenant par les trajets obligatoires, qui sont constitués au sein des rues à desservir à l'intérieur d'une zone urbaine. Par contre, les trajets intermédiaires, peuvent aller de la station de pompage au réservoir de la ville.

Tracés « obligés »

Les itinéraires obligatoires sont imposés par le besoin de respecter le tracé du réseau routier afin d'assurer la desserte des bornes fontaines et de tous les abonnés. Si la chaussée est considérable, les conduites peuvent être installées de chaque côté de la rue en cas de raccordements spécifiques. Si ce n'est pas le cas, on peut se limiter à une seule conduite, en traversant la route pour chaque raccordement. Il est recommandé d'installer les conduits, si cela est faisable, sous les trottoirs en minimisant autant que possible les passages de routes majeures.

Tracés « intermédiaires »

Le but est de tracer le réseau reliant les réservoirs aux points de distribution. Il doit : • Etre le plus court possible pour réduire les frais du premier établissement. • Eviter la multiplication des ouvrages coûteux ou fragiles (traversées de rivières, de canaux ou de routes importante) • Éviter la traversée de massifs boisés, de propriété privée qui nécessitent des expropriations. • Suivre les voies publiques qui pressentent certains avantages (approvisionnement moins onéreux, accès facile aux regards...) Le tracé de la conduite de refoulement doit avoir de préférence un profil en long le plus régulier possible jusqu'au réservoir.

4.6. Pompage (élévation d'eau)

Ils trouvent leur justification dans le cas où l'ouvrage de réception (réservoir de stockage, réseau...) se trouve à une cote supérieure à celle de la source d'eau, le transit de l'eau se fait par refoulement sous l'influence d'une charge exigée à l'aide des pompes²⁰.

« Parmi les éléments d'une station de pompage, on peut trouver ²¹ :

- Un groupe électropompe immergée.
- Un groupe électrogène ou ligne électrique.
- Un tableau de commande pour assurer la protection et le démarrage des groupes.
- Un manostat qui a pour rôle la régulation des groupes, avec horloge programmable et robinet flotteur au niveau du réservoir.
- Une colonne montante.
- des clapets anti-retour seront prévus également dont l'objectif est d'éviter le retour des eaux refoulées vers la pompe au moment de l'arrêt avec un dispositif anti-bélier.
- Une vanne de sectionnement est également importante, elle a pour rôle d'isoler les tronçons pour les interventions de réparation.
- Un élément en S doit être prévu pour se raccorder avec la conduite d'adduction.
- Un bout uni pour le raccordement de l'élément en S avec la conduite de refoulement »²².

5. Conclusion

L'alimentation l'eau potable dans le réseau public est un enjeu de fondamental pour assurer la dotation en eau de bonne qualité et en volume suffisant, en toute sécurité aux usagers, face aux défis de l'urbanisation croissante, aux mutations du climat et à la réduction des ressources en eau. Il est essentiel d'optimiser la gestion des réseaux pour limiter les pertes, améliorer l'efficacité des infrastructures et garantir une distribution équitable. Donc le réseau public performant et bien entretenu est indispensable pour répondre aux besoins des populations, assurer la résilience face aux crises hybride et préserver cette ressource vitale pour les futurs générations.

²⁰ Bernard Legube, Production d'eau potable - 2e édition, Procédés de traitement, paramètres de qualité, impacts du changement climatique, Dunod, 2021.

²¹ https://ajbtp.com/Cours_genie_civil/cours_Notion_d%27hydraulique_Final.pdf

²² Ibid

Chapitre IV : Systèmes d'alimentation en eau potable du réseau privé

1. Introduction

Un réseau de distribution doit garantir, à des pressions appropriées pour les hauteurs des bâtiments, les débits et volumes nécessaires, ceci devant être respecté constamment durant toute sa durée de vie opérationnelle. Il est essentiel de ne pas dépasser une pression prédéterminée pour éviter une rupture de conduites. C'est pour cette raison qu'au moment de la conception d'un réseau, il est essentiel de repérer et de prendre en compte les scénarios critiques afin que le réseau puisse fonctionner de manière efficace dans ces conditions.

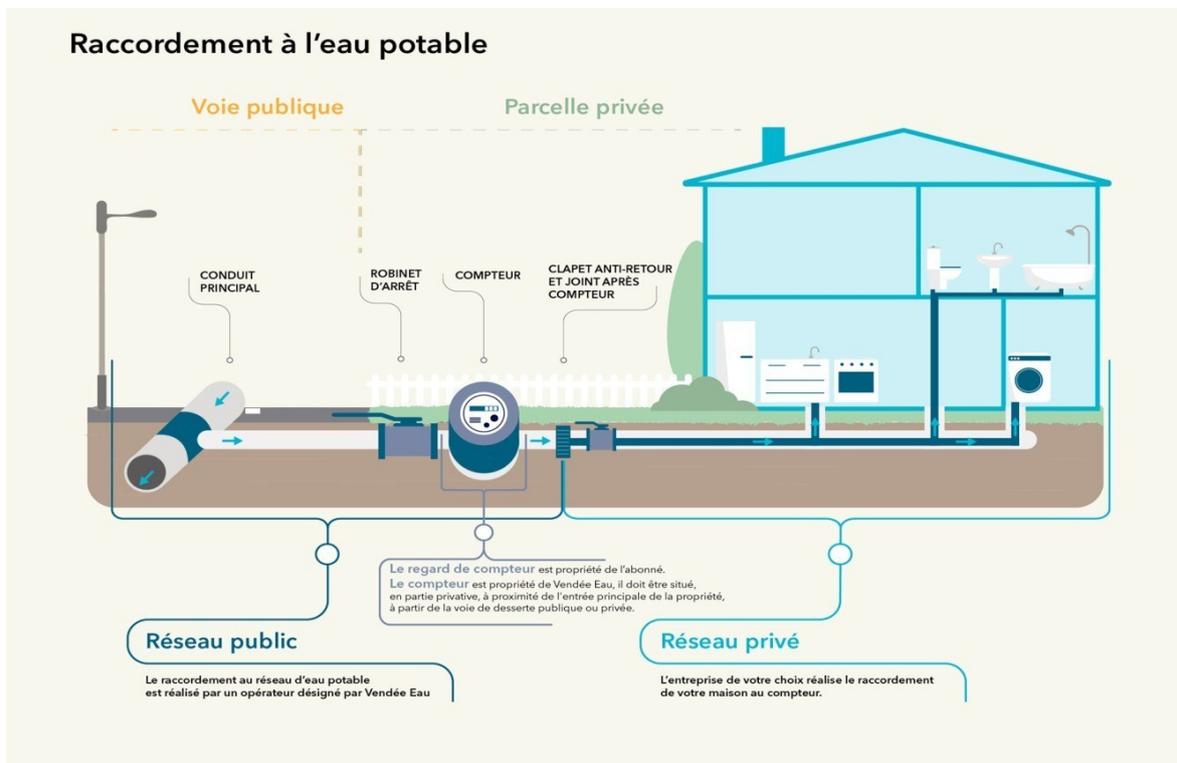


Figure 38. Raccordement à l'eau potable

2. Définition

Le réseau privé qui achemine l'eau potable du branchement de la conduite de ville vers les consommateurs représente la distribution intérieure²³. Elle peut être réalisée :

- En apparent (exemple : garage) ;
- En apparent dissimulé accessible (exemple : placard sous table de travail) ;
- En enrobé dans l'épaisseur d'une dalle (exemple : dallage sur terre pleine) ;

²³ <https://www.umtoto.dz/>

- ou être encastré dans un mur ou une cloison (exemple : alimentation d'une douche).

3. Constituants d'une distribution intérieure

Les composants d'un réseau intérieur sont ²⁴ :

- La conduite principale : la ceinture d'alimentation ;
- La colonne montante : le tuyau d'allure verticale ;
- La ceinture d'étage ;
- Et les accessoires : robinet de prise, robinets d'arrêt, robinet d'essai, robinet de purge, clapet anti-retour...

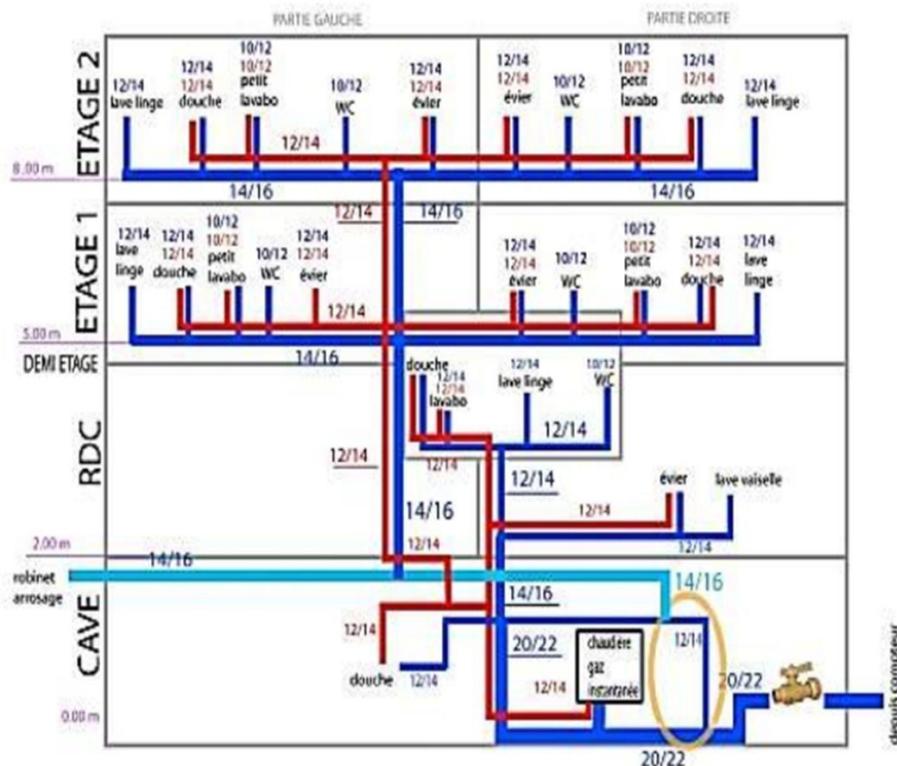


Figure 39. Constituant du réseau d'AEP intérieur

4. Modes de distribution intérieure

Plusieurs modes de distribution peuvent avoir lieu ²⁵ :

4.1. Distribution en chandelle : distribution inférieure

Ce type est composé d'une canalisation principale d'où émergent différentes conduites.

o Avantage :

- Réseau de distribution simple et relativement moins coûteux.

²⁴ Ibid

²⁵ Ibid

o Inconvénients :

- Dans le cas d'une intervention, toute la distribution est privée d'eau.
- Une difficulté à pouvoir isoler une conduite.
- Une irrégularité de pression en fin de conduite.

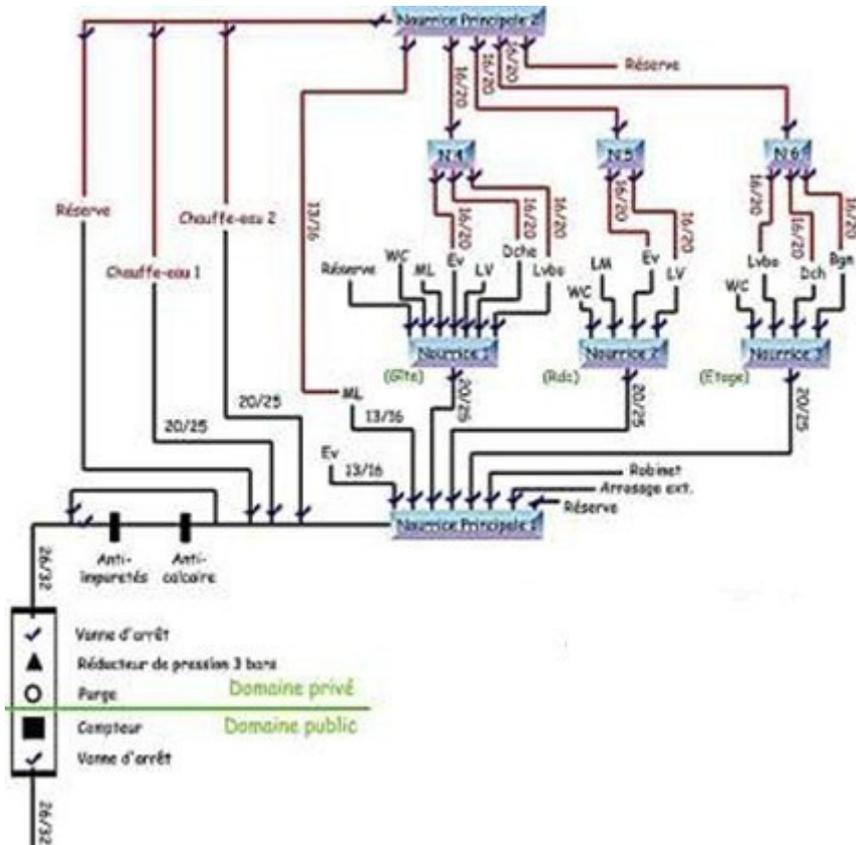


Figure 40. Distribution en chandelle avec nourrice (en pieuvre)

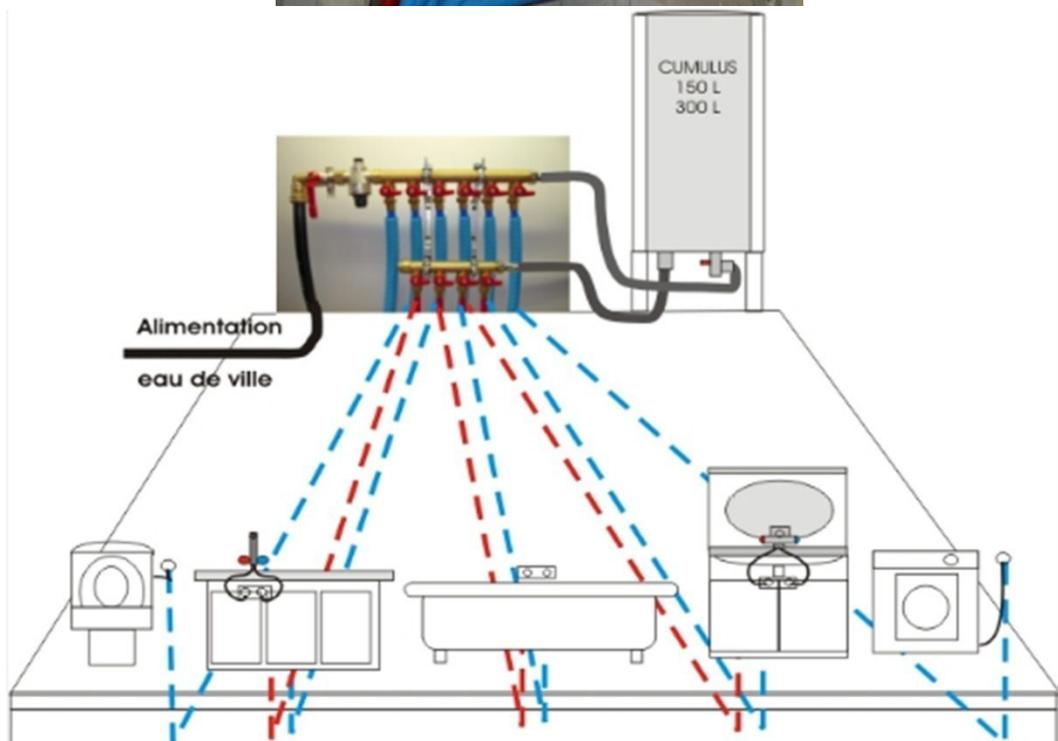


Figure 41. Nourrice de distribution

4.2. Distribution en parapluie : distribution supérieure

L'utilisation de ce type de distribution est réalisée quand la pression n'atteint pas les derniers niveaux. D'où, l'eau alimente le dernier étage, puis de là la distribution aura lieu²⁶.

²⁶ Ibid

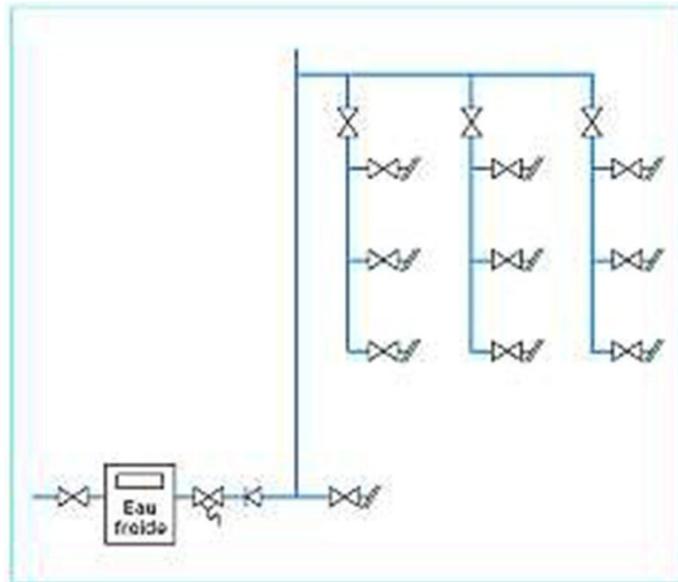


Figure 42. *Distribution en parapluie*

4.3. *Distribution en circuit fermé*

Le branchement principal se présente sous forme de boucle, à partir de laquelle se déploient diverses canalisations pour alimenter différents points d'eau.

Avantages:

- Dotation régulière en eau au sein de l'édifice.
- Capacité à isoler une partie sans perturber significativement le reste de la distribution.

Inconvénients :

- Réseau onéreux.
- Il est compliqué de localiser les robinets d'arrêt et les compteurs.

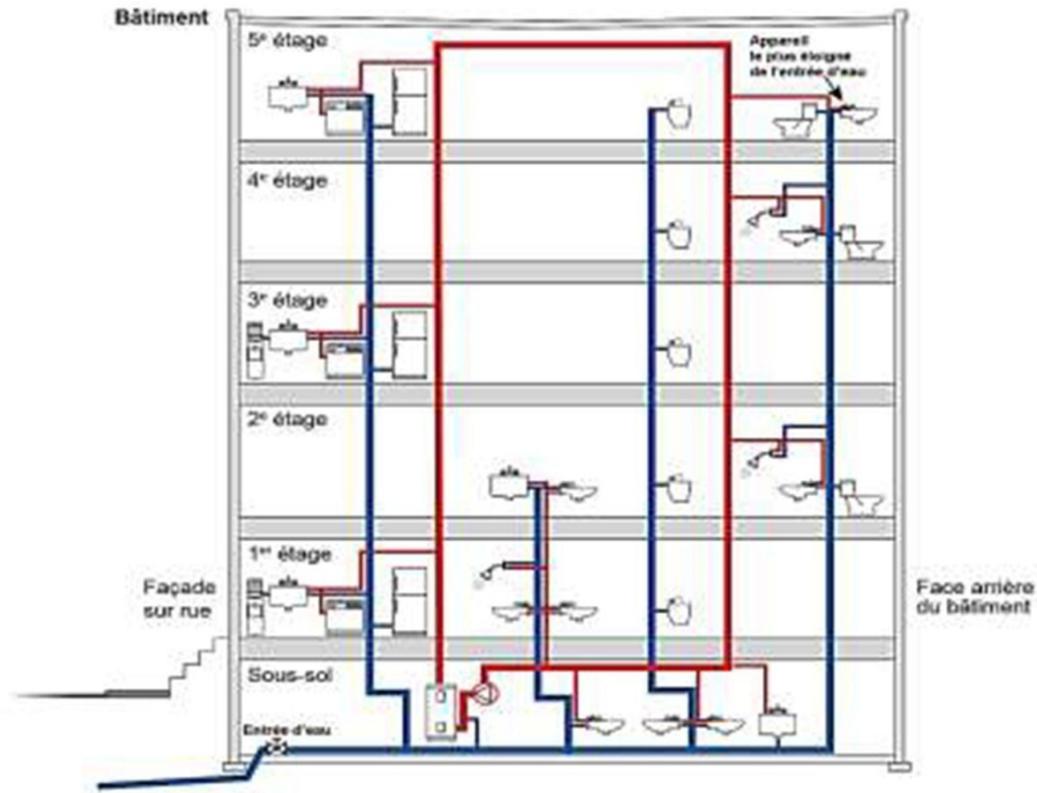


Figure 43. Exemple de distribution mixte

4.4. Distribution par un réservoir surélevé

- C'est en hauteur que le réservoir sera positionné, il reçoit de l'eau par le biais de sursappeurs, et à son tour, il fournit cette eau aux colonnes ascendantes.
- Si la pression vient à manquer, il serait nécessaire de mettre en place des réservoirs d'approvisionnement intermédiaires à partir de 10 étages pour les bâtiments de grande hauteur.

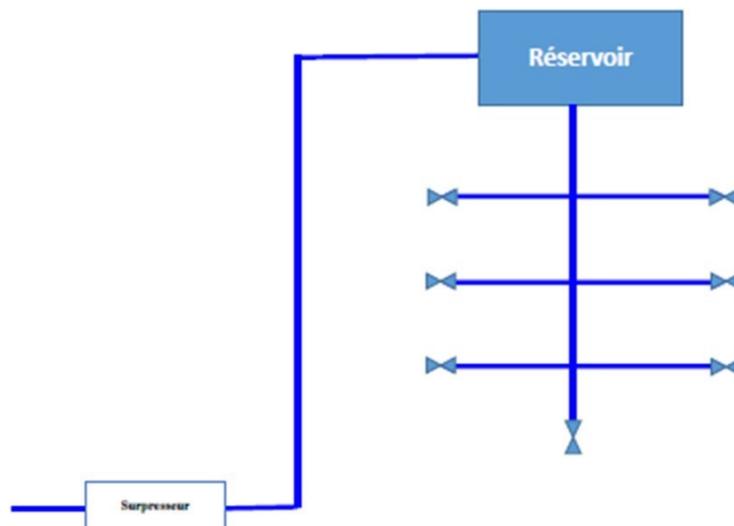


Figure 44. Distribution à partie du réservoir

4.5. Distribution mixte

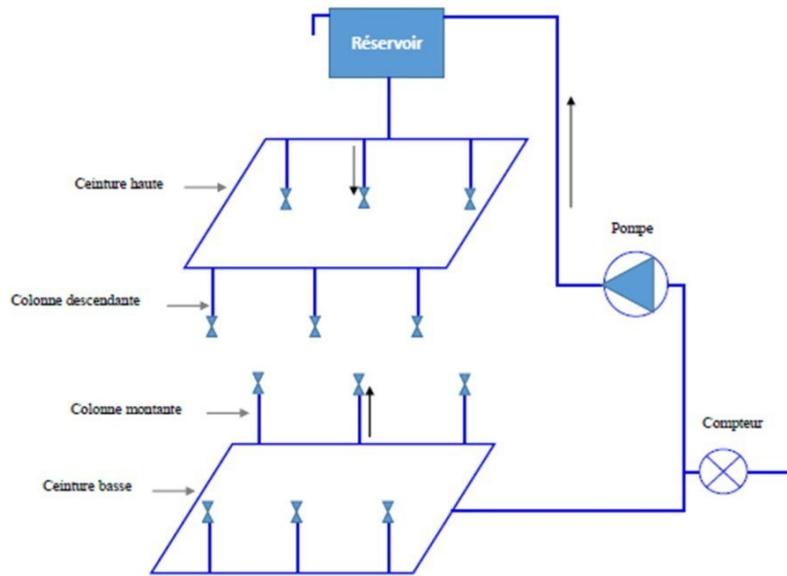


Figure 45. Distribution mixte

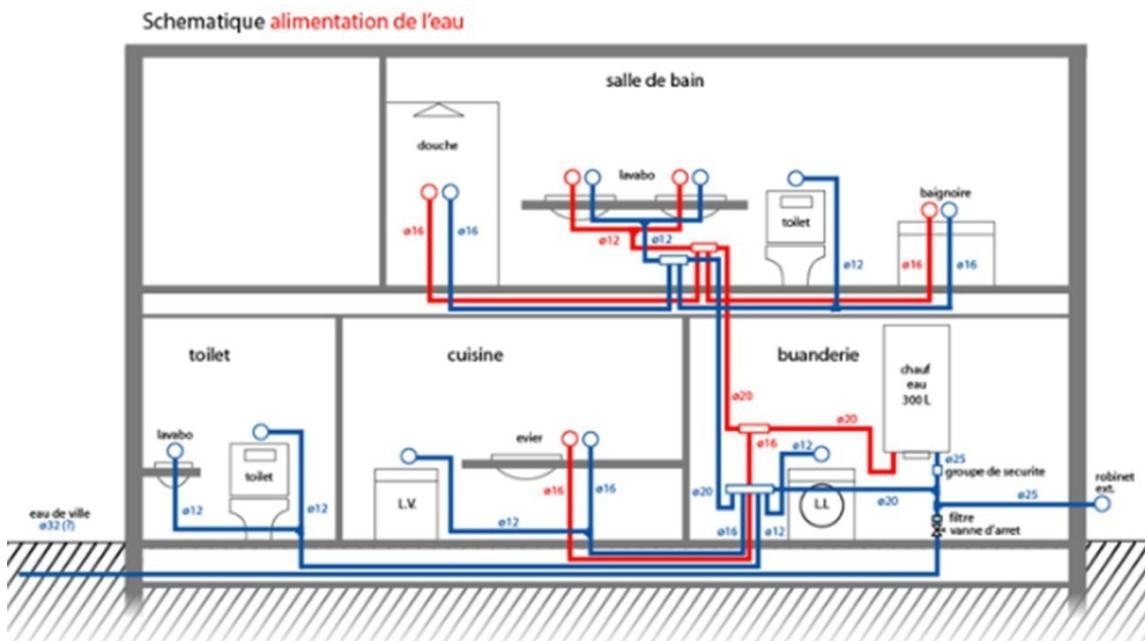


Figure 46. Schéma de dotation en eau en coupe

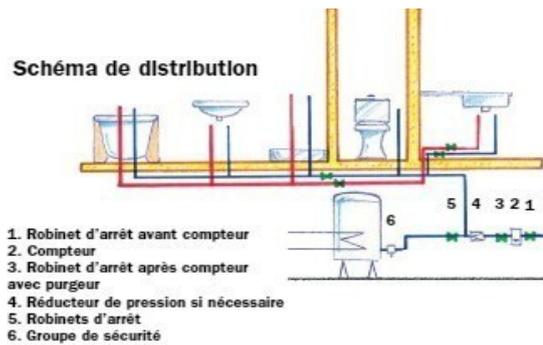


Figure 47. Exemple de plan de schéma de distribution d'AEP

Voici un tableau comparatif des différents systèmes de distribution d'eau potable intérieure en fonction de la hauteur du bâtiment et du contexte géographique.

Système de distribution	Hauteur du bâtiment recommandée	Contexte géographique adapté	Avantages	Inconvénients
<i>En chandelle</i>	Bâtiments \leq 3 étages	Zone urbaine avec pression stable	Pression stable, bonne répartition verticale	Pression décroissante en hauteur
<i>En parapluie</i>	Maisons individuelles ou pavillons	Zones rurales ou périurbaines	Facile à entretenir, faible coût	Mauvaise gestion de pression si plusieurs niveaux
<i>Par étage / en cascade</i>	Bâtiments de 4 à 6 étages	Immeubles collectifs moyens	Bonne répartition entre les étages	Plus complexe à équilibrer
<i>Avec surpresseur</i>	Bâtiments $>$ 6 étages	Villes à topographie variable ou forte densité	Permet de compenser les pertes de charge	Coût énergétique, besoin de maintenance
<i>Avec réservoir en toiture</i>	Bâtiments $>$ 3 étages (zones sans pression suffisante)	Zones à basse pression ou avec coupures fréquentes	Autonomie en cas de coupure, pression régulée	Nécessite entretien du réservoir, surcharge toiture

Tableau 3. Comparaison des différents systèmes de distribution d'eau potable intérieur

5. Normes techniques du réseau privé de l'AEP

5.1. Pression minimale requise

Pour tout point d'usage des robinets, douches ou autres, la pression minimale est de 1 bar. Les appareils sanitaires comme les chaudières, machines à lave-vaisselle ou lave-linge, la pression recommandée est de l'ordre de 2 ou 3 bars afin d'assurer un bon confort d'utilisation. La mise en place d'un réducteur de pression pour un maximum admissible de 4 à 5 bars est recommandée pour éviter la détérioration des équipements sanitaires. Un supprimeur ou un réservoir tampon est souvent nécessaire pour garantir la pression au dernier étage, dans les immeubles de plusieurs étages.

5.2. Pertes de charge

Les pertes de charge représentent la perte de pression due au frottement de l'eau contre les parois des canalisations, coudes, vannes, etc.

Le respect des normes de conception du Règlement technique de l'Algérienne des Eaux (ADE) mentionnées ci-dessous est primordial afin d'éviter les pertes de charge excessives.

Choix du diamètre de tuyauterie adapté

Un minimum de pertes de charge est assuré lorsque le diamètre est grand et éviter le sous-dimensionnement des canalisations, surtout en fin de ligne. Exemple : Ø20 mm pour les canalisations intérieures et Ø26 mm pour une colonne montante dans un petit immeuble.

Nombre d'accessoires

Les pertes de charge augmentent lorsqu'il y aura présence de coude, té ou vannes. De ce fait les trajets directs sont les plus recommandés.

Débit de circulation

Selon la norme EN 806-3, les vitesses recommandées sont :

- ≤ 2 m/s dans les tuyaux principaux
- ≤ 1.5 m/s dans les colonnes montantes
- ≤ 1 m/s dans les branchements secondaires

Choix des matériaux

Les matériaux à faible rugosité diminuent les pertes de charges, tel que matériaux avec parois lisses : PER, multicouche, cuivre poli.

Longueur du réseau

Plus c'est long, plus il y a de pertes. Afin d'équilibrer le réseau, l'installation des vannes d'équilibrage dans les réseaux ramifiés est recommandée.

5.3. Entretien des réseaux intérieurs

Quelques bonnes pratiques d'entretien sont mentionnées ci-après ;

- Vidange annuelle des réseaux peu utilisés (ex. : étages inoccupés).
- Contrôle régulier des fuites (joints, robinets, réservoirs WC, etc.).
- Détartrage périodique des chauffe-eaux, mélangeurs et canalisations en cas d'eau dure (calcaire).
- Purge des colonnes montantes dans les immeubles pour éliminer l'air ou les boues.
- Remplacement des joints, clapets et raccords usés.
- Test de pression après chaque intervention ou modification du réseau.

5.4. Matériaux de tuyauterie

Matériau	Avantages	Inconvénients	Utilisation courante
PVC (polychlorure de vinyle)	Léger, économique, résistant à la corrosion	Non adapté à l'eau chaude (déformation), sensible aux UV	évacuation, parfois eau froide
PER (polyéthylène réticulé)	Facile à poser (cintrable), résiste à l'eau chaude jusqu'à 90°C	Ne supporte pas les UV, sensible au pincement, plus épais que cuivre	installations sanitaires (eau froide/chaude), chauffage
Cuivre	Robuste, résiste à la haute pression et température, durable	Cher, plus difficile à poser (soudure), corrosif en eau acide	réseaux d'eau chaude/froide, gaz
Multicouche (aluminium + PER)	Combine rigidité du cuivre et souplesse du PER, faible dilatation	Plus coûteux que PER, raccords spécifiques	installations modernes haut de gamme

Tableau 4. Matériaux de tuyauteries d'eau potable intérieur

En Algérie, les pratiques d'utilisation des matériaux varient, les nouvelles constructions sont en PER qui est très courant en Algérie pour son rapport qualité/prix, le cuivre est encore utilisé pour les réseaux exposés à haute température. Par contre, le PVC est réservé à l'évacuation. La mise en place de filtres anti-boue est recommandée si l'eau du réseau est chargée en particules.

6. Conclusion

La conception et l'entretien du réseau privé de l'AEP doit assurer une distribution efficace tout en prévenant les risques de contamination et en optimisant la consommation. L'intégration de technologie moderne comme les systèmes de surveillance de recyclage permet d'améliorer la performance et la durabilité du réseau. En conclusion, le réseau privé d'AEP, bien conçu et entretenu offre une solution adaptée aux besoins spécifiques des utilisateurs tout en garantissant la sécurité sanitaire une bonne qualité de l'eau.

Chapitre V : Systèmes d'assainissement du bâtiment

1. Introduction

Il est indispensable de protéger l'environnement dans les zones résidentielles et industrielles afin de garantir la salubrité et d'éviter l'apparition de maladies contagieuses susceptibles de provoquer des épidémies au sein de la communauté. En effet, combat contre la pollution est une des missions de l'assainissement.

C'est un ouvrage qui assure le confort de la société. Ainsi, l'assainissement des zones urbaines vise à garantir la récolte, le transport, et si nécessaire la maintien de toutes les eaux pluviales, suivis de leur traitement avant toute restitution dans l'environnement naturel, en utilisant des procédés conformes aux normes sanitaires et environnementales.

Actuellement, l'homme recourt à diverses méthodes pour l'élimination des effluents. Ces effluents peuvent être déversés dans un milieu désigné comme exutoire, mais ils doivent s'acheminés jusqu'à la station d'épuration où ils subissent divers traitements.

2. Définition

L'assainissement est l'ensemble des méthodes, ouvrages, et outils qui servent à l'évacuation totale et immédiate des rejets ménagères, industriels, ainsi que les eaux pluviales avec ou sans traitement vers le milieu récepteur.

3. But de l'assainissement

Dans le domaine d'assainissement urbain les buts communément recherchés résident dans :

- La santé publique
- La protection du réseau : aptitude de l'eau à ne pas perturber le réseau (corrosion, agressivité, entartrage) ou à ne pas trop évoluer dans le réseau.
- La protection du milieu naturel.
- La caractérisation de la pollution.

4. Effluents des agglomérations

Quel que soit la nature de la zone, rurale, urbaine, ou industrielle, le système d'assainissement permet d'évacuer :

4.1. Eaux usées

« Les eaux usées ont des propriétés naturelles modifiées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles et agricoles. Elle englobe aussi les eaux de pluie qui s'écoulent dans ces canalisations »²⁷.

Eaux usées domestiques

Elles comprennent les eaux utilisées par l'homme pour des besoins domestiques :

-Les eaux de cuisine : comprennent le lavage des légumes contenant des matières minérales, des substances alimentaires à base organiques (glucides, lipides, protides), mais aussi le lavage et les produits détergents²⁸.

-les eaux de salle de bains sont chargées de matières grasses hydrocarbonées, issus de produits utilisés pour l'hygiène corporelle²⁹.

-Les eaux vannes provenant des sanitaires : sont chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes Les eaux usées domestiques comprennent : - Les eaux vannes. - Les eaux ménagères dont l'origine reste l'habitation³⁰.

Les eaux vannes

Ce genre se compose de l'urine et des excréments. Ces eaux contiennent des substances fermentescibles en quantité suffisante pour qu'elles doivent être éliminées immédiatement et déversées dans l'environnement naturel, après un processus d'épuration.

Les eaux ménagères

Elles comprennent : - Les eaux de bains et douches. - Les eaux de cuisines, vaisselles. - Les eaux de lessives des linges.

Les eaux usées industrielles

« Elles comportent des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir³⁴ :

- Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage)
- Des hydrocarbures (raffineries) ;
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries) ;
- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) ».

²⁷ Bliefert C., Perraud R., 2004. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de Boeck. 256p

²⁸ Chabi Halima, Cartographie de la pollution des rejets des eaux usées de la ville de Biskra, Juin 2014. http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/20390/1/CHABI_Halima.pdf

²⁹ Ibid

³⁰ Ibid

Les eaux industrielles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels, avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne peuvent pas être mixtes aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger³¹. Ces eaux sont classées dans le tableau suivant :

Classes ou catégories	Types d'industrie
1. Les eaux à pollution minérales	Industrie minière, fonderie
2. Les eaux à pollution organique	Industrie agro-alimentaires
3. Les eaux à pollution mixte	Industrie du papier, de textiles
4. Les eaux à pollution radioactives	Industrie nucléaire
5. Les eaux à pollution d'origine accidentelles	Fuites d'hydrocarbures

Tableau 5. Classification des eaux industrielles

4.2. Eaux de ruissellements

Lors de leur écoulement sur les toits et les chaussées, les eaux pluviales se contaminent par les fumées industrielles et accumulent ensuite des résidus tels que des carburants, des métaux lourds, des huiles...

L'activité en milieu urbain et le lavage des sols produisent alors les résidus suivants:

- De sables et de graviers.
- Des résidus, des feuillages desséchés, des rameaux,...
- Des huiles usées, hydrocarbures, goudrons, etc.
- Des objets de diverses sortes et dimensions.

Outre leur potentiel de pollution, les eaux de pluie peuvent également provoquer des inondations et débordements dans les zones urbaines, perturbant ainsi le fonctionnement de la STEP lors d'orages, surtout dans le cas des systèmes unitaires.

4.3. Caractéristiques des eaux usées

Les eaux de ruissellements ainsi les usées forment un effluent pollué et nocif, renfermant des matières minérales et organiques qui se présentent sous trois formes :

- Matières en suspension décantables.
- Matières en suspension non décantables.
- Matières décomposées.

En ajout à cela que les eaux usées sont définies par :

³¹ Ibid

- Une température qui change en fonction du climat et de la géographie.
- Une odeur fade, mais aussi nauséabonde lorsqu'elle est stagnante.
- Une couleur grisâtre.
- Et un débit fluctuant le long de la journée.

5. Histoire de l'Assainissement

5.1. L'Assainissement dans l'Antiquité

Mésopotamie (vers 4000 av. J.-C.) :

Premiers systèmes de drainage en terre cuite.

Exemple : la ville d'Ur, avec ses canaux d'écoulement des eaux usées.

Il n'y avait pas de caniveaux de rue comme ceux que l'on trouve à Mohenjo-daro contemporain. Des caniveaux et des tuyaux en argile ont été trouvés dans les cours intérieures des maisons d'Ur. On pense que les toits des maisons étaient en pente et que l'eau de pluie était canalisée via les tuyaux de drainage dans des puisards* dans les cours intérieures.

Égypte ancienne :

Utilisation de canaux pour l'irrigation et le déversement des eaux usées.

Toilettes rudimentaires dans les habitations riches.

Les anciens Égyptiens disposaient également d'un système sophistiqué d'élimination des déchets. Avoir des toilettes intérieures témoignait d'un statut social élevé, sous chaque siège en calcaire se trouvait une fosse remplie de sable pour recueillir les excréments.

Vallée de l'Indus (vers 2500 av. J.-C.) : (actuel Pakistan)³²

Villes comme Mohenjo-Daro avec des systèmes d'égouts sophistiqués.

Toilettes privées reliées à des réseaux de drainage.

³² Alexandre Houdas. Trames urbaines au fil de l'eau : l'hydraulique dans les villes de la civilisation de l'Indus (2500-1900 av. J.-C.). Sarah Georgel-Debedde; Camille Hut; Valentine Martin; Stèlio Poli. Le passé au fil de l'eau : L'eau et ses enjeux dans les sociétés anciennes, Archéo.doct, 17, Éditions de la Sorbonne, 2024, 9791035110086. ff10.4000/books.pSORbonne.115829ff. ffhalshs-04537598



Figure 48. Le site archéologique d'Harappa

« Les eaux usées étaient assemblées dans de petites cavités couvertes de briques situées au bas des murs des maisons dans les cités d'Harappa et de Mohenjo Daro. Par la suite, elles étaient véhiculées par des conduits vers un réseau de canalisations creusées sous le pavage des rues et couvertes de briques dures. Le tout déversait sur des égouts couverts, qui évacuaient les eaux usées hors des secteurs habités de la ville »³³.

exemples des caniveaux et collecteurs des villes de l'Indus



A-B : le système d'assainissement à grande échelle de Lothal, Rao 1979, Pl. LXVII et Pl. LXII ; C : collecteur couvert à Kalibangan, Lal et al., 2015, fig. 5.46 ; D-E : deux collecteurs dans les rues à Mohenjo-daro (restaurés), F : collecteur dans une ruelle à Chanhu-daro, MAFBI, 2022.

Figure 49. Exemple de caniveaux dans la vallée de l'Indus

³³ <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/histoire-des-eaux-usees/>

Rome antique :

Cloaca Maxima : fut l'un des premiers réseaux d'égouts au monde, encore partiellement fonctionnel aujourd'hui. C'est un grand collecteur construit sous le règne de Tarquin L'Ancien. Il faisait office de de drainer les marais. Les égouts de Rome étaient connus pour leur insalubrité et leurs odeurs nauséabondes, malgré les techniques innovantes pour l'époque.

Cet ouvrage déversait les eaux de Rome dans le Tibre.

Le très grand égout) vers 600 avant J. -C. Il s'agit d'un égout qui s'étend sur 800 mètres environ du centre du Forum au Tibre.

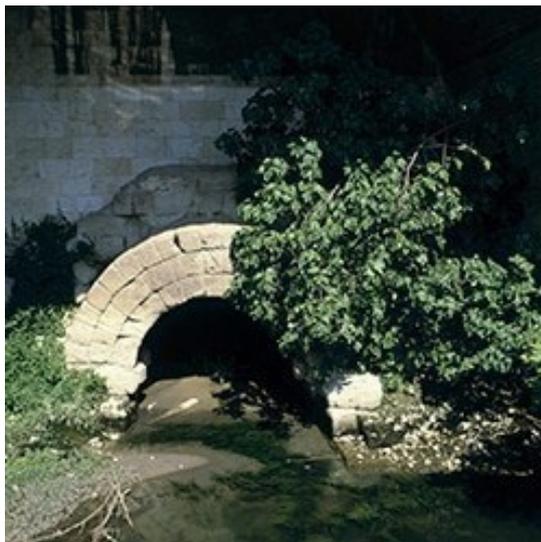


Figure 50. *Sortie de la Cloaca Massima dans le Tibre*

Les Romains recyclaient les eaux usées des bains publics en les utilisant comme partie du flux qui alimentait les latrines. Des tuyaux en terre cuite étaient utilisés dans la plomberie qui évacuait les eaux usées des maisons.

5.2. Moyen Âge et Renaissance

Toutes ces installations sont complètement abandonnées

Au Moyen-Age, les eaux usées étaient rejetées à la rue. Par contre, les seigneurs disposaient dans leurs châteaux de latrines directement évacuées dans les fossés. De ce fait, l'extérieur était pollué et supportaient une détérioration en attendant d'être évacué par les pluies. D'où, l'apparition des épidémies, formaient un véritable problème de santé publique³⁴.

Une technique de pratique de puits d'aisance ne disposant pas d'écoulement naturelle, se répandaient et été installés dans les jardins mais nécessitaient d'être vidées régulièrement.

5.3. Révolution Industrielle et Assainissement Moderne

John Snow découvre l'origine du choléra, après la terrible épidémie de 1854 à Londres. Donc, une première réflexion sur la création de canalisations enterrées a vu le jour.

³⁴ <https://www.samudelenvironnement.or>

Une urgence de l'assainissement a été démontrée par cette découverte. Les premiers réseaux d'assainissement modernes sont apparus à Hambourg. En France, Sous le Second Empire, l'élan est donné par le préfet de la Seine, le baron Haussmann qui commença à équiper Paris d'un réseau complet d'égouts.



Figure 51. Réseau d'assainissement souterrain à Paris

6. *Systèmes et schémas d'assainissements*

Le mode de déversement des eaux usées domestiques, industrielles et pluviales doit se faire selon une stratégie tenant compte les différents critères socio-économiques qui entrent en jeu. L'évacuation des divers types d'eaux usées se procède alors selon des chemins bien étudiés qui se manifestent sous forme d'un réseau hydraulique dimensionné de tel sorte que ces eaux usées peuvent être débarrassées hors de l'agglomération dans de bonnes conditions d'écoulement et sans faire des nuisances à la population.

Dans ce qui suit, nous allons montrer les différents types de réseaux d'assainissement ainsi que leurs schémas qui peuvent être rencontrés dans la pratique, et les critères de choix de type de réseau d'évacuation.

La création d'un système d'assainissement pour une agglomération doit tenir compte de deux enjeux principaux, à savoir :

- garantir l'évacuation adéquate des eaux pluviales afin de prévenir la submersion des zones bâties,
- garantir le traitement des eaux usées domestiques et des eaux vannes.

Divers systèmes d'évacuation peuvent être mis en service:

- a) les systèmes fondamentaux,
- b) le système pseudo-séparatif,
- c) le système composite,
- d) et les systèmes spéciaux.

6.1. Système unitaire

Ce dispositif prévoit le transport conjoint des eaux usées domestiques, industrielles et pluviales via une même canalisation. Il requiert des installations et des stations d'épuration de taille considérable pour être capable de gérer les pics de ruissellement.

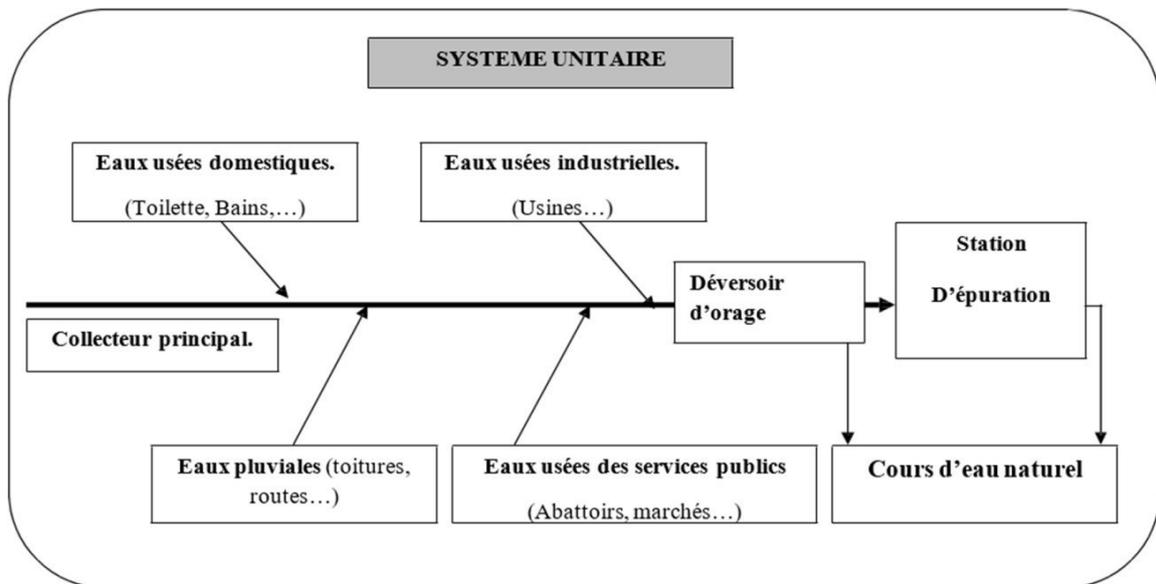


Figure 52. Le système unitaire

6.2. Système séparatif

Ce mécanisme envisage le transport des eaux résiduaires domestiques et industrielles par un unique tuyau, tandis que les eaux de pluie sont dirigées vers un autre. Il arrive souvent que ces deux conduites présentent des trajets différents, à l'exception de quelques segments.

Le réseau d'égouts sanitaire, qui reçoit les eaux usées sanitaires, c'est – à – dire les eaux usées d'origine domestique, les eaux usées en provenance des commerces, certaines eaux usées d'origine industrielle brutes ou partiellement traitées (selon la capacité de traitement de la station d'épuration) et des eaux parasites ; les drains de sous-sol sont raccordés aux branchements sanitaires;

Le réseau d'égouts pluvial, qui recueille toutes les eaux de ruissellement, en provenance des drains de fondation, et celle d'écoulement de toitures (le plus souvent, les toitures horizontales sont drainées vers l'égout pluvial par l'intermédiaire du branchement pluvial ou unitaire, alors que les toitures inclinées sont drainées sur des surfaces perméables).

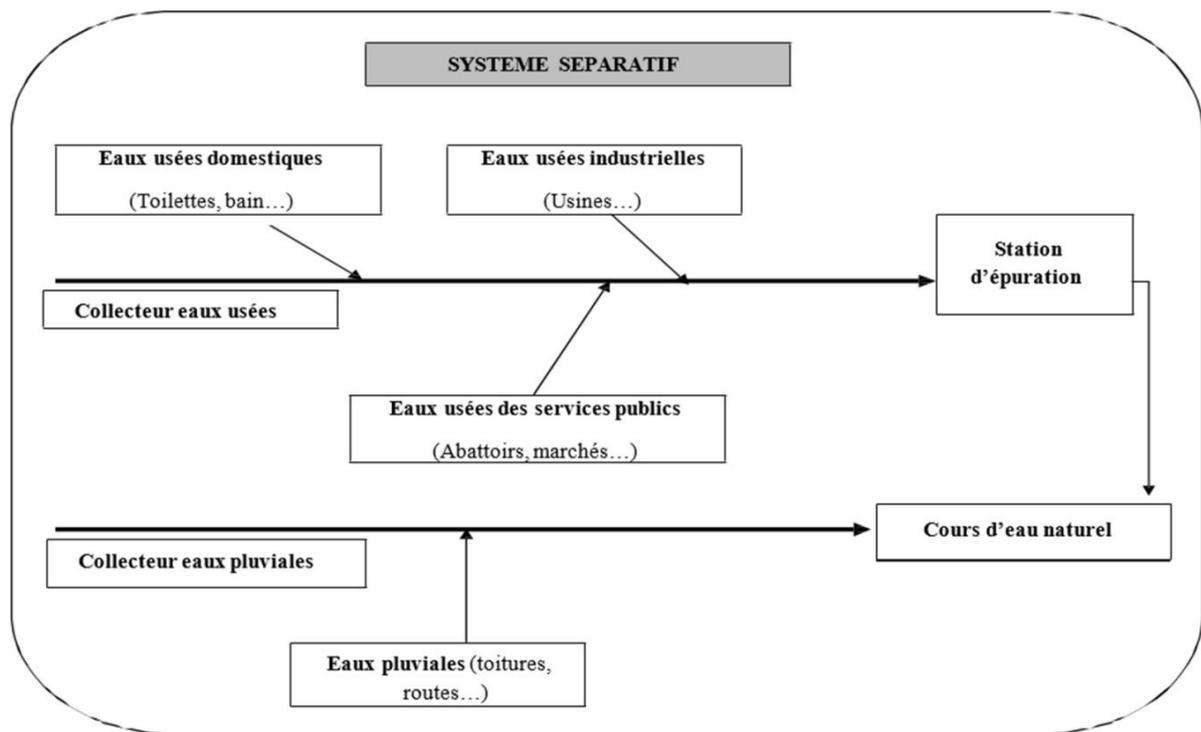


Figure 53. Le système séparatif

6.3. Le système mixte:

Un réseau constitué en partie d'un système unitaire et d'un système séparatif est communément un système mixte³⁵.

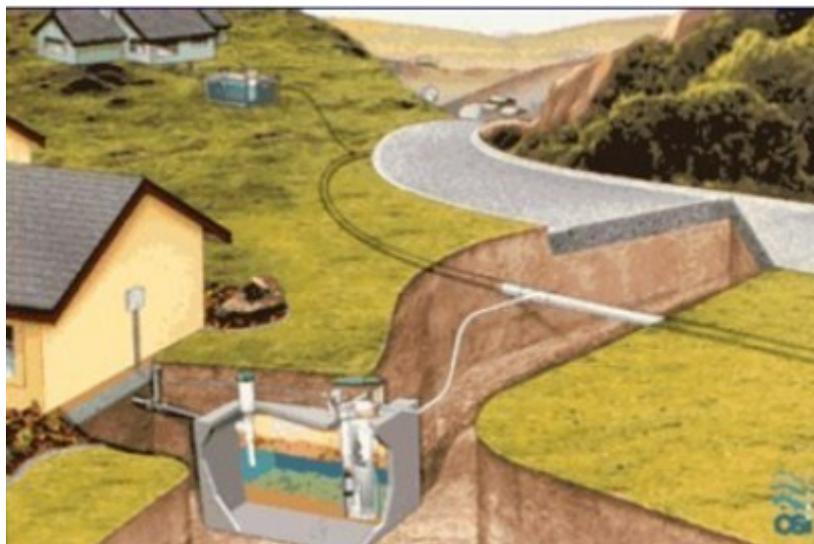


Figure 54. Le système mixte

³⁵ Us. EPA, EPA' MOU, Partnership, improving communication, cooperation, and coordination in decentralized wastewater management

6.4. Système pseudo-séparatif

« C'est un ouvrage conçu pour recevoir les eaux usées et une partie des eaux de ruissellement. L'autre fraction des eaux de ruissellement sera évacuée par les canaux et quelques tronçons d'ouvrages pluviaux. Le système repose sur une collecte en commun des eaux des toitures et des espaces privés avec celles des eaux usées »³⁶.

En plus des eaux usées d'origine domestique et de l'infiltration, les eaux de drainage en provenance des drains de fondation, des toits plats, des entrées de garage situées au niveau du sous-sol et des drains des sous-sols.

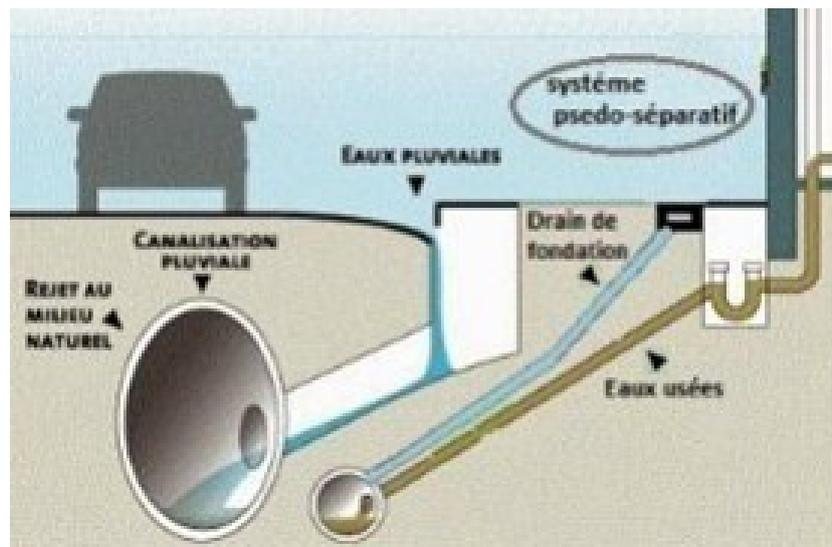


Figure 55. Le Système pseudo-séparatif

³⁶ <https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php>

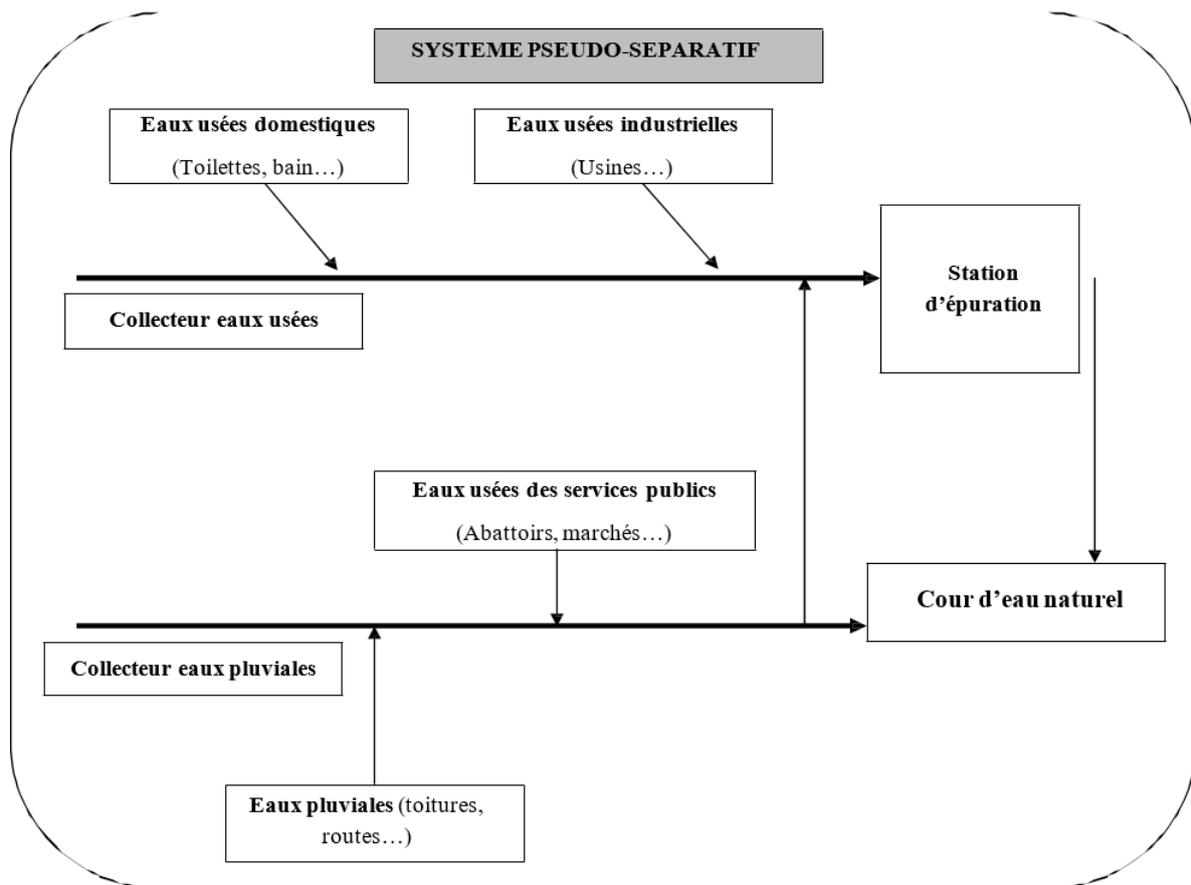


Figure 56. Le système pseudo-séparatif

6.5. Système composite

Dans le but de traiter les eaux pluviales les plus pollués, une dérivation partielle du réseau pourra être mise en place grâce à ce dispositif variant du système séparatif³⁷.

6.6. Systèmes spéciaux

Ce dispositif d'assainissement est particulier car il diffère du système conventionnel par l'évacuation sous pression des eaux usées, et on peut identifier deux variantes:

1. L'ouvrage sous pression sur l'ensemble du parcours : Le réseau fonctionne en charge de façon continue sur tout le chemin.
2. L'ouvrage sous dépression : Le transport de l'effluent s'effectue par mise des canalisations en dépression.

³⁷ Régis Bourrier, Les réseaux d'assainissement Calculs, applications, perspectives, Lavoisier, 2008.

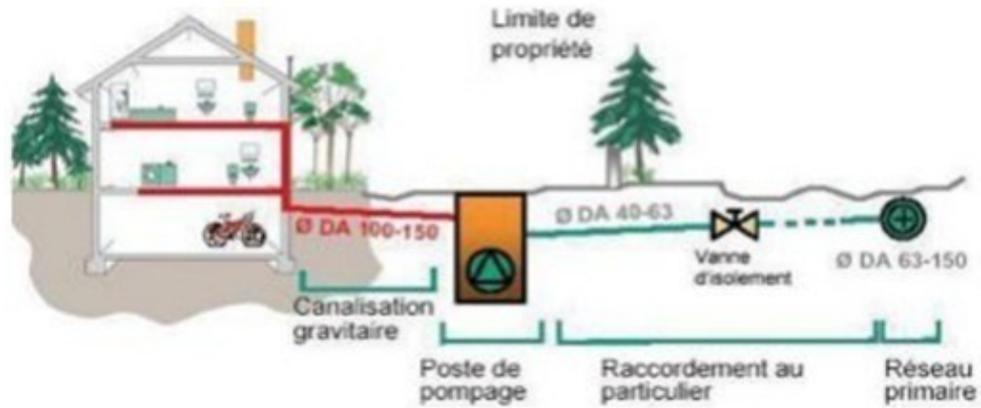


Figure 57. *Système sous pression*

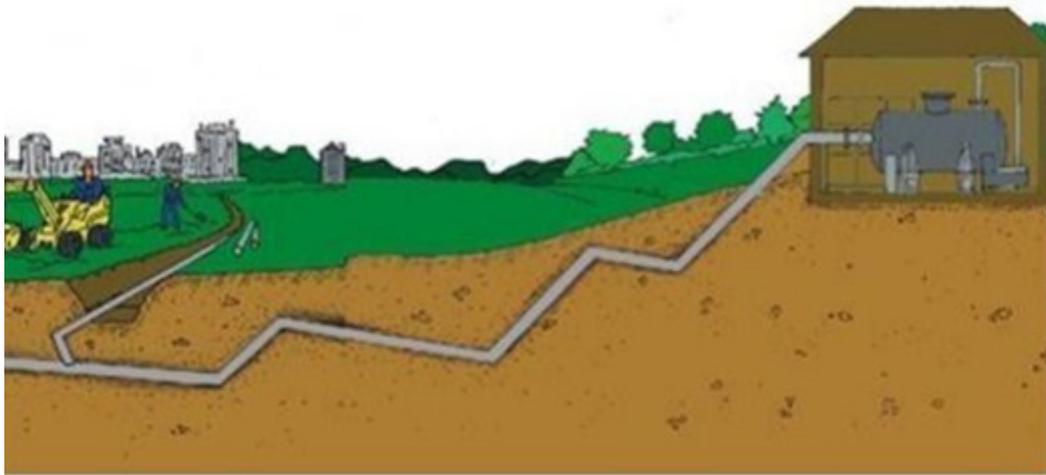


Figure 58. *Système sous dépression*

7. Les paramètres pour sélectionner un système d'assainissement

Il n'existe aucun critère unique pour sélectionner un système d'assainissement ; Plusieurs critères, allant de l'environnement à l'économie, en passant par les aspects techniques et financiers, doivent être évalués. Il faut considérer un ensemble équilibré de critères intégrant quatre dimensions essentielles.

7.1. Schéma perpendiculaire

Le flux s'effectue immédiatement dans le cours d'eau. Ce genre de configuration ne facilite pas le regroupement des eaux vers un seul lieu d'épuration, ce qui rend cette dernière ardue. Son utilisation est essentiellement réservée aux réseaux d'eaux pluviales dans un système séparé, où les eaux sont rejetées dans un cours d'eau³⁸. En revanche, il autorise un tracé très économique, sans nécessiter de grandes sections.

³⁸ <https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php>

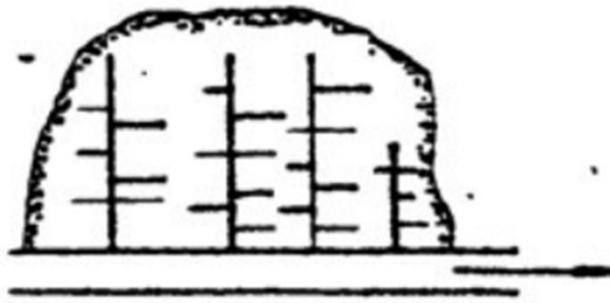


Figure 59. Schéma d'assainissement perpendiculaire

7.2. Schéma par déplacement latéral

Il permet de transporter l'effluent à l'aval de l'agglomération en vue de son traitement C'est le schéma le plus simple de ceux. Cependant, le cours d'eau devra être en parallèle au collecteur principal.

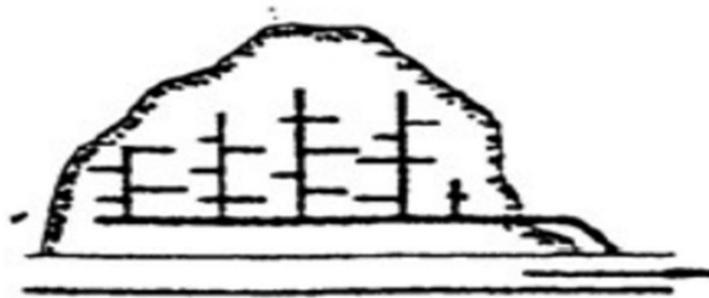


Figure 60. Schéma d'assainissement par déplacement latéral

7.3. Schéma de collecteur par zones étagées

Une multiplication des collecteurs longitudinaux aura lieu afin de ne pas charger certains collecteurs. Donc, c'est un remplacement de schéma à déplacement latéral³⁹.

Le collecteur bas, qui nécessite fréquemment des relevages, est allégé par les contributions des réservoirs supérieurs qui peuvent être évacués par gravité.

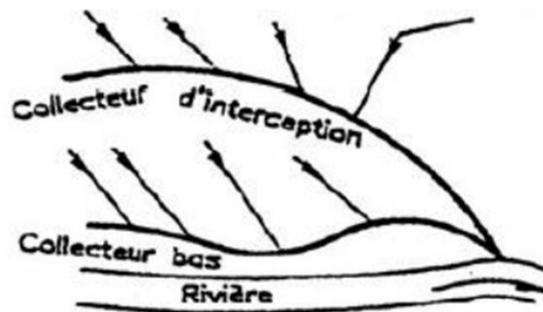


Figure 61. Schéma d'assainissement de collecteur par zones étagées

³⁹ Ibid

7.4. Schéma radial

Dans le cas des terrains plats, le recours au schéma radial se fera où les eaux sont collectées en un point bas, pour pouvoir être élevées vers un collecteur fonctionnant à surface libre, un cours d'eau récepteur ou une station d'épuration.

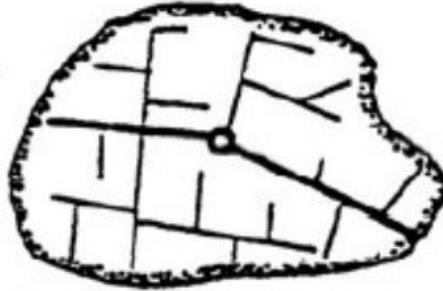


Figure 62. Schéma d'assainissement radial

7.5. Schéma à collecte transversale oblique

Lorsque la pente des terrains est faible, l'effluent sera transporté à l'aval de l'agglomération par cette typologie qui comporte des ramifications de collecteurs⁴⁰.

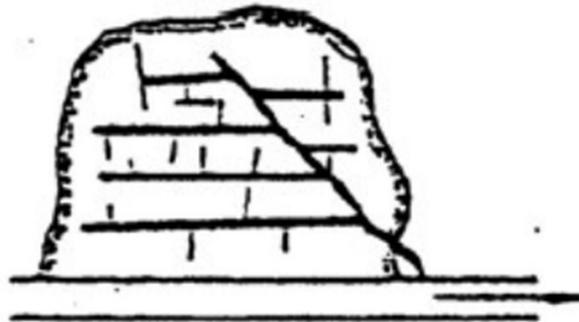


Figure 63. Schéma d'assainissement à collecte transversale oblique

8. Types de conduites d'égout

Quel que soit le réseau d'égouts, on reconnaît quatre types de conduites d'égout (Brière, 2012) : la conduite d'égout local, le collecteur, l'intercepteur et l'émissaire.

⁴⁰ Régis Bourrier, Les réseaux d'assainissement Calculs, applications, perspectives, Lavoisier, 2008.

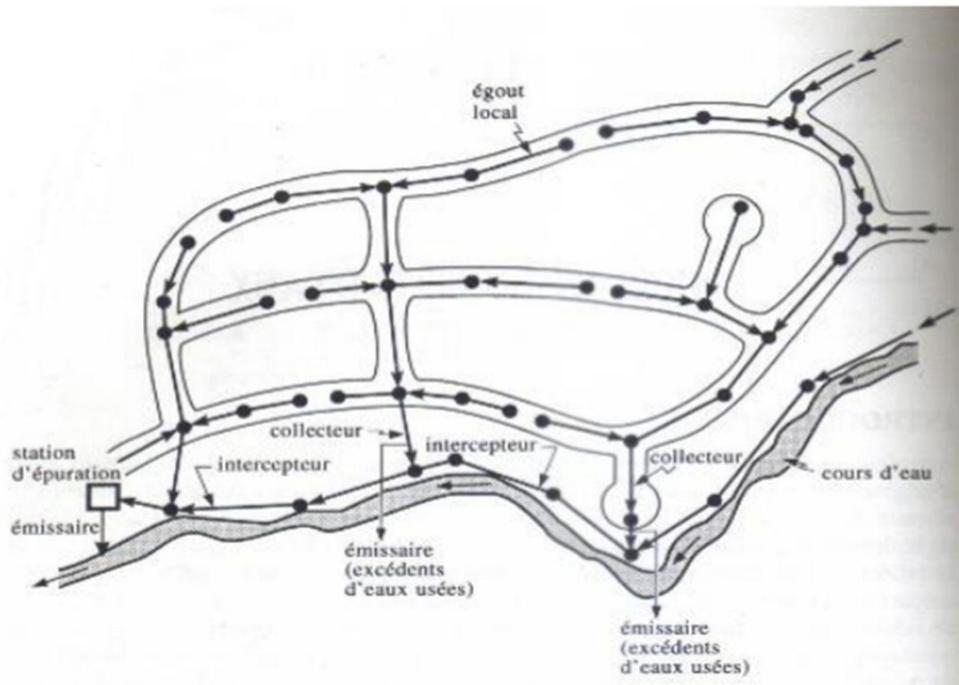


Figure 64. Les conduites d'égout

Comme son nom l'indique, une conduite **d'égout local** est destinée à transporter les eaux usées en provenance d'un seul ou d'au plus quelques tronçons de rue ; les eaux usées des secteurs situés en amont de cette conduite ne doivent pas s'y déverser⁴¹.

Le collecteur, quant à lui, transporte les eaux usées apportées par plusieurs conduites d'égout local ou par plusieurs collecteurs ; le collecteur constitue l'axe d'évacuation principal d'un bassin versant. L'intercepteur reçoit la totalité ou une partie des eaux acheminées par les collecteurs et transporte ces eaux vers la station d'épuration. En principe, il doit être enfoui assez profondément pour capter par gravité les eaux qu'on lui destine⁴².

L'émissaire, enfin, évacue les eaux usées vers le milieu récepteur.

9. Principe du tracé des collecteurs

1. L'emplacement des collecteurs est dicté et prévu dans le plan d'urbanisation.
2. Dans le cas des contre-inclinaisons, il va falloir les éviter.
3. Les grandes rues larges doivent recevoir les égouts collecteurs principaux et secondaires; d'une manière aussi rectilignes que possible. Il est recommandé de les avoir dans les rues à circulation peu intense.
4. La pose de canalisation d'eaux usées se fait selon une profondeur, d'où on doit tenir compte :
 - Des profondeurs des caves avoisinantes, si les eaux sont normalement profondes, les maisons doivent être reliées à l'aide des pompes aux collecteurs. En général, les épaisseurs des terres au-dessus des canalisations ne doivent pas dépasser 2 à 2,5m ; sauf cas particulier.

⁴¹ Régis Bourrier, Les réseaux d'assainissement Calculs, applications, perspectives, Lavoisier, 2008.

⁴² Hydrologie Et Hydraulique Urbaine en Réseau d'Assainissement, formation d'ingénieur, Vazquez, 2013.

- La résistance au gel des canalisations : l'épaisseur de terre nécessaire et minimale pour empêcher la congélation du contenu des canalisations dépend du climat local (1,2 à 1,6m).

Si la nappe phréatique est proche de la surface du sol, le parcours sélectionné doit être choisi pour éviter autant que possible ce problème lors de l'installation des canalisations ; sinon, une analyse des eaux est nécessaire pour déterminer le type de matériau à utiliser pour la canalisation. Assurez-vous de l'imperméabilité des tuyaux et joints pour éviter le pompage de la nappe.

Les voies publiques reçoivent habituellement les conduites assurant l'évacuation rapide des effluents. Elles joignent l'ensemble des rues qu'elles desservent. Pour tracer le réseau il faut prendre en considération plusieurs paramètres à savoir⁴³ :

- La topographie du terrain,
- l'implantation des canalisations dans le domaine public,
- la répartition géographique des habitants à desservi
- les conditions de rejet,
- l'emplacement des cours d'eau et talwegs,
- l'emplacement de l'exutoire ou de la station d'épuration.

On peut ajouter, pour le tracé des collecteurs, les principes suivants :

- Choisir le tracé le plus court possible,
- choisir le cheminement des voiries existantes, tout en évitant les virages,
- éviter les contres pentes,
- prévoir les collecteurs dans l'axe de la chaussée, - le tracé doit être bien adapté au besoin.

⁴³ Hydrologie Et Hydraulique Urbaine en Réseau d'Assainissement, formation d'ingénieur, Vazquez, 2013.

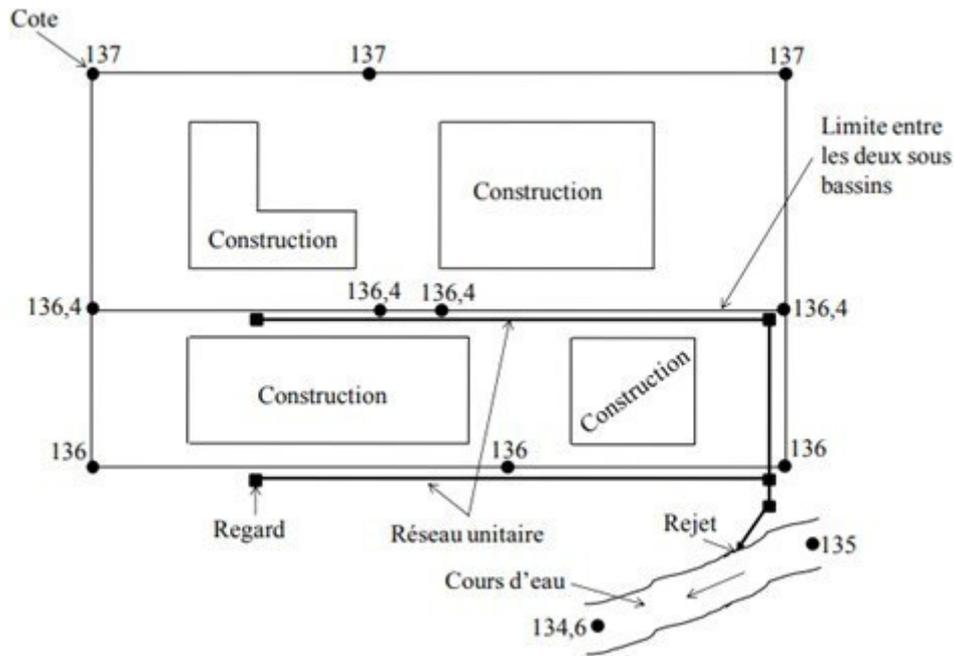


Figure 65. *Tracé d'un petit réseau d'assainissement*

10. Conclusion

Le développement durable des villes et la santé publique des populations représentent un défi face à l'assainissement urbain. Il permet de collecter, traiter, évacuer les eaux usées et pluviales afin d'anticiper contre les risques sanitaires et la pollution de l'environnement et.

Une gestion et efficace de l'assainissement repose sur les infrastructures performantes, telles que les réseaux d'égouts, les stations d'épuration et les dispositifs de drainage. Elle nécessite également une réglementation stricte et une sensibilisation des citoyens à l'importance d'un usage responsable de l'eau et du respect des installations publiques.

Face au défi de l'urbanisation croissante et du changement climatique, l'amélioration des systèmes d'assainissement doit être en priorité pour garantir un cadre de vie sain et préserver les ressources en eau. Un assainissement urbain efficace est essentiel pour assurer les qualités de vie en milieu urbain, protéger la biodiversité et prévenir la propagation de maladies. Les investissements continus et la gestion rigoureuse du réseau pourra répondre aux besoins des générations présentes et futures.

Chapitre VI : Plomberie sanitaire

1. Introduction

La plomberie sanitaire est un domaine essentiel du bâtiment qui comprend l'établissement, l'entretien et le rétablissement des systèmes de distribution d'eau potable, d'évacuation des eaux usées. Elle joue un rôle primordial dans le confort et l'hygiène des habitations, des entreprises et des infrastructures publiques. L'installation sanitaire bien conçue garantit une eau propre une évacuation efficace des eaux usées et une consommation maîtrisée tout en évitant les problèmes tels que les fuites, les mauvaises odeurs ou les risques sanitaires.

2. Eléments d'un réseau d'AEP

Un réseau de distribution d'eau est équipé de :

2.1. Tuyauteries



Figure 66. Différents types de tuyauteries

2.2. Organes



Figure 67. Différents types d'organes

2.3. Accessoires



Figure 68. Différents types d'accessoires

« Divers accessoires sont utilisés dans les installations d'AEP :

- Les compteurs d'eau : c'est un organe enregistreur et totaliseur de débit. Il existe deux types :

-Le compteur de volume : il enregistre et totalise le nombre de remplissages d'une capacité déterminée.

- Le compteur de vitesse : son principe de fonctionnement est basé sur le nombre de tours d'une turbine dont la vitesse est proportionnelle du débit »⁴⁴⁴⁸.



Figure 69. Compteur

- Les robinets d'arrêt (ou vannes) : utilisés pour isoler une ou plusieurs ramifications desservant plusieurs appareils.



Figure 70. Robinet d'arrêt

- Les robinets de purge : robinets destinés à vidanger tout ou partie de l'installation d'eau potable.

⁴⁴ MM. Adto et Cordier, Le guide de la plomberie, ooreka, Fine Media, 2012, <http://plomberie.ooreka.fr/ebibliotheque/liste>, p13.



Figure 71. *Robinet de purge*

- Les raccords : tels que les coudes, les Tés, raccords union...etc.



Figure 72. *Raccords*

-Les réducteurs de pression de l'eau : les réducteurs de pression sont utilisés lorsque la pression est très élevée et engendre du bruit, des vibrations et des risques pour l'installation.



Figure 73. *Réducteur de pression*

-L'anti-bélier : il sert à réduire les coups de bélier qui se manifestent par des claquements secs lors de la fermeture rapide des robinets ou des vannes. Il se place généralement en haut d'une colonne montante.



Figure 74. Anti bélier

Le DTU 60.11 (Règles de calcul des installations de plomberie sanitaire pour bâtiments à usage d'habitation ou assimilés) donne des recommandations précises concernant l'installation des organes de l'AEP à l'intérieur du bâtiment, voici quelques-unes ⁴⁵:

- Le compteur d'eau doit être disposé dans une niche aérée, à l'abri des gels et posé horizontalement avec un sens de la flèche.
- La vanne d'arrêt doit être installée à l'entrée de l'installation juste après le compteur, en laiton et facilement accessible.
- Le clapet anti retour, installé immédiatement en aval de la vanne d'arrêt principale.
- Le réducteur de pression, placé après le clapet anti-retour, pour protéger les appareils sensibles tels que le chauffe-eau, il doit être réglable et accessible.
- Le purgeur manuel est recommandé pour les canalisations exposées au gel, sur les points bas et extrémités des canalisations.
- L'installation de la tuyauterie, devra être en apparent ou encastré avec gainage obligatoire s'il y aura une traversée de dalle ou de mur, en PER, multicouche ou en cuivre.
- Prévoir ainsi des colliers tous les 0.5 m de hauteur et 1m de hauteur.
- Le réseau est conçu pour une pression admissible de 3 à 5 bars et une vitesse de 0.2 m/s.
- S'il y aura présence de croisement avec d'autres réseaux comme l'électricité ou le gaz, un écart au moins de 20 cm est obligatoire ou prévoir un cloisonnage.
- Eviter le croisement direct entre la tuyauterie d'eau potable et de l'assainissement.
- Dans le cas de traversée des dalles, il faut prévoir des manchons étanches avec fourreau et joint souple autour de la tuyauterie et mettre en place du mastic bitumineux ou silicone sanitaire dans le vide.

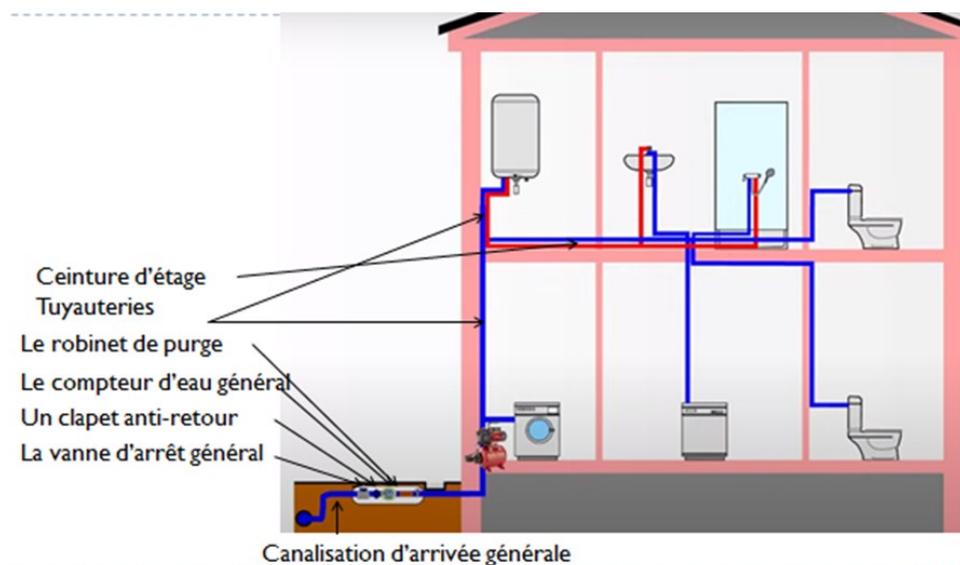


Figure 75. Coupe présentant les organes du réseau de l'AEP intérieur

⁴⁵ DTU 60.11

3. Les ouvrages d'assainissement

3.1. Conduites circulaires ou ovoïdes

- Les tuyaux métalliques ;
- Les tuyaux en amiante ciment ;
- Les tuyaux en béton armé et non armé ;
- Les tuyaux en grés ;
- Les tuyaux en polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- Les tuyaux en polychlorure de vinyle non plastifié (PVC).

3.2. Les branchements

Il s'agit de conduites à diamètre réduit par rapport aux diamètres de la canalisation publique, qui établissent le lien entre le réseau vertical d'eaux usées et pluviales des bâtiments et ce dernier. L'attachement latéral au réseau d'égout peut être vertical si une galerie accessible est présente, et en général, il est incliné à 60° sur les tuyaux pour ne pas entraver le flux.

La pente du tracé de la conduite de branchement devrait être d'environ 3% afin de faciliter un flux avec lavage interne de la tuyauterie.

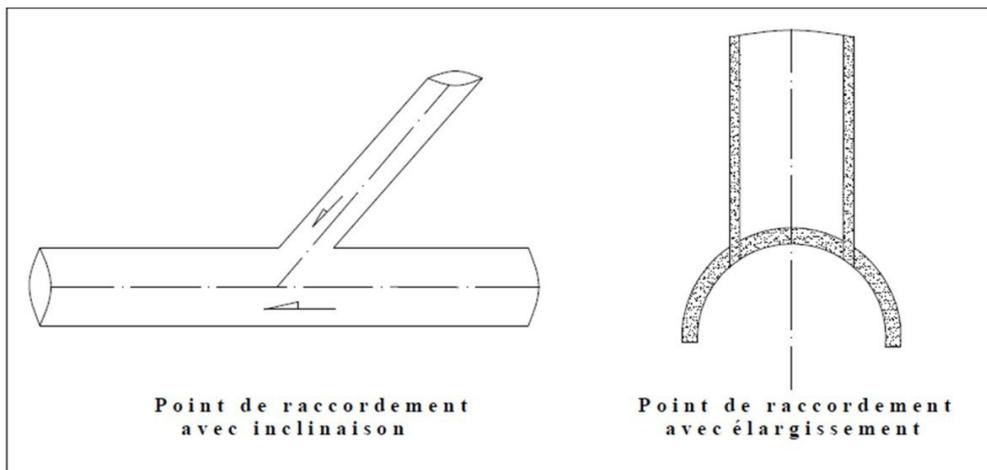
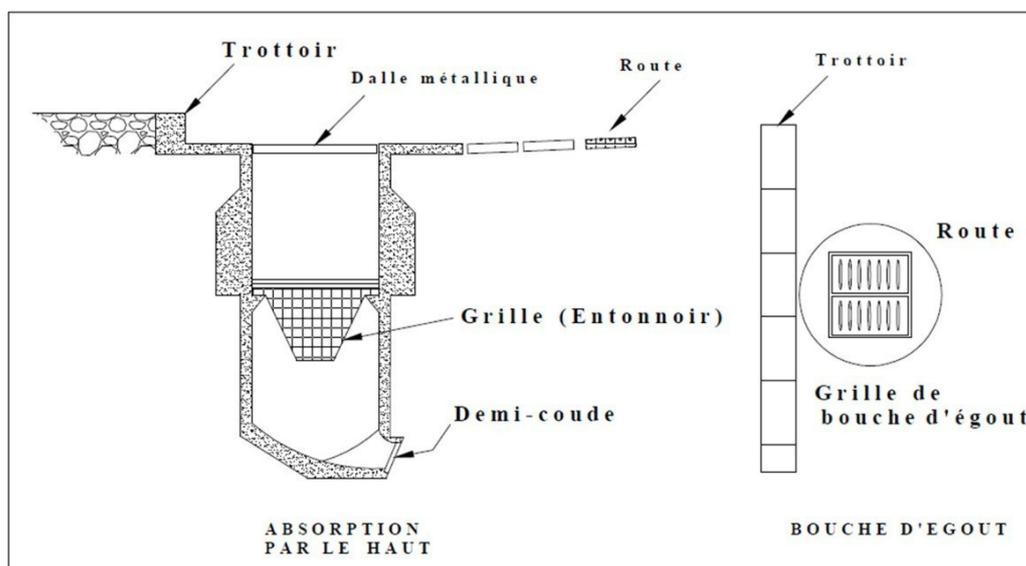


Figure 76. Les branchements

3.3. Les bouches d'égout

Elles peuvent être équipées de dispositifs destinés à piéger les polluants les plus visibles : grilles ou cloisons siphoniques pour arrêter les flottants ; paniers ou chambres de tranquillisation pour arrêter les matériaux les plus grossiers. L'utilisation de ce type de dispositifs n'est cependant intéressante que si l'on a la certitude que leur entretien sera régulièrement et correctement réalisé. Dans le cas contraire ils peuvent s'avérer plutôt nuisibles au bon écoulement des eaux. Les bouches à décantation et/ou à cloison siphonide peuvent jouer un rôle non négligeable dans la lutte contre l'ensablement des collecteurs, à la double condition d'avoir une conception et un dimensionnement optimisés, et d'assurer un curage fréquent des dépôts et des solides retenus⁴⁶.



⁴⁶ [http://wikydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Bouche_d%27%C3%A9gout_\(HU\)](http://wikydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Bouche_d%27%C3%A9gout_(HU))

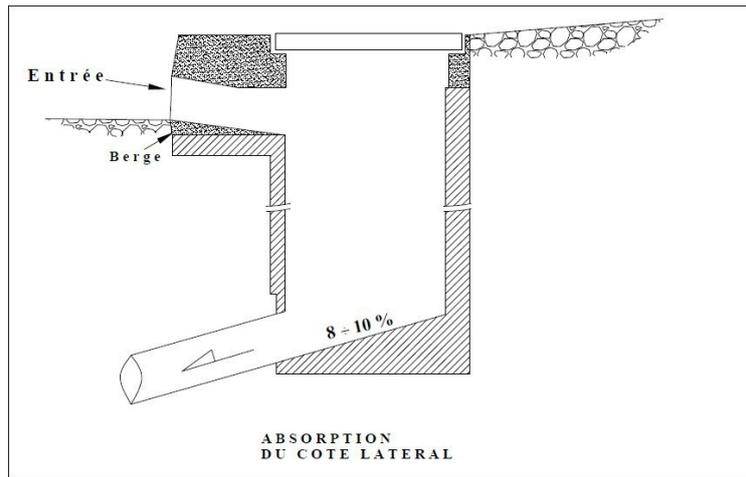


Figure 77. Les bouches d'égout, par absorption par le haut ou du côté latéral

3.4. Les regards

Les regards de visite

Ils facilitent l'accès aux canaux pour les ouvrages qui peuvent être visités, assurent ainsi le débouage et le nettoyage des canaux et l'aération des canaux (effet de cheminée, différence des températures).

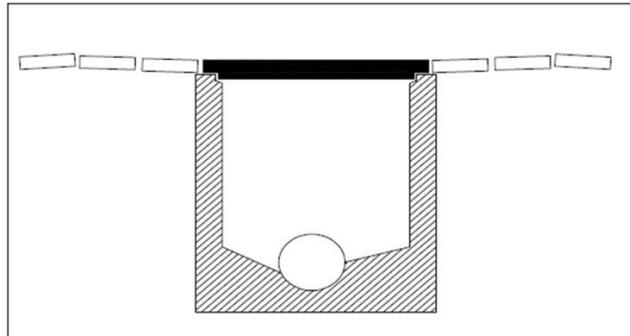


Figure 78. Les regards de visite

Dispositions

La topographie du site et la nature des ouvrages sont primordiaux pour choisir l'emplacement et la distance entre deux regards. Un regard doit être construit sur les canalisations :

- A tous les points de jonction ;
- Au changement de direction ;
- Changement de pente des canaux ;
- Aux points de chute ;

- Pour des canalisations plus petites et non praticables.

L'espacement varie de 50 à 80m (surtout pour les canalisations non praticables) dans le cas des terrains à pente régulière (ligne droite).

Regards de jonction

Ce sont des ouvrages constituant le point de convergence (nœud) de deux collecteurs, qu'ils soient de même diamètre ou non.

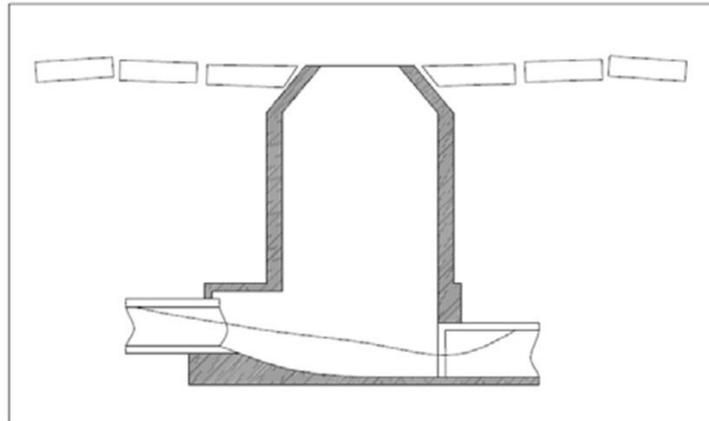


Figure 79. *Regards de jonction*

Regards doubles

Dans certains regroupements urbains nécessitant un système distinct, et plus spécifiquement dans les zones où le parcours est partagé pour les deux conduites transportant des eaux de diverses sortes (eaux de pluie dans une conduite, eaux usées domestiques et industrielles dans une autre) ; il serait préférable d'installer un regard partagé aux deux conduites. La conduite des eaux usées devra être installée dans un niveau inférieur à la conduite d'eau pluviale. Il est préférable que cet ouvrage soit visitable. Cette restriction facilitera le passage des branchements au niveau de la deuxième conduite, et évitera la contamination.

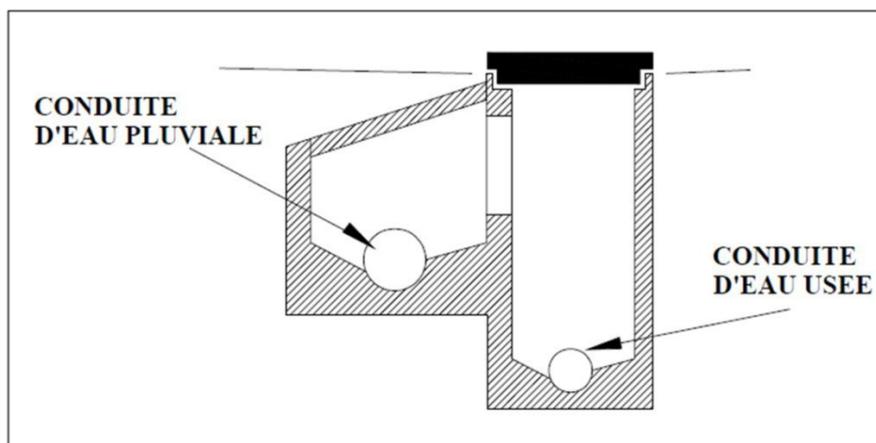


Figure 80. *Regards double*

Bouche de neige

Ce sont des bouches d'égout situées dans le trottoir et latéralement par rapport au canal des eaux usées, et dans lesquelles on jette la neige balayée des rues. La neige qui fond doucement glisse sur la paroi penchée du puits et tombe dans les eaux usées. Ces puits peuvent seulement être placés près des égouts collecteurs principaux.

Les déversoirs d'orage

Ce sont des ouvrages de dérivation conçus pour les flux qui limitent le débit dirigé par temps de pluie vers l'aval du réseau et donc vers la STEP.

Lorsque le flux à l'amont du réseau dépasse un certain seuil, le déversoir d'orage autorise l'évacuation directe d'une partie des effluents vers le milieu naturel. Ces déversoirs d'orage sont généralement placés sur les systèmes unitaires pour restreindre les afflux dans le réseau en aval, notamment vers la STEP lors de prélèvement.

Types de déversoirs

Déversoir à seuil latéral et à conduite avale étranglée

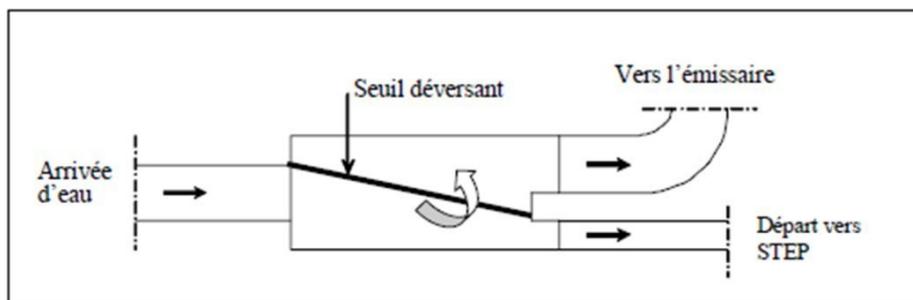


Figure 81. Déversoir à seuil latéral et à conduite avale étranglée

Déversoir à ouverture de fond

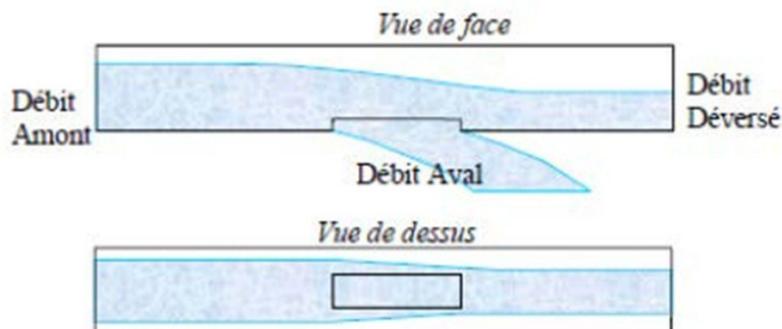


Figure 82. Déversoir à ouverture de fond

Les regards d'accès au réseau

Se composent d'un tampon, d'une cheminée, et d'un branchement d'accès.

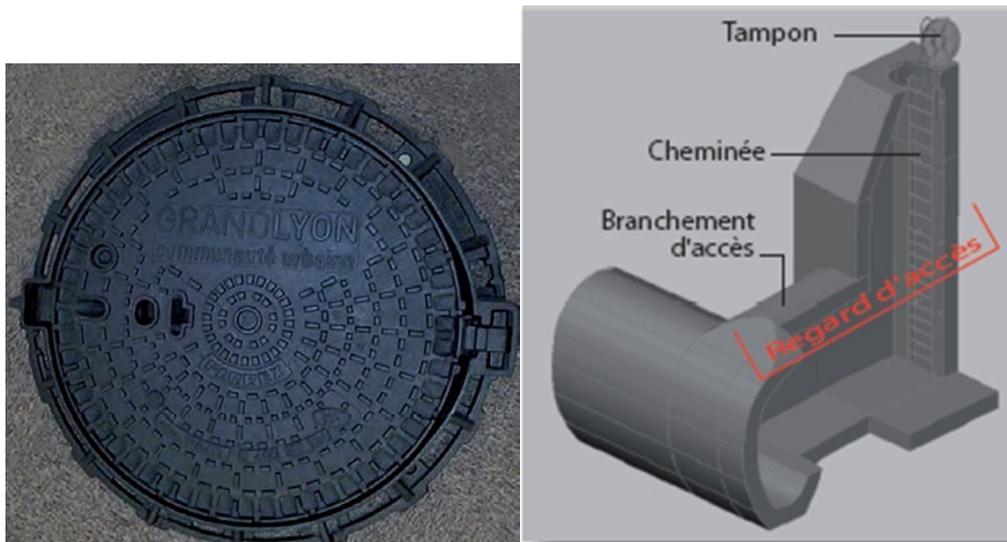


Figure 83. Regard d'accès au réseau

« Les dimensions des cheminées d'accès sont les suivantes⁴⁷⁵⁰ :

- Les collecteurs dans les cas généraux ont un diamètre 1000,
- Les collecteurs dans les cas particuliers ont un diamètre 1200,

Des équipements de sécurité devront être installés dans les regards d'accès:

- Une échelle est obligatoire si la profondeur dépasse 2.5m,
- D'autres équipements de sécurité seront nécessaires si la profondeur dépasse 3m,
- La présence de pallier est obligatoire si la profondeur dépasse 6m ».

Positionnement des cheminées d'accès:

Pour réaliser les cheminées de visites, on doit prendre en compte des distances de 50m, et au maximum tous les 75m en ligne droite entre chaque regard. Dans le cas de changement de direction, de pente ou de section et à chaque intersection des collecteurs du réseau⁴⁸.

⁴⁷ Les ouvrages types assainissement, référentiel conception et gestion des ouvrages d'assainissement, édition Mars 2017, Grand Lyon, p4.

⁴⁸ Ibid, p6.

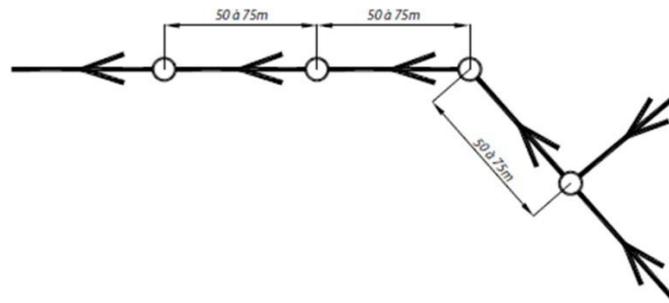


Figure 84. Positionnement des cheminées d'accès

Réseaux visitables et semi-visitables

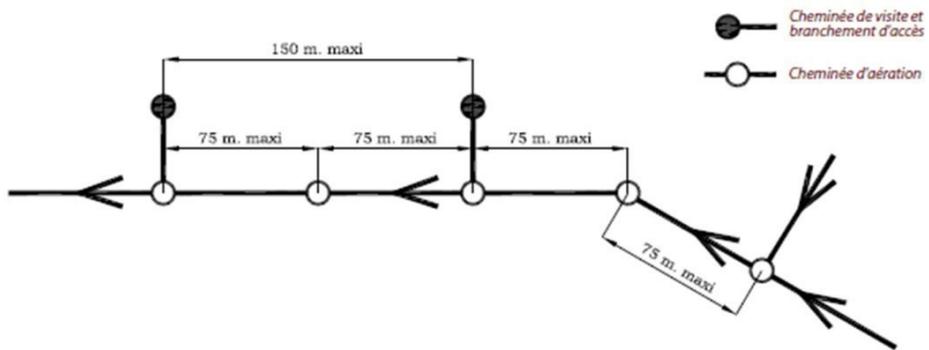


Figure 85. Positionnement des réseaux visitables et semi-visitables

Consignes de l'exploitant pour le positionnement des regards en surface

Les points d'accès et de nettoyage doivent être placés en dehors de la voie de circulation.

- se situer au milieu de la chaussée,
- si la route comporte deux voies, occuper le centre d'une des voies,
- En cas de route à trois voies, évitez la voie rapide de gauche,
- Évitez de placer un tampon sur les entrées des parkings ou les emplacements de stationnement.

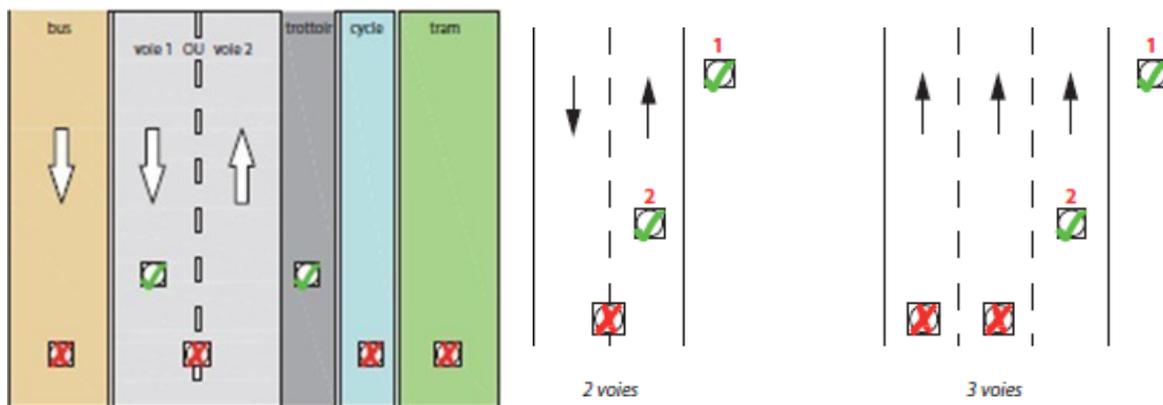


Figure 86. *Implantation des regards en zone urbaine*

Il faut que les regards soient situés au niveau de la chaussée, idéalement au niveau du sol naturel.

Dans un milieu naturel à risque d'inondation, l'ouvrage sera surélevé et sécurisée par un enrochement.

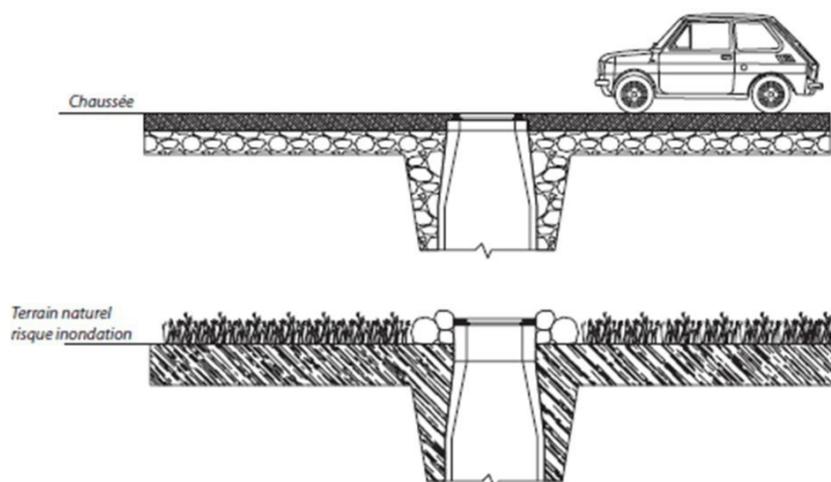


Figure 87. *Positionnement du regard par rapport à la voie*

Regard d'accès préfabriqué (jusqu'à 6m)

Leur rôle est de rassembler les eaux de ruissellement et de les connecter au réseau d'égout. Ces installations incluent des tabourets-grilles, des bouches d'égout, des puisards.

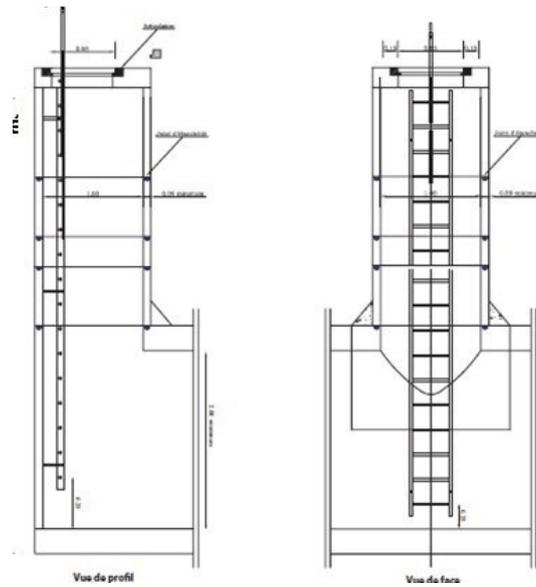


Figure 88. Regard d'accès

Les bouches d'égout

Elles permettent l'introduction des eaux de ruissellement dans le réseau. Ces ouvrages se présentent sous forme d'éléments ponctuels d'un réseau d'assainissement, avec ou sans grille, avec ou sans puisard.

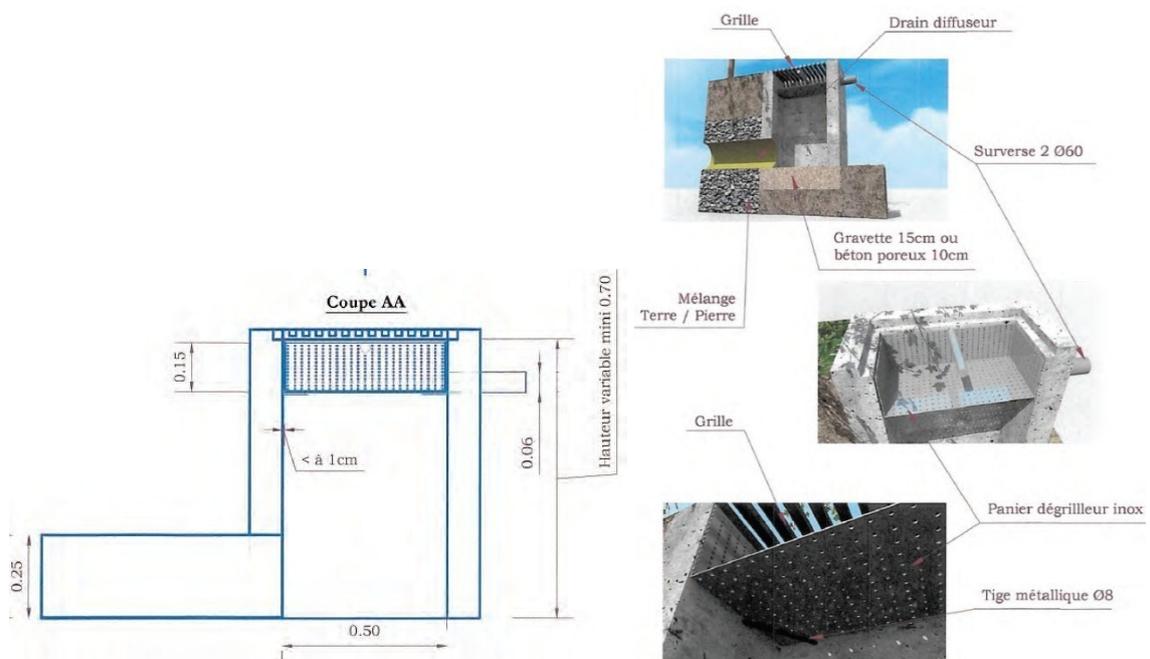


Figure 89. Regard grille avec panier

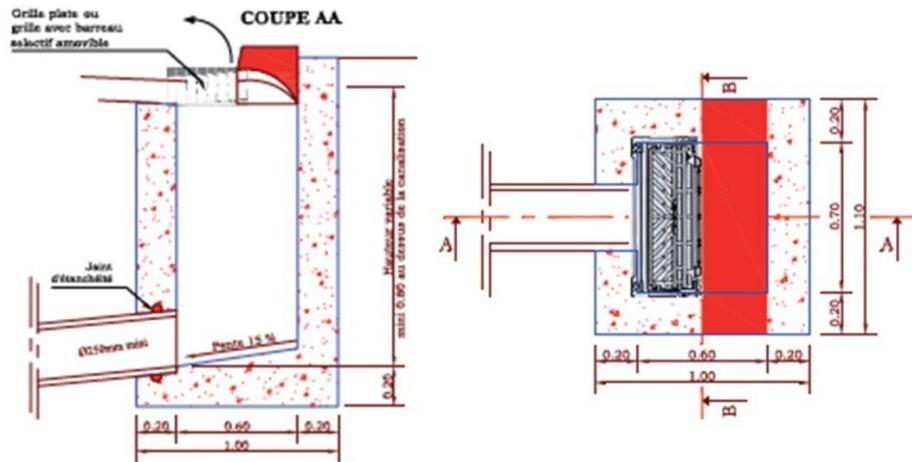


Figure 90. Bouche d'égout sous chaussée

Les tabourets (ou regards de branchement)

Le raccordement des canalisations privatives d'eaux usées ou d'eaux pluviales à la conduite de raccordement de l'égout public sera assuré par ce dispositif. Le tuyau de branchement doit faire à minima 160mm de diamètre⁴⁹.



Figure 91. Regard de branchement

⁴⁹ Les ouvrages types assainissement, référentiel conception et gestion des ouvrages d'assainissement, édition Mars 2017, Grand Lyon, p30.

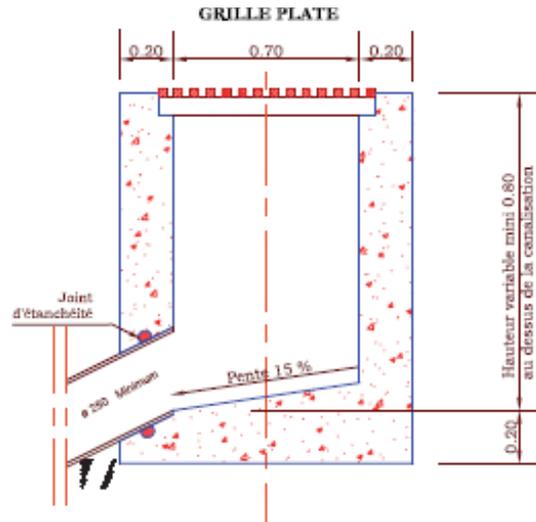


Figure 92. Tabouret grille sans puisard

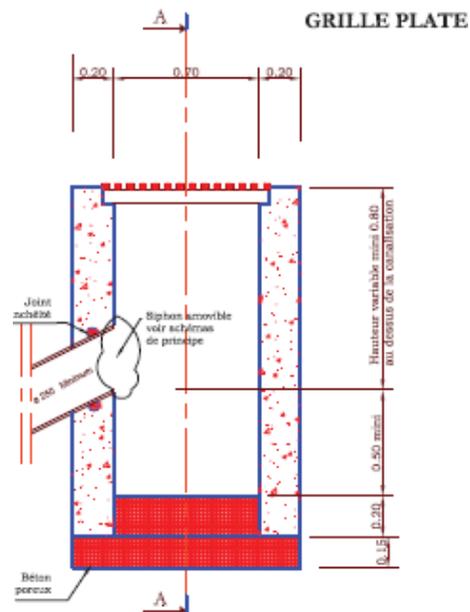


Figure 93. Tabouret grille à puisard avec fond en béton poreux - Réseau d'eau pluviale

Les caniveaux

Sont des équipements qui doivent permettre :

- la collecte des eaux de surface, y compris quand le ruissellement est fort,
- la non collecte des déchets,
- le non bouchage par des feuilles.



Figure 94. *Caniveaux*

Les ouvrages aériens de gestion des eaux pluviales

Elles permettent de :

- Traiter les eaux pluviales de les évacuer.
- Entreposer et collecter momentanément sur la surface urbaine les eaux de ruissellement, limitant ainsi les risques d'inondation.

Les structures de surface comme bassins à ciel ouvert ou linéaires comme noues ou fossés peuvent contribuer à la structuration de l'espace extérieur.



Noue



Fossé

Figure 95. *Bassin de rétention, noue et fossé*

Des prescriptions de pose de réseaux d'assainissement selon la norme EN 1610 prescrivent les points suivants :

- Les matériaux sont en PVC CR8/CR4, recommandé en zones urbaines peu profondes, facile à poser et économique. Le béton armé, adapté en zone industrielle et route présentant de fortes charges. Le grès vitrifié utilisé pour les effluents dangereux. Le PEHD (Polyéthylène) pour les réseaux sensibles. Le PP (Polypropylène) est réservé aux les eaux pluviales.
- La profondeur admissible est $\geq 0,80$ m pour éviter le gel.
- Une pente de 1 à 3 % pour \varnothing 100 à 200 mm.
- Mettre en place des regards tous les 30 à 50 m, aux changements de direction ou de pente.
- Exécuté du Sable compacté 10 à 15 cm.

5. Réseau intérieur d'assainissement

Le réseau d'assainissement intérieur sert à ramasser les eaux domestiques (ménagère et vannes) des différents appareils sanitaires et les eaux pluviales (terrasses, cours, toitures) vers un regard extérieur au pied de la limite de la propriété donnant sur le domaine public, puis vers le réseau d'assainissement urbain⁵⁰⁵³.

5.1. Appareils responsables de l'évacuation des eaux usées et des eaux vannes

- Lavabo
- lave-main
- baignoire
- receveur de douche
- bidet
- évier de cuisine
- chauffe-eau
- lave-linge
- lave-vaisselle
- cuvette de toilette
- siphon de sol



Figure 96. Appareils sanitaires

⁵⁰ <https://fr.slideshare.net/slideshow/le-reseau-dassainissement-dans-une-proprit-individuelle-intrieur-exterieur/267102708>

5.2. Types de réseau d'assainissement

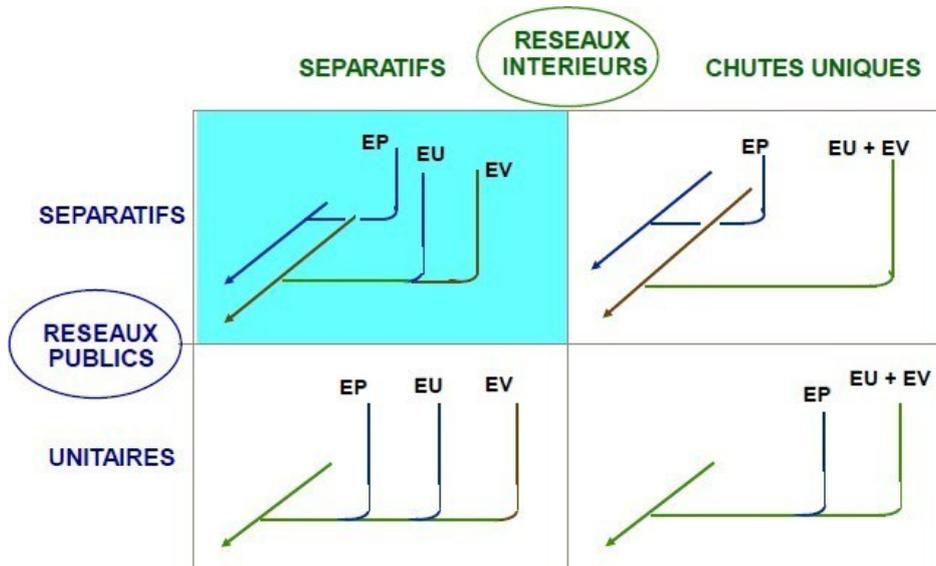


Figure 97. Types d'assainissement

Le réseau unitaire

Ensemble des canalisations enterrées qui collecte les eaux pluviales et les eaux usées dans le même collecteur.

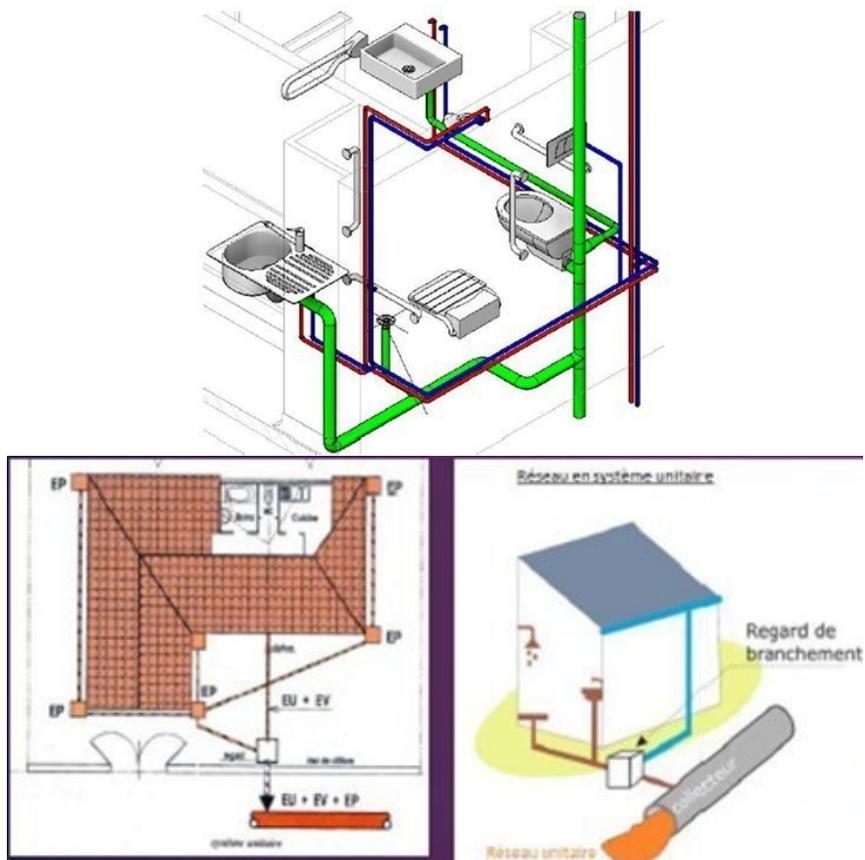


Figure 98. Le réseau unitaire

Le réseau séparatif

Installation comprenant deux dispositifs séparés de collecte : l'un est réservé aux eaux usées et l'autre aux pluviales.

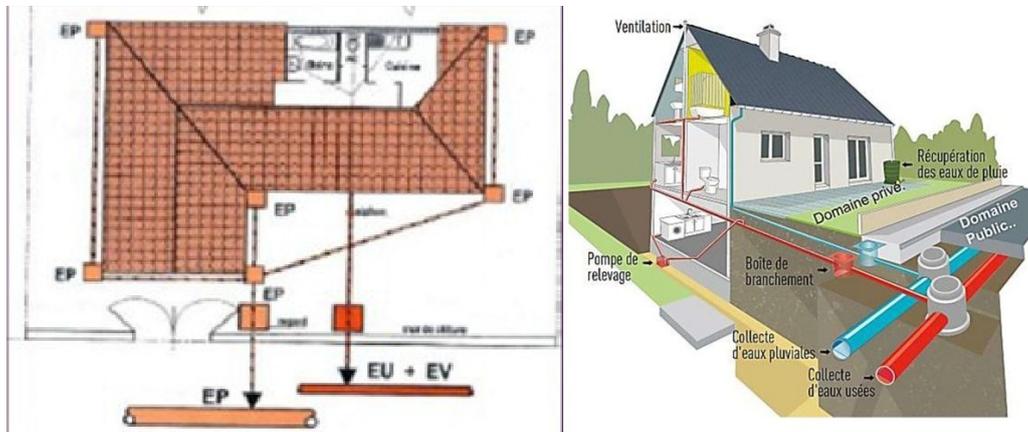


Figure 99. Le réseau séparatif

5.3. La collecte

Les équipements sanitaires sont associés à des collecteurs : des conduites horizontales (A), qui peuvent être en PVC ou en fibres de ciment, présentant une faible inclinaison (1 à 3%), et qui sont connectées > à la colonne verticale descendante (tuyaux de chute B1 et B2)⁵¹.

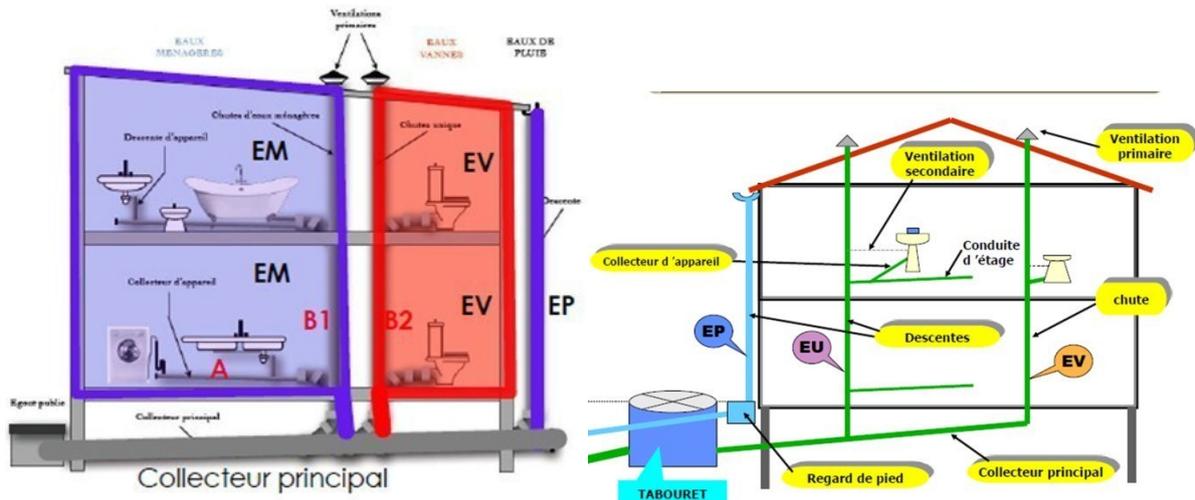


Figure 100. Collecteur et colonne de chute

⁵¹ Ibid.

Le raccordement horizontal

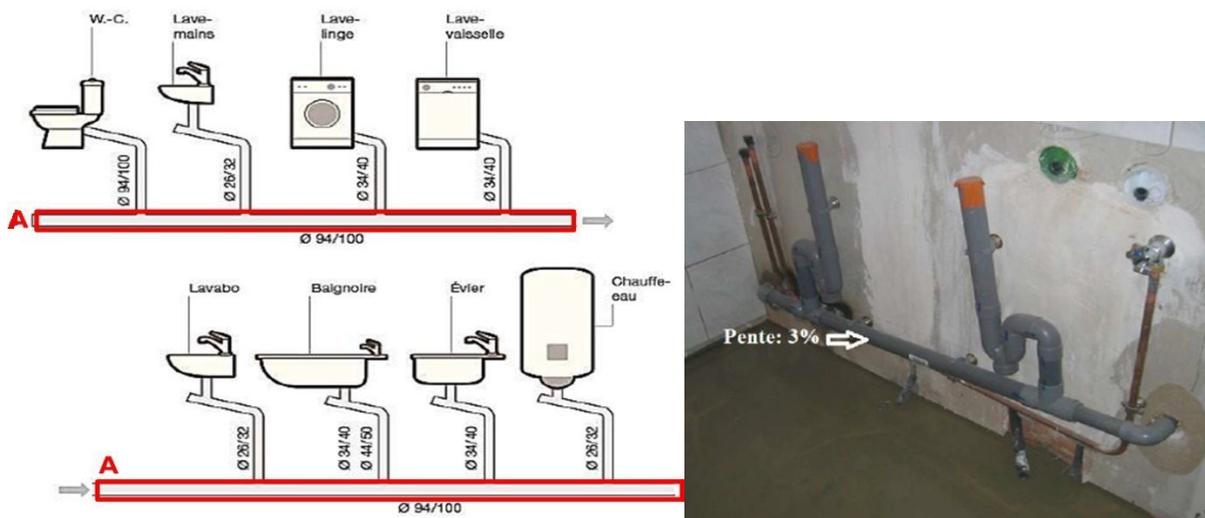


Figure 101. Raccord, collecteur horizontal

Colonne de chute descente D1 et D2 des eaux usées sont des colonnes verticales servant d'évacuation des eaux usées en provenance des différents étages, elles desservent plusieurs niveaux, elles doivent évacuer les eaux sans refoulement et sans stagnation, soit séparément (séparatif) ou en commun (unitaire) et sont raccordées à des collecteurs horizontaux principaux ou ont dans des regards. Ils sont incorporés dans des gaines réservation verticale.

Collecteur principal est une canalisation (tuyauterie C) horizontale de faible pente 1 à 3 % en bas de la construction qui reçoit et achemine toutes les eaux vers le regard public.

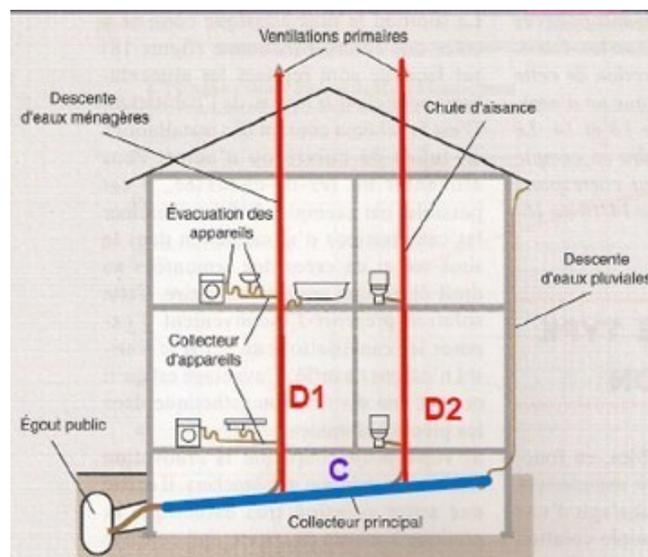


Figure 102. Chute verticale

En Algérie, la réglementation des réseaux intérieurs d'assainissement repose principalement sur la loi n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau, qui établit les obligations générales en matière d'assainissement. La norme française DTU 60.11 encadre l'ensemble des réseaux de plomberie-sanitaire et est largement utilisée comme référence chez nous.

5.4. Règles à respecter dans un réseau d'assainissement

Distinction des conduits internes pour les eaux domestiques et les eaux usées.

Respect des inclinaisons des conduits internes et externes (tuyauteries horizontales) pour favoriser l'évacuation.

Assurer l'étanchéité des joints sur les tuyaux et les regards (raccordements et branchements des regards)

Il est nécessaire de planifier des points de visite pour maintenir le système, et tous ces points doivent comporter un fond de curage destiné à recueillir les matières lourdes (torchon, boue...) afin d'éviter toute obstruction des canalisations.

Dimensionner correctement les différentes canalisations et éviter les coudes à 90°.

Ventiler le réseau par la canalisation verticale qui déborde au-delà de la toiture (supérieure à 40 cm).

Éviter les longues distances entre regards.

Il est essentiel de bien compacter le sol pour prévenir l'affaissement des tuyaux et garantir une pente régulière (déposition des couches de sable).

Avant de procéder au branchement du réseau intérieur, il est essentiel de contrôler le niveau de la boîte de connexion publique afin d'éviter toute inversion ou reflux du réseau public.

6. Conclusion

La plomberie sanitaire est un métier indispensable qui requiert des compétences en hydraulique en assemblage de matériaux et en maintenance dans le cas d'une nouvelle réalisation ou une intervention de rénovation. Une installation de plomberie bien réalisée assure un cadre de vie sain et fonctionnel.

Chapitre VII : Procédés spéciaux (Energies renouvelables)

1. Introduction

Une des sources d'énergie renouvelable est l'énergie hydraulique qui exploite la force de l'eau en mouvement pour produire de l'électricité. Elle représente l'une des plus anciennes formes d'exploitation énergétique par l'homme, utilisée depuis l'Antiquité pour actionner des moulins à eau. Aujourd'hui, l'hydroélectricité est l'une des principales sources d'énergie renouvelable dans le monde, contribuant à réduire l'effet carbone et à la transition énergétique. Elle se décline en plusieurs formes, comme les barrages hydroélectriques, les centrales au fil de l'eau et les installations de pompage-turbinage. Bien que cette énergie relève de nombreux avantages, l'impact des barrages sur les écosystèmes et les populations locales soulève un des enjeux environnementaux et sociaux majeurs.

2. Définition

Le processus avec lequel l'énergie électrique est produite est issu de la force motrice de l'eau, c'est l'hydro-électricité⁵².

Les constituants des centrales hydrauliques sont le réservoir d'eau présent sous forme de prise d'un barrage ou fil de l'eau, le système de génération d'électricité^{53 56}.

Le principe de fonctionnement est semblable entre l'énergie hydraulique renouvelable et l'énergie éolienne. Un mouvement est produit par l'eau qui fait tourner des turbines. Le mouvement incessant de ces dernières, provoqué par la force de l'eau, génère de l'énergie. Dans le processus de production d'énergie hydraulique, la pression de l'eau joue un rôle crucial : plus elle est forte, plus le mouvement sera vigoureux et significatif.

La production de l'électricité a un effet bas carbone, n'épuisant pas les ressources ainsi car l'hydroélectricité est examinée comme propre car elle utilise le flux naturel de l'eau pour produire de cette l'électricité. Elle peut avoir des désavantages, notamment l'impact environnemental sur les écosystèmes aquatiques, la nécessité de grands barrages qui déplacent des populations, et la dépendance aux variations saisonnières des précipitations⁵⁴.

3. Procédé de fonctionnement

Étape	Description
1. Captage de l'eau	L'eau est dérivée d'un fleuve, rivière ou barrage vers un canal ou une conduite forcée.
2. Chute et pression	Grâce à la gravité, l'eau prend de la vitesse et de la pression dans une conduite (chute libre ou conduite forcée).
3. Turbine	L'eau frappe les pales d'une turbine (Pelton, Francis ou Kaplan selon le type de chute), la faisant tourner.
4. Générateur	La turbine est couplée à un alternateur qui transforme le mouvement en électricité.
5. Évacuation de l'eau	L'eau est rejetée dans la rivière via un canal de fuite.
6. Transport de l'énergie	L'électricité est injectée dans le réseau ou utilisée localement (microcentrale isolée).

Tableau 6. Fonctionnement d'une centrale

⁵² Éric Naim-Gesbert, La loi de 1919 sur l'énergie hydraulique : retour et reprises, 2019.

https://droit.cairn.info/revue-juridique-de-l-environnement-2019-3-page-475?tab=te_xte-integral.

⁵³ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite>

⁵⁴ Ibid

4. Les composants des centrales hydroélectriques

Deux unités importantes constituent ces centrales :

4.1. Une prise d'eau ou une retenue

Dans le but d'assurer un fonctionnement continu en période de basses eaux, le réservoir de stockage est placé en avant, cela permettra de créer des chutes d'eau.

4.2. La centrale hydroélectrique, appelée aussi usine

La chute d'eau permet d'actionner les turbines puis d'entraîner un alternateur.

Un canal de dérivation creusé pourrait faciliter la déviation latérale de l'eau excédentaire se dirigeant vers un réservoir de barrage. Un dispositif d'évacuation des crues assure le passage sécurisé des crues de la rivière sans risque pour les ouvrages⁵⁵.

4.3. Les barrages

Plusieurs critères influents sur la création d'un barrage, on peut noter les matériaux présents sur place, la composition géologique et la configuration de la vallée aussi. Un point aussi important est celui de la gestion du passage des crues à travers les infrastructures.

Le type le plus courant est ceux des barrages obtenus par abattage à l'explosif dans des carrières ou prélevés dans des zones dédiées situées dans la zone de la future retenue. Ils sont souvent en remblai de terre ou d'enrochements.

L'étanchéité est primordiale, que ce soit avec des matériaux argileux ou du béton bitumineux, ou encore au niveau de la surface supérieure. Ce genre de barrage est adaptable à une grande diversité de géologies.

On peut trouver ainsi d'autres types tels que, les barrages poids bâtis maçonnerie ou en béton compacté permettant d'avoir des économies. Toutefois la bonne qualité du rocher de fondation est primordiale.

L'autre type est celui des barrages voutes en béton ajustés aux vallées relativement étroites et dont les rives sont constituées de rocher de bonne qualité. La subtilité de leurs formes permet de diminuer la quantité de béton et de réaliser des barrages économiques.

4.4. Les turbines

Afin d'actionner les alternateurs, la transformation de l'énergie cinétique du courant d'eau en énergie mécanique est réalisée par les turbines des centrales hydroélectriques.

La chute d'eau détermine le type de turbine utilisé⁵⁶ :

- Les turbines-bulbe peuvent être réversibles et fonctionner en pompe pour les très faibles hauteurs de chute (1 à 30 mètres).
- la turbine Kaplan est favorisée car ses pales sont généralement orientables ce qui permet

⁵⁵ Ibid

⁵⁶ Ibid

d'ajuster la puissance de la pour les faibles chutes (5 à 50 mètres) et les débits importants.

- la turbine Francis est utilisée pour les moyennes chutes (40 à 600 mètres) et moyen débit. L'eau entre par la périphérie des pales et est évacuée en leur centre ;
- la turbine Pelton est adaptée aux hautes chutes (200 à 1 800 mètres). Elle reçoit l'eau sous très haute pression par l'intermédiaire d'un injecteur (impact dynamique de l'eau sur l'auget).

L'installation de petites unités est facilitée par les turbines à prix bas ayant un rendement moindre dans le cas des petites centrales hydroélectriques⁵⁷.

4.5. Du moulin à la turbine

Il est probable que les barrages moulins remontent à la préhistoire, mais leur expansion notable en Europe et a eu lieu durant le Moyen-âge afin fournir de l'eau aux moulins, moudre le grain, traiter le tissu et préparer le cuir.

Au fil des années, les moulins ont été associés à des retenues en amont, réalisées grâce à de petits barrages en terre et en maçonnerie, dans le but de stocker de l'eau. Cela permettait durant la période sèche d'étaler la période d'activité du moulin et de fournir durant les heures de fonctionnement du moulin une puissance supplémentaire.

Vers la fin du XIXe siècle, la turbine a supplanté la roue hydraulique et les premières infrastructures hydrauliques pour la production d'électricité ont vu le jour, ce qui a permis de déplacer les usines loin des cours d'eau et de distribuer l'électricité générée par des unités de plus en plus grandes⁵⁸.

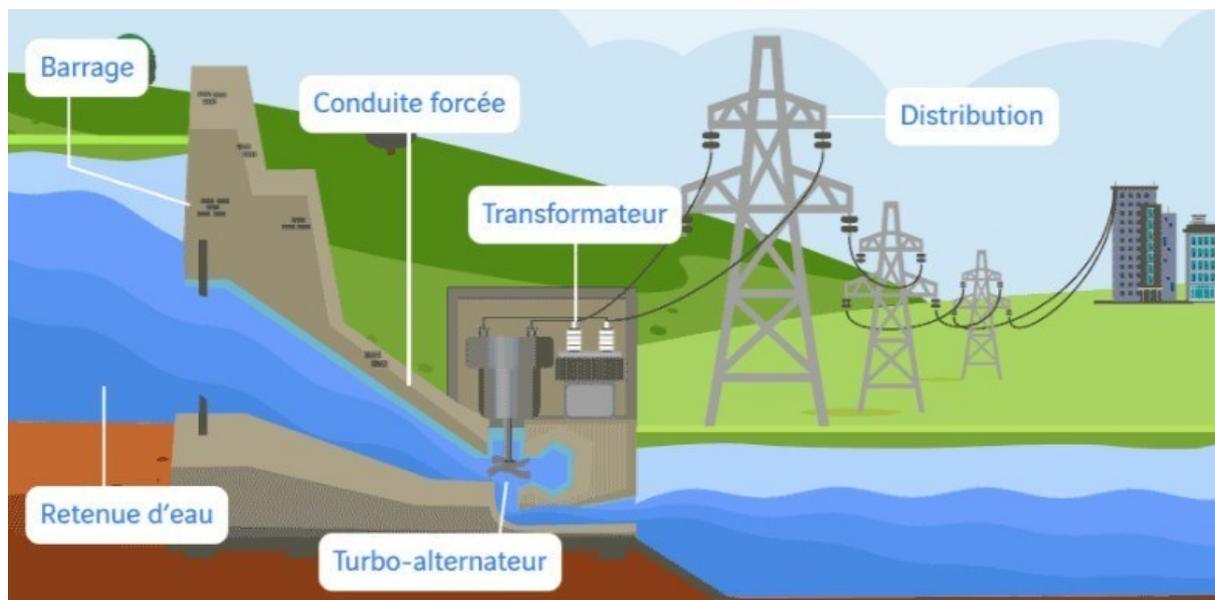


Figure 103. Fonctionnement d'une centrale hydroélectrique

5. Les diverses méthodes d'exploitation de l'énergie hydraulique

La production de l'énergie hydroélectrique est assurée par plusieurs types d'installations:

⁵⁷ EDF RetD, Pierre-Louis Viollet, Roger Ginocchio, L'énergie hydraulique, Technique Et Documentation, 2012.

⁵⁸ Ian Graham, L'énergie hydraulique, Gamma Jeunesse, 2004.

5.1. Les centrales de lacs

La retenue d'eau créée par le barrage est souvent associée à ces centrales.

C'est le grand réservoir qui favorise le stockage saisonnier de l'eau et la régulation de la production d'électricité. On fait appel à ces centrales de lac lors des pics de consommation pour répondre à la demande accrue.

Connues aussi sous le nom de centrales de haute chute, ces installations sont équipées de grands barrages formant des lacs de retenue capables de stocker d'importants volumes d'eau sur des périodes prolongées, allant de plusieurs mois à une année. Implantées principalement en zones montagneuses, elles exploitent de forts dénivelés pour produire de l'électricité, notamment lors des pics de demande⁵⁹.

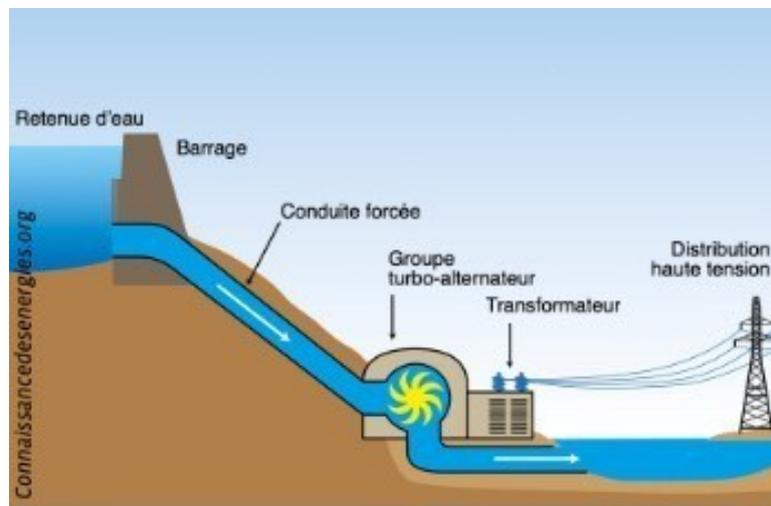


Figure 104. Centrale de lac

5.2. Les centrales gravitaires

Le débit d'eau et le dénivelé est assuré par les centrales gravitaires. Les paramètres qui influent sur le débit d'eau sont le débit turbiné Q et la hauteur de chute H ⁶⁰.

⁵⁹ <https://selectra.info/energie/guides/environnement/hydraulique>

⁶⁰ <https://www.connaissancesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite>

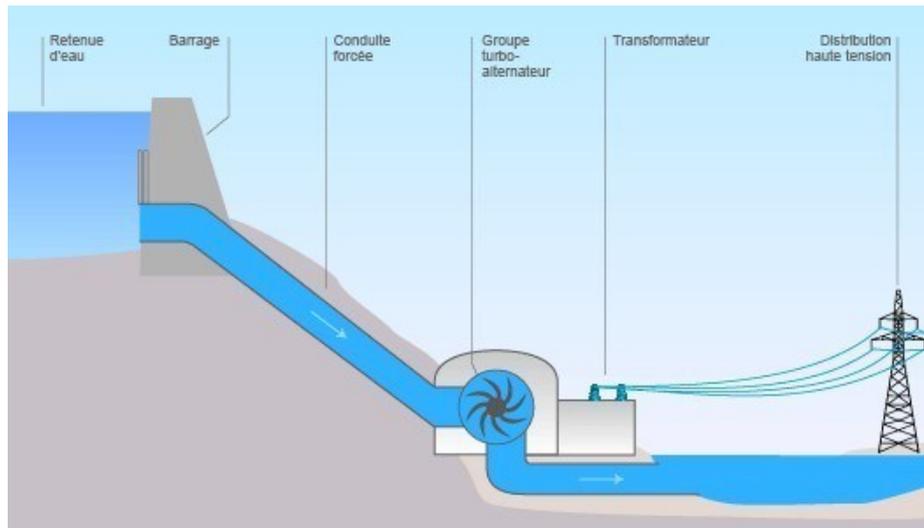


Figure 105. Principe de fonctionnement d'une centrale gravitaire

5.3. Les centrales au fil de l'eau

Ces équipements utilisent directement le débit naturel des cours d'eau sans former de réserves significatives. Elles produisent une électricité continue, proportionnelle au débit du cours d'eau, et sont souvent implantées sur de grands fleuves ou rivières à faible dénivelé⁶¹ ;

La production d'électricité est favorisée par l'exploitation du courant d'un fleuve et injectée directement dans le réseau électrique.

Ces ouvrages requièrent des modifications peu complexes et moins onéreuses que les autres typologies : des barrages réduits, des infrastructures de dérivation, des seuils destinés à détourner une portion du flux de la rivière vers la centrale, et vraisemblablement un réservoir si l'on désire générer de l'électricité uniquement pendant une certaine période du jour alors que le débit de la rivière reste assez stable⁶².

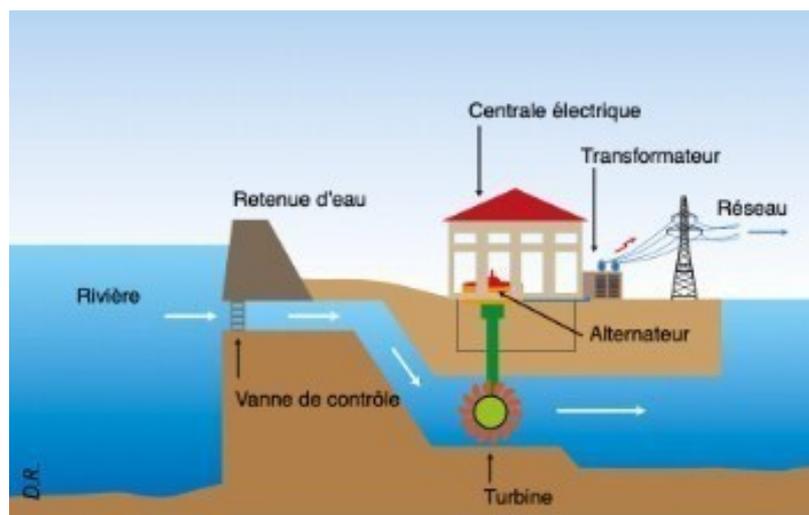


Figure 106. Centrale au fil de l'eau

⁶¹ <https://selectra.info/energie/guides/environnement/hydraulique>

⁶² <https://www.quiestvert.fr/contenus/electricite-verte/tout-ce-que-vous-devez-savoir-sur-lenergie-hydraulique/>

5.4. Les centrales d'écluse

Les barrages sur les grands fleuves à forte pente ou sur les canaux parallèles aux fleuves peuvent abriter de centrales d'éclusées. En présence de digues parallèles au fleuve, ils provoquent des chutes d'eau ne troublant pas la vallée ⁶³.

5.5. Les stations de transfert d'énergie par pompage ou STEP,

Les stations de transfert d'énergie par pompage ont le rôle d'assurer le stockage d'énergie. De ce fait, durant les cycles de haute consommation, la réutilisation est permise. Par contre, au courant de la basse consommation, c'est le pompage qui est recommandé. Dans ce type d'installations particulières, un réservoir est placé dans la partie haute et l'autre dans la partie basse. Il fonctionne comme un moteur ou un alternateur de stockage d'énergie pour la partie électrique et comme une pompe ou une turbine pour la partie hydraulique. Ce système a la capacité d'augmenter le stockage.

Un intervalle de 70% à 80%. Représente le rendement des STEP entre l'énergie produite et l'énergie consommée.

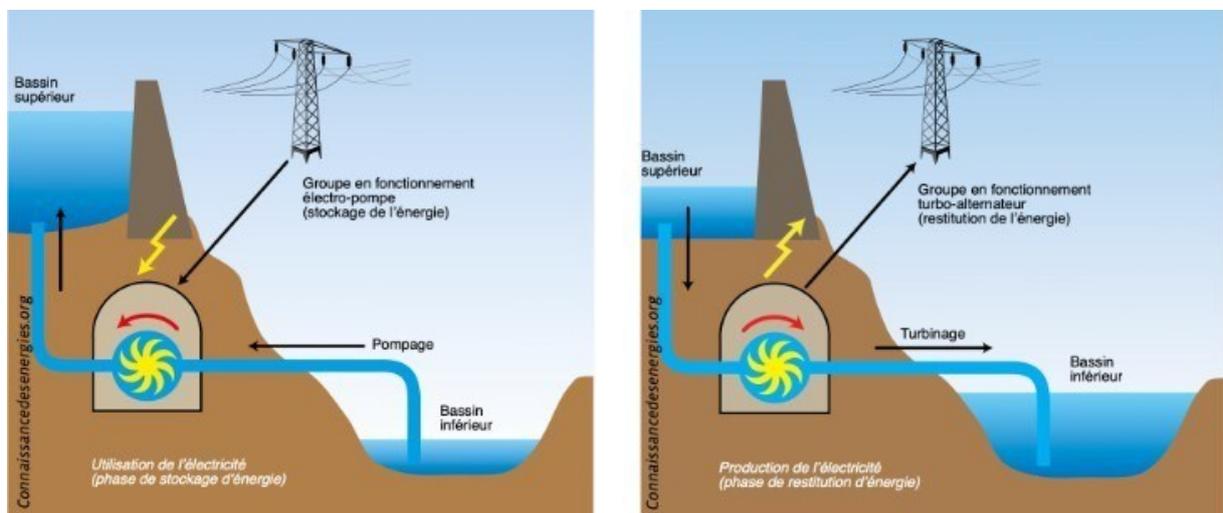


Figure 107. Principe de fonctionnement d'une station de transfert d'énergie par pompage

5.6. La « petite hydroélectricité » (PHE)

Les installations hydroélectriques de faible capacité de moins de 10 MW, sont le plus souvent construites sur des sites au fil de l'eau et sont appelées petite hydroélectricité. On les classe aussi en pico, micro ou mini centrales hydrauliques selon leur niveau de puissance.

6. Avantages et inconvénients de l'énergie hydraulique

Les avantages de la production électrique issue de l'énergie hydraulique sont mentionnés ci-dessous ⁶⁴ :

- La source d'énergie verte est à l'origine de l'hydroélectricité;
- Source d'électricité bas carbone. Donc elle contribue à la préservation de la planète face au réchauffement climatique ;

⁶³ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite>

⁶⁴ <https://selectra.info/energie/guides/environnement/hydraulique>

- Elle ne produit pas de déchets ;
- Elle permet d'éviter les interruptions imprévues du réseau grâce à ses réservoirs de stockage et d'assurer le contrôle des pics de requête d'électricité qui parviennent en hiver.
- Elle offre une rentabilité concernant le coût sur le moyen-long terme;
- Elle favorise l'épanouissement économique le développement économique et touristique des régions où elle est située.

Dans ce qui suit, les impacts négatifs de cette énergie sont mentionnés :

- L'écosystème environnant est étroitement impacté par la construction d'une retenue d'eau artificielle. D'où, certaines espèces animales ou végétales sont menacées par leur disparition.
- Le déplacement massif des populations causé par l'édification des infrastructures hydrauliques nécessitant des un espaces rationnels.
- La limite des surfaces d'exploitation de l'énergie hydraulique située aux endroits montagneux.
- De lourds investissements sont demandés par la production hydroélectrique;
- Les variations climatiques conditionnent la production de l'hydro-électricité. De ce fait, elle représente une source de production d'électricité instable, lors d'une sécheresse par exemple car les cours d'eau diminuent et par conséquent, la puissance motrice de l'eau s'affaiblit également.

7. Mesures la puissance d'une centrale hydraulique

La formule suivante représente la puissance d'une centrale hydraulique :

$$P = Q \cdot \rho \cdot H \cdot g \cdot r$$

Avec :

- P : puissance (exprimée en W) ;
- Q : débit moyen mesuré en mètres cube par seconde ;
- ρ : masse volumique de l'eau, soit 1 000 kg/m³ ;
- H : hauteur de chute en mètres ;
- g : constante de gravité, soit près de 9,81 (m/s/s) selon l'emplacement géographique ;
- r : rendement de la centrale (compris entre 0,6 et 0,9).

Au niveau mondial, l'hydroélectricité reste de loin la principale filière renouvelable d'électricité et la 3e toutes filières confondues (14,3% du mix électrique mondial en 2023), derrière le charbon (35,4%) et le gaz naturel (22,5%)⁶⁵.

⁶⁵ Global electricity review 2024, EMBER.

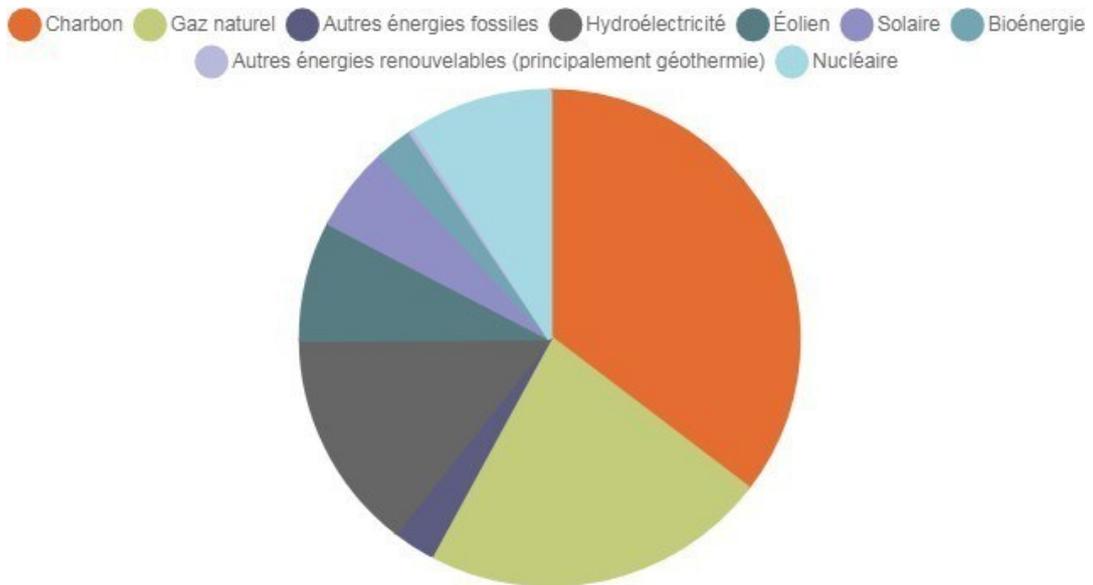


Figure 108. Part des énergies dans la production mondiale de l'électricité en 2023 (en %)

8. Exemple de Petites centrales hydroélectriques en Algérie

La Centrale Hydraulique Eraguene : Destinée à la production de l'énergie électrique, le barrage d'Erraguene est un barrage en béton multivoutes, de capacité initiale évaluée à 202 millions de m³. En 2014, le barrage est destiné à l'irrigation. Il est situé dans la wilaya de Jijel à environ 350 km à l'Est d'Alger. Il produit de l'électricité d'une puissance de 16 MW.

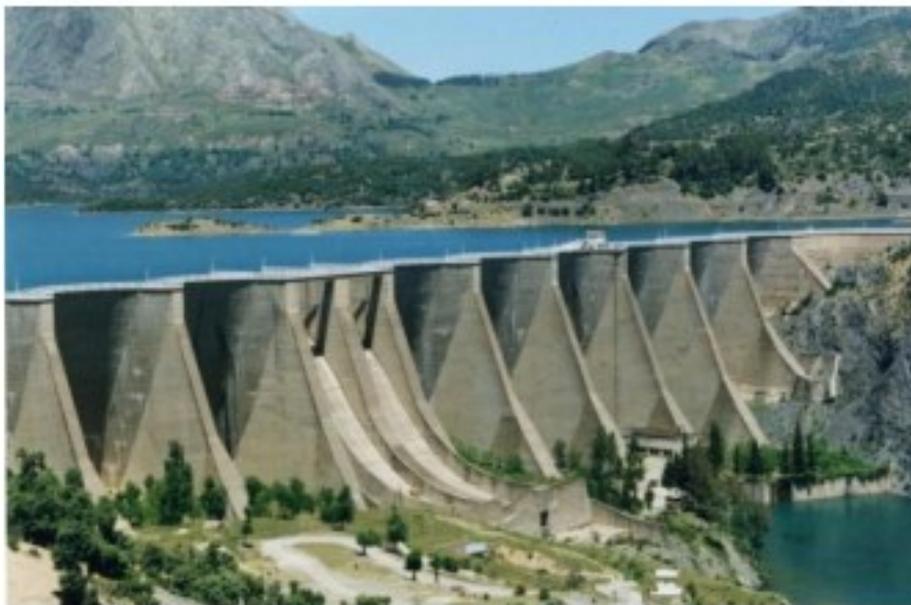


Figure 109. Aval du barrage d'Erraguene

9. Autres énergies renouvelables (Energie solaire)

Rappels sur le rayonnement solaire et l'Effet photovoltaïque

Le gisement solaire



Figure 110. *Gisement solaire au monde*

L'origine de l'énergie solaire

Par rayonnement électromagnétique, une toute petite partie de l'énergie arrive sur la terre.

L'énergie solaire reçue en un point de la sphère de la terre dépend de ⁶⁶ :

- Ce qui est reçu par la terre et émis par le soleil comme des alternances décennales, saisonnières, et ponctuelles.
- La nébulosité affectée par les nuages et brouillards.
- Les coordonnées solaires d'un point géographique déterminée par la latitude, la saison et l'heure et donc sur l'énergie reçue au sol par unité de surface.

Spectre normalisé du soleil

Les endroits des plus proches de pôles reçoivent un rayonnement solaire rasant, le flux solaire par m² est plus réduit⁷².

La masse du flux solaire varie en fonction de la saison, car la quantité de rayonnement reçue est modifiée au fil des saisons.



Figure 111. Densité du flux solaire

Effets atmosphériques sur le rayonnement

Trouble de Link : Obscurité dans le ciel clair, en absence de nuages généré par la brume, la poussière ou la vapeur d'eau.

Effets de l'orientation et de l'inclinaison

Un capteur photovoltaïque génère une production optimale lorsqu' il est positionné de manière perpendiculaire aux rayons solaires. Il doit être orienté vers le sud dans l'hémisphère nord, et être dirigé vers le nord dans l'hémisphère sud.

La période et de l'heure sont des facteurs déterminants dans la position du soleil.

Afin de maximiser la production durant l'année, on doit également opter pour une pente du panneau photovoltaïque prenant en considération plusieurs critères. La lumière du soleil est en fonction de la hauteur angulaire du soleil.

⁶⁶ <http://energetique.uae.ma/>

9.1. Le soleil

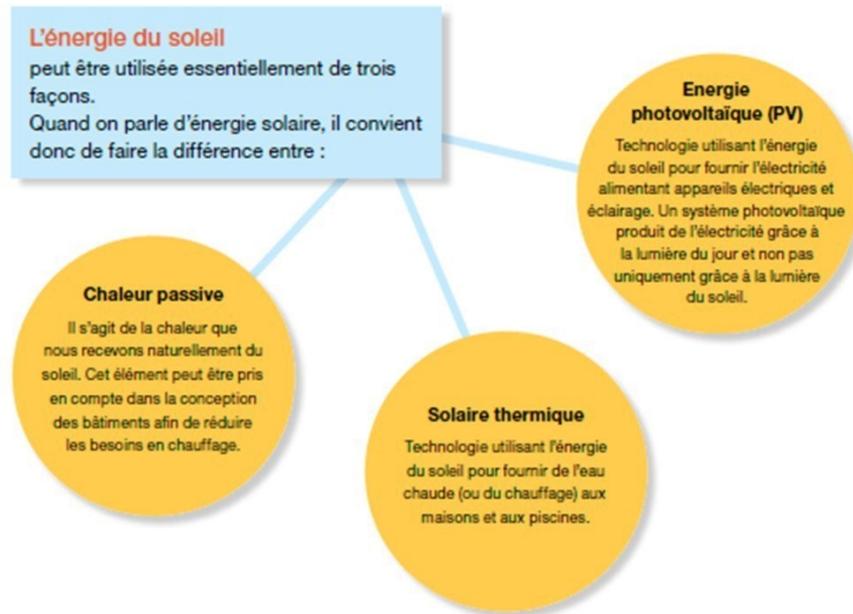


Figure 112. Potentiel de l'énergie solaire

L'effet photovoltaïque

C'est l'électricité générée par les matériaux semi-conducteurs dans la condition où ils sont exposés à la lumière. Ce qui provoque ce phénomène physique appelé « l'effet photovoltaïque ».

Le physicien français Alexandre- Becquerel l'a découvert en 1839.

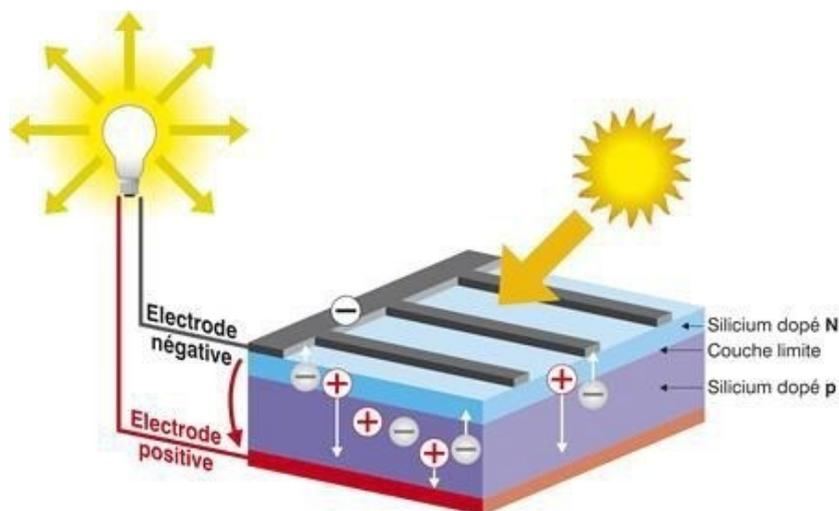


Figure 113. L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été peu utilisé jusqu'au début des années où il a connu un développement important du fait de ses applications spatiales.

L'électricité photovoltaïque est aujourd'hui largement répandue notamment dans le domaine de

l'injection au réseau électrique.

Plusieurs phénomènes physiques sont réunis et coïncidents dans l'effet photovoltaïque qui se définit par la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. En premier lieu, la lumière sera absorbée dans le matériau, les photons transfèrent aux particules chargées électriquement et la charge sera collectée.

Les panneaux sont constitués de cellules photovoltaïques reliées entre elles par soudure. Le silicium forme le matériau semi-conducteur.

Deux couches, une supérieure et l'autre inférieure des cellules dopé P ou N chargé en électrons.

9.2. Procédé de fabrication

La matière première est le cristallin de silicium, qui peut être découpé à partir de lingots de bandes de silicium ou déposées en couches fines sur un support économique.

La performance d'une cellule solaire est fonction du rendement de la transformation de la lumière du soleil en électricité. Sur le marché, le rendement des cellules photovoltaïques est environ 15%, ce qui est proportionnelle au pourcentage de la lumière du soleil frappant le panneau.

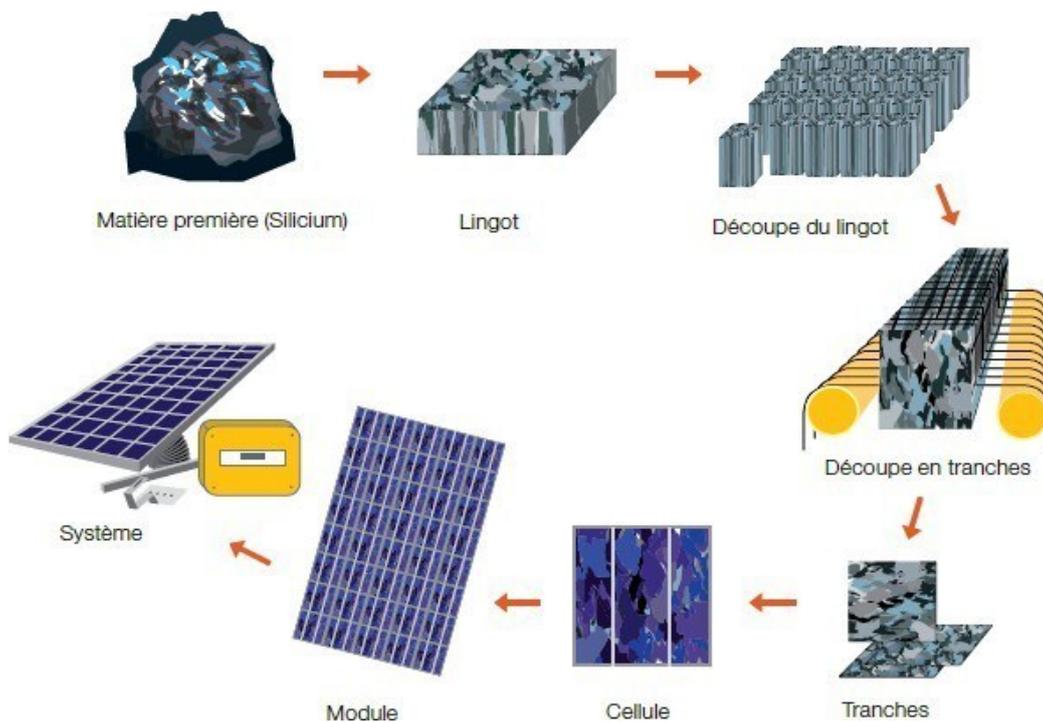


Figure 114. Fabrication du module photovoltaïque

9.3. Présentation des technologies photovoltaïques existantes

Technologie du silicium cristallin

Pour ce type, les fines couches prélevées d'un monocristallin ou d'un poly cristallin forment les cellules. Ils affichent une performance allant de 12% à 17%.

C'est la technologie la plus utilisée, constituant actuellement près de 90% du marché.

Trois principaux types de cellules cristallines peuvent être distingués :

- Monocristallines (Mono c-Si), polycristallines (Poly c-Si) et rubans (ribbon c-Si)

Technologie des couches minces (Thin Film)

Les modules à couches minces sont formés de couches extrêmement fines d'un matériau sensible à la lumière, déposées sur un substrat économique tel que le verre, l'acier inoxydable ou le plastique.

Les dépenses de production liées à la méthode des couches minces sont moindres comparées à celles de la technologie cristalline qui requiert plus de matières premières. Cependant, ce bénéfice de coût est compensé par des rendements qui sont généralement inférieurs (entre 5% et 13%).

Sur le marché, quatre types de modules en couches minces se présentent : le silicium amorphe (a-Si), le tellure de Cadmium (CdTe), le cuivre Indium/Gallium Diselenide/disulphide (CIS, CIGS) et les cellules multi-jonction (a-Si/m-Si).

9.4. Applications photovoltaïques

Plusieurs types d'applications peuvent y avoir :

Systèmes domestiques connectés au réseau

Dans des zones développées, il représente l'alternative la plus couramment utilisée pour les divers bâtiments et constructions. D'autant plus, il permet d'avoir un accès au réseau électrique local offrant la possibilité d'injecter et de vendre l'électricité générée. Dans certains cas, l'électricité est importée depuis le réseau si l'ensoleillement est insuffisant. La conversion de l'énergie du courant continu vers l'alternatif est assurée par l'onduleur, permettant ainsi l'alimentation des appareils électriques conventionnels.

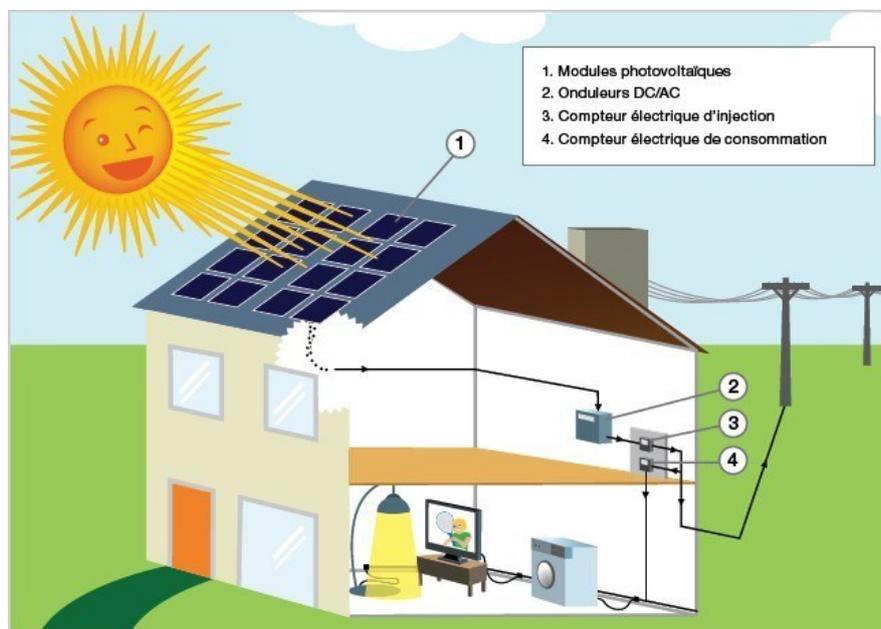


Figure 115. *Systèmes domestiques connectés au réseau*

Centrales connectées au réseau

Ces dispositifs produisent une grande quantité d'électricité photovoltaïque en un seul endroit. La taille de ces installations varie de plusieurs centaines de kilowatts à plusieurs mégawatts. Les aéroports ou les gares ferroviaires représentent les meilleurs sites pour ce cas. Ceci permet à la fois d'utiliser des espaces disponibles et de compenser en partie l'électricité consommée par ces activités énergivores.



Figure 116. Grande installation photovoltaïque

Systèmes isolés pour l'électrification rurale

Lorsque la connexion au réseau électrique n'est pas possible. La majorité des applications hors réseau sont mises en œuvre pour approvisionnement en électricité des régions isolées (comme les refuges de montagne ou les pays en développement). Il s'agit de petites installations solaires qui répondent aux besoins élémentaires en électricité ou des systèmes plus vastes et semi-connectés qui fournissent de l'électricité à plusieurs résidences des zones rurales.



Figure 117. Application isolée en Amérique du Sud

Systèmes hybrides

Le système hybride se récapitule en une association du système photovoltaïque avec une autre source d'énergie électrique, telle que la biomasse, l'éolien ou le générateur diesel, pour assurer une fourniture continue d'électricité. Un dispositif hybride peut se connecter au réseau, opérer de manière indépendante ou être soutenu par le réseau.



Figure 118. *Système hybride photovoltaïque-éolien*

Biens de consommation

Quelques utilisations de la vie quotidienne utilisent de petites cellules pour faire fonctionner les montres, calculatrices, jouets, chargeurs de batterie, toits de voitures par exemple.

D'autres services utilisent encore l'électricité photovoltaïque telle que l'arrosage automatique, la signalisation routière, l'éclairage public, et les cabines téléphoniques.



Figure 119. *Toit solaire utilisé pour refroidir la voiture*

Applications industrielles isolées

Certains secteurs industriels font recours à l'électricité solaire afin de relier les zones isolées au reste du territoire. On peut noter, l'aide à la navigation maritime, la signalisation routière et autoroutière, les téléphones d'urgence, des stations-relais et les installations de traitement des eaux usées.



Figure 120. *Utilisation du photovoltaïque pour une station de télécommunication isolée*

Installations électriques photovoltaïques autonomes

Le fonctionnement des récepteurs pour l'éclairage et l'équipement en site isolé est assuré directement par le champ photovoltaïque qui produit de l'électricité.

Dans le cas d'absence de l'ensoleillement, le système de régulation et de batterie d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique ⁶⁷⁷³.

⁶⁷ A. Ould mohamed yahya, ould mahmoud et i. Youm ; « Etude Et Modélisation D'un Générateur Photovoltaïque », revue des énergies renouvelable vol. 11 N°3 ; 2008.

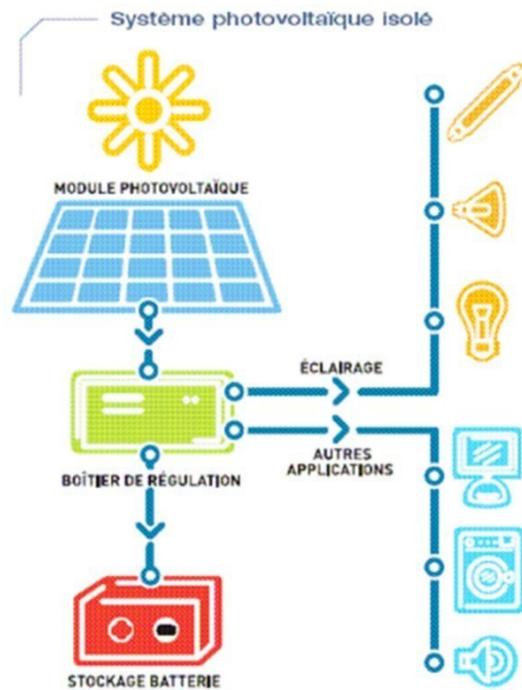


Figure 121. Installation photovoltaïque

Dans le cas du site isolé on utilise un onduleur et des récepteurs fonctionnant en courant alternatif⁶⁸⁷⁴.

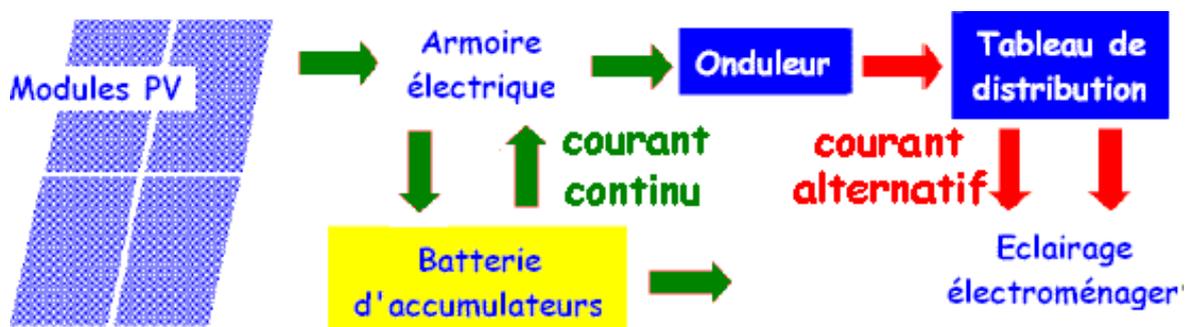


Figure 122. Fonctionnement du module photovoltaïque

La conversion du courant électrique continu en courant alternatif sera assurée par l'onduleur qui est un dispositif électronique et statique.

⁶⁸ Ibid.

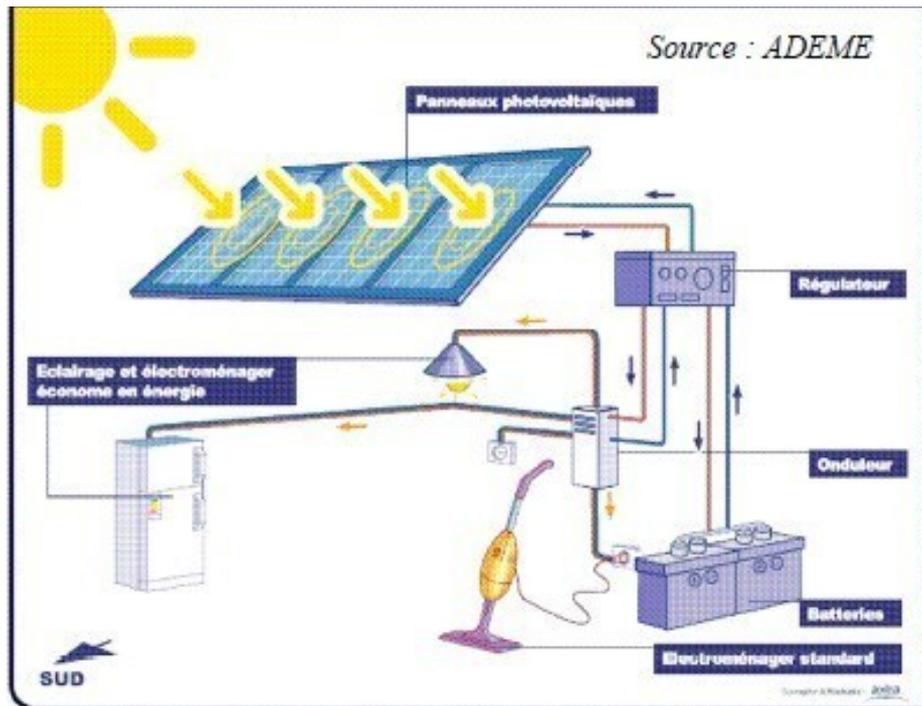


Figure 123. Schéma du fonctionnement des panneaux photovoltaïques

9.5. L'intégration architecturale solaire

Les architectes se doivent aujourd'hui d'harmoniser leurs outils d'expression artistique avec une performance énergétique optimale en dehors de leur fonction de conception visuelle de l'espace bâti. Une optimisation de la performance du solaire photovoltaïque aussi bien en été qu'en hiver peut être atteinte par l'incorporation du photovoltaïque (PV) dans les structures verticales et horizontales et peut aussi bénéficier d'un progrès esthétique et fonctionnel.

Plus d'électricité au bon moment

L'intégration des panneaux dans les façades orientées est ouest optimisent de l'énergie, contrairement à l'installation classique en toiture. Cela, à travers le rayonnement absorbé de l'est ou de l'ouest, reportant la production de l'électricité matin ou après-midi, amortissant ainsi les moments de pointe de la journée.

Un rendement optimal tout au long de l'année

Pour les pays ayant un climat froid, les panneaux verticaux sont beaucoup plus rentables car ils peuvent booster la production de l'électricité pendant l'hiver. Ceci permettra d'assurer une efficacité thermique et électrique durant l'année.

Plusieurs architectes célèbres intègrent des éléments photovoltaïques comme parti architectural et esthétique et élément technique dans les façades⁶⁹⁷⁵.

⁶⁹ <https://www.minergie.ch/fr/>



Figure 124. *Le nouvel opéra d'Oslo*

Lumière et couleur grâce aux panneaux PV high-tech

Dans l'exemple suivant du centre de conférences de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), l'intégration des cellules photovoltaïques translucides dans les façades vitrées ont pu mettre en valeur l'intérieur du bâti en procurant une harmonie lumineuse avec des teintes discrètes à l'intérieur.



Figure 125. *Les cellules Grätzel*

Du PV en façade pour des bâtiments à énergie positive

Les bâtiments à énergie positive sont certifiés pour les bâtiments neufs et anciens aussi grâce à la rénovation par les façades solaires. Certains bâtiments peuvent répondre à des besoins énergétiques et fonctionnels ainsi après rénovations grâce aux sources d'énergies propres intégrés.

10. Autres énergies renouvelables (Energie éolienne)

10.1. Définition de l'énergie éolienne

La conversion de l'énergie du vent en énergie électrique à travers une génératrice est assurée par une éolienne dénommée aussi aéro-générateur. D'où, la mise en rotation des pales est assurée par la puissance du rotor de l'éolienne.

De ce fait, le vent entraîne les pales qui, à leur tour, activent le générateur de l'éolienne. Le générateur, à son tour, convertit l'énergie mécanique éolienne en énergie électrique. Par conséquent, l'électricité pourra être transportée à nos habitations. Elle peut aussi être stockée pour une utilisation ultérieure.

La figure suivante illustre le principe de la conversion d'énergie d'une éolienne.

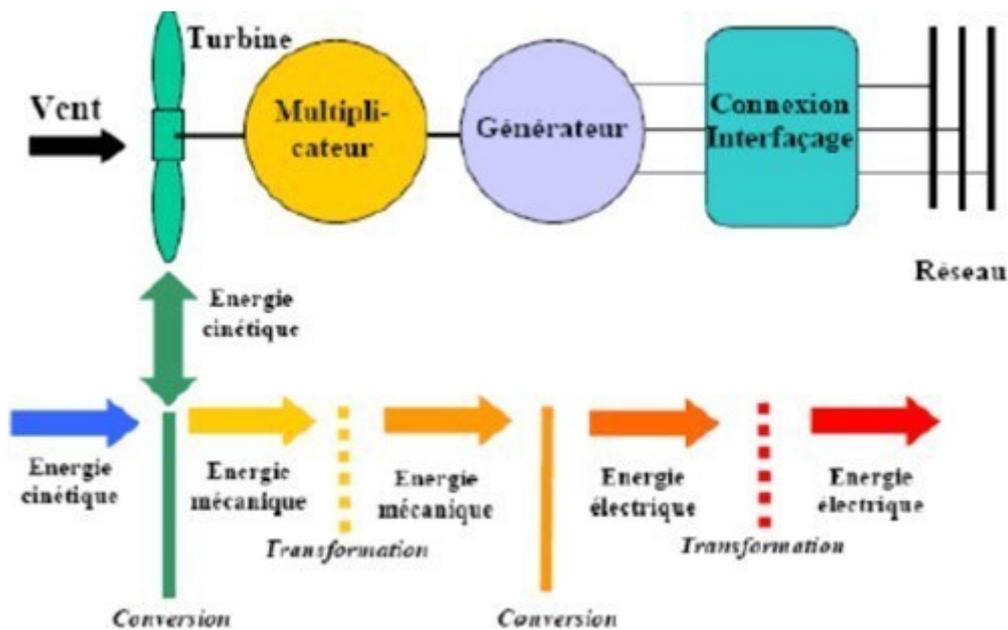


Figure 126. Conversion de l'énergie cinétique du vent

10.2. Classification des éoliennes selon la taille

Micro-éoliennes : situés en site isolé et couvrent des besoins très limités, donnant l'exemple des sites de pêche, des bateaux et des caravanes.

Mini-éoliennes : leur rôle essentiel est de recharger des batteries sur des sites isolés du réseau.

Eoliennes domestiques : couramment utilisés pour les particuliers. Le spectre est assez large, allant de rotors de 3 à 10 m de diamètre.

Petites éoliennes commerciales : elles sont typiquement conçues pour les petites entreprises, les fermes.

Moyennes éoliennes commerciales : elles sont typiquement utilisées pour les applications commerciales dans des fermes, des usines, des entreprises voire des petits parcs éoliens.

Grandes éoliennes commerciales : Elles sont les plus rentables et on les aperçoit dans les parcs éoliens modernes.

Eoliennes commerciales géantes : Elles sont très efficaces et issues des dernières générations technologiques, Leur emplacement est dans les parcs éoliens modernes en offshore⁷⁰.

10.3. Différents types d'aérogénérateurs

Utilisant l'énergie du vent, on trouve deux types de voilure , les aérogénérateurs à axe vertical (VAWT) et à ceux axe horizontal (HAWT).

Axe vertical (VAWT)

Les premières innovations éoliennes étaient développées à axe horizontal. Tous les organes de commande sont situés en bas et donc accessibles comme le générateur qui se présente au niveau du sol.



Figure 127. Exemples de constructions Darrieus et Savonius

Avantages: Elle est peu bruyante et présente une faible vitesse, elle n'a pas besoin d'être orientée face au vent, et l'équipement est présent au niveau du sol de l'éolienne.

Inconvénients: Le principal inconvénient réside dans le fait que palier bas doit supporter le poids de la turbine.

Trois types caractérisant cette technologie, Vertical Axis Wind turbine, les turbines Darrieus classique ou à pales droites (H-type) et la turbine de type Savonius.

Les voilures se présentent en plusieurs pales.

Actuellement les éoliennes à axe vertical sont peu utilisées et même délaissées grâce à leur efficacité qui diminuée du à son emplacement près du sol le rendant sensible à la turbulence du vent.

Axe horizontal (HAWT)

C'est la typologie à axe horizontal présentant un rotor face au vent qui est la plus répandue et utilisée, souvent à turbine bipale ou parfois tripale.

⁷⁰ B. Raison et al., « L'énergie électrique éolienne, Partie I: Présentation générale et approche probabilistique », Revue Internationale de Génie Electrique, vol. 5/3-4, pp.405- 484, 2002.

Cette typologie partage souvent des traits similaires. Initialement, il y a un pylône (tour) sur lequel la nacelle est installée. Cette nacelle abrite la génératrice et le système de transmission, autrement dit les composants de liaison mécanique entre le rotor et la génératrice. Cette dernière transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.



Figure 128. Eolienne à axe horizontal

Les avantages: ces machines réduisent le diamètre de la turbine ainsi que du bruit acoustique. Des grandes puissances sont aperçues, de l'ordre de 600 kW à plusieurs MW.

La turbine peut se trouver à l'avant de la nacelle ou à l'arrière : au vent ou sous le vent. L'avantage de ce dispositif est l'orientation face au vent afin d'éviter le système mécanique d'orientation, complexe, lourd et coûteux⁷¹⁷⁷.

⁷¹ Ibid.

L'inconvénient : Le changement de la direction du vent affecte directement le rendement des pales et fatiguent le système. Les pales se trouvant face au vent demeurent le plus utilisé par rapport à celui sous le vent.

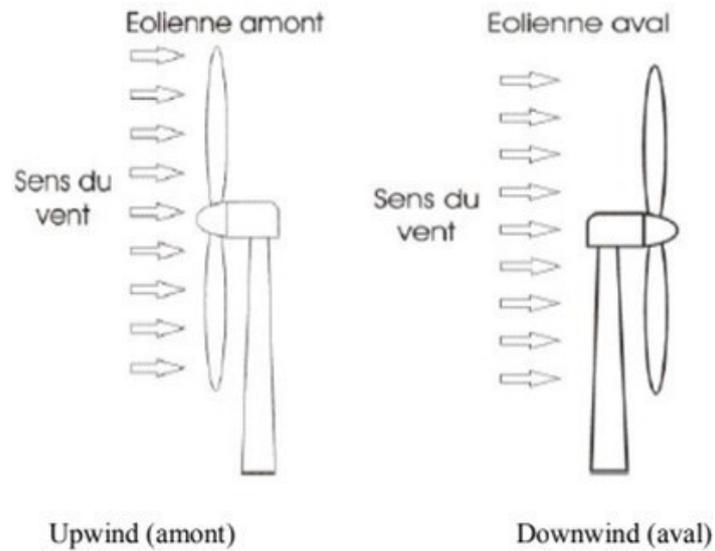


Figure 129. Type de montage de la voilure

10.4. Composantes d'une éolienne

L'éolienne est pour sa part, composée d'un rotor bi ou tri pale, bien souvent à axe horizontal, d'une génératrice à courant continu ou d'un alternateur et d'une nacelle qui permet de fixer et supporter le rotor et la génératrice⁷².

⁷² <https://fr.scribd.com/document/490701369/Polycopie-SA IDI-Hemza-pdf>

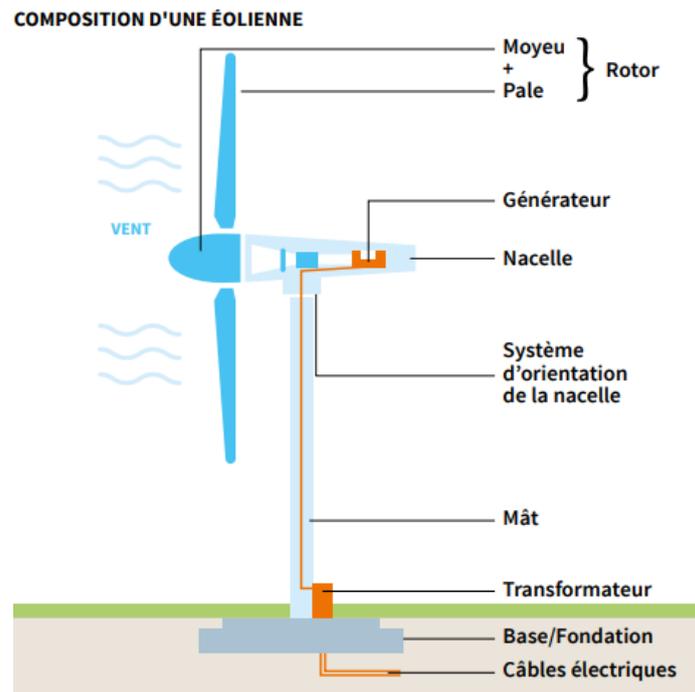


Figure 130. Composantes d'une éolienne

Les pales

Trois pales de longueur de 40 à 100 mètres et d'un poids de 6 à plus de 25 tonnes forment le rotor. Elles sont faites à base de fibre de verre et carbone et matériaux composites...

Arbre primaire

C'est le multiplicateur qui relie l'arbre secondaire au primaire. Ce dernier, maintient le rotor de la turbine de l'éolienne. IL tourne avec une vitesse de rotation allant de 10 tours/minute (tr/min) à plus 25 tr/min.

Multiplicateur

D'une manière idéale, la vitesse de de 1500tr/min est recommandée pour pouvoir faire fonctionner une génératrice. Et c'est le multiplicateur qui permettra de multiplier la vitesse de rotation de 20-40 tr/min à 1500 tr/min à l'aide d'engrenages.

Arbre rapide ou arbre secondaire

Il relie le multiplicateur à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque pour arrêter la rotation en cas de grand vent

La génératrice

Produit jusque 7,5 MW de puissance en transformant l'énergie mécanique en énergie électrique. Elle peut être :

Machine asynchrone avec multiplicateur

Machine synchrone qui sera une génératrice annulaire sans multiplicateur.

Contrôleur électronique

Son rôle principal est de superviser les différentes tâches des appareils de l'éolienne, comme le démarrage, le freinage, l'orientation des pales et de la nacelle, ainsi que le refroidissement du générateur... Il est souvent connecté au dispositif de mesure de l'anémomètre, et la girouette.

Outils de mesure

Ils sont présents au-dessus de la nacelle, nous pouvons noter l'anémomètre qui permet de mesurer la vitesse du vent, la girouette qui assure le suivi de la direction du vent.

Refroidissements

Le refroidissement de la génératrice et le multiplicateur est assuré par les ventilateurs et les radiateurs à eau et à huile.

Système d'orientation

Son rôle principal est d'orienter le rotor face au vent, pouvant pivoter la nacelle et collecter un maximum d'énergie du vent⁷³⁷⁹.

Le système d'orientation est monté sur le mât

La masse de la nacelle varie de 300 tonnes à plus de 500 tonnes. Ces valeurs sont données pour avoir une idée sur le poids que le système d'orientation devra orienter pour que le rotor soit face au vent.

Mât (ou tour)

Sa mission consiste également à soutenir conjointement le rotor et la nacelle pour empêcher les pales de toucher le sol, tout en positionnant le rotor à une altitude suffisante afin d'éloigner autant que possible le rotor du gradient de vent existant près du sol, améliorant ainsi la collecte d'énergie. Pour s'ajuster de manière optimale à divers emplacements d'installation, certains fabricants offrent plusieurs hauteurs de tours pour un même ensemble rotor et nacelle.

Ci-dessous quelques typologies de mats sont présentées :

Le mât haubané : Il est destiné à supporter des machines de faibles puissances. Il est moins coûteux et simple. Le mat en treillis : Reconnu par leur simplicité de mise en œuvre et leur bas coût mais peu accepté du à leur côté esthétique qualifié comme étant moindre.

Le mat tubulaire : est beaucoup plus élégant, mais le prix d'une telle tour peut atteindre trois ou quatre

⁷³ <https://fr.scribd.com/document/490701369/Polycopie-SA IDI-Hemza-pdf>

fois celui d'un pylône haubané.

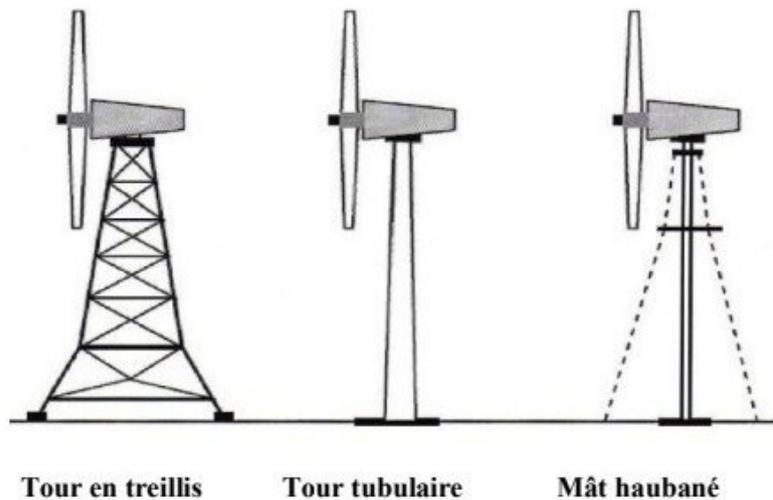


Figure 131. Typologies du mât

Choix du site de l'éolienne

Plusieurs paramètres interviennent lors du choix du site de l'éolienne, à savoir la turbulence du vent, la présence d'obstacles environnants, l'étendu de la surface du terrain et l'écosystème de faune ou de flore présents sur le site.

Carte du gisement éolien en Algérie

La carte des vents de l'Algérie, estimée à 10 m du sol et à 50 m du sol

Les moyennes annuelles de vitesse obtenues fluctuent entre 2 et 6,5 m/s. Excepté la région côtière (à l'exception de Bejaia et Oran), du Tassili et de Beni Abbés, on observe que la vitesse moyenne du vent dépasse 3 m/s. Effectivement, la partie centrale de l'Algérie présente des vitesses de vent qui oscillent entre 3 et 4 m/s, et cette vitesse s'amplifie à mesure qu'on se dirige vers le sud-ouest.

Le maximum est obtenu pour la région d'Adrar avec une valeur moyenne de 6.5 m/s. Cependant, on notera l'existence de plusieurs microclimats où la vitesse excède les 5 m/s comme dans les régions de Tiaret, Tindouf et Oran.

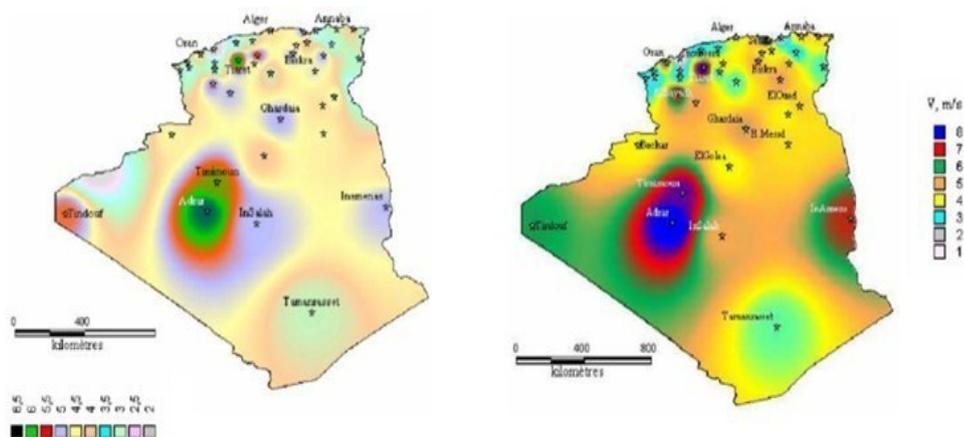


Figure 132. Gisement éolien en Algérie

Le tableau suivant compare les aspects techniques, économiques, environnementaux et d'usage es trois principales énergies renouvelables : hydraulique, éolienne et solaire.

Critère	Hydraulique	□ Éolienne	Solaire (photovoltaïque)
Source d'énergie	Force de l'eau (barrages, rivières)	Vent (cinétique de l'air)	Lumière du soleil
Technologie utilisée	Turbines hydrauliques	Éoliennes à axe horizontal ou vertical	Panneaux solaires photovoltaïques
Production d'énergie	Continue et stable (base)	Variable selon le vent	Intermittente (jour / météo)
Rendement énergétique	80 à 90 % (très élevé)	30 à 45 %	15 à 22 %
Coût de production (kWh)	Très faible	Faible à modéré	Variable
Investissement initial	Élevé (barrage, génie civil)	Moyen à élevé	Moyen à faible (modulaire)
Impact environnemental	Faune aquatique, inondation de zones	Bruit, impact visuel et oiseaux	Faible (matières premières + recyclage)
Durée de vie des installations	50 à 100 ans (barrages)	20 à 25 ans	25 à 30 ans
Maintenance	Faible à modérée	Moyenne	Faible
Stockage d'énergie	Facilité avec les barrages-réservoirs	Besoin d'un stockage externe	Batteries ou couplage réseau
Utilisation principale	Production massive (barrages, STEP)	Réseaux électriques + sites isolés	Autoconsommation, sites isolés, réseau
Production en Algérie	Faible (potentiel limité)	Moyen (Hauts plateaux, Sud)	Élevé (Sahara et régions ensoleillées)

Tableau 7. Tableau comparatif entre les trois types d'énergies

11. Conclusion

Des énergies renouvelables jouent un rôle essentiel dans la transition énergétique mondiale en offrant une alternative durable pour la consommation électrique, parmi elles l'énergie hydraulique occupe une place de choix grâce à son efficacité, sa fiabilité et son faible impact carbone.

Elle est produite à partir de la force de l'eau et présente plusieurs avantages majeurs. L'énergie hydraulique restera un pilier de production d'électricité renouvelable notamment grâce aux avancées technologiques visant à limiter son impact écologique. Son intégration à un mix énergétique diversifié (éolien, solaire) renforcera la transition vers une énergie plus propre et durable. En conclusion, bien que l'énergie hydraulique présente des défis, ses avantages en font une source d'énergie incontournable pour un avenir énergétique plus vert et plus résilient.

Références

- Antonin Pavard, Patricia Bordin, Anne Dony. Modélisation SIG de la voirie. Congrès INFRA, Nov 2018, Québec, Canada. (hal-02146710)
- A. Ould mohamed yahya, ould mahmoud et i. Youm ; « Etude Et Modélisation D'un Générateur Photovoltaïque », revue des énergies renouvelable vol. 11 N°3 ; 2008.
- Alexandre Houdas. Trames urbaines au fil de l'eau : l'hydraulique dans les villes de la civilisation de l'Indus (2500-1900 av. J.-C.). Sarah Georgel-Debedde; Camille Hut; Valentine Martin; Stèlio Poli. Le passé au fil de l'eau : L'eau et ses enjeux dans les sociétés anciennes, Archéo.doct, 17, Éditions de la Sorbonne, 2024, 9791035110086. ff10.4000/books.pSORbonne.115829ff. ffhalshs-04537598
- Bernard Legube, Production d'eau potable - 2e édition, Procédés de traitement, paramètres de qualité, impacts du changement climatique, Dunod, 2021.
- B. Raison et al., « L'énergie électrique éolienne, Partie I: Présentation générale et approche probabilistique », Revue Internationale de Génie Electrique, vol. 5/3-4, pp.405- 484, 2002.
- Bedjaoui. A, Achour. B, détermination des débits en route dans un réseau maille parla méthode du modèle rugueux de référence (MMR), Courrier du Savoir – N°19, Mars 2015, pp.139-146.
http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/7255/1/ARTICLE_19.pdf. Cahier des prescriptions techniques, réalisation de réseaux et de branchements d'eaux usées, Sag, 2019.
- Bliefert C., Perraud R., 2004. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de Boeck. 256p
- EDF RetD, Pierre-Louis Violette, Roger Ginocchio, L'énergie hydraulique, Technique Et Documentation, 2012.
- Éric Drouart, Alimentation en eau des populations menacées , Hermann, édition des sciences et des arts, 2018.
- Global electricity review 2024, EMBER.
- Hydrologie Et Hydraulique Urbaine en Réseau d'Assainissement, formation d'ingénieur, Vazquez, 2013.
- Ian Graham, L'énergie hydraulique, Gamma Jeunesse, 2004.
- J. Bonnin, aide-mémoire d'hydraulique urbaine, Jacques bennin, 1982.
- Katia Bellagh. Valorisation des sols urbains faiblement pollués dans les travaux de terrassement : le devenir des polluants dans les sols traités compactés. Géotechnique. Université Paris-Est, 2017. Français. ffNNT : 2017PESC1025ff. fftel-01734542f
- Les ouvrages types assainissement, référentiel conception et gestion des ouvrages d'assainissement, édition Mars 2017, Grand Lyon.
- MM. Adto et Cordier, Le guide de la plomberie, ooreka, Fine Media, 2012, 104

<http://plomberie.ooreka.fr/ebibliotheque/liste>.

- Malick Diakhaté. Fatigue et comportement des couches d'accrochage dans les structures de chaussée. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Limoges, 2007. Français. ffNNT : ff. ffile-00521906f.
- MONTGINOUL, M. (2006). Les eaux alternatives à l'eau du réseau d'eau potable pour les ménages : un état des lieux. Sciences Eaux & Territoires, (45 Ingénieries-EAT), 49–62. Consulté à l'adresse <https://revue-set.fr/article/view/6144>
- Olivier Thual, hydraulique pour l'ingénieur généraliste, Cépadués, 2018.
- Pascal Bartout, Laurent Touchart, L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface, Ann. Géo., n° 691, 2013, pages 266-289. <https://doi.org/10.3917/ag.691.0266>.
- Régis Bourrier, Les réseaux d'assainissement Calculs, applications, perspectives, Lavoisier, 2008.
- RINAUDO, J. (2013). Prévoir la demande en eau potable : une comparaison des méthodes utilisées en France et en Californie. Sciences Eaux & Territoires, (10), 78–85. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2013.10.11>
- Us. EPA, EPA' MOU, Partnership, improving communication, cooperation, and coordination in decentralized wastewater management.
- https://elearning.centre-univ-mila.dz/a2024/pluginfile.php/21639/mod_resource/content/4/POLYCOPIE%20VRD%20R%20ABADA.pdf
- <https://selectra.info/energie/guides/environnement/hydraulique>.
- <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite>.
- <https://Annales.org/ri/2000/05-2000/mourey032-040.pdf>
- <https://selectra.info/energie/guides/environnement/hydraulique>.
- <https://www.quiestvert.fr/contenus/electricite-verte/tout-ce-que-vous-devez-savoir-sur-lenergie-hydraulique/>.
- <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/histoire-des-eaux-usees/>
- [http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Bouche_d%27%C3%A9gout_\(HU\)](http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Bouche_d%27%C3%A9gout_(HU))
- <https://www.minergie.ch/fr/>
- Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, disponible sur <https://portail.cder.dz/spip.php?article1573>.