RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - MSILA

INSTITUT DE GESTION DES TECHNIQUES URBAINES (G.T.U)

DEPARTEMENT DE LA VILLE ET DE L'URBANISME

POLYCOPIE DE COURS

Destiné aux étudiants de la deuxième année licence- Spécialité Urbanisme

INFRASTRUCTURES

(VOIRIES ET RESEAUX URBAINS)







➢ *Auteur* : ***KADRI Derradji (MCA)***

➢ *Email* : *derradji.kadri@univ-msila.dz*

Avril 2026

Extrait du Canevas 2025-2026

Palier				**LICENCE 2**				
Semestre				**3**				
Unité d'enseignement			**UED 3**	**Cours**	**Td**	**TP**	**Atelier**	**Stage**
Coef.	**2**	**Crédit**	**2**	**1h30**	**1h30**			
Intitulé de la matière		**Matière 1**						
• **Infrastructures (Voirie et Réseaux urbains)**								

OBJECTIFS DE LA MATIÈRE D'ENSEIGNEMENT *:*

Acquisition des connaissances de base techniques, juridiques et administratives concernant la voirie et les réseaux. Comme il a pour but de donner des connaissances spécialisées dans le domaine de la route, des voiries et réseaux, pour permettre une prise en main d'un projet concret, avec ses différentes dimensions.
La considération de la voirie comme étant une infrastructure (réseaux techniques), nécessitant la mise en œuvre d'une conception géométrique et des calculs.
Cette matière permettra aux étudiants de :
Connaître les principales caractéristiques de l'équipement de la route et de la voirie urbaine.
Etapes des projets existants.
Evolution des méthodes.
Evolution de l'organisation.
Evolution des principes d'aménagement

CONTENU DE LA MATIÈRE *:*

Généralités

Voirie

- Généralités
- Classification des voies
- Eléments d'études de la circulation Urbaine
- Travaux de terrassement et calcul des cubature
- Caractéristiques géométriques des voies urbaines non rapides
- Le tracé des voies

- Le tracé des carrefours
- Le stationnement
- Les techniques d'entretien de la voirie

Espaces publics

- Typologies des espaces publics
- Mobilier urbain
- Éléments de conception des espaces publics
- Gestion et entretien des espaces publics
- Sécurité des espaces publics
- Accessibilité des espaces publics

Éclairage public

- Généralité- Éclairage extérieure- Éclairage d’ambiance les lampes
- Les différentes technologies d'éclairage public
- Méthodes de calcul –hypothèse de calcul
- Calcul des sections
- Bilan des puissances
- Mise à la terre
- Appareillages électriques
- La gestion et la maintenance de l'éclairage public.
- Les enjeux de la performance énergétique et de la réduction de la pollution lumineuse

Collecte des ordures ménagères

- La collecte et le transport des déchets
- La planification et l'organisation des réseaux
- Les différentes filières de traitement des déchets
- Le tri et le recyclage des déchets
- La valorisation des déchets
- Les enjeux de la réduction et de la prévention des déchets

Gestion des infrastructures urbaines

- Acteurs de gestion
- Mode de gestion
- Outils de gestion

• Enjeux de durabilité

MODE D'ÉVALUATION :

- Examen : 60 %
- Contrôle Continu : 40%

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Clergeau P. ; Nathalie Blanc N. Trames vertes urbaines : De la recherche scientifique au projet urbain. Paris : Editions Le Moniteur.

Collectif. (1999). Infrastructures et formes urbaines. Paris : Editions L'Harmattan.

Couillet. R. (2019). Éclairage des espaces extérieurs : Projet, installation, maintenance, coût. Editions Le Moniteur.

Abdo J., (2009). Voiries et aménagements urbains en béton, Mise en œuvre, TOME 2.

Abdo J., (2009). Voiries et aménagements urbains en béton, CCTP type

Bordereau de prix unitaire – BPU, Détail estimatif - DE, TOME 3.

Gérard Karsenty, 2004, Guide pratique des VRD et Aménagements extérieures, Groupe Eyrolles.

Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, 2006, Conception et mise en œuvre des travaux de VRD, Document Technique Règlementaire, Centre National d'Etude et de Recherches Intégrées du Bâtiment.

TABLE DE MATIERE

Introduction Générale 1

CHAPITRE 1 : La Voirie Urbaine : Conception, Gestion et Entretien

I. Généralités et Classification des Voies 3
I.1. Définitions et Fonctions de la Voirie 3
I.2. Le Réseau de Voirie comme Système Hiérarchisé 3
I.3. Classification Fonctionnelle 3
1.4. Classification Administrative et Domaniale 4
II. Éléments d'Études de la Circulation Urbaine 4

II.1. Objectifs des Études de Circulation 4
II.2. Méthodes de Collecte de Données 4
II.3. Indicateurs Fondamentaux et Modélisation 5
II.4. La Modélisation de la Circulation 5
III. Travaux de Terrassement et Calcul des Cubatures 6
III.1. Principes du Mouvement des Terres 6
III.2. Études Préalables 7
III.3. Méthodes de Calcul des Cubatures 7
III.3.1. Méthode des profils en travers 7
III.3.2. Méthode par Modèles Numériques de Terrain (MNT) 8
III.4. Engins de Terrassement 8
IV. Caractéristiques Géométriques des Voies Urbaines non Rapides 10
IV.1. Le Profil en Travers Type 10
IV.2. Dimensionnement des Composants 10
IV.3 Constitution des chaussées : les différentes couches 11
IV.3.1. Pourquoi la chaussée est-elle formée de plusieurs couches ? 11
VI.4. Le Profil en Long 11
IV.4.1. Pentes et Déclivités 11
IV.4.2. Raccordements Verticaux 12
IV.5. Le Profil en Travers pour l'Évacuation des Eaux 12
V. Le Tracé des Voies (Tracé en Plan) 12
V.1. Contraintes du Tracé en Milieu Urbain 12
V.2. Éléments du Tracé en Plan 13
V.3. Coordination Tracé en Plan / Profil en Long 14
V.4. Visibilité et Distance d'Arrêt 14
VI. Le Tracé des Carrefours 15
VI.1. Fonctions et Principes d'un Carrefour 15
VI.2. Types de Carrefours Plans 15
VI.2.1. Carrefours à priorité (Stop / Cédez-le-passage) 15
VI.2.2. Carrefours à feux tricolores 15
VI.2.3. Carrefours giratoires 15

VI.3. Carrefours à Niveaux Dénivelés (Échangeurs) 16
VI.4. Aménagements pour les Usagers Vulnérables 17
VII. Le Stationnement 17
VII.1. L'Enjeu du Stationnement en Ville 17
VII.2. Typologies du Stationnement 17
VII.3. Réglementation et Gestion 19
VII.4. Conception des Aires de Stationnement 19
VIII. Les Techniques d'Entretien de la Voirie 20
VIII.1. Pathologies des Chaussées 20
VIII.2. Stratégies et Techniques d'Entretien 22
VIII.3. Auscultation des Chaussées 22
Conclusion 23

CHAPITRE 2 : Les Espaces Publics : Conception, Gestion et Enjeux Contemporains

I. Espaces Publics : Définitions, Histoire et Enjeux 25
II. Typologies des Espaces Publics 25
II.1. Les espaces linéaires, ... 25
II.2. Les espaces ouverts 26
II.3. Les espaces innovants ou émergents 28
III. Le Rôle Central du Mobilier Urbain 28
III.1. Fonctionnalité et Esthétique : Un Équilibre Essentie 28
III.2. Les éléments de coordination naturels 29
III.2.1 Les arbres et les palmiers 29
III.2.2 Les arbustes 29
III.2.3 Les plantes grimpantes et Purlins 29
III.2.4 Plantes herbacées et gazon nature 30
III.2.5 Les fleurs 30
III.2.6 Les bacs à fleurs et arbres 31
III.3. Meuble d'esthétique de beauté 31
III.3.1. Les Fontaines 31
III.3.2. Les Sculptures et les Statuts 32
III.4. Meuble de Confort 32
III.4.1. Les Bancs d'assis 32
III.4.2. Les pergolas 33
III.4.3. Les horloges publics 33
III.4.4. L'Éclairage et mobilier d'éclairage 34
III.4.5. Mobilier de protection et de sécurité 34
III.4.6. Mobilier de transport 35
III.4.7. Mobilier d'hygiène 35
IV. Éléments de Conception des Espaces Publics 36
IV.1. Principes Fondamentaux de Conception 36
IV.2. Végétalisation et Conception Écologique 37
IV.3. L'Éclairage Public comme Outil d'Aménagement 38

V. Gestion et Entretien des Espaces Publics 38
V.1. Vers une Gestion Durable et Intégrée 38
V.2. Entretien du Mobilier et des Infrastructures 39
VI. Sécurité et Sûreté dans les Espaces Publics 40
VI.1. Le Rôle de l'Aménagement dans la Prévention 40
VI.2. Stratégies de Sécurisation Face aux Nouvelles Menaces 41
VII. Accessibilité Universelle des Espaces Publics 41
VII.1. Cadre Réglementaire et Chaîne du Déplacement 41
VII.2. Prescriptions Techniques pour une Ville Inclusive 42
Conclusion 43

CHAPITRE 3 : L'Éclairage Public

1.Généralités sur l'Éclairage Public 45
I.1. Définition et Fonctions de l'Éclairage Extérieur 45
I.2. Éclairage d'Ambiance et Mise en Valeur 45
II. Les Différentes Technologies d'Éclairage Public 46
II.1. Technologies à Décharge 46
II.2. La Révolution de la Technologie LED 48
II.3. Solutions Émergentes : Éclairage Solaire et Intelligen 48
II.4. Tableau Comparatif des Technologies 49
II.5. Types d'implantation des lampadaires 50
II.5.1. L'implantation unilatérale 50
II.5.2. L'implantation bilatérale en vis-à-vis : 50
II.5.3. L'implantation bilatérale en quinconce 50
II.5.4. L'implantation Retro bilatérale : 50
II.5.5. L'implantation axiale : 50
III. Méthodes de Calcul pour les Installations d'Éclairage 51
III.1. Hypothèses de Calcul et Études Photométriques 51
III.2. Calcul des Sections de Câbles 52
III.3. Bilan de Puissance 52
IV. Composants et Sécurité des Réseaux 53
IV.1. La Mise à la Terre des Installations 53
IV.2. Appareillages Électriques et Protection 54
V. Gestion, Maintenance et Communication 54
V.1. Stratégies d'Exploitation et de Maintenance 55
V.2. Technologies de Communication pour l'Éclairage Intelligent 55
VI. Enjeux de Performance Énergétique et de Réduction de la Pollution Lumineuse 56
VI.1. La Performance Énergétique : Un Levier Économique et Écologique 56
VI.2. La Pollution Lumineuse : Impacts et Solutions 57
VI.2.1. Impacts de la pollution lumineuse 57
VI.2.2Cadre réglementaire et solutions techniques 57
Conclusion 58

CHAPITRE 4 :La Collecte des Ordures Ménagères

1. Introduction : Contexte et Enjeux de la Gestion des Déchets 60
II. La Collecte et le Transport des Déchets : Logistique et Optimisation 61
II.1. Modèles de Collecte : Porte-à-porte et Apport Volontaire 61
II.2. Logistique du Transport et Schémas Inverses 61
II.3. Optimisation des Circuits de Collecte 62
III. Planification et Organisation des Réseaux de Gestion 62
III.1. Le Rôle Central de la Planification Stratégique 62
III.2. Coordination des Acteurs et Responsabilité Élargie du Producteur (REP) 63
IV. Les Filières de Traitement et de Valorisation des Déchets 63
IV.1. Panorama des Filières de Traitement 63
IV.2. Le Tri et le Recyclage : Technologies et Performances 64
IV.3. La Valorisation des Déchets : Matière, Énergétique et Agronomique 66
IV.3.1. La valorisation matière (Recyclage) 66
IV.3.2. La valorisation énergétique 66
IV.3.3. La valorisation agronomique (ou organique) 66
V. Enjeux Stratégiques : Prévention, Réduction et Économie Circulaire 66
V.1. La Prévention et la Réduction à la Source 66
V.2. Impacts Environnementaux et Sanitaires 67
V.3. Vers une Économie Circulaire : Le Déchet comme Ressource 67
Conclusion 69

CHAPITRE 5 : Gestion des Infrastructures Urbaines : Acteurs, Modes, Outils et Enjeux de Durabilité

I. Introduction 71
I. Les Acteurs de la Gestion des Infrastructures Urbaines 72
I.1. Les Acteurs Publics : Le Cadre Référentiel 72
I.1.1 L'État et ses agences 72
I.1.2 Les collectivités territoriales 72
I.2. Les Acteurs Privés : Partenaires et Opérateurs 72
I.2.1 Les grands groupes de services 72
I.2.2 Bureaux d'études, ingénierie et fournisseurs 73
I.3. La Société Civile et les Usagers : Vers une Co-construction 73
I.3.1 Associations et comités de quartier 73
I.3.2 Le citoyen-capteur et "prosommateur" 73
II. Les Modes de Gestion des Services Urbains 75
II.1. La Gestion Directe en Régie 75
II.2. La Gestion Déléguée et ses Variantes 75
II.2.1 La Concession : 75
II.2.2 L'Affermage : 75
II.2.3 La Régie intéressée 75
III.3. Les Partenariats Public-Privé (PPP) 76
III. Les Outils de Gestion et de Pilotage 77

III.1. Outils de Planification Stratégique 77
III.1.1 Les Schémas Directeurs : 77
III.1.2 Les documents d'urbanisme : 77
III.1.3 La Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI) 78
III.2. Systèmes d'Information et de Gestion Technique 78
III.2.1 Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) 78
III.2.2 La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) 78
III.2.3 La modélisation et la simulation 78
III.3. L'Apport des Technologies de la Ville Intelligente (Smart City) 78
III.3.1 L'Internet des Objets (IoT) : 78
III.3.2 Les plateformes d'hypervision : 78
III.3.3 L'Intelligence Artificielle (IA) et la maintenance prédictive : 78
III.3.4 Le Jumeau Numérique (Digital Twin) 78
IV. Les Enjeux de Durabilité dans la Gestion des Infrastructures 79
IV.1. La Durabilité Économique et Financière 79
IV.1.1 Le "mur d'investissement" et la gestion patrimoniale 79
IV.1.2 L'analyse en coût global 80
IV.2. La Durabilité Sociale et l'Équité Territoriale 80
IV.2.1 L'accessibilité et la lutte contre les précarités 80
IV.2.2 La participation citoyenne et l'acceptabilité 80

IV.3. La Durabilité Environnementale et la Résilience Climatique 80
IV.3.1 L'économie circulaire et la gestion des ressources 80
IV.3.2 La transition énergétique et la réduction de l'empreinte carbone 80
IV.3.3 L'adaptation au changement climatique et la résilience 81
Conclusion 82
Bibliographie 83

Introduction Générale

La voirie urbaine constitue l'épine dorsale de toute agglomération, structurant l'espace, conditionnant les déplacements et supportant une multitude d'activités économiques et sociales. Bien plus qu'un simple réseau de chaussées destinées à la circulation automobile, la voirie est un espace public complexe et multifonctionnel, partagé par divers usagers : piétons, cyclistes, usagers des transports en commun et automobilistes. Sa conception, sa gestion et son entretien représentent des enjeux majeurs pour les collectivités, influençant directement la qualité de vie des citoyens, l'attractivité du territoire et la durabilité environnementale de la ville.

Historiquement conçue pour répondre aux impératifs de la circulation motorisée, la voirie urbaine fait aujourd'hui l'objet d'une profonde remise en question. Les défis contemporains tels que la congestion, la pollution atmosphérique, le changement climatique et la nécessité de promouvoir les mobilités actives imposent une nouvelle vision de la rue. Il ne s'agit plus seulement de garantir la fluidité du trafic, mais de créer des espaces publics apaisés, sûrs, accessibles à tous et intégrés à leur environnement (Lefebvre, 2000).

Ce rapport de recherche se propose d'explorer les multiples facettes de la voirie urbaine, depuis les concepts fondamentaux jusqu'aux techniques les plus opérationnelles. L'objectif est de fournir une synthèse structurée des connaissances et des bonnes pratiques relatives à la conception, à la gestion et à l'entretien des infrastructures de voirie en milieu urbain.

Le document est organisé en huit chapitres thématiques. Le premier chapitre pose les bases en définissant la voirie et en présentant ses différentes classifications. Le deuxième aborde les études de circulation, indispensables à toute démarche de diagnostic et de planification. Le troisième chapitre se concentre sur les aspects techniques des travaux de terrassement. Les chapitres quatre, cinq et six sont consacrés à la conception géométrique des voies et des carrefours, éléments clés de la sécurité et de la fonctionnalité du réseau. Le septième chapitre traite de la question cruciale du stationnement. Enfin, le huitième chapitre examine les stratégies et techniques d'entretien visant à préserver ce patrimoine essentiel. La conclusion synthétise les principaux enseignements et ouvre des perspectives sur les futurs enjeux de la voirie urbaine.

CHAPITRE 1 :

La Voirie Urbaine : Conception, Gestion et Entretien

I. Généralités et Classification des Voies

I.1. Définitions et Fonctions de la Voirie

La voirie peut être définie comme l'ensemble des voies de communication (rues, avenues, boulevards, etc.) et de leurs dépendances (trottoirs, accotements, places, etc.) qui sont ouvertes à la circulation publique sur le territoire d'une collectivité. Au-delà de sa fonction première de support aux déplacements, la voirie remplit plusieurs rôles essentiels (**Vigier, 2009**) :

- **Fonction de circulation :** Permettre le mouvement des personnes et des biens, que ce soit à pied, à vélo, en transport en commun ou en véhicule motorisé.
- **Fonction de desserte :** Assurer l'accès aux propriétés riveraines (logements, commerces, équipements).
- **Fonction sociale et de vie locale :** Constituer un lieu de rencontre, d'échange, de loisir et d'expression culturelle. La rue est un espace public par excellence.
- **Fonction de support technique :** Accueillir les réseaux souterrains (eau, assainissement, gaz, électricité, télécommunications) et aériens (éclairage public, signalisation).
- **Fonction environnementale et paysagère :** Contribuer à la structure paysagère de la ville, à la gestion des eaux pluviales et à la présence de la nature en ville (alignements d'arbres).

I.2. Le Réseau de Voirie comme Système Hiérarchisé

Un réseau de voirie ne se résume pas à une juxtaposition de rues. Il s'agit d'un système complexe et hiérarchisé, dont la performance dépend de sa structure globale. Les principes de maillage et de hiérarchisation sont fondamentaux pour assurer à la fois la fluidité des transits et la quiétude des quartiers résidentiels On distingue généralement plusieurs niveaux de voies qui s'articulent pour former un réseau cohérent.

I.3. Classification Fonctionnelle

La classification la plus courante en aménagement urbain est basée sur la fonction principale de la voie dans le réseau. Le Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (**SETRA, 2000**) propose une typologie qui reste une référence :



***Figure 1.1**. Exemple d'une voie de transit principale en milieu urbain*

(Source: https://bigbuild.vic.gov.au/projects/roads/fitzsimons-lane-upgrade).

***Tableau 1.1**. Classification des voiries en milieu urbain*

(Source : ZEMRA R, 2020)

Type de Voie	Fonction Principale	Caractéristiques	Exemples
Voirie de transit (ou primaire)	Assurer les liaisons inter-quartiers et avec l'extérieur de l'agglomération. Écouler les trafics importants.	Vitesse élevée, continuité, accès riverains limités, peu d'intersections à niveau.	Rocades, boulevards périphériques, pénétrantes.
Voirie de distribution (ou secondaire)	Répartir le trafic depuis la voirie primaire vers les quartiers.	Trafic mixte (transit et desserte), vitesse modérée, équilibre entre circulation et vie locale.	Avenues principales, rues commerçantes majeures.
Voirie de desserte (ou locale)	Permettre l'accès direct aux propriétés.	Vitesse très réduite, priorité aux piétons, circulation de transit découragée.	Rues résidentielles, impasses, voies de lotissement.

1.4. Classification Administrative et Domaniale

Cette classification est liée au statut juridique de la voie et à l'autorité gestionnaire. En France, on distingue principalement : les voies communales, les routes départementales et les routes nationales en agglomération. Ce statut détermine les responsabilités en matière de financement, de construction, d'entretien et de police de la circulation.

II. Éléments d'Études de la Circulation Urbaine

II.1. Objectifs des Études de Circulation

Les études de circulation sont un préalable indispensable à tout projet d'aménagement de voirie. Elles visent à comprendre les dynamiques de déplacement pour poser un diagnostic précis et évaluer l'impact de futurs aménagements. Leurs principaux objectifs sont :

- **Diagnostiquer les dysfonctionnements :** Identifier les points de congestion, les zones d'insécurité routière, les ruptures d'itinéraires pour les piétons et les cyclistes.
- **Quantifier les flux :** Mesurer le volume et la nature des trafics (types de véhicules, piétons, cyclistes) sur les différents axes du réseau.
- **Comprendre les comportements :** Analyser les choix d'itinéraires, les vitesses pratiquées, les comportements aux intersections.
- **Évaluer des scénarios d'aménagement :** Simuler l'impact d'un nouveau plan de circulation, de la création d'une ligne de transport en commun ou de la modification d'un carrefour.

II.2. Méthodes de Collecte de Données

La collecte de données fiables est le fondement de toute étude de circulation. Plusieurs techniques peuvent être mobilisées, souvent de manière complémentaire (**CERTU, 2006**).

Tableau 1.2. *Méthodes de Collecte de Données*

(Source : CERTU, 2006).

Méthode	Description	Données Obtenues
Comptages manuels	Des enquêteurs relèvent visuellement les passages de véhicules/usagers en un point donné, en les classifiant.	Débit, composition du trafic (PL, VL, 2RM, vélos), mouvements directionnels aux carrefours.
Comptages automatiques	Utilisation de capteurs (boucles électromagnétiques, tubes pneumatiques, radars, caméras) pour un comptage continu.	Débit horaire, journalier, saisonnier ; vitesse ; classification par longueur.
Enquêtes Origine-Destination (O-D)	Interrogation des usagers (sur le terrain, par téléphone, en ligne) sur leur point de départ, leur destination et le motif de leur déplacement.	Matrices O-D, choix modal, chaînes de déplacements.
Véhicule flottant / traceurs GPS	Un véhicule instrumenté parcourt des itinéraires pour mesurer les temps de parcours et identifier les points de ralentissement.	Temps de parcours, vitesses commerciales, délais aux carrefours.

II.3. Indicateurs Fondamentaux et Modélisation

L'analyse de la circulation repose sur trois variables interdépendantes qui décrivent l'état d'un flux de trafic :

- **Le Débit (Q) :** Nombre de véhicules passant en un point ou une section de voie par unité de temps (généralement en véh/h).
- **La Vitesse (V) :** Vitesse moyenne des véhicules sur une section (généralement en km/h).
- **La Densité (K) :** Nombre de véhicules présents sur une unité de longueur de voie à un instant donné (généralement en véh/km).

Ces trois variables sont liées par la relation fondamentale du trafic : **$Q = K \times V$**. Cette équation simple est au cœur de la compréhension des phénomènes de congestion. Lorsque la densité augmente, le débit augmente jusqu'à un point de capacité maximale, au-delà duquel la vitesse chute drastiquement et le débit diminue, menant à la formation d'embouteillages

II.4. La Modélisation de la Circulation

Pour prévoir les effets d'un aménagement, les ingénieurs ont recours à des modèles de simulation informatique. On distingue trois grandes familles de modèles :

- **Modèles macroscopiques :** Ils traitent le trafic comme un fluide continu, en utilisant les relations Q, K, V. Ils sont adaptés à l'étude de grands réseaux (modèles à 4 étapes : génération, distribution, choix modal, affectation).

- **Modèles mésoscopiques :** Ils simulent des groupes de véhicules ("paquets") plutôt que des flux continus, offrant un niveau de détail intermédiaire.
- **Modèles microscopiques :** Ils simulent le comportement individuel de chaque véhicule et ses interactions avec les autres (accélération, freinage, changement de voie). Très précis, ils sont utilisés pour l'analyse détaillée de carrefours ou de sections complexes.

Le choix du modèle dépend de l'échelle de l'étude et du niveau de précision requis pour répondre aux questions posées (**AASHTO, 2018**).

III. Travaux de Terrassement et Calcul des Cubatures

III.1. Principes du Mouvement des Terres

Le terrassement est l'ensemble des opérations visant à modifier le relief d'un terrain pour créer la plateforme qui supportera la future voirie. Il consiste principalement en des mouvements de terres, organisés pour optimiser l'équilibre entre les volumes de matériaux excavés (**déblais**) et les volumes de matériaux apportés pour combler des creux (**remblais**).

L'objectif économique et écologique est de minimiser les transports de matériaux, en réutilisant au maximum les déblais de bonne qualité pour constituer les remblais. Un projet de voirie est dit "équilibré" lorsque le volume des déblais, après application d'un coefficient de foisonnement (augmentation de volume après extraction), est égal au volume des remblais nécessaires, après application d'un coefficient de tassement (réduction de volume après compactage).

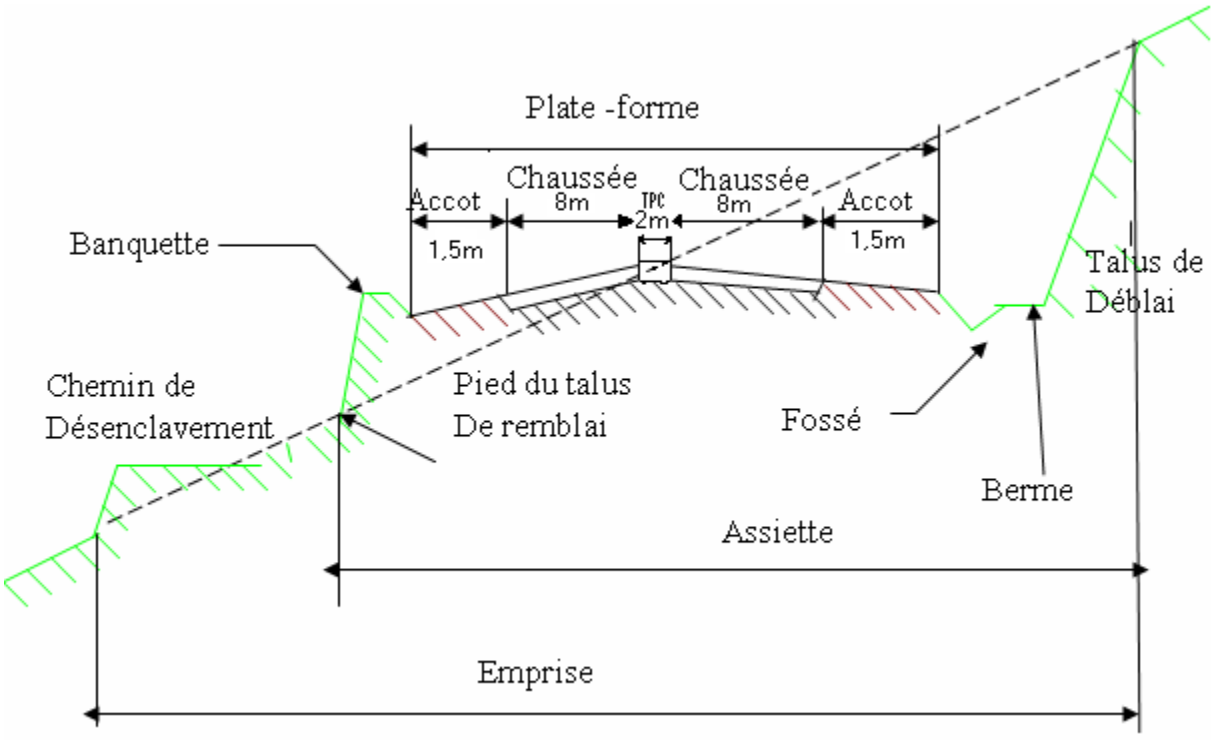


Figure 1.2*. Les Mouvement des terres de la chaussée lors de travaux de terrassement (Déblais et Remblais) (Source: https://genie-civile.blogspot.com/2013/03/le-profil-en-travers-dune-chaussee.html).*

III.2. Études Préalables

Avant tout terrassement, deux études sont cruciales :

- **L'étude topographique :** Un géomètre-topographe réalise un levé précis du terrain naturel (TN). Ces données sont utilisées pour créer un Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui servira de base au calcul des volumes.
- **L'étude géotechnique :** Elle vise à identifier la nature, les caractéristiques mécaniques et hydriques des sols en place. Elle permet de déterminer si les matériaux issus des déblais sont réutilisables en remblai, de définir les pentes des talus pour assurer leur stabilité, et de prescrire les conditions de compactage.

III.3. Méthodes de Calcul des Cubatures

La "cubature" est le calcul du volume des terres à déplacer. La méthode la plus traditionnelle est celle des profils en travers.

III.3.1. Méthode des profils en travers

Cette méthode consiste à :

1. Découper le projet en sections perpendiculaires à l'axe de la route, appelées "profils en travers", espacées régulièrement (par exemple, tous les 20 mètres).

2. Sur chaque profil, superposer la ligne du terrain naturel (TN) et la ligne du projet fini (plateforme de la route et talus).

3. Calculer, pour chaque profil, la surface de déblai (où le projet est sous le TN) et la surface de remblai (où le projet est au-dessus du TN).

4. Estimer le volume entre deux profils consécutifs en multipliant la moyenne des surfaces des deux profils par la distance qui les sépare.

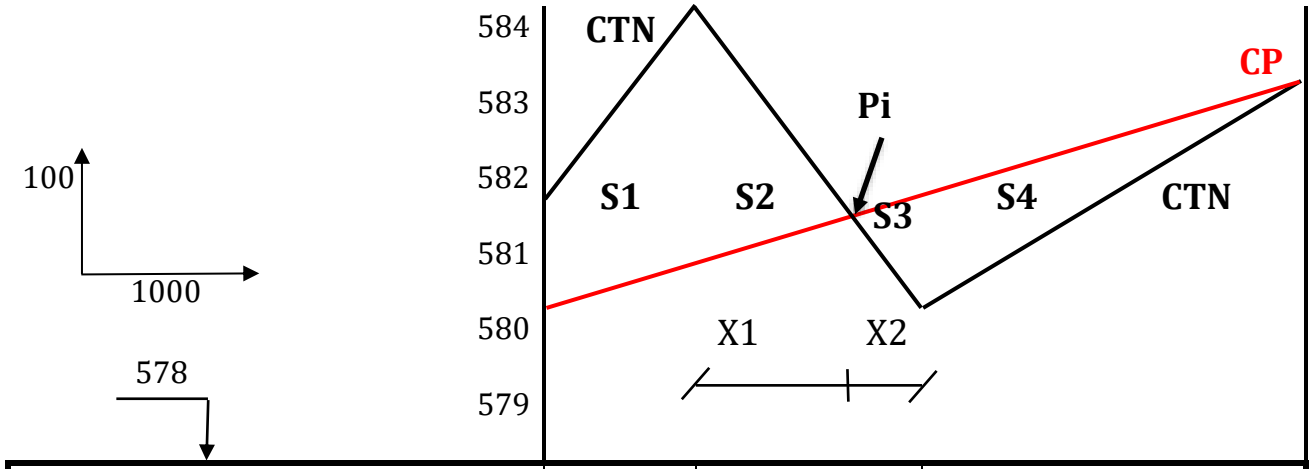
Le volume total est la somme des volumes élémentaires. Bien que simple dans son principe, cette méthode peut manquer de précision dans les zones courbes ou à relief complexe.

Exemple Explicatif pour savoir la méthode de calcul

Soit un profil en long composé de 04 profils la longueur total de ce projet est de 100 m, la largeur total de la voie est de 15 m vérifié une pente légère de 3%

Le travail demandé :

1. Dessinez le profil en long complet.
2. Identifier les zones en Déblais et les zones en Remblais à l'aide de couleurs conventionnelles
3. Calculez les distances qui déterminent la position du faux point (Pi).
4. Calculez les cubatures nécessaires



N° du profil	P1	P2	P3	P4
Cote du Terrain Naturel (m)	581,50	584,00	580,00	583,00
Cote du Projet (m)	580,00	580,60	581,50	583,00
Distances Partiels	20	30	50	
Distances Cumulées	00,00	20,00	50,00	100,00
Pentes	3%			

Méthode de calcul

1- Calcule des côtes d'un Faux point : **Pi**

Pi = P2 ± (P *L)

2- Calcul des distances X1 & X2 du faux point

$$X1 = \frac{Y1 \; x \; L}{Y1+Y2} \qquad X2 = \frac{Y2 \; x \; L}{Y1+Y2}$$

- **Y1** la valeur absolue de la différence entre côte du terrain naturel et côte du projet à coté adjacent du X1
- **Y2** la valeur absolue de la différence entre côte du terrain naturel et côte du projet à coté adjacent du X2
- **L** la distance entre les deux profils qui contient le faux point en mètre

III.3.2. Méthode par Modèles Numériques de Terrain (MNT)

Avec les outils informatiques modernes (logiciels de CAO/DAO comme AutoCAD Civil 3D), il est possible de modéliser en 3D la surface du terrain naturel et la surface du projet. Le logiciel calcule alors le volume compris entre ces deux surfaces de manière très précise, en le décomposant en prismes élémentaires. Cette méthode est aujourd'tui la plus utilisée pour sa précision et sa rapidité.

III.4. Engins de Terrassement

Le choix des engins dépend de la nature du sol, des volumes à déplacer et des distances de transport :

- Extraction : Pelles hydrauliques, bulldozers (pour ripper le sol).
- Transport : Tombereaux (ou "dumpers") pour les longues distances, scrapers pour les cycles courts d'extraction-transport-épandage.
- Réglage et Nivellement : Niveleuses pour le réglage fin de la plateforme.
- Compactage : Compacteurs à pneus, compacteurs vibrants à bille lisse (pour les sols fins), compacteurs à pieds de mouton (pour les sols argileux).



Chargeur



Niveleuse



Pelle Hydraulique



Compacteur Pneumatique



Compacteur vibrant à bille lisse



Compacteur Pied de mouton

Photos 1.1 à 1.6*. Les engins de terrassement (Travaux Blancs)*

(Source : https://lguafrique.com/differents-engins-de-chantier-et-leur-role).

IV. Caractéristiques Géométriques des Voies Urbaines non Rapides

IV.1. Le Profil en Travers Type

Le profil en travers est une coupe transversale de la rue qui montre la répartition de l'espace entre les différents usagers et fonctions. En milieu urbain, il est le reflet des priorités d'aménagement. Un profil en travers complet peut inclure (de façade à façade) : le trottoir, une bande de stationnement, une piste cyclable, la ou les voies de circulation, un terre-plein central, puis la répétition symétrique de ces éléments (**FGSV, 2012**).

La conception du profil en travers est un exercice d'arbitrage, souvent contraint par une largeur limitée entre les bâtiments. L'enjeu est de garantir la sécurité et le confort de chaque usager, en particulier les plus vulnérables (piétons et cyclistes).

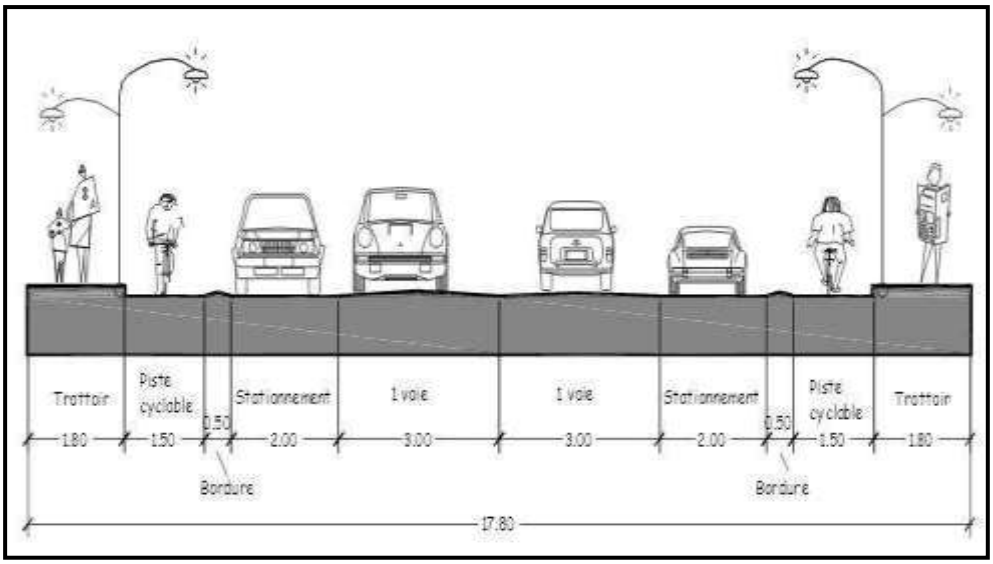


***Figure 1.3**. Profil en travers d'une rue urbaine aménagée pour la mixité des usages*
(Source: Guide pratique des VRD et aménagement extérieurs ,2004).

IV.2. Dimensionnement des Composants

Le dimensionnement de chaque composant du profil en travers dépend de la fonction de la voie et des flux attendus.

***Tableau 1.3**. Les caractéristiques et le dimensionnement de chaque composant du profil en travers*
(Source : CERTU, 2006).

Composant	Largeur Minimale	Largeur Confortable	Remarques
Trottoir	1,40 m	> 2,00 m	1,40 m est le minimum pour le croisement de deux personnes, dont une en fauteuil roulant.
Piste cyclable unidirectionnelle	1,50 m	2,00 m	Permet le dépassement entre cyclistes.
Piste cyclable bidirectionnelle	2,50 m	3,00 m	Nécessite une vigilance accrue aux intersections.
Voie de circulation (voiture)	2,80 m	3,00 - 3,25 m	Des voies plus étroites (≤ 3,00 m) favorisent la modération des vitesses.
Voie bus	3,00 m	3,25 m	Doit permettre une circulation aisée des bus.
Bande de stationnement longitudinal	2,00 m	2,20 m	La largeur inclut l'emprise du véhicule et une marge.

IV.3 Constitution des chaussées : les différentes couches

IV.3.1. Pourquoi la chaussée est-elle formée de plusieurs couches ?

Rappelons que le rôle d'une chaussée est de reporter sur le sol support, en les répartissant convenablement, les efforts dus au trafic. La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol soit suffisamment faible afin que celui-ci puisse la supporter sans dégradation.

Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes.

En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol :

Couche de forme : la construction de cette couche ne pose pas de problème particulier.

Couche de fondation : la plupart des matériaux routiers conviennent.

Couche de base : la construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention toute spéciale : le matériau utilisé dans cette couche doit pouvoir résister aux contraintes résultant du trafic.

Couche de surface : elle se compose en deux sous couches :

- **Couche de liaison** : Assure la liaison avec la base et limite les fissures, souvent en béton bitumineux (5 à 8 cm).
- **Couche de roulement** : Couche supérieure en enrobé (BB 0/6, BB 0/10) assurant l'adhérence, l'étanchéité et le confort, avec une épaisseur de 3 à 7 cm

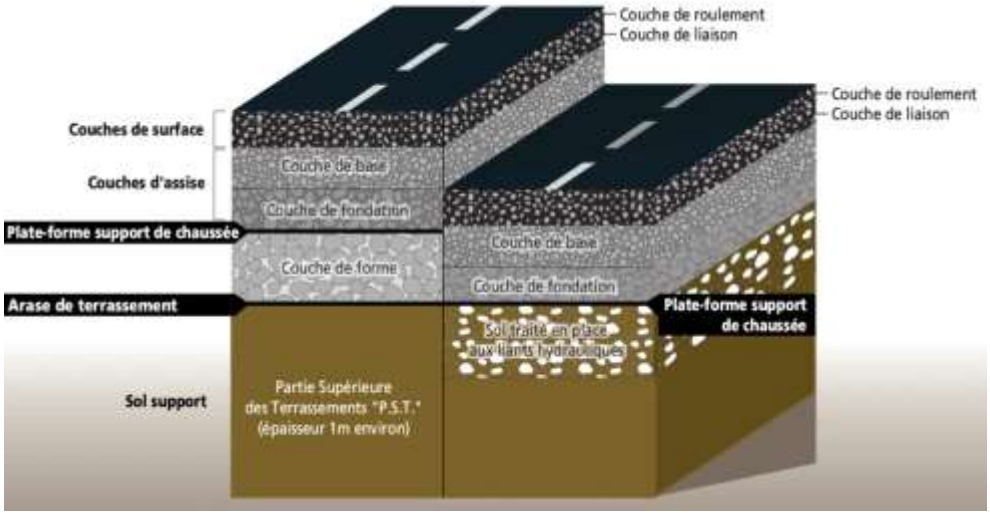


***Figure 1.4**.. Les différentes couches qui forment le corps de chaussée d'une route*
(Source: https://www.infociments.fr/route/caracteristiques-generales-des-chaussees)

VI.4. Le Profil en Long

Le profil en long est une vue en coupe le long de l'axe de la route. Il définit les pentes (déclivités) et les raccordements verticaux.

IV.4.1. Pentes et Déclivités

La pente longitudinale a des implications importantes :

- Sécurité et confort : Des pentes trop fortes sont difficiles pour les cyclistes et les piétons, et peuvent être dangereuses pour tous les véhicules en conditions hivernales. En ville, on cherche à ne pas dépasser 4-5%. Une pente maximale de 8% peut être tolérée sur de très courtes distances.

- Accessibilité PMR : La réglementation sur l'accessibilité impose des pentes maximales (généralement 5%) et la présence de paliers de repos pour les cheminements piétons.
- Évacuation des eaux : Une pente minimale est nécessaire pour assurer l'écoulement des eaux de pluie vers les grilles et caniveaux. Un minimum de 0,5% est généralement requis.

IV.4.2. Raccordements Verticaux

Les changements de pente ne doivent pas être brusques. Ils sont réalisés par des courbes de raccordement paraboliques. On distingue :

- Les raccordements en sommet (convexes) : Ils doivent être suffisamment "ouverts" pour garantir la distance de visibilité et d'arrêt.
- Les raccordements en point bas (concaves) : Ils doivent être conçus pour le confort des passagers (limitation de l'accélération verticale centrifuge) et pour permettre l'évacuation des eaux.

IV.5. Le Profil en Travers pour l'Évacuation des Eaux

Pour évacuer les eaux de pluie de la chaussée vers les côtés, celle-ci est réalisée avec une pente transversale, appelée "dévers". En alignement droit, la chaussée a généralement un profil "en toit" avec une pente de 2,5% de chaque côté de l'axe. Les trottoirs ont également une légère pente (1,5% à 2%) vers la chaussée ou vers des caniveaux dédiés. En courbe, toute la chaussée est inclinée vers l'intérieur du virage pour contrer la force centrifuge et faciliter l'écoulement de l'eau.

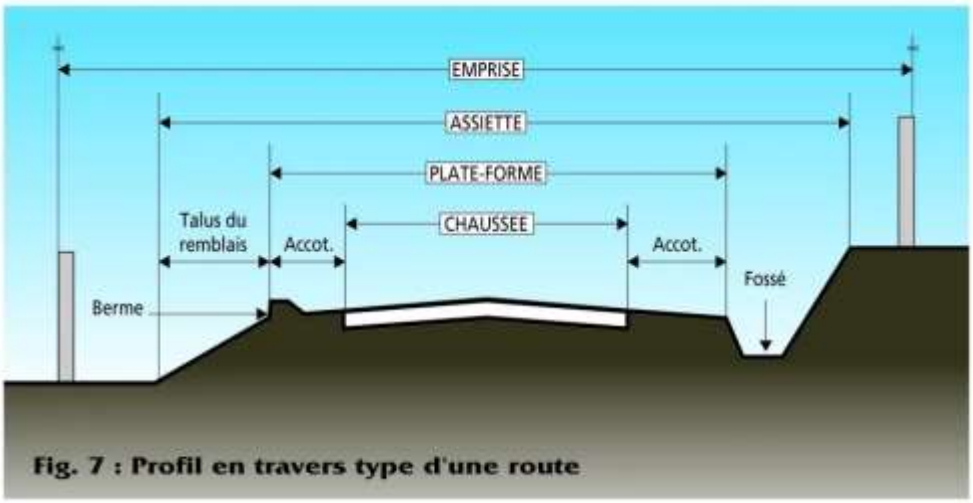


Figure 1.5*.. Profil en travers type d'une route*
(Source: https://www.infociments.fr/route/caracteristiques-generales-des-chaussees)

V. Le Tracé des Voies (Tracé en Plan)

V.1. Contraintes du Tracé en Milieu Urbain

Le tracé en plan correspond à la projection de l'axe de la voie sur un plan horizontal. Contrairement aux routes en rase campagne où le concepteur dispose d'une plus grande liberté, le tracé en milieu urbain est fortement contraint par l'environnement existant (**Dupont, 2021**) :

- Le bâti existant : Le tracé doit s'insérer entre les façades des immeubles, ce qui limite drastiquement les possibilités de courbes larges.
- Le parcellaire et le foncier : Le coût et la complexité des acquisitions foncières rendent les tracés rectilignes ou à grand rayon très difficiles.

- Les réseaux souterrains : La présence de multiples réseaux (eau, gaz, électricité, etc.) dans le sous-sol impose des contraintes majeures et peut nécessiter de coûteux travaux de dévoiement.
- Les objectifs de modération de la vitesse : En ville, un tracé parfaitement rectiligne et large peut inciter à des vitesses excessives. Des courbes ou des "chicanes" peuvent être volontairement introduites pour "casser" les perspectives et ralentir le trafic.

V.2. Éléments du Tracé en Plan

Un tracé en plan est une succession de trois éléments géométriques de base :

- **L'alignement droit** : Section de route rectiligne. En ville, leur longueur est souvent limitée pour éviter les prises de vitesse.
- **L'arc de cercle** : Courbe à rayon constant. Il est simple à implanter mais provoque une discontinuité de la force centrifuge à l'entrée et à la sortie, ce qui peut être inconfortable et dangereux à vitesse élevée.
- **La clothoïde** (ou spirale de raccordement) : C'est une courbe à rayon de courbure variable, qui permet une transition progressive entre un alignement droit (rayon infini) et un arc de cercle (rayon R). Son utilisation assure une variation linéaire de l'accélération centrifuge, améliorant considérablement le confort et la sécurité. En milieu urbain, pour des vitesses faibles, on peut souvent se contenter de raccorder directement des arcs de cercle et des alignements droits.

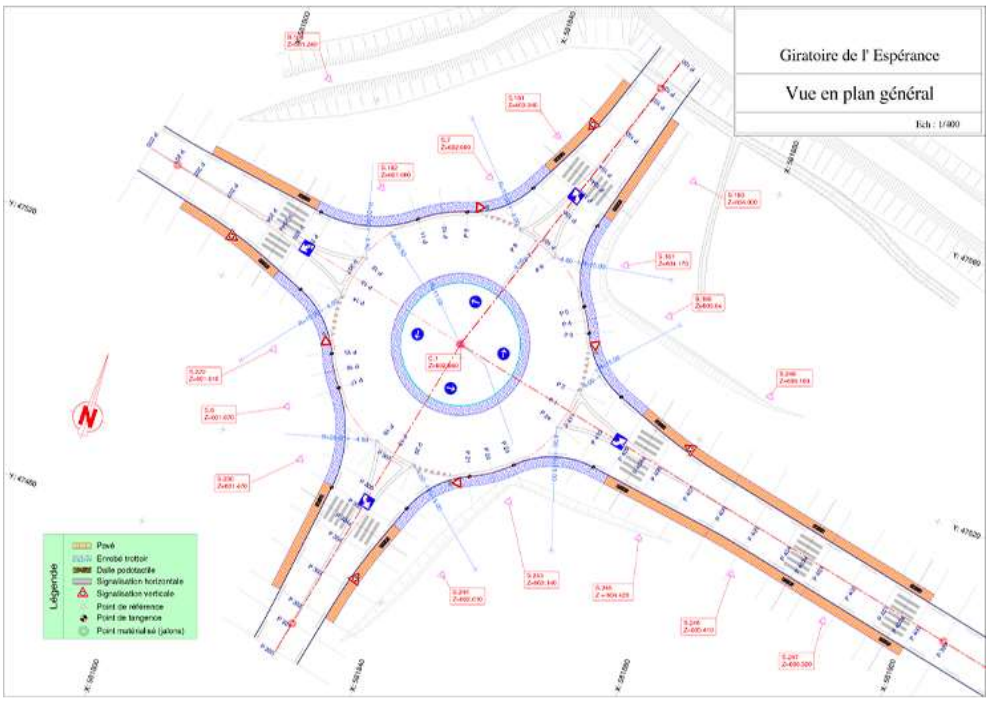


Figure 1.6. *Tracée en plan d'une voie (carrefour giratoire)*
(Source : https://tpdemain.com/module/le-trace-en-plan).

V.3. Coordination Tracé en Plan / Profil en Long

Une bonne conception routière exige une coordination minutieuse entre le tracé en plan et le profil en long. Une mauvaise coordination peut créer des situations dangereuses ou visuellement disgracieuses (**SETRA, 2000**). Quelques règles de base sont à respecter :

- Éviter de placer un raccordement en sommet (profil en long) au milieu d'une courbe serrée (tracé en plan), car cela réduit la visibilité.
- Éviter de placer un raccordement en point bas (profil en long) dans une courbe en dévers, car cela peut créer des problèmes d'évacuation des eaux.
- Chercher à faire coïncider les points de changement de courbure (tracé en plan) avec les points de changement de pente (profil en long) pour une meilleure perception visuelle.
- Assurer une continuité visuelle du tracé pour qu'il soit facilement lisible par le conducteur.

V.4. Visibilité et Distance d'Arrêt

Un principe fondamental de la sécurité routière est de garantir à l'usager une visibilité suffisante pour pouvoir s'arrêter avant de rencontrer un obstacle fixe sur sa trajectoire. Cette distance, appelée distance d'arrêt (Da), est la somme de la distance parcourue pendant le temps de perception-réaction du conducteur (généralement 2 secondes) et de la distance de freinage.

La formule de calcul est : $\mathbf{Da = 2.5.V + V^2 / (2.g.f)}$, où :

- **V** est la vitesse de référence (en m/s)
- **g** est l'accélération de la pesanteur (9,81 m/s^2)
- **f** est le coefficient de frottement longitudinal pneu-chaussée

Le concepteur doit s'assurer qu'en tout point du tracé, la distance de visibilité disponible est supérieure ou égale à la distance d'arrêt calculée. Cela conditionne le rayon des courbes en plan (dégagement de la visibilité à l'intérieur du virage) et le rayon des raccordements en sommet du profil en long.

Exemple :

À une intersection à deux voies dans deux directions différentes, deux voitures circulaient de deux vitesses différentes la vitesse de la première voiture était de 90 km/h et la seconde de 60 km/h.

- Quelle est la distance d'arrêt pour que les deux véhicules s'arrêtent définitivement afin d'éviter une collision ?

Le coefficient de frottement entre la roue et la route est de 0,4 et la gravité est de 9,81 m2/s.

Solution

V1= 90 km/h = 90 000 /3600 = **25 m/s** , V2= 60 km/h = 60 000/3600 = **16.66 m/s**

Méthode de calcul de la distance d'arrêt de chaque véhicule :

Da =2.5 V + V^2 / 2.f.g

Da_1 = 2.5 *25 + 252 / 2*0.4*9.81 = **142.14 m**

Da_2= 2.5 *16.66+16 .662/2*0.4*9.81=**77.02 m**

VI. Le Tracé des Carrefours

VI.1. Fonctions et Principes d'un Carrefour

Les carrefours, ou intersections, sont des points névralgiques du réseau de voirie. Ce sont des points de conflit où les trajectoires des différents usagers (véhicules, cyclistes, piétons) se croisent, divergent ou convergent. La conception d'un carrefour vise à gérer ces conflits pour atteindre trois objectifs souvent contradictoires :

- **La sécurité :** Minimiser le nombre et la gravité des points de conflit.
- **La capacité (ou fluidité) :** Écouler le maximum de trafic avec un minimum de délai.
- **La lisibilité et la simplicité :** Permettre à l'usager de comprendre rapidement la manœuvre à effectuer.

Un principe de base est de simplifier les décisions de l'usager en traitant les conflits de manière séquentielle plutôt que simultanée. Par exemple, un carrefour giratoire transforme les conflits de cisaillement et de traversée (très dangereux) en conflits de convergence et de divergence (moins dangereux).

VI.2. Types de Carrefours Plans

VI.2.1. Carrefours à priorité (Stop / Cédez-le-passage)

Simples et peu coûteux, ils sont adaptés aux faibles trafics. La gestion des conflits repose sur la règle de la priorité à droite ou sur une signalisation (panneaux Stop ou Cédez-le-passage) qui définit une voie principale et une ou plusieurs voies secondaires. Leur capacité est limitée et ils peuvent devenir dangereux si les vitesses sur l'axe prioritaire sont élevées.

VI.2.2. Carrefours à feux tricolores

Ils gèrent les conflits en allouant le droit de passage à tour de rôle aux différents courants de circulation. Ils offrent une grande capacité et permettent de gérer des flux complexes, y compris les traversées piétonnes et cyclistes. Leur inconvénient est le délai qu'ils imposent, même en période de faible trafic, et leur coût d'installation et de maintenance.



Figure 1.7*. Carrefour à feux tricolores*

(Source : Guide de planification des routes et des transports, 2014).

VI.2.3. Carrefours giratoires

Le carrefour giratoire, où la priorité est aux véhicules déjà engagés sur l'anneau, est devenu un standard en Europe pour sa grande sécurité (**Guichet, 2005**). Il réduit drastiquement les accidents graves en imposant des vitesses

faibles et en éliminant les conflits de traversée à angle droit. Il est très efficace pour des trafics modérés et équilibrés entre les différentes branches.



Figure 1.8*. Carrefour giratoire*
(Source : https://fr.freepik.com/photos/carrefour-giratoire/6).

VI.3. Carrefours à Niveaux Dénivelés (Échangeurs)

Lorsque les volumes de trafic sont très importants, notamment au croisement de voies rapides (rocades, autoroutes urbaines), la séparation physique des flux par des passages supérieurs ou inférieurs devient nécessaire. Ces ouvrages, appelés échangeurs, éliminent la quasi-totalité des points de conflit et offrent une capacité et une sécurité maximales.

Cependant, leur emprise au sol est considérable, leur coût de construction est très élevé et leur insertion dans le tissu urbain est souvent difficile. Ils créent des coupures urbaines importantes et sont généralement réservés à la voirie primaire en périphérie des agglomérations.



Figure 1.9*. Échangeur complexe à niveaux dénivelés, typique des réseaux de voirie primaire*
(Source : https://www.gettyimages.fr/photos/changeur).

VI.4. Aménagements pour les Usagers Vulnérables

La sécurité des piétons et des cyclistes est une priorité absolue dans la conception des carrefours urbains. Les aménagements spécifiques incluent :

- **Passages piétons :** Ils doivent être courts, directs, bien visibles et si possible surélevés (plateaux) pour modérer la vitesse des véhicules.
- **Îlots refuges :** Ils permettent aux piétons de traverser la chaussée en deux temps, ce qui est plus sûr sur les voies larges.
- **Pistes cyclables protégées :** La continuité des pistes cyclables doit être assurée à travers le carrefour, avec une protection physique contre le trafic motorisé.
- **Feux spécifiques :** Des feux pour piétons et cyclistes, parfois avec une phase de départ anticipé, améliorent leur sécurité.

VII. Le Stationnement

VII.1. L'Enjeu du Stationnement en Ville

La gestion du stationnement est l'un des leviers les plus puissants de la politique de mobilité d'une ville. Un véhicule particulier est à l'arrêt environ 95% du temps, occupant un espace public précieux. La politique de stationnement cherche à concilier des demandes souvent contradictoires : l'accessibilité des commerces et services, le besoin de stationnement pour les résidents, et la volonté de limiter l'usage de la voiture individuelle au profit des modes alternatifs (**Shoup, 2011**).

Une offre de stationnement abondante et gratuite encourage l'usage de la voiture, générant congestion et pollution. À l'inverse, une politique restrictive et tarifaire peut inciter au report modal vers les transports en commun, le vélo ou la marche, mais peut être perçue négativement par les commerçants ou les résidents dépendants de leur véhicule.

VII.2. Typologies du Stationnement

On distingue deux grandes catégories de stationnement :

- **Le stationnement sur voirie :** Il s'agit des places aménagées le long des rues. Il peut être organisé de différentes manières :
  - **Longitudinal (en créneau) :** Le plus courant, mais le moins efficace en termes de densité.
  - **En épi (incliné) :** Offre une meilleure densité et des manœuvres plus faciles (surtout en marche avant).
  - **En bataille (perpendiculaire) :** Offre la plus grande densité mais nécessite plus de largeur de chaussée pour les manœuvres.



***Figure 1.10**. Type de stationnemnt en bataille*
(Source: https://codedelaroute.io/blog/stationnement-en-bataille/).



***Figure 1.11**. Type de stationnemnt en epi*
(Source: https://codedelaroute.io/blog/stationnement-en-epi/).

- **Le stationnement hors voirie :** Il est aménagé en dehors de l'emprise de la rue.
  - **Parcs de surface (en enclos) :** Simples à réaliser mais consomment beaucoup d'espace.
  - **Parcs en ouvrage (souterrains ou en élévation) :** Permettent de libérer l'espace public en surface, mais leur coût de construction est très élevé.
  - **Parcs-relais (P+R) :** Situés en périphérie et connectés au réseau de transport en commun, ils visent à intercepter les voitures avant leur entrée dans le centre-ville.



Figure 1.12 *Type de parking en surfaces*
(Source: https://www.cimaise.fr/quels-sont-les-types-de-parking/



Figure 1.13. *Parc en ouvrage (parking à étages)*
(Source: https://www.evo-park.com/guide-comparatif-types-parking/

VII.3. Réglementation et Gestion

Les collectivités disposent de plusieurs outils pour gérer la demande et l'offre de stationnement :

- **La tarification :** Le stationnement payant est l'outil le plus efficace pour réguler l'usage. La tarification peut être modulée en fonction de la zone (plus cher en hyper-centre), de la durée (tarif progressif pour décourager le stationnement de longue durée) et du statut de l'usager (tarif préférentiel pour les résidents).
- **La réglementation de la durée :** Les "zones bleues" autorisent un stationnement gratuit mais limité dans le temps (contrôlé par un disque), favorisant la rotation des véhicules.
- **Le stationnement résidentiel :** Des macarons ou vignettes permettent aux résidents d'un quartier de stationner sans limite de durée ou à un tarif préférentiel.
- **Le contrôle et la verbalisation :** L'efficacité de toute politique de stationnement repose sur un contrôle effectif du respect des règles.

VII.4. Conception des Aires de Stationnement

Le dimensionnement des places et des allées de circulation est normalisé pour garantir la fonctionnalité et la sécurité.

***Tableau** 1.4. Les Types de conception des aires de stationnement*
(Source : https://biblus.accasoftware.com/fr/comment-concevoir-un-parking-guide-technique/).

Type de Place	Largeur	Longueur	Largeur de l'allée de circulation
En Créneau (longitudinale)	2,00 m	5,00 m	3,50 m (sens unique)
En bataille (90°)	2,50 m	5,00 m	6,00 m (double sens)
En épi (45°)	2,50 m	5,00 m	3,50 m (sens unique)
Place PMR	3,30 m	5,00 m	Doit être située sur un cheminement accessible.

Une bonne conception intègre également des aspects qualitatifs : traitement paysager pour réduire l'imperméabilisation et l'effet d'îlot de chaleur, éclairage, signalétique claire, et sécurisation des cheminements piétons à l'intérieur des parcs de stationnement.

VIII. Les Techniques d'Entretien de la Voirie

VIII.1. Pathologies des Chaussées

Les chaussées se dégradent sous l'effet combiné du trafic (charge des poids lourds), des conditions climatiques (gel-dégel, chaleur) et du vieillissement des matériaux. La connaissance des principales pathologies est essentielle pour choisir la technique d'entretien appropriée (**LCPC, 1994**) :

- **Fissuration :** Fissures longitudinales, transversales ou faïençage (fissures polygonales), souvent signe d'une fatigue de la structure ou d'un problème de fondation.



Figure 1.14. *Pathologies des Chaussées (Les fissures)*

(Source: https://www.ibef.net/emulsions-de-bitume/les-usages/entretien-et-rehabilitation-des-chaussees/fissures/

- **Nids-de-poule :** Cavités formées par l'arrachement des matériaux, généralement initiées par une fissure où l'eau s'est infiltrée.



Figure 1.15 *Pathologies des Chaussées (Nids- de- poule)*

(Source: https://www.ibef.net/emulsions-de-bitume/les-usages/entretien-et-rehabilitation-des-chaussees/nids-de-poule/

- **Orniérage :** Tassement longitudinal de la chaussée dans les bandes de roulement, principalement dû au trafic poids lourds.



***Figure 1.16**. Pathologies des Chaussées (Orniérage)*

(Source: https://www.ibef.net/emulsions-de-bitume/les-usages/entretien-et-rehabilitation-des-chaussees/ Orniérage /

- **Déformations :** Ondulations, flaches (affaissements localisés), souvent liées à des faiblesses de la couche de fondation ou du sol support.



***Figure 1.17** Pathologies des Chaussées (déformations)*

(Source: https://www.ibef.net/emulsions-de-bitume/les-usage/entretien-et-rehabilitation-des-chaussees/deformations/

- **Ressuage :** Remontée du bitume en surface par temps chaud, rendant la chaussée glissante.



Figure 1.18 *Pathologies des Chaussées (Ressuage)*

(Source: https://www.ibef.net/emulsions-de-bitume/les-usage/entretien-et-rehabilitation-des-chaussees/ressuage/

VIII.2. Stratégies et Techniques d'Entretien

La gestion patrimoniale de la voirie vise à optimiser les budgets en intervenant au bon moment. On distingue trois niveaux de stratégie :

1. **L'entretien préventif :** Il s'agit d'intervenir sur une chaussée encore en bon état pour prolonger sa durée de vie et retarder les dégradations coûteuses. La technique la plus courante est l'**enduit superficiel d'usure (ESU)**, qui consiste à répandre une fine couche de liant (bitume) et de gravillons pour sceller la surface et restaurer l'adhérence.
2. **L'entretien curatif :** Il vise à réparer les dégradations apparues pour maintenir un niveau de service acceptable. Cela inclut la réparation des nids-de-poule (pont-à-mousson), le colmatage des fissures, ou des réparations localisées de la chaussée.
3. **La réhabilitation structurelle :** Lorsque la chaussée est fortement dégradée, des travaux lourds sont nécessaires. Cela peut aller du simple **rechargement** (ajout d'une ou plusieurs couches d'enrobé) à la reconstruction **complète** de la structure de chaussée, après fraisage des couches existantes.

VIII.3. Auscultation des Chaussées

Pour mettre en place une stratégie d'entretien efficace, il est nécessaire de connaître précisément l'état du réseau. L'auscultation des chaussées utilise des appareils de mesure à grand rendement pour évaluer de manière objective l'état structurel et superficiel des voies. Les principaux outils sont le **déflectographe** ou le **FWD (Falling Weight Deflectometer)** pour mesurer la portance de la structure, et des véhicules spécialisés équipés de caméras et de lasers pour relever automatiquement les dégradations de surface (fissures, uni, orniérage).

Conclusion

Ce rapport a parcouru les différentes dimensions de la voirie urbaine, de ses fonctions fondamentales à ses aspects les plus techniques. Il ressort que la conception et la gestion de la voirie sont une discipline complexe, à la croisée du génie civil, de l'urbanisme et des sciences sociales. La rue n'est plus seulement une infrastructure de transport, mais un espace public à part entière dont la qualité conditionne celle de la ville.

Les principes de hiérarchisation du réseau, de conception géométrique rigoureuse et de gestion stratégique du stationnement et de l'entretien demeurent des fondamentaux. Cependant, la voirie de demain devra intégrer de nouveaux paradigmes. La transition vers des mobilités durables impose un rééquilibrage de l'espace au profit des piétons, des cyclistes et des transports en commun. L'adaptation au changement climatique nécessite de penser la rue comme un outil de gestion de l'eau et de lutte contre les îlots de chaleur, en y intégrant davantage de végétation et de surfaces perméables. Enfin, l'avènement des technologies numériques (voirie intelligente, véhicules autonomes) ouvre des perspectives inédites pour la gestion du trafic et l'optimisation de l'usage de l'infrastructure. Le défi pour les ingénieurs et les urbanistes sera de concevoir des rues qui ne soient pas seulement fonctionnelles et durables, mais aussi agréables, inclusives et résilientes, contribuant ainsi à la fabrique d'une ville plus humaine.

CHAPITRE 2 :

Les Espaces Publics : Conception, Gestion et Enjeux Contemporains

I. Espaces Publics : Définitions, Histoire et Enjeux

L'expression « espace public », bien que consubstantielle à l'existence même de la ville, n'a été formalisée comme catégorie d'analyse et d'action que dans les années 1970. Cette émergence s'inscrit dans un contexte de critique de l'urbanisme fonctionnaliste, dont les formes urbaines modernistes étaient jugées peu propices à la sociabilité (**Gomes**, **2020**). L'espace public est un concept polysémique, dont la définition varie selon les disciplines et les contextes. En urbanisme, l'acception la plus courante est matérielle, désignant les rues, places, parcs et autres lieux de propriété publique ouverts à tous (**Gomes**, **2020**). Cependant, cette définition matérielle est indissociable de ses dimensions sociales et politiques.

Historiquement, l'espace public a toujours été le cœur de la vie urbaine. De l'agora des cités grecques antiques, centre de la vie politique et sociale, aux places royales de la Renaissance, symboles du pouvoir, sa forme et sa fonction ont constamment évolué pour refléter les structures sociales, politiques et culturelles de chaque époque (**objetspublics.com, 2024**). Au XXe siècle, la charte d'Athènes et le mouvement moderniste ont prôné une séparation des fonctions urbaines (habiter, travailler, se divertir), conduisant à la création de grands ensembles où les espaces extérieurs étaient souvent délaissés, perçus comme de simples vides entre les bâtiments (**ANRU, 2025**). La redécouverte de l'espace public dans les années 1970 marque une rupture avec cette vision, le repositionnant comme un lieu essentiel de l'urbanité, de la rencontre et de l'interaction sociale (**Gomes**, **2020**).

Aujourd'hui, les espaces publics sont au carrefour de multiples enjeux. Ils sont considérés comme des leviers essentiels pour l'amélioration du cadre de vie, le renforcement de la cohésion sociale et l'attractivité des territoires (**ANRU**, **2025**). Ils doivent répondre à des défis majeurs tels que l'adaptation au changement climatique, la promotion de la santé, l'inclusion de tous les publics et la sécurité. Un espace public de qualité est désormais perçu comme un lieu multifonctionnel, support d'usages diversifiés, qui favorise l'interaction sociale, l'échange économique et l'expression culturelle . La fabrique de l'espace public est donc devenue un acte politique et social complexe, visant à créer des lieux qui ne sont pas seulement fonctionnels, mais aussi porteurs de sens, d'identité et de bien-être pour l'ensemble des citoyens (**La Fabrique de la Cité**, **2019**).

II. Typologies des Espaces Publics

La diversité des espaces publics est l'une de leurs richesses. Les classer en typologies permet de mieux comprendre leurs spécificités, leurs fonctions et les enjeux liés à leur aménagement. Si chaque espace est unique, des grandes catégories peuvent être établies pour guider la réflexion et l'action des urbanistes et des gestionnaires. Une approche courante distingue les espaces en fonction de leur forme et de leur usage principal (**villeintelligente.esg.uqam.ca**, **2023**; **Agam**, **2018**).

II.1. Les espaces linéaires,

principalement dédiés au mouvement et à la circulation. Les **rues** en sont l'exemple le plus évident, mais cette catégorie inclut aussi les boulevards, les avenues, les chemins piétonniers et les pistes cyclables. Historiquement conçus pour la circulation automobile, ces espaces font l'objet d'une profonde remise en question visant à rééquilibrer le partage de la voirie au profit des modes actifs (marche, vélo) et des transports en commun (**Cerema**, **2020**). La transformation d'une rue routière en un espace apaisé et convivial est un enjeu majeur pour de nombreuses municipalités (**Cerema**, **2020**).



Photo 2.1. *Typologies des espaces publics (La rue)*

(Source : https://sa.lovepik.com/image-500004596/streetscape.html)

II.2. Les espaces ouverts

Se sont les espaces qui sont davantage des lieux de destination, où l'on s'arrête, où l'on passe du temps. Cette catégorie inclut :

- **Les places et parvis :** Souvent situées au cœur des villes et des quartiers, elles sont des lieux de représentation, de rassemblement, de marché ou d'événements. Leur aménagement doit concilier des fonctions symboliques et des usages quotidiens



Photo 2.2. *Typologies des espaces publics (La placette)*

(Source : https://istanbul.com/ar/blog/things-to-do-in-eminonu)

- **Les parcs, jardins et squares :** Ces espaces de nature en ville sont essentiels pour la détente, les loisirs, le contact avec la végétation et la biodiversité. Leur rôle dans l'adaptation au changement climatique (îlots de fraîcheur) est de plus en plus reconnu (**unhabitat.org, 2022**).



Photo 2.3. *Typologies des espaces publics (Les Espaces verts)*
(Source : https://www.jana.ps/articles/Article/4530/ar)

- **Les berges, fronts de mer et quais :** La reconquête des fronts d'eau est une tendance forte de l'urbanisme contemporain, transformant d'anciennes infrastructures industrielles ou routières en lieux de promenade et de loisirs prisés.



Photo 2.4. *Typologies des espaces publics (Front de mer)*
(Source : https://www.voyages-d-affaires.com/istanbul-bosphore-creativite)

II.3. Les espaces innovants ou émergents

Une troisième catégorie, celle des **espaces innovants ou émergents**, gagne en importance. Elle regroupe des lieux dont le statut est parfois hybride, à la croisée du public et du privé, ou dont l'usage est temporaire. On y trouve les cours d'école ouvertes au public en dehors des heures de classe (les "cours Oasis" à Paris), les friches urbaines temporairement aménagées dans le cadre de l'urbanisme tactique, ou encore les espaces résiduels (délaissés) réinvestis par les habitants (**villeintelligente.esg**.uqam.**ca**, **2023**; **Mairie de Paris**, **2024**). Ces espaces témoignent d'une nouvelle manière de fabriquer la ville, plus flexible, participative et économe en moyens (**fnau.org**, **2023**).

Tableau 2.1. *Les différents typologies les espaces publics.*
(Source : AGAM, 2018).

Typologie	Exemples	Fonctions Principales	Enjeux d'Aménagement Clés
Espaces Linéaires	Rues, boulevards, avenues, chemins piétons, pistes cyclables	Circulation, déplacement, desserte, lien entre les quartiers	Partage de la voirie, apaisement des vitesses, sécurité des modes actifs, intégration des transports en commun, végétalisation.
Espaces Ouverts	Places, parvis, parcs, jardins, squares, berges	Destination, séjour, sociabilité, détente, loisirs, événements, respiration urbaine	Multifonctionnalité, confort d'usage, accessibilité, gestion de la cohabitation des usages, création d'ambiances, biodiversité.
Espaces Émergents	Cours d'école ouvertes, friches aménagées, jardins partagés, rues piétonnisées temporairement	Expérimentation, appropriation citoyenne, lien social de proximité, usages temporaires	Flexibilité, réversibilité, faible coût (frugalité), participation habitante, gestion partagée, intégration dans le tissu urbain existant.

Cette classification n'est pas rigide. De nombreux espaces publics sont hybrides et cumulent les caractéristiques de plusieurs catégories. Une rue commerçante animée, par exemple, est à la fois un espace linéaire de passage et un espace de destination où l'on s'arrête. La qualité d'un projet d'aménagement réside souvent dans sa capacité à comprendre la nature profonde d'un lieu et à enrichir ses fonctions, en s'appuyant sur ses spécificités plutôt qu'en appliquant des solutions standardisées (**Agam**, **2019**). La complémentarité des différents types d'espaces à l'échelle d'un quartier ou d'une ville est également un facteur clé de qualité urbaine, car elle engendre une mixité des usages et répond aux besoins variés de la population (**enviroboite.net**, **2010**).

III. Le Rôle Central du Mobilier Urbain

III.1. Fonctionnalité et Esthétique : Un Équilibre Essentiel

Le mobilier urbain, bien que souvent perçu comme un simple équipement, joue un rôle fondamental dans la qualification des espaces publics. Il regroupe l'ensemble des objets installés dans l'espace public pour répondre aux besoins des usagers : bancs, poubelles, abribus, luminaires, barrières, supports à vélos, etc. . Sa conception et son implantation sont des actes d'aménagement à part entière, qui influencent directement le **confort, la sécurité, l'esthétique et l'appropriation des lieux par les citoyens**.

La première mission du mobilier urbain est d'ordre fonctionnel. Il doit faciliter la vie quotidienne en ville en offrant des services concrets : permettre de se reposer (bancs), de se protéger des intempéries (abribus), de maintenir la propreté (poubelles), de s'orienter (signalétique), ou de sécuriser les déplacements (barrières, potelets) (**SEMCO**,

2025a). Cette vocation utilitaire impose des exigences de robustesse, d'ergonomie, de durabilité et de facilité d'entretien. Un mobilier doit résister aux conditions climatiques, à un usage intensif et parfois au vandalisme Cependant, réduire le mobilier à sa seule fonction serait une erreur. Sa dimension **esthétique** est tout aussi cruciale. Un mobilier bien conçu et bien intégré contribue à forger l'identité visuelle d'un quartier ou d'une ville, à assurer la cohérence des aménagements et, surtout, à favoriser l'appropriation des espaces par les habitants (**SEMCO**, **2025a**). L'esthétique ne se résume pas à un simple "supplément d'âme" ; elle participe au "design émotionnel" qui crée un lien affectif entre le citoyen et son environnement urbain (**SEMCO**, **2025a**). Le choix des matériaux, des formes et des couleurs doit dialoguer avec le contexte architectural et paysager pour que le mobilier devienne une véritable "œuvre urbaine"

III.2. Les éléments de coordination naturels

III.2.1 Les arbres et les palmiers

Il est divisé en arbres à feuilles persistantes et feuillus, qui donnent un sentiment de changement à la sphère publique au fil du temps, et se caractérisent par leur grande taille et leur pouvoir de croissance, agissant comme déterminant des espaces publics. Sa hauteur varie entre 2,5 et 1,5 mètre dans les arbustes bas et entre 2,5 et 4 mètres dans les arbustes moyens, et chez les grands arbustes, elle atteint une hauteur de 4,5 mètres et peut augmenter

III.2.2 Les arbustes

Ce sont des plantations moins poussantes que les arbres, et elles servent de murs, de clôtures et de bons déterminants du mouvement, et elles contribuent aussi à la connexion visuelle entre les arbres et les plantes herbacées

III.2.3 Les plantes grimpantes et Purlins

Ce sont des plantes dont les tiges ne sont pas fortes pour pousser verticalement, mais grimpent de différentes manières sur des éléments industriels comme des portails, des clôtures et des colonnes, et peuvent aussi être utilisées dans le revêtement de murs ou pour planter sur des pentes afin d' augmenter l' élément vert.



Photo 2.5. *Les plantes Grimpantes et Purlins*

III.2.4 Plantes herbacées et gazon naturel

ce sont des plantes qui nécessitent beaucoup de soins et qui sont utilisées en groupe pour offrir une vision esthétique et se distinguer par son utilisation dans des espaces publics étroits et des coins urbains.



Photo 2.6. *Plantes herbacées et gazon naturel*

(Source : https://www. Gazon-naturel-cap-bon-100064112318894/)

III.2.5 Les fleurs

principalement des annuelles, spécifiques à une saison précise, et elles apportent joie et vitalité à la sphère publique grâce à leur variété de types, de couleurs et de parfums aromatiques, mais elles nécessitent un soin particulier et une protection contre les mauvais usages.



Photo 2.7. *Les jardins des fleurs*

(Source : https://www.detentejardin.com/visites-de-jardin/jardins-en-campagne/ou-voir-les-plus-belles-roses-1031186)

III.2.6 Les bacs à fleurs et arbres

Les bacs à fleurs et arbres sont l'un des éléments complémentaires les plus importants pour meubler l'espace public, et elles peuvent prendre de nombreuses formes, et des briques sont souvent utilisées dans leur construction, puis on leur ajoute le revêtement nécessaire, que ce soit de la pierre, du marbre, du granit ou du béton préfabriqué sous forme de Spécifique



Photo 2.8. *Les bacs à fleurs et arbres*

(Source : https://rondino.fr/categorie-produit/amenagement-exterieur/mobilier-urbain/bacs-a-fleurs-bacs-a-arbre/)

III.3. Meuble d'esthétique de beauté

III.3.1. Les Fontaines

Il s'agit de servir les piétons et les visiteurs lors de leurs déplacements en ville afin qu'il soit à leur portée, et c'est considéré comme Un élément esthétique et fonctionnel



Photo 2.9. *Les bacs à fleurs et arbres*

(Source :https://www.sortiraparis.com/arts-culture/histoire-patrimoine/guides/168969-a-la-decouverte-des-plus-belles-fontaines-de-paris)

III.3.2. Les Sculptures et les Statuts

Elle est considérée comme l'une des caractéristiques que caractérise la sphère publique : elle exprime quelque chose qui peut être religieux, de quelqu'un, ou abstrait qui exprime Une idée spécifique est spécifique à la zone où elle sera placée, et c'est un élément esthétique qui a différentes formes.



Photo 2.10. *Le statut d'Ibn Khaldoun a la placette de Bourguiba à Tunisie*

(Source : https://www.tekiano.com/2017/12/14/al-muqaddima-dibn-khaldoun-bientot-inscrite-au-registre-memoire-du-monde-de-lunesco/)

III.4. Meuble de Confort

III.4.1. Les Bancs d'assis

Ils sont habituellement disponibles dans des espaces ouverts réservés aux piétons et aux parcs publics, et ils ne devraient pas être disponibles dans les endroits commerciaux bondés ou exposés au bruit ou à la pollution atmosphérique, et comme dans le cas des abris piétonniers, on constate qu'il existe deux types de sièges.



Photo 2.11. *Les bancs d'assis aux espaces publics réservé aux piétons*

(Source : https://www.thieme-stadtmobiliar.com/fr/mobilier-urbain/bancs-tables/bancs-avec-assise-en-bois/)

III.4.2. Les pergolas

Il est utilisé pour se protéger contre les éléments, que ce soit la lumière du soleil ou la pluie, et il est soit naturel à travers les arbres aux longues branches, soit industriel où de nombreux matériaux sont utilisés selon les besoins et la forme requise; il s'agit soit de béton, de bois ou de plastique, et des plantes grimpantes peuvent être utilisées, qu'on trouve dans les zones piétonnes et les aires de sièges



Photo 2.12. *Les Pergolas*

(Source : https://www.sunny-inch.fr/brise-soleil-paroi-ajouree-aluminium-a-lame-orientable-bso-9720.html)

III.4.3. Les horloges publics

Sa présence est considérée comme l'un des points de repère qui distinguent la ville ou la région, et elle aide aussi les gens à connaître l'heure dans l'endroit où ils se trouvent, surtout lorsque des visiteurs ou des touristes viennent dans une certaine région dont l'heure est différente de celle d'origine, et de telles horloges peuvent se trouver dans les quartiers, les espaces publics et les marchés, et il est possible de trouver ces horloges en grande taille sur les bâtiments entourant certains espaces publics importants.



Photo 2.13. *Les Horloges publics*

(Source : https://www.mobatime.com/fr/produits/horloges-de-fa%C3%A7ade/)

III.4.4. L'Éclairage et mobilier d'éclairage

L'éclairage est l'un des moyens de formation artistique dans la sphère publique, en plus d'autres moyens de formation de la couleur et du matériel. Les unités d'éclairage nocturne représentent une extension des activités de la sphère publique et mettent en valeur les différents éléments du terrain, surtout s'ils sont soigneusement conçus, et la nature de l'éclairage dans les espaces publics varie selon la fonction : il y a un éclairage pour les voitures, un éclairage pour les piétons, et un éclairage esthétique dirigé vers d'autres éléments du terrain comme les statues et les bâtiments, où l'éclairage extérieur est utilisé à des fins suivantes :

- Réseau d'éclairage pour les rues et les espaces publics.
- Stationnement des véhicules
- Zones piétonnes, entrées des bâtiments et escaliers.
- Usages architecturaux, notamment pour mettre en valeur les façades.
- Autres usages du mobilier urbain





***Photo 2.14 & 2.15**. L'éclairage public des Placettes et des rues*

(Source 14 : https://www.lightzoomlumiere.fr/realisation/place-de-la-liberte-outil-lumiere-theatral-brest/)

(Source 15 : https://www.istockphoto.com/fr/photos/%C3%A9clairage-de-rue)

III.4.5. Mobilier de protection et de sécurité

Les barrières piétonnes servent à séparer la circulation piétonne du déplacement des véhicules, et elles servent aussi à protéger les piétons contre l'exposition à des zones dangereuses comme les bords des hauteurs, et ces barrières peuvent être fabriquées à partir de plusieurs matériaux tels que des troncs d'arbres, de l'aluminium, des clôtures en fer, et les tuyaux en acier sont parmi les matériaux les plus courants dans la fabrication de ces barrières.

Les barrières réservées aux véhicules Nous avons souvent recours à ces barrières lorsque nous devons empêcher les voitures de pénétrer dans une certaine zone parce qu'elles ont été converties en zone piétonne ou dans le but de réguler l'entrée des voitures dans la zone

Les clôtures sont composées de plusieurs petites pièces qui peuvent donner de nombreuses formes de conception, et déterminer la forme dépend du degré requis en termes de sécurité, de résistance, de transparence en visibilité et

aussi de coût, et il est préférable d'utiliser des matériaux locaux pour la construction des clôtures telles que le bois, les arbres, le fer, le béton, les briques, les pierres... etc.






Photo 2.16 *barrieres de protection pietonnes* ***Photo 2.17*** *barrière anti véhicules* ***Photo 2.18*** *Clôture*

(Source 16 : https://www.bmi-axelent.com/actualites/Nos-barrieres-de-protection-pietonnes)

(Source 17 : https://conselgroup.com/fr/applications/location-de-barrieres-anti-vehicule-belier-2/)

(Source 18 : https://www.moquet-clotures.com/cloture)

III.4.6. Mobilier de transport

- **Station de bus**

Nous distinguons deux types de stations l'un est destiné à l'attente rapide, ne comporte pas de places assises et est désigné comme des arrêts d'autobus, le deuxièmement est destiné à attendre de longues périodes et doit comporter des zones de sièges désignées, et il est généralement utilisé dans les zones piétonnes et les parcs publics, et les arrêts d'autobus sont habituellement installés par des entreprises de publicité sans frais pour les autorités municipales.

Dimensions allant de 0,8 à 1,5 m de largeur et de 2 à 5 m de longueur, en verre, béton ou bois

- **Station de Vélos**

Utilisés par les cyclistes, de nombreux vélos possèdent des caractéristiques techniques, représentées par une hauteur de 85 cm, une hauteur de 250 cm, Largeur : 60 cm

III.4.7. Mobilier d'hygiène

- **Toilettes publiques**

Les toilettes publiques sont l'une des exigences les plus importantes pour les piétons en ville aujourd'hui, en particulier pour les personnes âgées et les personnes ayant des besoins particuliers, car leur absence crée plusieurs problèmes de santé et environnementaux tels que la pollution environnementale, les mauvaises odeurs dans l'air et l'apparence qui affectent le cadre de vie.

Il a été utilisé pour la première fois dans les lieux publics en 1980 en France.

Il est préférable de les placer dans des zones où la circulation piétonne est élevée, comme les parcs, les places publiques, les rues et les stations de transport, situées entre 300 mètres et 150 mètres, ou pour une distance à pied estimée à 10 minutes.

- **Conteneurs à ordures**

Ce sont des dépotoirs publics qui sont distribués dans la sphère publique de manière réfléchie, afin d'encourager les usagers des espaces publics urbains à maintenir la propreté et à ne pas jeter les déchets sur les trottoirs ou les espaces verts

- **Poubelles**

Les boîtes sont fixées aux murs et d'autres sont placées au sol ou fixées à un poteau pour être accessibles aux passants, et doivent être dans des zones dégagées avec des couleurs distinctes pour faciliter l'utilisation. Il est habituellement équipé d'un extincteur Cendrier







Photo 2.19: *Toilette publique* ***Photo 2.20***: *Conteneur à ordure* ***Photo 2.21*** :*Poubelles Extérieurs*

(Source 19: https://www.techni-contact.com/produits/4424-4615721-toilette-public-a-cellule-unique-plus-urinoir.html)

(Source 20: https://fr.freepik.com/photos-vecteurs-libre/bacs-ordures)

(Source 21: https://www.1001poubelles.com/corbeilles-metal/21763-poubelle-exterieure-tri-selectif-phoenix-3-x-50l-8713631188161.html)

IV. Éléments de Conception des Espaces Publics

IV.1. Principes Fondamentaux de Conception

La conception d'un espace public de qualité est un processus complexe qui doit répondre à une multitude d'enjeux et d'attentes. Au-delà des aspects techniques, il s'agit de créer des lieux de vie qui soient à la fois fonctionnels, agréables, inclusifs et résilients. Plusieurs guides et publications proposent des principes directeurs pour réussir un projet d'espace public. La Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU) identifie six piliers transversaux : les usages et l'accessibilité, la végétalisation, la frugalité, l'identité du site, la résilience et la participation citoyenne (**fnau.org, 2023**).

- **de concevoir pour et par les usages**. Avant toute chose, un projet doit s'interroger sur les pratiques existantes et futures : qui fréquente ou fréquentera le lieu ? Pour y faire quoi ? S'agit-il d'un lieu de passage ou d'un lieu où l'on s'arrête ? (**fnau.org, 2023**). Un diagnostic approfondi des usages, en y associant les habitants, est une étape cruciale pour garantir que l'aménagement réponde à des besoins réels (**ANRU, 2025**). L'interaction avec les bâtiments environnants et la prise en compte des différentes temporalités (jour/nuit, semaine/week-end, été/hiver) sont également essentielles pour créer un espace public vivant et dynamique (**Urbanews, 2017**).

- **La lisibilité et la hiérarchisation** de l'espace sont d'autres clés de réussite. Un bon aménagement permet une orientation facile et une définition claire des différentes zones (circulation, repos, jeu), ce qui réduit les conflits d'usage et renforce le sentiment de sécurité (**Institut Paris Region**, **2002**). Cela passe par un travail sur les sols, l'éclairage, le mobilier et la signalétique pour unifier l'espace tout en le différenciant (**Agam**, **2019**).
- **La frugalité**, ou "faire mieux avec moins", est un principe de plus en plus prégnant. Il s'agit de concevoir avec une économie de moyens, en s'appuyant sur les éléments existants (topographie, patrimoine, végétation) plutôt qu'en cherchant une transformation radicale (**fnau.org**, **2023**). Cette approche favorise des projets plus durables, moins coûteux et souvent mieux acceptés car plus respectueux de "l'esprit du lieu".
- **L'urbanisme tactique** offre une méthode intéressante. Il consiste à tester des aménagements légers, temporaires et peu coûteux (peinture au sol, mobilier mobile, bacs plantés) avant d'envisager des transformations définitives. Cette approche permet d'expérimenter des solutions, d'impliquer les usagers et d'adapter le projet en fonction des retours d'expérience (**Institut Paris Region**, **2024**).

IV.2. Végétalisation et Conception Écologique

Face à l'urgence climatique et à l'érosion de la biodiversité, la conception écologique des espaces publics n'est plus une option mais une nécessité. Elle vise à intégrer la nature en ville non pas comme un simple décor, mais comme une infrastructure vivante capable de rendre de multiples services écosystémiques. Cette approche repose sur une compréhension fine des enjeux liés au sol, à l'eau, à la faune et à la flore (**Plante** & **Cité**, **2023**).

Le premier enjeu est de **favoriser la nature et la végétalisation** sous toutes ses formes. Planter des arbres est essentiel pour créer de l'ombre et des îlots de fraîcheur, luttant ainsi contre les canicules estivales (fnau.org, 2023). Mais la végétalisation ne se limite pas aux arbres. Il s'agit de développer une diversité de strates végétales (prairies fleuries, haies diversifiées, plantes couvre-sol) pour maximiser les bénéfices en termes de biodiversité. Le choix d'espèces locales et adaptées au climat ("planter local") est primordial pour assurer la pérennité des plantations et limiter les besoins en entretien et en arrosage (**fnau.org**, **2023**.).

La **gestion de l'eau de pluie** est un autre pilier de la conception écologique. L'approche traditionnelle du "tout tuyau", qui vise à évacuer les eaux pluviales le plus rapidement possible, est aujourd'hui remise en cause. Elle aggrave les risques d'inondation en aval et prive les sols d'une ressource en eau précieuse. La conception durable promeut des solutions fondées sur la nature, comme les noues paysagères, les jardins de pluie ou les revêtements perméables, qui permettent à l'eau de s'infiltrer sur place. Ces ouvrages végétalisés de gestion des eaux pluviales contribuent à recharger les nappes phréatiques, à réduire les pollutions et à soutenir la végétation (**Plante** & **Cité**, **2023**.).

La **préservation des sols vivants** est également fondamentale. Le sol n'est pas un support inerte, mais un écosystème complexe et une ressource non renouvelable. Les projets d'aménagement doivent chercher à protéger les sols existants, à limiter leur imperméabilisation et à reconstituer des sols fertiles lorsque c'est nécessaire. La désimperméabilisation des surfaces est une action clé pour permettre le retour de l'eau et de la vie dans le sol (**Plante & Cité**, **2023**).

Enfin, la conception écologique doit s'inscrire dans une vision plus large, celle des **trames écologiques** (verte, bleue, brune, noire). Chaque projet, même modeste, doit être pensé comme un maillon potentiel de ces réseaux qui permettent à la faune et à la flore de circuler à travers la ville. Cela implique de préserver les continuités écologiques existantes et d'en créer de nouvelles (**Plante & Cité, 2023**).

IV.3. L'Éclairage Public comme Outil d'Aménagement

Longtemps cantonné à un rôle purement fonctionnel et sécuritaire, l'éclairage public est aujourd'hui reconnu comme un élément à part entière de la conception des espaces publics. Il ne s'agit plus seulement d'éclairer pour voir, mais d'utiliser la lumière pour révéler, hiérarchiser, créer des ambiances et accompagner les usages nocturnes de la ville (**Mayor, 2016**). Cette évolution a conduit au développement de "Plans Lumière" dans de nombreuses villes, qui abordent l'éclairage comme une composante stratégique du projet urbain.

L'un des objectifs majeurs de l'éclairage contemporain est de **définir une identité lumière** pour la ville et ses quartiers (**Agam**, **2019**). La lumière peut souligner un patrimoine architectural, mettre en valeur un paysage, ou créer une atmosphère spécifique (festive, intime, solennelle). Elle joue un rôle fondamental dans l'ambiance d'un lieu et dans l'image que les habitants et les visiteurs en perçoivent la nuit (**Mayor**, **2016**). Un éclairage bien pensé peut transformer la perception d'un espace, le rendre plus accueillant et prolonger ses usages en soirée.

La dimension **sécuritaire** reste primordiale. Un éclairage adéquat est indispensable pour sécuriser les déplacements et peut contribuer à réduire le sentiment d'insécurité (**Cariboni Group**, **2019**). Cependant, l'approche a évolué : plutôt qu'un éclairage uniforme et puissant partout, on privilégie aujourd'hui un éclairage juste et adapté, qui assure une bonne visibilité sans créer d'éblouissement ni de zones d'ombre anxiogènes. La qualité de l'éclairage (température de couleur, rendu des couleurs) est aussi importante que sa quantité.

Parallèlement, de nouveaux enjeux liés à la **durabilité** ont émergé. La lutte contre la **pollution lumineuse** est devenue une préoccupation majeure. Un éclairage excessif ou mal orienté perturbe les écosystèmes nocturnes (faune, flore), affecte la santé humaine et représente un gaspillage énergétique considérable (**Université Paris-Saclay**, **2025**). Les solutions modernes visent donc à "éclairer juste" : orienter la lumière uniquement vers les zones utiles, utiliser des températures de couleur plus chaudes (ambrées) moins impactantes pour la biodiversité, et moduler l'intensité lumineuse, voire éteindre l'éclairage au cœur de la nuit lorsque c'est possible (**Biodiversité Centre-Val de Loire**, **2024**). La technologie LED, combinée à des systèmes de gestion intelligents, offre des outils puissants pour concilier éclairage de qualité, économies d'énergie et protection de l'environnement.

V. Gestion et Entretien des Espaces Publics

V.1. Vers une Gestion Durable et Intégrée

Un espace public, aussi bien conçu soit-il, ne peut être qualitatif sur le long terme sans une gestion et un entretien adaptés. La durabilité d'un aménagement dépend autant de sa conception initiale que de la manière dont il est géré au quotidien. Une approche durable de la gestion vise à assurer la pérennité des aménagements, à maîtriser les coûts, à minimiser l'impact environnemental et à garantir la satisfaction des usagers (**enviroboite.net**, **2010**).

Un principe clé est d'**intégrer les enjeux de gestion dès la phase de conception**. Trop souvent, les concepteurs et les gestionnaires travaillent en silos, ce qui peut conduire à des aménagements magnifiques sur le papier mais difficiles ou coûteux à entretenir. Associer les services gestionnaires (espaces verts, propreté, voirie) dès le début du projet permet d'anticiper les contraintes d'entretien, de choisir des matériaux et des végétaux adaptés, et de concevoir des détails techniques qui faciliteront les interventions futures (**ANRU**, **2025**; **enviroboite.net**, **2010**). Cette collaboration est essentielle pour que l'espace public puisse être géré correctement et rester pérenne.

La **gestion différenciée** est un concept central de la gestion durable des espaces verts. Elle consiste à adapter le niveau et la nature de l'entretien à la typologie et à l'usage de chaque espace, au lieu d'appliquer un standard unique partout (Uccle, s.d.). Un parterre floral au centre d'une place n'aura pas le même entretien qu'une prairie naturelle

en périphérie. Cette approche permet de réduire l'usage de pesticides (désormais interdit dans les espaces publics), de favoriser la biodiversité en laissant des espaces plus "sauvages", et d'optimiser les moyens humains et financiers (**idverde, 2024**). Elle nécessite cependant une communication et une pédagogie auprès des habitants, pour qu'ils comprennent que "l'herbe qui pousse" n'est pas un signe de négligence mais un choix de gestion écologique (**enviroboite.net**, **2010**).

La gestion durable implique également une réflexion sur les ressources. Cela inclut la gestion de l'eau (récupération des eaux de pluie pour l'arrosage), la gestion des déchets (compostage des déchets verts sur place), et le choix de matériaux durables et locaux. La participation citoyenne peut aussi être un levier de gestion durable, à travers des dispositifs comme les jardins partagés ou les permis de végétaliser, où les habitants contribuent directement à l'entretien et à l'embellissement de leur cadre de vie (**fnau.org**, **2023**).

V.2. Entretien du Mobilier et des Infrastructures

L'entretien du mobilier urbain et des infrastructures (sols, éclairage, etc.) est un enjeu essentiel pour les collectivités. Il contribue directement à la sécurité, au confort, à la propreté et à l'image de la ville (**SEMCO**, **2025c**). Un mobilier dégradé ou sale peut rapidement engendrer un sentiment d'abandon et d'insécurité, et encourager les incivilités.

Un entretien efficace repose sur une **planification rigoureuse et une maintenance préventive**. Plutôt que d'attendre la panne ou la casse, il s'agit de mettre en place des tournées régulières de contrôle, de nettoyage et de maintenance. La fréquence de ces interventions doit être adaptée à l'usage et à la fréquentation des équipements : un banc ou une poubelle sur une place très fréquentée nécessitera une attention plus soutenue qu'un équipement dans une rue résidentielle calme (**SEMCO**, **2025c**).

Les opérations d'entretien sont variées :

- **Nettoyage :** Il doit être effectué avec des méthodes et des produits adaptés aux matériaux pour ne pas les endommager. Le nettoyage à haute pression est souvent utilisé pour enlever les salissures et les graffitis, mais l'usage de produits écologiques est à privilégier (**SEMCO**, **2025c**).
- **Contrôle technique :** Pour les mobiliers mécaniques (barrières pivotantes, bornes escamotables) ou les aires de jeux, des contrôles périodiques sont nécessaires pour vérifier le bon fonctionnement, détecter l'usure, graisser les mécanismes et garantir la sécurité des usagers.
- **Réparation et remplacement :** Une intervention rapide pour réparer un élément cassé est cruciale. Un mobilier bien entretenu a une durée de vie plus longue, ce qui réduit les coûts de remplacement à long terme et s'inscrit dans une logique de durabilité (**SEMCO**, **2025c**).

La facilité d'entretien doit être un critère de choix majeur lors de l'acquisition de nouveau mobilier. Les fabricants proposent aujourd'hui des solutions conçues pour être robustes, résistantes au vandalisme et faciles à nettoyer, ce qui représente un investissement rentable pour les collectivités (**SEMCO**, **2025c**).

La gestion des chantiers de travaux dans l'espace public est également une composante de la gestion urbaine. Un chantier mal organisé peut générer des nuisances importantes pour les riverains et les commerçants. Une bonne gestion de chantier implique de sécuriser le périmètre, d'informer clairement les usagers sur la nature et la durée des travaux, de maintenir les accès aux logements et commerces, et de minimiser les impacts (bruit, poussière) (**ANRU**, **2025**). Le chantier lui-même peut devenir un lieu de communication et de pédagogie sur le projet à venir.

Enfin, l'évaluation post-aménagement est une étape trop souvent négligée. Une fois l'espace public mis en service, il est important d'observer comment les usagers se l'approprient, si les aménagements fonctionnent comme prévu, et s'il y a des ajustements à faire. Cette évaluation permet de tirer des enseignements pour les futurs projets et d'assurer une amélioration continue de la qualité des espaces publics (**Agam**, **2019**).

VI. Sécurité et Sûreté dans les Espaces Publics

VI.1. Le Rôle de l'Aménagement dans la Prévention

La sécurité est une condition sine qua non de la qualité d'un espace public. Un lieu perçu comme dangereux ou anxiogène sera évité, perdant ainsi sa fonction sociale. La question de la sécurité dans les espaces publics est double : elle concerne d'une part la prévention de la délinquance et des incivilités (sûreté), et d'autre part la sécurité des usagers face aux risques du quotidien (accidents de la route, etc.). L'aménagement urbain joue un rôle préventif majeur sur ces deux tableaux (**Institut Paris Region**, **2002**).

L'approche de la **prévention situationnelle**, développée notamment en Amérique du Nord, postule que l'aménagement peut réduire les opportunités de passage à l'acte délictueux en rendant son exécution plus difficile et plus risquée pour le délinquant. Cette approche ne prétend pas traiter les causes sociales de la délinquance, mais agit sur l'environnement pour le rendre moins "criminogène" (**Institut Paris Region**, **2002**). Huit principes d'aménagement peuvent être dégagés de ces théories :

1. **La visibilité :** Assurer que l'on peut voir et être vu, en éliminant les recoins sombres et les angles morts.
2. **La surveillance naturelle :** Favoriser une fréquentation et une co-présence qui créent une forme de surveillance informelle par les usagers eux-mêmes ("les yeux sur la rue" de Jane Jacobs).
3. **La socialisation et les activités :** Un espace animé par des activités diverses (commerces, terrasses de café, jeux d'enfants) est un facteur dissuasif et sécurisant.
4. **La territorialité :** Encourager le sentiment d'appartenance des usagers, qui seront plus enclins à veiller sur "leur" espace.
5. **La lisibilité :** Une hiérarchie claire des espaces réduit les zones de conflit et l'incertitude.
6. **Le contrôle naturel de l'accès :** Utiliser des éléments paysagers ou architecturaux pour dissuader l'accès à des cibles potentielles.
7. **Le paysagement :** L'éclairage, le mobilier, la végétation et la signalétique participent activement à la sécurisation.
8. **Le garant de l'espace :** Assurer un entretien rapide et réactif. Un espace bien entretenu montre qu'il est surveillé et réduit le sentiment de permissivité.

Ces principes montrent que la sécurité ne se résume pas à l'installation de caméras de surveillance. C'est une démarche globale qui doit être intégrée dès la conception du projet (**ANRU**, **2025**). Un bon éclairage, une végétation qui ne masque pas la visibilité, du mobilier qui encourage les gens à s'arrêter et une mixité des fonctions sont autant de leviers pour améliorer à la fois la sécurité réelle et le sentiment de sécurité (**Institut Paris Region**, **2002**).

VI.2. Stratégies de Sécurisation Face aux Nouvelles Menaces

Au-delà de la prévention de la délinquance quotidienne, les espaces publics sont devenus des cibles potentielles pour des menaces plus graves, notamment le terrorisme. Les grands rassemblements, les lieux très fréquentés et les sites symboliques sont particulièrement visés (**Oise.gouv.fr**, **2023**). Cette nouvelle donne a conduit les autorités à développer des stratégies spécifiques pour la sûreté des espaces publics, qui cherchent à concilier impératifs de sécurité et préservation d'un cadre de vie agréable.

Le Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN) a publié un "Guide des bonnes pratiques pour la sûreté des espaces publics" destiné aux élus, aux gestionnaires de lieux et aux citoyens. Ce guide vise à sensibiliser à la menace, à aider les responsables à anticiper et à déployer des moyens adaptés, et à diffuser les gestes réflexes en cas d'attaque (**SGDSN**, **2021**).

L'un des enjeux est d'intégrer les dispositifs de sécurité physique (bornes anti-intrusion, barrières, etc.) de manière harmonieuse dans le paysage urbain, sans transformer les villes en forteresses. L'objectif est d'éviter la prolifération de blocs de béton et autres dispositifs anxiogènes, en privilégiant un mobilier urbain "à double usage" : des bancs renforcés, des jardinières surdimensionnées ou des potelets design qui peuvent servir d'obstacles efficaces tout en remplissant leur fonction première et en s'intégrant esthétiquement . La conception de ces dispositifs doit être pensée dès la phase amont des projets d'aménagement.

L'Étude de Sécurité et de Sûreté Publique (ESSP) est un outil qui peut être mobilisé pour certains projets d'aménagement. Elle permet d'analyser les risques et les menaces spécifiques à un site et de définir les mesures de prévention et de protection adaptées, en concertation avec les services de l'État (police, gendarmerie).

En somme, la sécurisation des espaces publics est un défi complexe qui appelle une réponse multidimensionnelle. Elle combine des actions d'aménagement préventif inspirées de la prévention situationnelle, le déploiement de dispositifs de sûreté physiques intégrés au paysage urbain, et une vigilance collective renforcée. L'enjeu est de protéger les citoyens sans dénaturer l'essence même de l'espace public, qui doit rester un lieu d'ouverture, de liberté et de rencontre.

VII. Accessibilité Universelle des Espaces Publics

VII.1. Cadre Réglementaire et Chaîne du Déplacement

L'accessibilité des espaces publics est un droit fondamental et un enjeu de citoyenneté. Elle vise à permettre à toute personne, quelles que soient ses capacités, de se déplacer et d'utiliser les services de la ville avec la plus grande autonomie possible. Si elle est souvent associée aux personnes en fauteuil roulant, l'accessibilité concerne en réalité une population bien plus large : personnes âgées, personnes avec une poussette, voyageurs avec des bagages, personnes souffrant d'un handicap temporaire ou permanent (physique, sensoriel, cognitif) (**ecologie.gouv.fr**, **2025**). Une ville accessible est une ville plus confortable et plus sûre pour tous.

En France, le cadre législatif a été profondément renforcé par la **loi n° 2005-102 du 11 février 2005** pour "l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées". Cette loi a introduit le concept fondamental de la **"chaîne du déplacement"**. Ce concept stipule que l'accessibilité doit être assurée de manière continue sur l'ensemble du parcours d'une personne : depuis son logement jusqu'à l'espace public, en passant par les transports, les commerces et les services (**ecologie.gouv**.fr, **2025**). La rupture d'un seul maillon de cette chaîne peut rendre tout le déplacement impossible.

La loi de 2005 a rendu obligatoire pour toutes les communes l'élaboration d'un **Plan de mise en Accessibilité de la Voirie et des aménagements des Espaces publics (PAVE)**. Ce document de planification stratégique doit diagnostiquer l'état de l'accessibilité sur le territoire communal et programmer les travaux nécessaires pour y remédier (**ecologie.gouv.fr**, **2025**). Depuis le 1er juillet 2007, tous les travaux neufs ou de réhabilitation de la voirie doivent impérativement respecter les règles d'accessibilité.

L'approche de l'**accessibilité universelle** (ou "design pour tous") va encore plus loin. Elle ne vise pas à créer des aménagements spécifiques pour les personnes handicapées, mais à concevoir dès l'origine des environnements, produits et services qui soient utilisables par tous, sans nécessiter d'adaptation. C'est une approche inclusive qui bénéficie à l'ensemble de la population (**INSPQ**, **2021**).

VII.2. Prescriptions Techniques pour une Ville Inclusive

Les décrets de 2006 et l'arrêté du 15 janvier 2007 (modifié en 2012) précisent les prescriptions techniques à respecter pour garantir l'accessibilité de la voirie et des espaces publics. Ces règles concernent de nombreux aspects de l'aménagement.

- **Le cheminement :** Un cheminement accessible doit présenter une largeur minimale (généralement 1,40 m, libre de tout obstacle), un sol non meuble, non glissant et sans obstacle à la roue. Les pentes doivent être limitées (inférieures ou égales à 5%), avec des paliers de repos réguliers. Des pentes plus fortes sont tolérées sur de très courtes distances (jusqu'à 10% sur 0,50 m) pour franchir de petits obstacles (**handinorme.com**, **2024**).
- **La détection des obstacles et le guidage :** Pour les personnes déficientes visuelles, les obstacles en hauteur (panneaux, balcons) doivent être signalés. Des bandes d'aide à l'orientation (BAO) peuvent être installées pour guider les personnes malvoyantes. Les éléments vitrés (portes, baies) doivent comporter un marquage contrasté (**handinorme.com**, **2024**). L'éclairage doit être suffisant et homogène pour éviter les zones d'ombre et l'éblouissement.
- **Le mobilier urbain et les équipements :** Le mobilier doit être positionné en dehors du cheminement principal. Les bancs doivent comporter des accoudoirs et un espace latéral pour un fauteuil roulant. Les sanitaires publics, s'ils existent, doivent comporter au moins une cabine accessible, avec un espace de manœuvre suffisant (diamètre de 1,50 m), une barre d'appui et des équipements (lavabo, miroir) à hauteur adaptée (**handinorme.com**, **2024**). Les poignées de porte doivent être facilement préhensibles, évitant les boutons ronds.

Ces prescriptions techniques ne sont pas une fin en soi. Elles sont des outils au service d'un objectif plus large : construire une ville inclusive, où chacun peut participer pleinement à la vie sociale, économique et culturelle. L'accessibilité universelle n'est pas une contrainte, mais un formidable levier d'innovation et de qualité urbaine pour tous (**Agam**, **2019**).

Conclusion

L'espace public, loin d'être un simple vide entre les bâtiments, s'affirme comme le cœur battant de la vie urbaine, le lieu où se fabrique l'urbanité et se tisse le lien social. Ce rapport a exploré les multiples facettes de cet objet complexe, de sa définition polysémique à ses enjeux contemporains les plus prégnants. L'analyse des typologies, du rôle du mobilier urbain, des principes de conception, de gestion, de sécurité et d'accessibilité a mis en lumière une transformation profonde de la manière de penser et de fabriquer la ville.

Nous sommes passés d'une vision fonctionnaliste, dominée par la voiture, à une approche humaniste, écologique et inclusive. La conception des espaces publics est désormais un exercice d'équilibriste qui doit concilier des objectifs parfois contradictoires : favoriser la mobilité tout en apaisant la circulation, densifier la ville tout en y intégrant la nature, sécuriser les lieux sans les transformer en forteresses, et répondre aux besoins de tous les publics, en particulier les plus vulnérables.

Plusieurs principes forts émergent comme les clés d'un aménagement réussi. Premièrement, une conception centrée sur les **usages** et la **participation citoyenne**, qui garantit que les projets répondent à des besoins réels. Deuxièmement, l'impératif de **durabilité**, qui se décline dans la conception écologique (gestion de l'eau, biodiversité), la frugalité des moyens et une gestion intégrée pensée sur le long terme. Troisièmement, la recherche d'une **qualité sensible et esthétique**, portée par un design soigné du mobilier et des aménagements, qui forge l'identité des lieux et favorise leur appropriation. Enfin, l'exigence d'**inclusivité**, à travers l'accessibilité universelle et la création d'espaces sûrs et accueillants pour toutes et tous.

Les défis restent immenses. L'adaptation au changement climatique, la pression foncière, les contraintes budgétaires et les conflits d'usage croissants mettent les espaces publics sous tension. Cependant, les outils et les méthodes se renouvellent, à l'image de l'urbanisme tactique, du mobilier intelligent ou des solutions fondées sur la nature. La réussite des espaces publics de demain dépendra de notre capacité collective – élus, techniciens, concepteurs et citoyens – à collaborer pour créer des lieux qui ne soient pas seulement des espaces de passage, mais de véritables lieux de vie, de rencontre et d'épanouissement, reflets d'une société plus juste et plus durable.

CHAPITRE 3 :

L'Éclairage Public

1.Généralités sur l'Éclairage Public

L'éclairage public (EP) constitue une compétence fondamentale des collectivités locales, dépassant largement sa simple fonction utilitaire. Historiquement conçu pour repousser l'obscurité et sécuriser les déplacements nocturnes, il est aujourd'hui au cœur d'enjeux multiples : attractivité territoriale, transition énergétique, préservation de la biodiversité et développement de la ville intelligente (**Syndicat de l'éclairage, 2021**). Il ne s'agit plus seulement d'éclairer, mais d'éclairer "juste", en adaptant la lumière aux besoins réels des usagers et aux spécificités des espaces, tout en maîtrisant les impacts environnementaux et budgétaires.

Ce service public, qui représente le deuxième poste de dépense énergétique des communes après les bâtiments, est en pleine mutation (**SDEC Énergie, 2021**). Le parc français, composé d'environ 10 à 11 millions de points lumineux, est vieillissant, avec près de 40% des luminaires ayant plus de 25 ans (**Économie d'Énergie, 2024**). Cette obsolescence est à la fois une contrainte, en raison de la surconsommation et des coûts de maintenance élevés, et une opportunité majeure de modernisation. La rénovation des installations est ainsi devenue un levier stratégique pour les territoires, leur permettant de réaliser des économies substantielles tout en améliorant la qualité de vie des citoyens et en répondant aux nouvelles attentes sociétales.

I.1. Définition et Fonctions de l'Éclairage Extérieur

L'éclairage extérieur, dans son acception la plus large, englobe l'ensemble des systèmes et techniques d'illumination conçus pour les espaces non-clos (**Mistec Group, 2020**). Dans le contexte de l'éclairage public, il se concentre principalement sur l'illumination des espaces accessibles au public, avec des objectifs précis et hiérarchisés. La fonction première et historique de l'éclairage public est la sécurité. Il s'agit de permettre aux usagers, qu'ils soient piétons, cyclistes ou automobilistes, de se repérer, de se mouvoir et d'identifier les obstacles potentiels durant les heures où la lumière naturelle est insuffisante (**SDEC Énergie, 2021**). Un éclairage adéquat des voiries, des carrefours et des zones piétonnes est essentiel pour prévenir les accidents et renforcer le sentiment de sécurité des habitants (**LED Rhythm, 2025**).

Au-delà de la sécurité, l'éclairage public remplit une fonction de confort et de convivialité. Il structure l'espace urbain nocturne, guide les cheminements et crée des ambiances qui contribuent à la qualité du cadre de vie. Un éclairage bien pensé peut transformer la perception d'un lieu, le rendre plus accueillant et encourager son appropriation par les citoyens. Cette dimension est particulièrement importante dans les zones résidentielles, les parcs ou les places publiques, où la lumière doit être douce et non intrusive pour ne pas perturber la quiétude des riverains (**Archiclasse, 2021**).

I.2. Éclairage d'Ambiance et Mise en Valeur

L'éclairage ne se limite pas à sa dimension fonctionnelle. Il est également un puissant outil de mise en valeur du territoire, participant à son identité et à son attractivité. C'est le domaine de l'éclairage architectural et de l'éclairage d'ambiance. L'éclairage architectural vise à souligner les lignes, les volumes et les détails d'un bâtiment, d'un monument ou d'un ouvrage d'art, révélant sa beauté nocturne (**Levenly, 2018**). Cette "mise en lumière" du patrimoine (églises, châteaux, ponts) crée des repères visuels dans le paysage nocturne et renforce la fierté locale (**SDEC Énergie, 2021**).

L'éclairage d'ambiance, quant à lui, cherche à créer une atmosphère particulière dans un espace donné. En jouant sur l'intensité, la température de couleur, la direction et la répartition de la lumière, il est possible de modeler

des ambiances variées : chaleureuses et intimes dans une ruelle historique, dynamiques et festives sur une place commerçante, ou encore apaisantes dans un jardin public. Cette approche sensible de la lumière, souvent formalisée Dans un Schéma Directeur d'Aménagement Lumière (SDAL), contribue à forger une "identité nocturne" pour la ville, en cohérence avec son projet urbain (**Cerema, 2024**).

Enfin, l'éclairage événementiel ou festif, par l'installation temporaire de guirlandes ou de motifs lumineux, participe à l'animation de la ville lors de périodes spécifiques (fêtes de fin d'année, festivals). Ces installations, bien que temporaires, doivent respecter les mêmes règles de sécurité et de hauteur que les réseaux permanents (**SDEC Énergie, 2020**).

II. Les Différentes Technologies d'Éclairage Public

L'histoire de l'éclairage public est intimement liée à l'évolution des technologies de sources lumineuses. Chaque génération de lampes a apporté son lot d'améliorations en termes d'efficacité, de durée de vie et de qualité de lumière, transformant progressivement le visage de nos villes la nuit. Si, il y a peu, les lampes à décharge dominaient le marché, la technologie LED (Light Emitting Diode) s'est imposée comme le nouveau standard mondial, entraînant une rénovation massive des parcs d'éclairage .

II.1. Technologies à Décharge

Les lampes à décharge ont longtemps constitué la principale technologie d'éclairage public. Leur principe repose sur l'excitation d'un gaz ou d'une vapeur métallique par un courant électrique, produisant de la lumière. On distingue plusieurs familles principales :

- **Lampes à vapeur de mercure haute pression :** Apparues dans les années 1950, ces lampes (souvent sous forme de "ballons fluorescents") diffusent une lumière blanche. Elles sont cependant très énergivores, ont un mauvais indice de rendu des couleurs (IRC) et leur mise sur le marché est interdite en Europe depuis 2015 en raison de leur inefficacité et de la présence de mercure. Elles représentent encore une part non négligeable du parc vieillissant (É**conomie d'Énergie, 2024**).
- **Lampes à vapeur de sodium haute pression (HPS) :** Reconnaissables à leur lumière jaune-orangé caractéristique, les lampes HPS ont été massivement déployées pour leur excellente efficacité lumineuse (lm/W) et leur longue durée de vie. Leur principal défaut est un très mauvais rendu des couleurs (IRC faible), qui altère la perception de l'environnement. Elles restent présentes dans une grande partie des installations mais sont progressivement remplacées (**Fonroche Lighting, 2025**).
- **Lampes à vapeur de sodium basse pression (LPS) :** Offrant la meilleure efficacité lumineuse de toutes les technologies, les lampes LPS émettent une lumière monochromatique orange qui ne permet absolument pas de distinguer les couleurs (IRC proche de 0). Leur usage est donc très limité .
- **Lampes aux halogénures métalliques (MH) :** Ces lampes produisent une lumière blanche de bonne qualité avec un bon rendu des couleurs. Elles ont été utilisées pour l'éclairage de places, de stades ou de centres-villes. Cependant, leur durée de vie est plus courte que celle des lampes HPS et elles nécessitent un temps de préchauffage et de réamorçage.

Un inconvénient majeur commun à toutes ces lampes à décharge est leur temps d'allumage, qui peut atteindre 15 minutes pour obtenir le flux lumineux nominal, et la nécessité d'attendre plusieurs minutes avant de pouvoir les

rallumer après une coupure. De plus, elles contiennent des substances dangereuses comme le mercure, ce qui complique leur recyclage.

Tableau 3.1 *: Les différentes types de lampes et leurs utilisations*

(Source : Préparé par l'auteur comme mentionné précédemment 2026)

Type de lampe	Illustration	Utilisation
Lampes à vapeur de mercure haute pression		**Éclairage public historique** : Elles ont équipé de nombreuses rues et autoroutes avant **Éclairage industriel** : Ateliers, entrepôts, halles de production Grands espaces intérieurs : Gares, halls d'exposition **Aquariophilie marine** : Historiquement utilisées pour les aquariums récifaux (coraux)
Lampes à vapeur de sodium haute pression (HPS)		**Éclairage public dominant** : Rues, parkings, tunnels, rondpoints. **Éclairage sécuritaire** : Zones où la perception des couleurs n'est pas primordiale mais où un éclairage intense et fiable est nécessaire (ports, aéroports, zones industrielles). **Éclairage décoratif** : Parfois utilisées pour créer des ambiances chaudes sur des façades ou monuments
Lampes à vapeur de sodium basse pression (LPS)		**Éclairage routier dans des zones sensibles à la pollution lumineuse** : **Tunnels et zones de transition** : **Zones industrielles et sécuritaires** : Parkings, gares de triage ferroviaire, quais portuaires **Éclairage des chambres froides** :
Lampes aux halogénures métalliques (MH)		**Elles ont été utilisées pour l'éclairage de places, de stades ou de centres-villes**

II.2. La Révolution de la Technologie LED

La technologie LED (Diode Électroluminescente) a radicalement changé la donne en matière d'éclairage public. Basée sur un principe d'électroluminescence où un semi-conducteur émet directement de la lumière lorsqu'il est traversé par un courant, la LED cumule les avantages :

- **Efficacité énergétique :** Les LED permettent des économies d'énergie de 50% à 80% par rapport aux technologies traditionnelles qu'elles remplacent (**Économie d'Énergie, 2024**).
- **Longévité exceptionnelle :** Leur durée de vie est estimée entre 50 000 et 100 000 heures, réduisant considérablement les opérations et les coûts de maintenance .
- **Qualité de la lumière :** Les LED offrent un excellent rendu des couleurs (IRC élevé) et une large gamme de températures de couleur (du blanc chaud au blanc froid), permettant d'adapter la lumière à l'ambiance souhaitée.
- **Contrôle et flexibilité :** Elles permettent un allumage instantané et une gradation facile de 0 à 100%, ce qui ouvre la voie à une gestion intelligente de l'éclairage (abaissement nocturne, détection de présence).
- **Directionnalité :** La lumière émise est directionnelle, ce qui permet de mieux la maîtriser, de la diriger uniquement là où elle est nécessaire et ainsi de réduire drastiquement la pollution lumineuse (**Syndicat de l'éclairage, 2021**).
- **Respect de l'environnement :** Les LED ne contiennent pas de mercure ou d'autres substances dangereuses, facilitant leur recyclage.

Grâce à ces atouts, la LED est devenue la technologie systématiquement préconisée pour tous les nouveaux projets et les opérations de rénovation (**SDEC Énergie, 2020**). Elle est le socle de l'éclairage public moderne, plus performant, plus durable et plus intelligent.

II.3. Solutions Émergentes : Éclairage Solaire et Intelligent

Sur la base de la technologie LED, deux grandes tendances se développent :

L'éclairage public solaire : Il combine une source lumineuse LED, un panneau photovoltaïque pour capter l'énergie solaire et une batterie pour la stocker. Son principal avantage est son autonomie : il ne nécessite aucun raccordement au réseau électrique, ce qui le rend idéal pour les zones isolées, rurales ou les parcs où le creusement de tranchées serait coûteux ou complexe. Ses limites résident dans sa dépendance aux conditions météorologiques et une luminosité parfois plus faible que les systèmes raccordés (**LED Rhythm, 2025**).

L'éclairage public intelligent (Smart Lighting) : Il s'agit de l'intégration de systèmes de contrôle et de communication aux luminaires LED. Cela permet une gestion centralisée et à distance de l'ensemble du parc. Les fonctionnalités sont nombreuses : programmation horaire, gradation automatique en fonction du trafic ou de la présence, remontée d'informations sur l'état des luminaires (alarme de panne, statistiques de consommation). Le lampadaire devient alors une infrastructure connectée, un "mât intelligent" pouvant accueillir d'autres services pour la ville intelligente (caméras de vidéoprotection, capteurs environnementaux, bornes Wi-Fi, etc.) (**LEDhythm,2025**).



Figure 3.1. *L'Eclairage public intelligent- la lumière de demain*
(Source : Préparé par l'auteur on utilisant le programme NotebooKLM 2026)

II.4. Tableau Comparatif des Technologies

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques des principales technologies d'éclairage public, mettant en évidence la supériorité de la technologie LED sur la plupart des critères.

Tableau 3.2 *: les caractéristiques des principales technologies d'éclairage public*
(Source : https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/201207/2_lumiere_urbaine.pdf)

Technologie	Durée de vie (heures)	Efficacité (lm/W)	Température de couleur (K)	IRC (Rendu des couleurs)	Temps d'allumage	Avantages / Inconvénients
Vapeur de Mercure	12 000 – 24 000	13 – 48	~ 4 000 K	15 – 55	Jusqu'à 15 min	Très énergivore, mauvais IRC, obsolète.
Sodium Haute Pression (HPS)	12 000 – 24 000	45 – 130	~ 2 000 K	~ 25	Jusqu'à 15 min	Bonne efficacité, mais très mauvais IRC (lumière orange).
Sodium Basse Pression (LPS)	10 000 – 18 000	80 – 180	~ 1 800 K	0	Jusqu'à 15 min	Excellente efficacité, mais IRC nul (monochromatique).
Halogénures Métalliques (MH)	10 000 – 15 000	60 – 100	3 000 – 4 300 K	~ 80	Jusqu'à 15 min	Bon IRC (lumière blanche), mais durée de vie plus courte.
LED	**50 000 – 100 000**	**70 – 150+**	**2 700–6 400 K**	**> 70-90**	**Instantané**	**Très efficace, longue vie, excellent contrôle, bon IRC.**

II.5. Types d'implantation des lampadaires :

Selon les différentes voiries et espaces public, il y a différents types d'implantation des lampadaires. Dans ce que suit la présentation de ces différents types (**Brahimi, B & Bouhamed, AE, 2022**)

II.5.1. L'implantation unilatérale :

Ce type est constitué d'un seul rangé des lampadaires, dans le même côté de route.

Avantageux par un investissement limité et l'encombrement limité d'un seul trottoir, mais il est adapté aux chaussées de largeur limitée (Voiries urbaines, Cheminements piétons…)

II.5.2. L'implantation bilatérale en vis-à-vis :

Ce type constitué de deux rangés des lampes vis-à-vis des deux côtés de route

Avantageux par son adaptation aux chaussées de largeur plus importante, et la limitation possible de la hauteur de feu (H=L/2), mais il est un Investissement plus important

II.5.3. L'implantation bilatérale en quinconce :

Ce type constitué de deux rangés dans les deux côtés de route, mais non vis-à-vis.

Avantageux par son esthétique, mais il a un investissement plus important et l'uniformité de luminance plus complexes à obtenir, il peut utiliser pour les voiries de desserte et les parcs et les jardins

II.5.4. L'implantation Retro bilatérale :

Ce type constitué de deux rangés des lampes mais dos à dos dans un seul côté de route.

Avantageux par son adaptation aux chaussées de largeur plus importante, et la limitation possible de la hauteur de feu (H=L/2), mais il est un Investissement plus important

II.5.5. L'implantation axiale :

Ce type constitué d'un rangé des lampes au milieu de route (axe).

Avantageux par un investissement limité (une seule rangée de mâts), mais l'uniformité de luminance réduite à le côté opposé et la maintenance est difficile. Elle est utilisée dans les grandes voiries mixtes Ce type d'implantation peut également devenir la seule solution acceptable

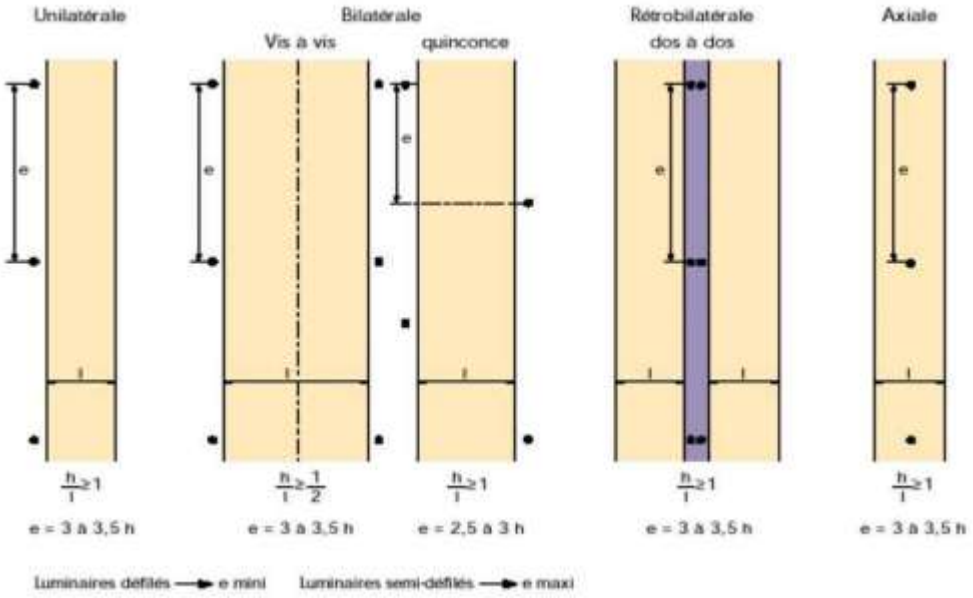


***Figure 3.2**. Positionnement des lampadaires selon la largeur de chaque route*

(Source : https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2012-07/2_lumiere_urbaine.pdf)

III. Méthodes de Calcul pour les Installations d'Éclairage

La conception d'une installation d'éclairage public ne s'improvise pas. Elle repose sur une méthodologie de calcul rigoureuse visant à garantir la performance, la sécurité et la conformité de l'installation. Ces calculs, qui vont de l'étude photométrique au dimensionnement des câbles, sont encadrés par des normes et des guides techniques, notamment la norme NF C 17-200 et le guide UTE C 17-205 . L'objectif est de fournir le juste niveau de lumière, de manière uniforme et sécurisée, tout en optimisant les coûts d'investissement et d'exploitation.

III.1. Hypothèses de Calcul et Études Photométriques

Tout projet d'éclairage débute par une étude photométrique. Cette étude définit les paramètres fondamentaux de l'installation en fonction de la typologie de la voie à éclairer et des objectifs de performance visés. Elle permet de déterminer la disposition optimale des points lumineux (implantation unilatérale, bilatérale, en quinconce), leur hauteur, leur espacement (interdistance), la longueur des crosses, ainsi que la puissance et le type de luminaire à utiliser (**SIEML, 2021**).

Les calculs se basent sur des classes d'éclairage définies par les normes, qui spécifient les niveaux de performance à atteindre et à maintenir dans le temps. Ces performances sont exprimées soit en termes de **luminance** (mesurée en candelas par mètre carré, cd/m^2), qui caractérise la sensation de clarté de la surface de la chaussée vue par le conducteur, soit en termes d'**éclairement** (mesuré en lux), qui quantifie la lumière reçue par une surface. En plus du niveau moyen (Lmoy ou Emoy), un critère crucial est l'**uniformité** (U0), qui est le rapport entre la valeur minimale et la valeur moyenne. Une bonne uniformité est essentielle pour éviter les zones d'ombre et garantir un bon confort visuel (**SIEML, 2021**).

Tableau 3.3 *: des préconisations techniques, illustre ces concepts pour différents types de voies*
(Source : guide d éclairage public calaméo 2022)

Typologie de voie	Classe d'éclairage	Concept	Valeur moyenne maintenue	Uniformité (U0) minimale	Hauteur de feu type
Voies structurantes (type départementale)	M2	Luminance	1,5 cd/m^2	0,4	9 à 12 m
Voies secondaires (trafic local)	M4	Luminance	0,75 cd/m^2	0,4	6 à 9 m
Voies de centre-ville	C4	Éclairement	15 lux	0,4	3 à 6 m
Voies résidentielles	C5	Éclairement	7,5 lux	0,4	3 à 6 m

Ces études prennent également en compte un facteur de maintenance qui anticipe la dépréciation du flux lumineux des sources et l'encrassement des luminaires au fil du temps, afin de garantir que les niveaux requis soient respectés tout au long de la vie de l'installation.

III.2. Calcul des Sections de Câbles

Le dimensionnement du réseau électrique est une étape critique qui conditionne la sécurité et le bon fonctionnement de l'installation. Le calcul de la section des conducteurs électriques vise à répondre à deux exigences principales :

1. L'échauffement du câble : Le câble doit être capable de supporter le courant nominal de l'installation sans surchauffe. La section est choisie pour que l'intensité admissible du câble soit supérieure à l'intensité d'emploi du circuit, en tenant compte des conditions de pose (en fourreau, enterré, etc.).

2. La chute de tension : La tension diminue le long d'un câble en raison de sa résistance. La norme NF C 15-100 impose des limites à cette chute de tension pour assurer que les appareils en bout de ligne reçoivent une tension suffisante pour fonctionner correctement. Pour l'éclairage public, la chute de tension entre l'origine de l'installation et tout point d'utilisation ne doit généralement pas dépasser 3% (**Promotelec, 2025**). Pour les longues lignes, des majorations peuvent être tolérées.

La formule de base pour calculer la chute de tension (ΔU) en monophasé est :

$\Delta U = 2 \times L \times I \times (\rho/S)$ Où :

- **L** est la longueur du câble en mètres.
- **I** est l'intensité du courant en ampères.
- **ρ (rho)** est la résistivité du conducteur (ex: 0,0225 Ω.mm²/m pour le cuivre).
- **S** est la section du câble en mm².

À partir de cette formule, on peut déterminer la section minimale (S) requise pour ne pas dépasser la chute de tension admissible. Des outils et abaques sont souvent utilisés pour simplifier ces calculs. Le guide UTE C 17-205 est le document de référence pour ces calculs dans le contexte de l'éclairage public . Les sections minimales couramment utilisées pour les circuits de distribution sont de 6 mm^2 en cuivre, et peuvent aller jusqu'à 25 mm^2 ou plus selon la puissance et la longueur de la ligne (**SIEML, 2021**).

Un troisième critère, lié à la protection, est de s'assurer que la section du câble et le calibre du dispositif de protection (disjoncteur, fusible) permettent un déclenchement rapide en cas de court-circuit, même en bout de ligne où le courant de court-circuit est le plus faible.

III.3. Bilan de Puissance

Le bilan de puissance est un calcul essentiel qui permet de déterminer la puissance totale requise par l'installation d'éclairage public. Ce bilan est nécessaire pour dimensionner correctement l'alimentation depuis le réseau de distribution publique (transformateur, point de livraison) et pour souscrire l'abonnement électrique adéquat auprès du fournisseur d'énergie.

La puissance totale de l'installation est obtenue en additionnant les puissances de tous les luminaires qui la composent. Il est important de considérer la puissance totale du système (lampe + appareillage/driver) et non uniquement la puissance de la source lumineuse. Une formule simple pour estimer la puissance électrique nécessaire pour l'éclairage public (Pep) est la suivante:

$Pep = P_totale \times k_majoration$ Où :

- **P_totale** est la somme des puissances nominales de tous les luminaires : $P_totale = \sum (n \times P)$, avec 'n' le nombre de luminaires d'un type donné et 'P' leur puissance unitaire.
- **k_majoration** est un coefficient de majoration (souvent pris à 1.25) qui prend en compte les pertes dans les lignes et les appareillages, ainsi que le courant d'appel à l'allumage.

- Le bilan de puissance doit être réalisé pour chaque départ de l'armoire de commande. Il permet de vérifier que la puissance souscrite est en adéquation avec la puissance réellement installée et appelée. Un écart important peut signifier un surcoût d'abonnement inutile ou, à l'inverse, un risque de dépassement et de coupure.

IV. Composants et Sécurité des Réseaux

La fiabilité et la sécurité des personnes et des biens sont les piliers de toute installation électrique, et l'éclairage public ne fait pas exception. La norme NF C 17-200, dédiée aux installations d'éclairage extérieur, définit les règles de l'art pour la protection contre les contacts directs et indirects. Ces règles se traduisent par des prescriptions techniques précises concernant la mise à la terre des masses métalliques et le choix des appareillages de protection et de commande.

IV.1. La Mise à la Terre des Installations

La norme NF C 17-200 et les guides techniques préconisent une **mise à la terre collective** pour les installations neuves ou les rénovations complètes. Cette méthode est considérée comme plus fiable que les prises de terre individuelles à chaque mât .La méthode la plus courante consiste à déployer un conducteur de protection en fond de fouille, sur toute la longueur du réseau. Ce conducteur remplit une double fonction :

- **Prise de terre :** Son contact avec le sol sur une grande longueur assure une faible valeur de résistance de terre.
- **Liaison équipotentielle :** Il interconnecte toutes les masses des candélabres, garantissant qu'elles soient au même potentiel.

Les prescriptions techniques sont très précises (**SIEML, 2021; Metropole Toulouse, 2022**) :

- **Le conducteur de terre est un câble de cuivre nu de 25 mm²** de section, posé en fond de fouille sous les fourreaux.
- **La dérivation vers chaque candélabre** est réalisée avec une connexion **indémontable**, typiquement par un raccord serti de type "C".
- **La remontée du cuivre** nu dans le fût du mât doit être protégée mécaniquement par une gaine.
- **La connexion à la borne de terre du candélabre** se fait avec une cosse et une boulonnerie en **acier inoxydable** pour éviter la corrosion.

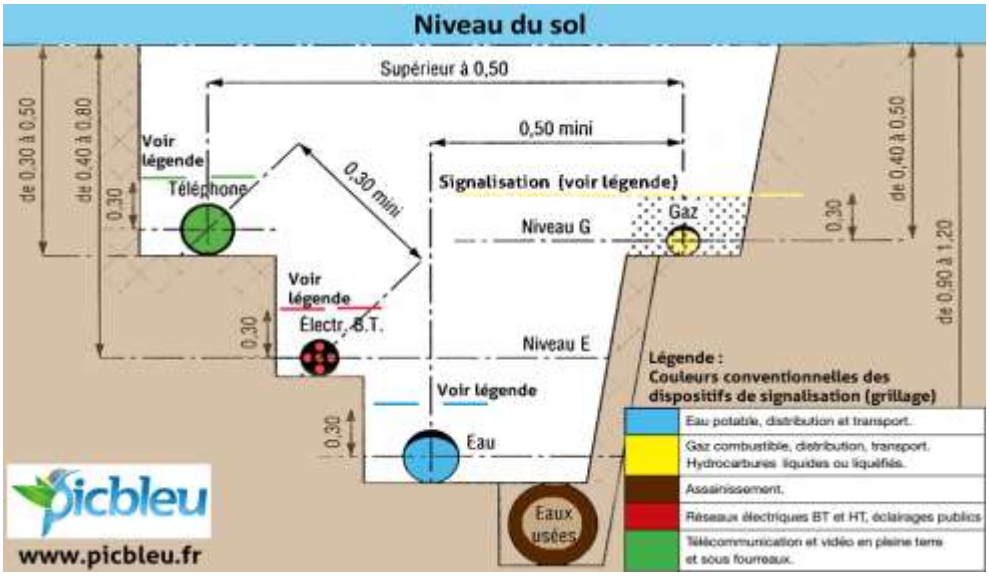


Figure 3.3. *La Mise à la Terre des câbles et les Installations électriques*

(Source : https://picbleu.fr/les-articles/normes-d-enfouissement-des-reseaux-d-eau-de-gaz-et-d-electricite)

Il est impératif que tous les candélabres conducteurs soient mis à la terre, quelle que soit la classe d'isolation (I ou II) des luminaires qu'ils supportent (**Metropole Toulouse, 2022**). Cette mesure garantit la sécurité même en cas de modification ultérieure de l'installation.

IV.2. Appareillages Électriques et Protection

Les appareillages électriques regroupent l'ensemble des composants qui permettent la commande, la protection et la distribution de l'énergie au sein du réseau d'éclairage public. Ils sont principalement concentrés dans l'**armoire de commande** et au pied de chaque mât.

L'armoire de commande

C'est le cerveau de l'installation. Une armoire type est généralement compartimentée pour séparer les différentes fonctions (**SIEML, 2021**) :

1. Compartiment Comptage : Réservé au distributeur d'énergie (Enedis), il abrite le compteur et l'appareil de coupure général.

2. Compartiment Commande : Géré par la collectivité ou son mainteneur, il contient les organes de pilotage (horloge astronomique, cellule photoélectrique, système de télégestion) et les contacteurs de puissance qui commutent les départs.

3. Compartiment Départs : Il regroupe les dispositifs de protection pour chaque circuit (départ) alimentant une ligne de luminaires.

Les dispositifs de protection

La protection des circuits est assurée à plusieurs niveaux, conformément à la norme NF C 17-200 :

- **Protection contre les surintensités (surcharges et courts-circuits) :** Chaque départ dans l'armoire est protégé par un disjoncteur magnétothermique ou des fusibles (type gG). Leur calibre est déterminé par le calcul de section de câble pour protéger le conducteur tout en évitant les déclenchements intempestifs. Une protection individuelle est également souvent présente au pied de chaque mât.
- **Protection contre les contacts indirects :** En schéma de liaison à la terre TT (le plus courant en France), la protection des personnes est assurée par des **Dispositifs Différentiels à courant Résiduel (DDR)**. Un DDR général est placé en tête de l'installation dans l'armoire. Il mesure en permanence la différence entre le courant qui entre et celui qui sort du circuit. En cas de fuite de courant vers la terre (défaut d'isolement), cette différence n'est plus nulle, et le DDR coupe l'alimentation très rapidement, avant que le contact ne soit dangereux. La sensibilité du DDR (ex: 300 mA ou 500 mA) est choisie en fonction de la résistance de la prise de terre.

L'ensemble de ces appareillages, du disjoncteur au contacteur en passant par le bornier de raccordement, doit être choisi et mis en œuvre dans le respect des normes pour garantir une installation sûre et durable.

V. Gestion, Maintenance et Communication

Un parc d'éclairage public, même parfaitement conçu et installé, nécessite une gestion rigoureuse et une maintenance régulière pour assurer sa pérennité, sa performance et la continuité du service. L'avènement des technologies numériques a profondément transformé ces métiers, passant d'une approche curative à une gestion préventive et prédictive, optimisée par des systèmes de communication avancés. L'objectif est double : maîtriser les coûts d'exploitation et faire du réseau d'éclairage une infrastructure évolutive au service de la ville intelligente (**Syndicat de l'éclairage, 2021**).

V.1. Stratégies d'Exploitation et de Maintenance

L'exploitation et la maintenance d'un parc d'éclairage public recouvrent un ensemble d'opérations visant à garantir son bon fonctionnement et sa sécurité. On distingue principalement deux types de maintenance:

- **La maintenance préventive :** Elle consiste en des interventions planifiées pour anticiper les pannes et maintenir le niveau de performance de l'installation. Cela inclut des visites systématiques des armoires de commande, le nettoyage des luminaires, et surtout le renouvellement programmé des sources lumineuses avant leur fin de vie. Par exemple, pour les technologies autres que LED, un remplacement des lampes tous les 4 ans est une pratique courante. Avec la généralisation des LED à très longue durée de vie, cette maintenance préventive évolue vers des diagnostics et des mesures photométriques périodiques.
- **La maintenance curative (ou corrective) :** Elle regroupe les interventions non planifiées, en réponse à une panne signalée (par des agents, des citoyens ou un système de télégestion) ou à un sinistre. Cela va du simple remplacement d'un fusible à la mise en sécurité et au remplacement d'un candélabre accidenté. La réactivité est un critère clé de la qualité de service.

Pour piloter efficacement ces opérations, les gestionnaires s'appuient de plus en plus sur des **Systèmes d'Information Géographique (SIG)** et des logiciels de **Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)**. Des outils comme GEO.Lux ou SAGA GMAO permettent de centraliser l'inventaire complet du parc (points lumineux, armoires, réseaux), de géolocaliser chaque élément, de planifier les interventions de maintenance, de suivre l'historique des pannes et de gérer les stocks de pièces détachées Cette gestion patrimoniale informatisée est indispensable pour optimiser les tournées des techniciens et prendre des décisions éclairées en matière de rénovation.

V.2. Technologies de Communication pour l'Éclairage Intelligent

La gestion intelligente de l'éclairage repose sur la capacité des luminaires et des armoires de commande à communiquer avec un système central. Cette communication permet de transmettre des ordres (allumage, extinction, gradation) et de recevoir des informations (état, consommation). Deux grandes familles de technologies de communication coexistent : les solutions câblées et les solutions sans fil (**Salvi, 2025**).

Communications Câblées

Historiquement, la commande se faisait par un fil pilote dédié ou par courants porteurs en ligne (CPL), où les signaux de commande transitent par les câbles d'alimentation électrique existants. Ces systèmes sont réputés pour leur **stabilité et leur fiabilité**, car ils ne sont pas sujets aux interférences radio. Les solutions modernes basées sur la fibre optique offrent en plus une très large bande passante, permettant de faire transiter de grands volumes de données en temps réel. Cependant, les communications câblées présentent des inconvénients majeurs : un **coût d'installation élevé** et une **faible flexibilité**. Le déploiement de nouveaux câbles de communication est complexe et onéreux, en particulier dans les zones urbaines denses (**Salvi, 2025**).

Communications Sans Fil

Les technologies sans fil ont révolutionné la gestion de l'éclairage par leur **flexibilité**, leur **facilité de déploiement** et leurs **coûts réduits**. Elles permettent d'équiper rapidement de vastes zones sans travaux de génie civil. Plusieurs protocoles sont utilisés :

- **Réseaux maillés (Mesh) :** C'est l'une des technologies les plus répandues. Chaque point lumineux est un nœud qui peut recevoir, envoyer et relayer des informations. Si un nœud tombe en panne, le réseau se "répare" automatiquement

en trouvant un autre chemin. Cela crée une infrastructure de communication très robuste et résiliente, bien adaptée aux environnements urbains complexes (**Salvi, 2025**).

- **Réseaux étendus à faible puissance (LPWAN) :** Des technologies comme **LoRaWAN** ou Sigfox sont conçues pour transmettre de petites quantités de données sur de longues distances avec une très faible consommation d'énergie. Elles sont bien adaptées à l'éclairage public, où les besoins en bande passante sont limités. LoRaWAN, en particulier, offre un bon compromis entre portée, coût et autonomie
- **Réseaux cellulaires (IoT cellulaire) :** L'utilisation des réseaux mobiles (4G, 5G, NB-IoT, LTE-M) permet de s'appuyer sur une infrastructure existante et très fiable. Cette solution offre une excellente couverture et une faible latence, mais peut engendrer des coûts d'abonnement récurrents par point lumineux

Le choix entre ces technologies dépend du contexte local, de la densité du parc, des services envisagés et du modèle économique (investissement initial vs coûts opérationnels). La tendance est clairement à l'hybridation, combinant différentes technologies pour optimiser la couverture et les coûts sur l'ensemble d'un territoire.

VI. Enjeux de Performance Énergétique et de Réduction de la Pollution Lumineuse

L'éclairage public est à la croisée de deux défis majeurs du XXIe siècle : la transition énergétique et la préservation de la biodiversité. Représentant une part significative de la consommation électrique et du budget des collectivités, il constitue un gisement considérable d'économies d'énergie. Parallèlement, la lumière artificielle nocturne est reconnue comme une source de pollution aux impacts multiples sur les écosystèmes et la santé humaine. La modernisation de l'éclairage public est donc un levier d'action puissant pour construire des territoires plus sobres et plus respectueux de l'environnement.

VI.1. La Performance Énergétique : Un Levier Économique et Écologique

En France, l'éclairage public représente en moyenne **37% à 41% de la facture d'électricité des collectivités locales** (**Économie d'Énergie, 2024**). Face à la hausse structurelle du prix de l'électricité, la maîtrise de ce poste de dépense est devenue une priorité. Le potentiel d'action est immense : le Syndicat de l'éclairage estime que la rénovation du parc pourrait générer entre **50% et 80% d'économies d'énergie** (**Économie d'Énergie, 2024**).

Les principaux leviers pour améliorer la performance énergétique sont :

1. Le remplacement des sources lumineuses obsolètes : La substitution des lampes à vapeur de mercure ou à sodium par des luminaires LED est l'action la plus efficace. Le gain énergétique est immédiat et massif.

2. La gestion intelligente de l'éclairage : L'utilisation de systèmes de pilotage permet d'adapter le niveau et la durée de l'éclairage aux besoins réels. L'abaissement de l'intensité lumineuse en milieu de nuit (période déclassée) ou l'extinction totale dans certaines zones et à certaines heures sont des pratiques de plus en plus courantes. Entre 2014 et 2024, le nombre de communes pratiquant l'extinction nocturne a fortement augmenté, notamment en réponse à la crise énergétique (**Cerema, 2025**).

3. L'optimisation des installations : Une étude photométrique rigoureuse permet d'éviter le sur-éclairage en installant la juste puissance au bon endroit, avec des optiques performantes qui dirigent la lumière uniquement sur la zone à éclairer.

La rénovation de l'éclairage public offre un retour sur investissement attractif, souvent compris entre 4 et 6 ans (**Économie d'Énergie, 2024**). Au-delà des gains financiers, elle contribue directement aux objectifs nationaux et européens de réduction des émissions de gaz à effet de serre, comme ceux fixés par la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) (**ADEME, 2021**).

VI.2. La Pollution Lumineuse : Impacts et Solutions

La pollution lumineuse est définie comme la présence anormale ou gênante de lumière artificielle dans l'environnement nocturne. Ses conséquences, longtemps sous-estimées, sont aujourd'hui bien documentées et préoccupantes. En 2023, 72% du territoire métropolitain restait exposé à un niveau élevé de pollution lumineuse en cœur de nuit (**Statistiques du Développement Durable, 2025**).

VI.2.1. Impacts de la pollution lumineuse

- **Sur la biodiversité :** C'est l'impact le plus documenté. La lumière artificielle perturbe les cycles de vie, les comportements de reproduction, d'alimentation et de migration de nombreuses espèces nocturnes (insectes, chauves-souris, amphibiens) et même diurnes. Elle fragmente les habitats et constitue une barrière écologique, entravant le fonctionnement des continuités écologiques (trames vertes et bleues). Le concept de **"trame noire"** a émergé pour désigner les corridors d'obscurité nécessaires à la faune nocturne (**INRAE, 2025; Économie d'Énergie, 2024**).
- **Sur la santé humaine :** L'exposition à la lumière la nuit, en particulier la lumière bleue, peut perturber notre horloge biologique (rythme circadien), affecter la qualité du sommeil et être impliquée dans certains troubles de la santé (**Université Paris-Saclay, 2025**).
- **Sur le ciel étoilé :** Le halo lumineux généré par les villes masque la voûte céleste, privant une grande partie de la population de la contemplation des étoiles et entravant l'observation astronomique.
- **Sur la consommation d'énergie :** Toute lumière émise vers le ciel ou en dehors de la zone utile est une pure perte d'énergie (gaspillage).

VI.2.2Cadre réglementaire et solutions techniques

La prise de conscience de ces enjeux a conduit à un renforcement du cadre réglementaire. L'**arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses** est le texte de référence en France. Il impose des prescriptions techniques pour les installations neuves et existantes, notamment (**SIEML, 2021; SDE35, 2024**) :

- **Temporalité :** Des plages horaires d'extinction ou de fonctionnement réduit sont définies pour de nombreuses installations (éclairage de bâtiments non résidentiels, parkings, etc.).
- **Orientation du flux lumineux :** La proportion de lumière émise au-dessus de l'horizontale (ULOR) doit être minimisée. L'objectif est de n'éclairer que vers le bas.
- **Température de couleur :** Une température de couleur maximale de 3000 Kelvins (blanc chaud) est imposée dans la plupart des cas, afin de limiter la part de lumière bleue, plus impactante pour la biodiversité et les rythmes biologiques.

La mise en œuvre de ces mesures passe par l'adoption de bonnes pratiques : choisir des luminaires "full cut-off" (flux entièrement dirigé vers le bas), privilégier des températures de couleur chaudes (≤ 3000 K, voire ambrées dans les zones les plus sensibles), et mettre en place une gestion dynamique de l'éclairage (gradation, extinction) pour n'éclairer que quand et où c'est nécessaire. La démarche de Schéma Directeur d'Aménagement Lumière (SDAL) permet de planifier ces actions à l'échelle d'un territoire, en conciliant les besoins de sécurité des habitants et la protection de l'environnement nocturne (**INRAE, 2025**).

Conclusion

L'éclairage public, service public essentiel au cœur de la vie des territoires, a achevé une profonde mutation. D'une simple fonction de sécurisation nocturne, il est devenu un système complexe et multifacette, porteur d'enjeux économiques, sociaux, environnementaux et technologiques de premier plan. Ce rapport a mis en lumière les différentes dimensions de cette transformation, depuis les principes fondamentaux de l'éclairage jusqu'aux défis contemporains de la performance énergétique et de la ville intelligente.

L'analyse des technologies a montré la domination sans partage de la LED, dont les performances en termes d'efficacité, de longévité et de flexibilité ont rendu obsolètes les générations précédentes de lampes à décharge. Cette révolution technologique est le principal moteur de la rénovation des parcs, offrant aux collectivités un levier puissant pour réduire leur facture énergétique de 50% à 80% et diminuer drastiquement leurs coûts de maintenance.

La conception et la réalisation des installations reposent sur des méthodes de calcul rigoureuses, encadrées par des normes strictes comme la NF C 17-200. Le dimensionnement photométrique pour atteindre les justes niveaux de luminance ou d'éclairement, le calcul des sections de câbles pour garantir la sécurité et la performance, le bilan de puissance pour optimiser l'abonnement, et surtout, les prescriptions détaillées pour la mise à la terre, constituent le socle technique indispensable à toute installation fiable et durable.

Au-delà de la technique, la gestion de l'éclairage a elle aussi évolué. La maintenance curative cède le pas à une gestion patrimoniale préventive, assistée par des outils SIG et GMAO. Surtout, l'intégration de technologies de communication, qu'elles soient filaires ou sans fil (LoRaWAN, réseaux maillés), transforme le lampadaire en un objet connecté. Il devient le premier maillon d'une infrastructure de "Smart City", capable de s'adapter en temps réel aux usages et d'héberger de nouveaux services pour les citoyens.

Enfin, ce rapport a souligné le double enjeu qui conditionne l'avenir de l'éclairage public. D'une part, la sobriété énergétique, imposée par les contraintes budgétaires et la crise climatique. D'autre part, la lutte contre la pollution lumineuse, une nécessité pour préserver la biodiversité et la santé humaine, désormais encadrée par une réglementation exigeante. La réponse à ce double défi réside dans une approche intégrée : éclairer "juste", c'est-à-dire uniquement quand, où et comme il le faut. Cela passe par le déploiement de luminaires performants, l'adoption de températures de couleur chaudes, et une gestion dynamique et intelligente de l'intensité lumineuse.

En conclusion, la modernisation de l'éclairage public n'est pas une simple mise à niveau technique ; c'est un projet de territoire stratégique. En investissant dans un éclairage performant, durable et intelligent, les collectivités ne se contentent pas de faire des économies : elles améliorent le cadre de vie de leurs habitants, renforcent leur attractivité, et contribuent activement à la transition écologique

CHAPITRE 4 :

La Collecte des Ordures Ménagères

1. Introduction : Contexte et Enjeux de la Gestion des Déchets

La gestion des déchets solides, et plus particulièrement des déchets ménagers et assimilés (DMA), constitue l'un des défis majeurs des sociétés contemporaines. L'augmentation de la production de déchets, directement liée à la croissance démographique, à l'urbanisation et aux modes de consommation, exerce une pression croissante sur l'environnement et la santé publique (Banque Mondiale, 2018). En France, la production de déchets s'élevait à 345 millions de tonnes (Mt) en 2022, soit environ 5,1 tonnes par habitant, un chiffre proche de la moyenne européenne (Service des données et études statistiques [SDES], 2024). Parmi ceux-ci, les déchets ménagers représentent une part significative, avec 41 Mt collectées en 2021 (Institut national de la statistique et des études économiques [INSEE], 2025). Face à ce volume, la transition d'un modèle linéaire de "produire, consommer, jeter" vers une économie circulaire est devenue une priorité politique à l'échelle nationale et européenne (Ministère de la Transition écologique, 2018). Ce nouveau paradigme considère le déchet non plus comme un rebut à éliminer, mais comme une ressource potentielle à réintégrer dans les cycles économiques. La hiérarchie des modes de traitement, principe fondamental de la politique européenne en matière de déchets, privilégie la prévention, suivie du réemploi, du recyclage, de la valorisation (notamment énergétique) et, en dernier recours, de l'élimination (Cour des comptes, 2022).

Ce rapport d'expert vise à fournir une analyse approfondie et structurée des différentes facettes de la gestion des déchets ménagers. Il s'articule autour des grandes étapes du cycle de vie des déchets, depuis leur production jusqu'à leur traitement final. Nous examinerons successivement les systèmes de collecte et de transport, la planification et l'organisation des réseaux, les diverses filières de traitement et de valorisation, ainsi que les enjeux cruciaux de la prévention et de la réduction. L'objectif est de dresser un état des lieux complet, d'identifier les leviers d'amélioration et de mettre en lumière les meilleures pratiques, en s'appuyant sur des données récentes et des études de cas pertinentes. Une analyse comparative à l'échelle européenne permettra de situer les performances françaises et d'identifier des pistes d'inspiration. Ce document s'adresse aux décideurs publics, aux opérateurs du secteur, aux chercheurs et à toute personne souhaitant comprendre les complexités et les opportunités liées à la gestion durable des déchets.

II. La Collecte et le Transport des Déchets : Logistique et Optimisation

La collecte et le transport constituent la première étape opérationnelle de la gestion des déchets et représentent une part significative des coûts et de l'impact environnemental du service public (Observatoire Régional des Transports Picardie, 2009). L'efficacité de cette phase est déterminante pour la qualité des flux de matières qui seront ensuite orientés vers les filières de traitement et de valorisation (Cour européenne des comptes, 2025).

II.1. Modèles de Collecte : Porte-à-porte et Apport Volontaire

Deux principaux modèles de collecte coexistent et sont souvent combinés pour gérer les différents flux de déchets :

- **La collecte en porte-à-porte** : Ce système consiste à ramasser les déchets directement au domicile des usagers, généralement à l'aide de camions-bennes gérés par la collectivité ou ses prestataires (Debiais et al., 2021). C'est le mode de collecte historique pour les ordures ménagères résiduelles (OMR) et il est largement étendu aux collectes sélectives (emballages, papier, biodéchets). Son principal avantage est sa commodité pour l'usager, mais il peut être coûteux et générer un trafic important en milieu urbain.
- **Les points d'apport volontaire (PAV)** : Ce système repose sur des conteneurs disposés sur l'espace public (colonnes aériennes ou enterrées) où les habitants déposent leurs déchets préalablement triés (verre, papier, emballages). Ce modèle est particulièrement adapté aux zones denses et permet de mutualiser les points de collecte, réduisant ainsi les distances parcourues par les véhicules de ramassage (Jung, 2020). Il exige cependant un effort supplémentaire de la part des citoyens.



Figure 4.1. *Camion de collecte des déchets en porte à porte (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Gestion_des_d%C3%A9chets)*



Figure 4.2. *Points d'Apport Volontaire (Source : https://www.arc-sud-bretagne.fr/au-quotidien/dechets/collecte/points-dapport-volontaire/*

Le choix et la combinaison de ces modèles dépendent de nombreux facteurs territoriaux : densité de l'habitat, type d'urbanisme, objectifs de performance de tri et contraintes budgétaires. Les schémas directeurs de gestion des déchets, élaborés par les collectivités, définissent ces orientations stratégiques (Métropole de Lyon, 2022).

II.2. Logistique du Transport et Schémas Inverses

Une fois collectés, les déchets sont acheminés vers des installations de transit (centres de transfert), de tri ou de traitement. Cette logistique, qualifiée de "logistique inverse", se distingue des circuits de distribution classiques par sa complexité : elle gère des flux multiples, hétérogènes et dispersés pour les consolider vers des points de traitement centralisés (Monnot, 2014). L'organisation de ces flux est un enjeu majeur pour maîtriser les coûts et l'empreinte carbone. Elle peut impliquer des étapes de massification dans des centres de transfert pour optimiser le transport sur de plus longues distances, en utilisant des véhicules de plus grande capacité (camions gros porteurs, transport fluvial ou ferroviaire) (RECORD, 2012).

II.3. Optimisation des Circuits de Collecte

L'optimisation des tournées de collecte est un levier essentiel de performance économique et environnementale. Elle vise à minimiser les kilomètres parcourus, le temps de travail et la consommation de carburant, tout en assurant la qualité du service. Des approches méthodologiques et des outils logiciels sont développés pour aider les collectivités à concevoir des circuits plus efficients

Les stratégies d'optimisation peuvent inclure :

- **La modélisation géographique** : Utilisation de Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour cartographier les points de collecte, analyser les contraintes de circulation et simuler différents scénarios de tournées (Jung, 2020).
- **L'ajustement des fréquences** : Adapter la fréquence des collectes au taux de remplissage réel des contenants. La diminution de la fréquence de collecte des OMR, par exemple, peut inciter au tri et réduire les coûts, à condition d'être accompagnée d'une augmentation des collectes sélectives (Debiais et al., 2021).
- **Les technologies intelligentes (Smart Waste Management)** : L'installation de capteurs de niveau de remplissage dans les conteneurs (notamment les PAV) permet de déclencher la collecte uniquement lorsque cela est nécessaire. Cette approche dynamique, par opposition à des tournées fixes, peut générer des économies substantielles et réduire les émissions de GES (RTS, 2024).
- **La mutualisation des services** : Pour les petites et moyennes communes, la mutualisation des moyens de collecte au sein d'une structure intercommunale permet de réaliser des économies d'échelle et d'optimiser les ressources logistiques (Jung, 2020).

Une étude menée dans le canton de Genève a par exemple mis en évidence que la mutualisation de la collecte des déchets de cuisine en points d'apport volontaire, avec un camion spécial assurant la collecte et le lavage des conteneurs, permettrait des économies significatives pour la majorité des communes tout en limitant l'impact environnemental (Jung, 2020).

III. Planification et Organisation des Réseaux de Gestion

Une gestion des déchets efficace et durable ne peut reposer sur des actions improvisées. Elle requiert une planification stratégique rigoureuse à différentes échelles territoriales, ainsi qu'une coordination claire entre les multiples acteurs impliqués. La planification est l'outil qui permet "d'identifier les types et quantités de déchets produits et gérés sur un territoire donné" et d'organiser leur prise en charge de manière cohérente (Ministère de la Transition écologique, 2017).

III.1. Le Rôle Central de la Planification Stratégique

En France, la planification de la gestion des déchets est structurée à plusieurs niveaux, conformément aux directives européennes. L'objectif est d'assurer la déclinaison des objectifs nationaux au niveau local et la continuité entre prévention, collecte et traitement (Cour des comptes, 2022).

- **Au niveau national** : L'État fixe le cadre législatif et réglementaire, incluant des objectifs chiffrés de réduction, de recyclage et de valorisation (par exemple, via la loi AGEC de 2020).
- **Au niveau régional** : Les Plans Régionaux de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) coordonnent à l'échelle de la région l'ensemble des actions menées par les acteurs publics et privés. Ils visent à garantir l'atteinte des objectifs nationaux en tenant compte des spécificités locales
- **Au niveau local (intercommunal)** : Les Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) sont les principaux maîtres d'ouvrage du service public de gestion des déchets (SPGD). Ils élaborent des Schémas

Directeurs ou des Programmes Locaux de Prévention des Déchets Ménagers et Assimilés (PLPDMA) qui définissent les orientations et les actions concrètes à mener sur leur territoire en matière de réduction, de collecte et de traitement (Métropole de Lyon, 2022).

Cependant, la Cour des comptes (2022) souligne que cette planification reste parfois "insuffisamment précise et contraignante sur les investissements" et que les programmes locaux peinent à se généraliser et à s'articuler efficacement avec les syndicats de traitement, ce qui peut freiner l'atteinte des objectifs ambitieux de l'économie circulaire.

III.2. Coordination des Acteurs et Responsabilité Élargie du Producteur (REP)

La gestion des déchets mobilise une grande diversité d'acteurs :

- **Les collectivités locales (EPCI, syndicats)** : organisent le service public de collecte et de traitement.
- **Les opérateurs privés** : agissent souvent par délégation de service public pour la collecte, le tri et le traitement (Veolia, Suez, Paprec, etc.).
- **Les citoyens** : leur geste de tri à la source est le point de départ indispensable de toute filière de valorisation.
- **Les éco-organismes** : dans le cadre des filières à Responsabilité Élargie du Producteur (REP).

La coordination efficace entre ces différents acteurs est un défi permanent. L'articulation entre les obligations des collectivités et les responsabilités des éco-organismes, la transparence des flux financiers et de matières, et l'harmonisation des consignes de tri sur le territoire sont des points de vigilance essentiels pour assurer la performance globale du système.

IV. Les Filières de Traitement et de Valorisation des Déchets

Une fois collectés et triés, les déchets sont dirigés vers différentes filières de traitement en fonction de leur nature et de leur potentiel de valorisation. La politique de gestion des déchets hiérarchise ces filières, privilégiant la valorisation matière et organique à la valorisation énergétique, et reléguant l'élimination (stockage) aux seuls déchets ultimes, c'est-à-dire ceux qui ne sont plus susceptibles d'être valorisés dans les conditions techniques et économiques du moment (Cour des comptes, 2022).

IV.1. Panorama des Filières de Traitement

En 2022, les déchets traités en France se répartissaient principalement entre quatre grands types d'opérations (Notre-environnement.gouv.fr, 2025) :

- **Le recyclage (valorisation matière)** : Transformation des déchets en de nouvelles matières premières secondaires. Il concernait 52 % de tous les déchets traités.
- **Le stockage (ou enfouissement)** : Mise en décharge dans des Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND). Cette filière, en constante diminution, représentait 20 % des déchets.
- **L'incinération** : Traitement thermique des déchets. Elle peut être réalisée avec récupération d'énergie (valorisation énergétique), ce qui concernait 9 % des déchets, ou sans récupération d'énergie (simple élimination), une pratique devenue très marginale (1 %).
- **Le remblayage** : Utilisation de déchets minéraux inertes pour stabiliser des sols ou combler des carrières (19 %).

La répartition varie fortement selon le type de déchet. Le tableau ci-dessous, basé sur les données du SDES (2024), illustre le traitement par grande catégorie de déchets en 2022.

Tableau 4.1 *: les caractéristiques des principales technologies d'éclairage public*
(Source : Adapté de SDES (2024).

Type de Traitement	Déchets non minéraux non dangereux	Déchets dangereux	Déchets minéraux	Tous déchets confondus
Recyclage (matière et organique)	46	32	55	52
Incinération avec valorisation énergétique	28	14	-	9
Stockage / Élimination	25 (dont 2% incinération sans VE)	46 (dont 14% incinération sans VE)	19	21
Remblayage	-	-	27	19
Autres	1	8	-	-

IV.2. Le Tri et le Recyclage : Technologies et Performances

Le recyclage commence par un tri performant. Le tri à la source par les citoyens est complété par un sur-tri industriel dans des centres de tri modernes. Ces installations combinent des technologies manuelles et automatisées pour séparer les différents matériaux issus des collectes sélectives

Les technologies clés des centres de tri incluent (Syctom, 2019) :

- **Le trommel** : Un grand cylindre rotatif perforé qui sépare les déchets par taille.
- **Les cribles balistiques** : Permettent de séparer les "corps plats" (papiers, cartons) des "corps creux" (bouteilles, flacons).



Figure 4.3. *Le Tromel*
(Source : https://www.recycle-plant.com/fr/trommel-for-pet-bottle-recycling.html)



Figure 4.4. *Les cribles balistiques*
(Source : https://www.bollegraaf.com/fr/technologies/separation-balistique/)

- **L'overband (électro-aimant)** : Sépare les métaux ferreux (acier).
- **Le courant de Foucault** : Sépare les métaux non-ferreux (aluminium).



Figure 4.5. *L'overband (électro-aimant)*
(Source : https://steinertglobal.com/fr/aimants-machine-de-tri-par-capteurs/separation-magnetique/aimants-overband/



Figure 4.5 *Le courant de Foucault*
(Source : https://www.lenoir-mec.com/2024/08/09/les-separateurs-a-courants-de-foucault/

- **Les trieurs optiques** : C'est la technologie la plus avancée. Des capteurs infrarouges identifient la nature des matériaux (différents types de plastiques : PET, PEHD, etc.) qui défilent à grande vitesse sur un tapis. Des jets d'air comprimé éjectent ensuite les matériaux identifiés vers les bonnes filières (INRS, 2018). Cette technologie est essentielle pour affiner la séparation des résines plastiques et améliorer la qualité des matières recyclées.



Figure 4.7. *Le Trieur Optiques des dechets*
(Source : https://www.hellopro.fr/trieur-optique-9000310-fr-1-feuille.html)

Une fois triés et conditionnés en balles, les matériaux sont expédiés vers des usines de recyclage spécialisées. Par exemple, le PET des bouteilles est transformé en nouvelles bouteilles ou en fibres textiles, le verre est refondu pour produire de nouveaux contenants, et les papiers-cartons sont repulpés pour fabriquer de nouveaux emballages (Notre-environnement.gouv.fr, 2025).

IV.3. La Valorisation des Déchets : Matière, Énergétique et Agronomique

La valorisation est le processus qui permet de donner une nouvelle utilité à un déchet. On distingue trois grandes filières de valorisation :

IV.3.1. La valorisation matière (Recyclage)

Comme décrit précédemment, elle consiste à réintroduire les matériaux issus des déchets dans un cycle de production. Le taux de recyclage en France pour les déchets non minéraux non dangereux était de 46 % en 2022, un chiffre qui stagne et reste en deçà de l'objectif de 65 % fixé pour 2025 (SDES, 2024).

IV.3.2. La valorisation énergétique

Elle consiste à récupérer l'énergie produite lors de l'incinération des déchets à haut pouvoir calorifique qui ne peuvent être recyclés. La chaleur dégagée par la combustion produit de la vapeur qui alimente un turbo-alternateur pour générer de l'électricité et/ou est injectée dans un réseau de chaleur urbain pour le chauffage collectif (cogénération) (

IV.3.3. La valorisation agronomique (ou organique)

Elle concerne les biodéchets (déchets de cuisine, déchets verts). Les deux principaux procédés sont :

- **Le compostage** : Décomposition aérobie (en présence d'oxygène) de la matière organique par des micro-organismes. Le produit final, le compost, est un amendement organique riche qui améliore la structure et la fertilité des sols (Thonart et al., 2005).
- **La méthanisation** : Décomposition anaérobie (en l'absence d'oxygène) de la matière organique. Ce processus produit du biogaz (principalement du méthane), qui peut être valorisé en électricité et en chaleur ou épuré en biométhane pour être injecté dans le réseau de gaz naturel. Il produit également un résidu, le digestat, qui peut être utilisé comme fertilisant (Waga Energy, 2018.).

La généralisation du tri à la source des biodéchets pour tous les producteurs, effective depuis le 1er janvier 2024 en France, est un levier majeur pour développer cette filière et détourner une part importante des ordures ménagères résiduelles de l'incinération et du stockage. En effet, les biodéchets représentent encore environ un tiers du contenu de la poubelle résiduelle (Cour des comptes, 2022).

V. Enjeux Stratégiques : Prévention, Réduction et Économie Circulaire

Conformément à la hiérarchie des modes de traitement, le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas. La prévention et la réduction à la source sont donc les priorités absolues des politiques de gestion des déchets. Elles s'inscrivent dans une vision plus large, celle de l'économie circulaire, qui vise à découpler la croissance économique de la consommation de ressources et de la production de déchets.

V.1. La Prévention et la Réduction à la Source

La prévention des déchets englobe "les actions menées avant qu'une substance, une matière ou un produit ne devienne un déchet" (Ministère de la Transition écologique, 2024). L'objectif est de réduire la quantité et la nocivité des déchets produits. La France s'est fixé un objectif ambitieux de réduction de 15 % des déchets ménagers et assimilés (DMA) par habitant d'ici 2030 par rapport à 2010 (Territoires en Transitions, 2025). Atteindre cet objectif nécessite une mobilisation de tous les acteurs.

Les principaux leviers de prévention et de réduction sont :

- **La lutte contre le gaspillage alimentaire** : Le gaspillage alimentaire représente une part considérable des déchets ménagers. En France, il est estimé à 9,4 millions de tonnes en 2022 sur toute la chaîne alimentaire (Ministère de l'Agriculture, 2024). Des actions de sensibilisation, le don des invendus, et une meilleure gestion des dates de péremption sont des pistes essentielles (Commission de coopération environnementale, 2019).
- **L'éco-conception des produits** : Inciter les fabricants à concevoir des produits plus durables, réparables, recyclables et utilisant moins de matières premières.
- **Le développement du réemploi et de la réparation** : Soutenir les ressourceries, les repair-cafés et les filières de l'économie sociale et solidaire qui donnent une seconde vie aux objets.
- **La promotion de la consommation responsable** : Encourager l'achat de produits en vrac, l'utilisation de contenants réutilisables, et le refus des produits à usage unique.
- **La tarification incitative** : Mettre en place une redevance ou une taxe d'enlèvement des ordures ménagères dont une part est variable en fonction de la quantité de déchets résiduels produits par le foyer.

V.2. Impacts Environnementaux et Sanitaires

Une gestion inadéquate des déchets a des conséquences graves sur l'environnement et la santé humaine (Banque Mondiale, 2018). Les impacts varient selon les filières de traitement :

- **Le stockage (décharges)** : Les décharges, même contrôlées, peuvent générer des lixiviats (jus de déchets) pollués qui risquent de contaminer les sols et les nappes phréatiques. La décomposition anaérobie des déchets organiques y produit également du biogaz, un puissant gaz à effet de serre (méthane, CH4), s'il n'est pas capté et valorisé (Natura-sciences, 2012; Thonart et al., 2005). Des nuisances olfactives (H2S) peuvent aussi affecter les riverains (Santé publique France, 2021.).
- **L'incinération** : Bien que les usines modernes soient équipées de systèmes de traitement des fumées très performants, l'incinération relâche dans l'atmosphère des polluants (dioxines, furanes, métaux lourds, oxydes d'azote) et des gaz à effet de serre (CO2). La gestion des résidus d'épuration des fumées (REFIOM), classés comme déchets dangereux, et des mâchefers est également un enjeu (Zero Waste France, 2025).
- **Le transport** : La collecte et le transport des déchets par camion sont une source de pollution de l'air (particules fines, NOx) et d'émissions de gaz à effet de serre, ainsi que de nuisances sonores en milieu urbain (Observatoire Régional des Transports Picardie, 2009).

La prévention et le recyclage permettent de réduire significativement ces pressions environnementales en évitant l'extraction de nouvelles matières premières, en économisant de l'énergie et en limitant le recours aux filières d'élimination (SDES, 2025).

V.3. Vers une Économie Circulaire : Le Déchet comme Ressource

L'économie circulaire propose un changement de paradigme fondamental : le déchet n'est plus une fin en soi, mais le point de départ d'une nouvelle boucle de valeur Ce modèle repose sur l'optimisation de l'utilisation des ressources à chaque étape du cycle de vie des produits. Dans cette optique, la gestion des déchets devient une gestion des ressources.

L'enjeu est d'exploiter les "mines urbaines", c'est-à-dire les gisements de matières contenus dans les déchets, dans des conditions économiques et environnementales acceptables (Institut Veolia, 2021). Cela implique de renforcer l'efficacité de toute la chaîne :

- Améliorer la "captation" du gisement par un tri à la source généralisé et performant.
- Optimiser la logistique de collecte et de massification.
- Investir dans des technologies de tri et de recyclage de pointe pour produire des matières premières secondaires de haute qualité.
- Créer des marchés stables et compétitifs pour ces matières recyclées, en encourageant leur incorporation dans de nouveaux produits.

La transition vers une économie circulaire est un projet de société qui nécessite des innovations technologiques, de nouveaux modèles économiques, des évolutions réglementaires et un changement profond des comportements de production et de consommation

Conclusion

La gestion des déchets ménagers est au cœur de la transition écologique des territoires. Elle est passée d'une simple problématique de salubrité publique à un enjeu complexe et stratégique, intégrant des dimensions environnementales, économiques, technologiques et sociales. Ce rapport a mis en évidence la structure et le fonctionnement de ce système, depuis la logistique de collecte jusqu'aux filières de traitement, en soulignant les progrès réalisés mais aussi les défis persistants.

La France, comme de nombreux pays européens, a fait évoluer son cadre réglementaire pour s'inscrire dans le paradigme de l'économie circulaire. La hiérarchie des modes de traitement est désormais bien établie en principe, et des progrès notables ont été accomplis dans la réduction du stockage au profit de la valorisation. Le développement des filières REP et l'extension des consignes de tri sont des avancées majeures qui structurent le secteur et internalisent une partie des coûts environnementaux.

Néanmoins, l'atteinte des objectifs ambitieux fixés pour 2025 et au-delà (65% de recyclage des déchets non dangereux, réduction de 15% des DMA, etc.) nécessite une accélération des efforts. Le volume de déchets produits par habitant peine à diminuer significativement, et le taux de recyclage stagne, en partie à cause d'une part encore trop importante d'ordures ménagères résiduelles (OMR) qui pourraient être valorisées si elles étaient mieux triées à la source (Cour des comptes, 2022). La valorisation des biodéchets, qui représentent un tiers de ces OMR, constitue à ce titre un gisement de progrès majeur.

CHAPITRE 5 :

Gestion des Infrastructures Urbaines : Acteurs, Modes, Outils et Enjeux de Durabilité

I. Introduction

Les infrastructures urbaines – réseaux d'eau et d'assainissement, de transport, d'énergie, de gestion des déchets, de télécommunications – constituent l'épine dorsale des villes modernes. Elles conditionnent non seulement le fonctionnement quotidien des activités économiques et sociales, mais façonnent également la qualité de vie des citoyens et l'empreinte environnementale des territoires. Leur gestion, autrefois perçue comme une simple question technique et administrative, est aujourd'hui au cœur de problématiques complexes, à la croisée d'enjeux politiques, économiques, sociaux et écologiques majeurs.

La complexification des sociétés urbaines, l'accélération des innovations technologiques et l'urgence climatique imposent une réévaluation profonde des modèles traditionnels de gestion. La performance d'une infrastructure ne se mesure plus uniquement à sa capacité fonctionnelle, mais aussi à son efficience, sa résilience, son accessibilité et sa contribution à un développement urbain durable (**Sassen, 2017**). Dans ce contexte, la gouvernance des services urbains devient un champ d'analyse crucial, où s'entrecroisent les logiques d'acteurs multiples, où se confrontent divers modes de gestion et où de nouveaux outils numériques redéfinissent les possibles.

Ce rapport se propose d'analyser en profondeur la gestion des infrastructures urbaines à travers quatre axes structurants. Le premier chapitre identifiera la mosaïque d'acteurs impliqués, des institutions publiques aux entreprises privées et à la société civile, en soulignant la complexité de leurs interactions. Le deuxième chapitre examinera les différents modes de gestion, de la régie publique aux partenariats public-privé, en analysant leurs avantages et inconvénients respectifs. Le troisième chapitre portera sur les outils, traditionnels et innovants, qui permettent le pilotage et l'optimisation de ces infrastructures, avec un focus particulier sur l'avènement de la "ville intelligente". Enfin, le quatrième chapitre abordera les enjeux transversaux de la durabilité, en montrant comment les dimensions économiques, sociales et environnementales doivent être intégrées pour assurer la pérennité et la pertinence des services urbains.

La question centrale qui guide cette étude est la suivante : comment les dynamiques entre les acteurs, les modes de gestion et les outils technologiques façonnent-elles une gestion durable des infrastructures urbaines contemporaines ? En répondant à cette interrogation, ce rapport vise à fournir un cadre d'analyse complet pour comprendre et orienter l'action publique et privée dans un domaine stratégique pour l'avenir de nos villes.

I. Les Acteurs de la Gestion des Infrastructures Urbaines

La gestion des infrastructures urbaines n'est pas le fait d'une entité unique, mais le résultat d'un système complexe d'interactions entre une pluralité d'acteurs aux logiques, intérêts et compétences variés. Comprendre ce "gouvernement urbain" (**Lorrain, 2018**) est un prérequis indispensable pour analyser les dynamiques de pouvoir, les processus de décision et les conditions de mise en œuvre des politiques publiques. Nous pouvons classer ces acteurs en trois grandes catégories : les acteurs publics, les acteurs privés et la société civile.

I.1. Les Acteurs Publics : Le Cadre Référentiel

Les acteurs publics conservent un rôle central et multiforme dans la gestion des infrastructures, même dans des contextes de libéralisation. Leur légitimité repose sur la défense de l'intérêt général et la garantie de la continuité et de l'universalité des services.

- ***I.1.1 L'État et ses agences***

  L'État conserve des fonctions stratégiques de régulation, de planification et de contrôle. Il définit le cadre législatif et réglementaire (normes sanitaires, environnementales, de sécurité), oriente les grandes politiques nationales (transition énergétique, plan de relance) et peut agir comme co-financeur de projets d'envergure. Des agences nationales spécialisées, comme l'ADEME (Agence de la transition écologique) ou les Agences de l'Eau, jouent un rôle crucial d'expertise, d'animation et de soutien financier dans leurs domaines respectifs.

- ***I.1.2 Les collectivités territoriales***

  Au cœur du système, les collectivités territoriales (communes, établissements publics de coopération intercommunale - EPCI, départements, régions) sont les autorités organisatrices de la plupart des services publics locaux. La commune ou, de plus en plus, l'intercommunalité (métropole, communauté d'agglomération) est le pivot de la gestion des infrastructures de proximité : voirie, eau potable, assainissement, collecte des déchets, éclairage public (**Demazière, 2019**). Elles sont responsables du choix du mode de gestion, de la définition des niveaux de service, de la politique tarifaire et du contrôle de l'exécution du service. Leur capacité technique et financière est un facteur déterminant de la qualité des services rendus aux usagers.

I.2. Les Acteurs Privés : Partenaires et Opérateurs

Le secteur privé est un partenaire historique des collectivités dans la gestion des services urbains, notamment en France. Son intervention prend des formes variées, allant de la simple prestation de service à la prise en charge complète de l'exploitation via des contrats de longue durée.

- ***I.2.1 Les grands groupes de services***

  Des entreprises multinationales comme Veolia, Suez ou Engie, ainsi que des géants du BTP comme Bouygues, Vinci ou Eiffage, sont des acteurs dominants, en particulier dans les secteurs de l'eau, des déchets et de l'énergie. Leur force réside dans leur capacité d'investissement, leur expertise technique, leur potentiel d'innovation et leur capacité à mutualiser les risques et les coûts sur un grand nombre de contrats (**Pinson, 2020**). Ils interviennent le plus souvent dans le cadre de délégations de service public (DSP) ou de partenariats public-privé (PPP).

- ***I.2.2 Bureaux d'études, ingénierie et fournisseurs***

Un écosystème d'entreprises de plus petite taille gravite autour des grands opérateurs et des collectivités. Les bureaux d'études et sociétés d'ingénierie-conseil (comme Artelia, Egis) apportent une expertise technique en amont des projets (études de faisabilité, assistance à maîtrise d'ouvrage). Les fournisseurs d'équipements et de technologies (fabricants de canalisations, de luminaires, éditeurs de logiciels) jouent également un rôle clé dans la chaîne de valeur.

I.3. La Société Civile et les Usagers : Vers une Co-construction

Longtemps cantonnés à un rôle passif de consommateurs, les usagers et la société civile organisée revendiquent une place plus active dans la gouvernance des services urbains. Cette tendance est renforcée par les exigences de transparence et de démocratie participative.

I.3.1 Associations et comités de quartier

Les associations d'usagers, de consommateurs ou de protection de l'environnement jouent un rôle de veille, d'interpellation et de contre-pouvoir. Elles peuvent contester des projets, demander des comptes sur la qualité ou le prix du service, et participer aux instances de concertation comme les Commissions Consultatives des Services Publics Locaux (CCSPL). Leur expertise d'usage est de plus en plus reconnue comme une ressource précieuse pour l'amélioration des services.

I.3.2 Le citoyen-capteur et "prosommateur"

Avec la diffusion des technologies numériques, le citoyen devient un acteur à part entière de la production d'information. Via des applications mobiles, il peut signaler en temps réel une anomalie sur l'espace public (nid-de-poule, panne d'éclairage, dépôt sauvage), contribuant ainsi à l'efficacité de la gestion technique (**Baraud, 2022**). Dans le domaine de l'énergie, l'autoconsommation individuelle ou collective fait émerger la figure du "prosommateur" (producteur-consommateur), qui bouscule les modèles centralisés traditionnels. Cette implication citoyenne, si elle est bien orchestrée, peut mener à une gestion plus réactive et co-construite des infrastructures.

La complexité réside dans l'articulation de ces trois sphères d'acteurs. La réussite d'une gestion d'infrastructure dépend de la qualité de la gouvernance mise en place pour faire dialoguer ces mondes, aligner (ou arbitrer) leurs intérêts et organiser leurs contributions respectives.

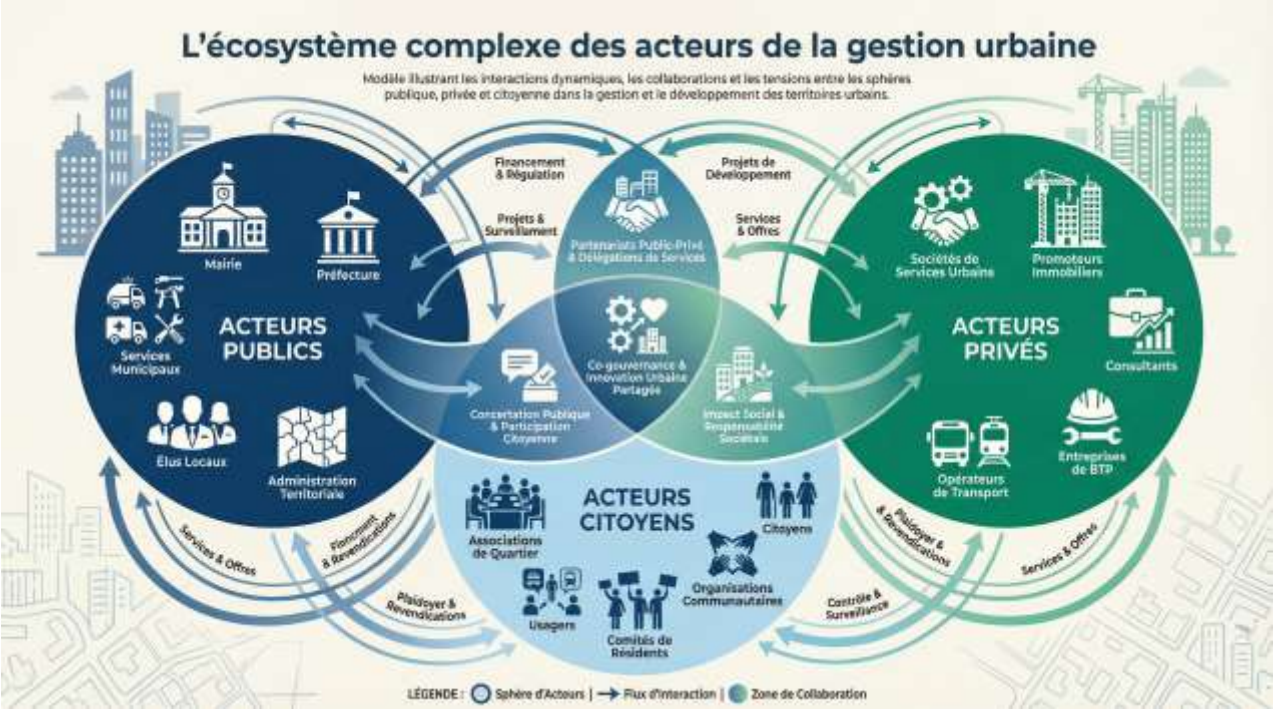


Figure 5.1. *L'écosystème complexe des acteurs de la gestion urbaine, illustrant les interactions entre les sphères publique, privée et citoyenne.*

Synthèse des Acteurs et de leurs Rôles

Tableau 5.1 *: les principales catégories d'acteurs et leurs fonctions prédominantes dans le système de gestion des infrastructures urbaines*

(Source : Adapté de SDES (2024).

Catégorie d'Acteur	Exemples	Rôles et Fonctions Principales	Logique d'Action
Acteurs Publics	État, agences nationales, collectivités territoriales (communes, EPCI), établissements publics.	Régulation, planification stratégique, autorité organisatrice, maîtrise d'ouvrage, contrôle, financement.	Intérêt général, service public, aménagement du territoire, équité.
Acteurs Privés	Grands groupes (Veolia, Suez, Vinci), PME, bureaux d'études, fournisseurs d'équipements.	Exploitation et maintenance (délégataire), conception, construction, financement, innovation, conseil.	Efficacité économique, rentabilité, expertise technique, innovation.
Société Civile	Associations d'usagers, de riverains, ONG environnementales, experts, citoyens.	Contre-pouvoir, veille citoyenne, expertise d'usage, participation à la décision, production de données (crowdsourcing).	Qualité de vie, transparence, justice sociale et environnementale, démocratie locale.

Cette cartographie montre qu'aucune catégorie d'acteurs ne détient à elle seule toutes les clés de la gestion des infrastructures. La performance du système global dépend de la capacité des acteurs publics à orchestrer cette polyphonie, en s'appuyant sur l'efficacité du secteur privé tout en intégrant les aspirations de la société civile.

II. Les Modes de Gestion des Services Urbains

Le choix du mode de gestion d'un service public d'infrastructure est une décision politique majeure pour une collectivité territoriale. Il détermine le degré de maîtrise publique, la répartition des risques et des responsabilités, ainsi que les mécanismes de financement et de tarification. Historiquement, le débat oscille entre la gestion directe par la puissance publique et le recours à des opérateurs externes, principalement privés (**Demazière, 2019**).

II.1. La Gestion Directe en Régie

Dans ce mode de gestion, la collectivité assure elle-même l'exploitation du service avec ses propres moyens humains et matériels. Elle est son propre opérateur. On distingue principalement la régie simple (sans autonomie financière) de la régie à autonomie financière et personnalité morale, qui dispose d'un budget et d'organes de gestion propres.

- **Avantages :** Le principal atout de la régie est la **maîtrise totale** du service par la collectivité. Elle contrôle directement les investissements, la politique tarifaire, la qualité du service et la gestion du personnel. Ce mode de gestion favorise la transparence et peut permettre une meilleure réactivité aux demandes politiques et citoyennes. Il évite également la sortie de ressources financières du territoire sous forme de dividendes pour des actionnaires privés.
- **Inconvénients :** La gestion en régie peut souffrir d'une certaine **rigidité administrative** et d'une moindre flexibilité dans la gestion des ressources humaines. Elle fait peser l'intégralité du risque technique et financier sur la collectivité, qui doit disposer en interne des compétences techniques et managériales nécessaires, ce qui peut être difficile pour les plus petites communes. Le financement des investissements lourds repose entièrement sur le budget public et l'emprunt.

On observe un mouvement de "remunicipalisation" de certains services, notamment dans le secteur de l'eau (Paris, Nice, Lyon), où des collectivités reviennent à une gestion en régie après des décennies de délégation, cherchant à retrouver la maîtrise de la ressource et des tarifs (**Lorrain, 2018**).

II.2. La Gestion Déléguée et ses Variantes

La délégation de service public (DSP) consiste pour la collectivité (le délégant) à confier la gestion d'un service public à un tiers (le délégataire), le plus souvent une entreprise privée. La rémunération du délégataire est substantiellement liée aux résultats de l'exploitation du service. Plusieurs types de contrats coexistent.

- **II.2.1 La Concession :** Le concessionnaire finance, construit (ou réhabilite) et exploite les ouvrages à ses risques et périls. Il se rémunère en percevant les redevances des usagers. C'est le modèle qui transfère le plus de risques au privé, utilisé pour les projets nécessitant de lourds investissements initiaux (ex: tramway, usine d'incinération).
- **II.2.2 L'Affermage :** La collectivité finance et réalise les infrastructures, puis en confie l'exploitation à un fermier. Le fermier est responsable de l'entretien et du bon fonctionnement, et se rémunère sur les redevances des usagers, dont une partie (une "surtaxe") est reversée à la collectivité pour couvrir l'amortissement des investissements. C'est le modèle le plus répandu pour les services d'eau et d'assainissement.
- **II.2.3 La Régie intéressée :** Le mode le plus proche de la gestion directe. L'opérateur (le "régisseur") gère le service pour le compte de la collectivité, mais sa rémunération comprend une part variable ("intéressement")

liée à des objectifs de performance (qualité de service, maîtrise des coûts). Le risque commercial reste majoritairement porté par la collectivité.

Avantages : La DSP permet de bénéficier de l'**expertise technique et de la capacité d'innovation** du secteur privé, ainsi que de sa capacité à financer les investissements. Elle transfère une partie significative du risque d'exploitation à l'opérateur.

Inconvénients : La collectivité peut perdre une partie de la maîtrise de son service. La mise en place et le suivi de contrats complexes nécessitent une forte expertise technique et juridique de la part de la collectivité (**Chabert & Rocher, 2020**). La recherche de profit par l'opérateur peut entrer en conflit avec les objectifs de service public, et le manque de concurrence sur certains marchés peut conduire à des situations de rente.

III.3. Les Partenariats Public-Privé (PPP)

Les Partenariats Public-Privé, et notamment les marchés de partenariat, sont des contrats globaux par lesquels une autorité publique confie à un partenaire privé une mission incluant le financement, la conception, la construction, l'entretien, la maintenance et/ou l'exploitation d'un ouvrage ou d'un service sur une longue durée. En contrepartie, la personne publique verse un loyer au partenaire privé pendant toute la durée du contrat.

Les PPP sont souvent utilisés pour des projets complexes et de grande envergure (stades, hôpitaux, lignes à grande vitesse). Leur justification repose sur l'idée que le partenaire privé, en ayant une vision globale sur tout le cycle de vie du projet, peut optimiser les coûts et les performances (**Pinson, 2020**).

Cependant, ce mode de gestion est très critiqué pour son **coût final souvent élevé** pour les finances publiques, son opacité et la rigidité des contrats sur le long terme, qui peuvent hypothéquer les capacités d'investissement futures de la collectivité. L'évaluation préalable de la pertinence du recours à un PPP est une étape complexe et cruciale.

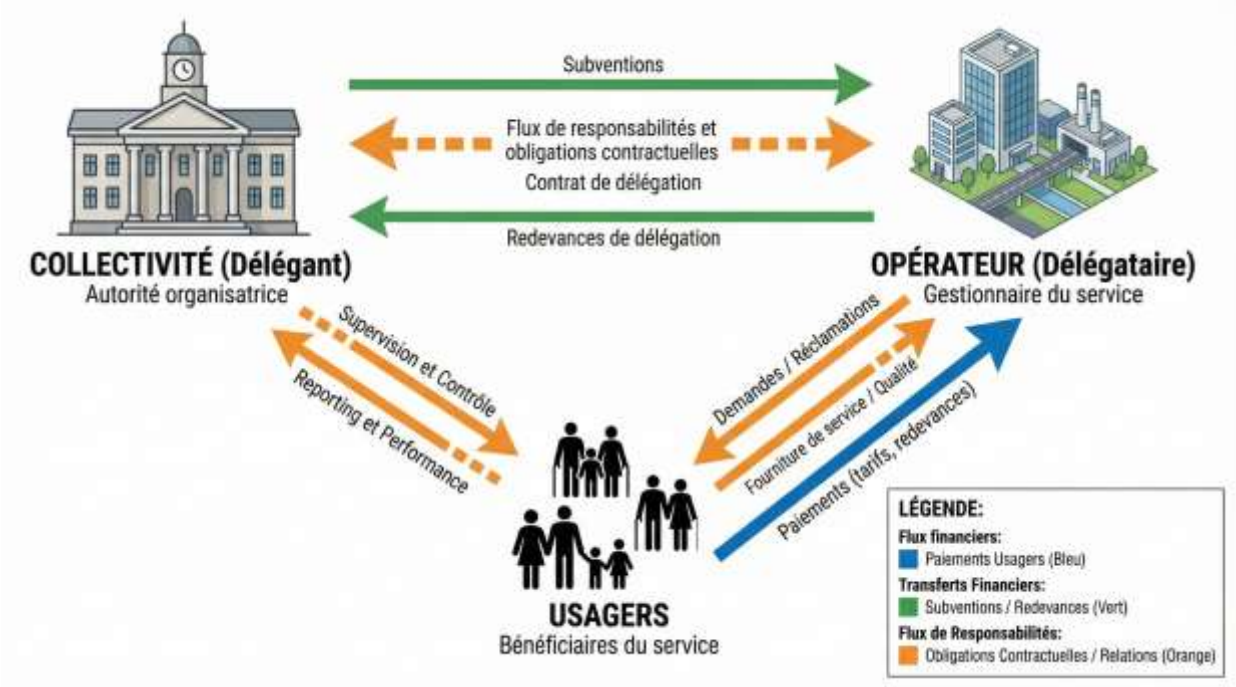


Figure 5.2*. Illustration schématique des flux financiers et des responsabilités entre une collectivité (délégante), un opérateur (délégataire) et les usagers dans un modèle de gestion déléguée.*

Tableau Comparatif des Modes de Gestion

Le tableau suivant compare les principaux modes de gestion selon des critères clés pour la collectivité organisatrice.

Tableau 5.2 *: la Comparaison entre les principaux modes de gestion selon des critères clés pour la collectivité organisatrice*

Critère	Régie Publique	Affermage (DSP)	Concession (DSP)	Marché de Partenariat (PPP)
Propriété des infrastructures	Publique	Publique	Publique (en fin de contrat)	Publique (en fin de contrat)
Financement des investissements	Collectivité (budget, emprunt)	Collectivité (via surtaxe payée par l'usager)	Opérateur privé	Opérateur privé
Risque d'exploitation	Collectivité	Opérateur privé	Opérateur privé	Opérateur privé
Maîtrise par la collectivité	Maximale	Moyenne (contrôle contractuel)	Faible (contrôle contractuel)	Très faible (contrat global long)
Rémunération de l'opérateur	N/A (salariés de la régie)	Part des recettes des usagers	Totalité des recettes des usagers	Loyer payé par la collectivité
Flexibilité / Adaptabilité	Élevée (décision politique)	Moyenne (avenants au contrat)	Faible (contrat long)	Très faible (contrat très long)

Le choix n'est donc pas binaire. Il dépend de la nature du service, de la capacité de la collectivité, de sa culture politique et de sa vision à long terme pour le territoire. Une tendance actuelle est à l'hybridation des modèles, avec par exemple la création de Sociétés d'Économie Mixte à Opération Unique (SEMOP), qui associent au sein d'une même structure la collectivité et un opérateur privé pour l'exécution d'un contrat spécifique.

III. Les Outils de Gestion et de Pilotage

Une gestion efficace et efficiente des infrastructures urbaines repose sur un ensemble d'outils permettant de planifier, d'opérer, de maintenir et d'optimiser les services. Ces outils ont considérablement évolué, passant d'instruments de planification administrative à des plateformes numériques intégrées et prédictives, au cœur de la "ville intelligente".

III.1. Outils de Planification Stratégique

Ces outils visent à définir une vision à long terme et à programmer les actions et les investissements. Ils sont essentiels pour assurer la cohérence entre les politiques sectorielles et l'aménagement du territoire.

- **III.1.1 Les Schémas Directeurs :** Spécifiques à un domaine (eau potable, assainissement, gestion des déchets, énergie), ces documents de planification technique fixent les objectifs à moyen et long terme (ex: sécurisation de l'approvisionnement, taux de recyclage), réalisent un diagnostic de l'existant et programment les investissements nécessaires (renouvellement de réseaux, construction de nouvelles usines).

- **III.1.2 Les documents d'urbanisme :** Le Plan Local d'Urbanisme (PLU) ou le Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi) sont des outils clés. En définissant les règles d'occupation des sols, ils conditionnent les besoins futurs en infrastructures et doivent intégrer la capacité des réseaux existants et futurs.
- **III.1.3 La Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI) :** Cet outil budgétaire permet à la collectivité de planifier ses investissements sur plusieurs années, en hiérarchisant les projets en fonction des priorités politiques et des capacités financières.

III.2. Systèmes d'Information et de Gestion Technique

Ces outils informatiques sont le socle de la gestion opérationnelle quotidienne des infrastructures.

- **III.2.1 Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)**

Le SIG est devenu un outil incontournable pour les gestionnaires de réseaux. Il permet de cartographier avec précision l'ensemble des infrastructures (canalisations, câbles, poteaux, vannes, etc.), d'y associer des données techniques (diamètre, matériau, année de pose) et de gérer leur cycle de vie. Le SIG est un support essentiel pour l'aide à la décision : il permet d'analyser les zones de fragilité d'un réseau, d'optimiser les tournées d'intervention, de simuler l'impact d'une nouvelle urbanisation ou de communiquer avec les usagers (**Offner, 2021**).

- **III.2.2 La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)**

Les logiciels de GMAO permettent de structurer et de piloter l'ensemble des activités de maintenance. Ils gèrent les plannings d'interventions préventives (visites de contrôle, nettoyage), traitent les demandes d'intervention curative (réparation de pannes), suivent les équipes sur le terrain, gèrent les stocks de pièces de rechange et analysent les coûts de maintenance. Couplée au SIG, la GMAO permet d'optimiser l'allocation des ressources et d'améliorer la longévité des équipements.

- **III.2.3 La modélisation et la simulation**

Des logiciels de modélisation hydraulique, énergétique ou de trafic permettent de simuler le comportement des réseaux dans différentes conditions. Ils sont utilisés pour dimensionner de nouvelles infrastructures, tester des stratégies d'exploitation (ex: gestion de la pression dans un réseau d'eau pour réduire les fuites) ou anticiper les conséquences d'une crise (ex: rupture d'une canalisation maîtresse).

III.3. L'Apport des Technologies de la Ville Intelligente (Smart City)

La révolution numérique transforme radicalement la gestion des infrastructures en permettant une connaissance et un pilotage en temps réel. La "Smart City" s'appuie sur la convergence de plusieurs technologies (**Baraud, 2022**).

- **III.3.1 L'Internet des Objets (IoT) :** La multiplication de capteurs connectés et communicants, déployés sur les infrastructures, permet de remonter une masse de données en temps réel : compteurs d'eau et d'électricité intelligents, capteurs de niveau de remplissage des conteneurs à déchets, capteurs de qualité de l'air, de trafic routier, de places de stationnement disponibles, etc.
- **III.3.2 Les plateformes d'hypervision :** Ces "cockpits" urbains centralisent, croisent et visualisent les données provenant des différentes infrastructures et services de la ville. Ils offrent une vision à 360° et en temps réel du territoire, permettant une gestion coordonnée et une meilleure anticipation des crises.
- **III.3.3 L'Intelligence Artificielle (IA) et la maintenance prédictive :** En analysant les données historiques et en temps réel, des algorithmes d'IA peuvent détecter des schémas anormaux et prédire des pannes avant qu'elles ne surviennent (ex: prévoir une rupture de canalisation en analysant les micro-variations de pression

et de son). Cela permet de passer d'une maintenance curative ou préventive systématique à une maintenance prédictive, plus ciblée et plus efficace.

- **III.3.4 Le Jumeau Numérique (Digital Twin) :** Il s'agit d'une réplique virtuelle dynamique d'une infrastructure, voire de la ville entière. Alimenté en temps réel par les données des capteurs IoT, le jumeau numérique permet de simuler des scénarios complexes ("Que se passe-t-il si je ferme cette rue ?", "Quel est l'impact d'une canicule sur le réseau électrique ?") et d'optimiser les stratégies de gestion avant de les appliquer dans le monde réel.



***Figure 5.3**. Représentation systémique de la ville intelligente, intégrant les infrastructures, les données, les acteurs et les services pour une gestion optimisée et durable.*

L'intégration de ces outils intelligents promet des gains d'efficacité considérables : économies d'énergie dans l'éclairage public grâce à la détection de présence, optimisation des tournées de collecte des déchets grâce aux capteurs de remplissage, réduction des pertes d'eau grâce à la détection précoce des fuites.
Cependant, le déploiement de ces technologies soulève de nouveaux défis : coût d'investissement, cybersécurité, interopérabilité des systèmes, gouvernance et propriété des données, et risque de créer une fracture numérique entre les territoires. La technologie n'est pas une fin en soi ; elle doit rester un outil au service d'un projet politique et d'une vision de la ville durable et inclusive.

IV. Les Enjeux de Durabilité dans la Gestion des Infrastructures

La notion de durabilité, qui vise à concilier développement économique, équité sociale et protection de l'environnement, est devenue le paradigme central pour évaluer et orienter la gestion des infrastructures urbaines. Une gestion durable ne se contente pas d'assurer le fonctionnement technique du service ; elle l'inscrit dans une perspective de long terme, en considérant son cycle de vie complet et ses impacts multiples sur la société et la planète.

IV.1. La Durabilité Économique et Financière

La pérennité économique des services d'infrastructure est un enjeu majeur. Il ne s'agit pas seulement de couvrir les coûts d'exploitation, mais aussi d'assurer le financement du renouvellement des équipements.

- **IV.1.1 Le "mur d'investissement" et la gestion patrimoniale**

De nombreuses infrastructures, construites durant les "Trente Glorieuses", arrivent en fin de vie et nécessitent des investissements massifs de renouvellement. Ce "mur d'investissement" constitue un défi budgétaire considérable pour les collectivités. Une gestion patrimoniale rigoureuse, s'appuyant sur des outils comme les SIG et la GMAO, est indispensable pour connaître l'état réel des actifs, prioriser les interventions et lisser les dépenses dans le temps, afin d'éviter une dégradation irréversible du service.

- **IV.1.2 L'analyse en coût global**

Une approche durable impose de raisonner en "coût global" (ou coût de cycle de vie), qui intègre non seulement le coût d'investissement initial, mais aussi les coûts d'exploitation, de maintenance et de fin de vie (démantèlement, recyclage). Un investissement initial plus élevé pour un équipement plus performant et plus robuste peut s'avérer plus économique à long terme. Ce principe doit guider les choix techniques et les marchés publics.

IV.2. La Durabilité Sociale et l'Équité Territoriale

Les infrastructures sont au cœur du pacte social, et leur gestion doit répondre à des impératifs de justice et d'inclusion.

- **IV.2.1 L'accessibilité et la lutte contre les précarités**

Le principe d'égalité d'accès aux services essentiels (eau, énergie, mobilité) est fondamental. La politique tarifaire doit en tenir compte, en prévoyant des mécanismes de tarification sociale ou des aides pour les ménages les plus modestes, afin de lutter contre la précarité hydrique ou énergétique. L'accessibilité physique des infrastructures (transports en commun, espaces publics) pour les personnes à mobilité réduite est également une composante essentielle de la durabilité sociale.

- **IV.2.2 La participation citoyenne et l'acceptabilité**

Un projet d'infrastructure, même techniquement parfait, peut échouer s'il ne bénéficie pas d'une acceptabilité sociale. La durabilité passe par une gouvernance plus ouverte, qui associe les citoyens et les parties prenantes en amont des décisions (concertation, débat public). Cette démarche participative permet d'enrichir les projets, de prévenir les conflits et de renforcer la légitimité des choix opérés.

IV.3. La Durabilité Environnementale et la Résilience Climatique

Face à l'urgence climatique et à l'érosion de la biodiversité, la gestion des infrastructures doit intégrer pleinement les enjeux environnementaux.

IV.3.1 L'économie circulaire et la gestion des ressources

Il s'agit de passer d'une logique linéaire ("extraire, fabriquer, consommer, jeter") à une logique circulaire. Dans la gestion des déchets, cela se traduit par la priorité donnée à la réduction à la source, au réemploi, au recyclage et à la valorisation (énergétique ou matière) (**Verdier, 2023**). Pour l'eau, il s'agit de réduire les prélèvements en luttant contre les fuites et en promouvant les économies d'eau, voire en réutilisant les eaux usées traitées. Pour la construction, cela implique l'utilisation de matériaux recyclés ou biosourcés.

IV.3.2 La transition énergétique et la réduction de l'empreinte carbone

Les infrastructures sont de grandes consommatrices d'énergie. Leur gestion doit contribuer aux objectifs de transition énergétique : rénovation de l'éclairage public avec des LED, optimisation énergétique des stations de pompage et des usines de traitement, production d'énergies renouvelables sur le patrimoine public (panneaux solaires sur les toitures) ou à partir des déchets (méthanisation). Les infrastructures de transport doivent favoriser les mobilités douces et collectives pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

IV.3.3 L'adaptation au changement climatique et la résilience

Les infrastructures doivent être conçues et gérées non seulement pour atténuer le changement climatique, mais aussi pour s'y adapter. Cela implique d'anticiper l'augmentation des risques : renforcement des réseaux face aux événements climatiques extrêmes (inondations, sécheresses, tempêtes), conception d'espaces publics permettant de lutter contre les îlots de chaleur urbains (végétalisation, matériaux clairs), gestion désimperméabilisée des eaux pluviales pour éviter la saturation des réseaux d'assainissement. La résilience, c'est-à-dire la capacité du système à absorber une perturbation et à retrouver un fonctionnement normal, devient un critère de performance essentiel.

Tableau 5.3 *: Les enjeux des infrastructures urbaines par rapport aux principaux critères de la durabilité*

Infrastructure	Enjeu de Durabilité Économique	Enjeu de Durabilité Sociale	Enjeu de Durabilité Environnementale
Eau et Assainissement	Gestion patrimoniale des réseaux pour lisser les coûts de renouvellement.	Tarification sociale de l'eau pour garantir l'accès à tous.	Réduction des fuites, réutilisation des eaux usées traitées (REUT).
Gestion des Déchets	Optimisation des collectes via des capteurs pour réduire les coûts.	Tarification incitative pour récompenser les comportements vertueux.	Priorité au tri, au recyclage et à la valorisation matière/énergétique.
Éclairage Public	Analyse en coût global pour le passage aux LED.	Assurer la sécurité et le confort visuel dans tous les quartiers.	Réduction de la consommation d'énergie et de la pollution lumineuse.
Transports	Modèles économiques pérennes pour les transports en commun.	Accessibilité des réseaux aux PMR, desserte équitable du territoire.	Promotion des mobilités actives et collectives, électrification de la flotte.

Conclusion

La gestion des infrastructures urbaines apparaît comme un champ d'action d'une complexité croissante, mais aussi d'une importance stratégique capitale pour l'avenir des villes. Loin d'être une simple affaire de tuyaux et de câbles, elle est au confluent des grands défis contemporains.

Nous avons montré que cette gestion est façonnée par un jeu d'acteurs tripartite – public, privé, citoyen – dont l'articulation est la clé d'une gouvernance efficace. L'autorité publique, garante de l'intérêt général, doit agir en chef d'orchestre, capable de mobiliser l'expertise et la capacité d'investissement du secteur privé tout en intégrant l'expertise d'usage et les aspirations de la société civile. Le choix du mode de gestion, de la régie publique au partenariat public-privé, n'est pas une question idéologique mais un arbitrage pragmatique qui doit être évalué au cas par cas, en fonction des objectifs de la collectivité et de sa capacité de pilotage.

Parallèlement, la révolution numérique offre des outils de gestion d'une puissance inédite. Les SIG, la GMAO, et plus encore les technologies de la ville intelligente comme l'IoT et l'intelligence artificielle, permettent de passer d'une gestion statique et curative à un pilotage dynamique, prédictif et optimisé. Ces outils sont des leviers formidables pour améliorer l'efficience des services. Toutefois, leur déploiement doit être maîtrisé pour ne pas devenir une fin en soi, et doit s'accompagner d'une réflexion sur la gouvernance des données et l'inclusion numérique.

Enfin, et c'est l'enjeu transversal majeur, la gestion des infrastructures doit être entièrement irriguée par l'impératif de durabilité. La performance ne peut plus être dissociée de la sobriété, de la résilience et de l'équité. La durabilité économique impose une vision patrimoniale de long terme pour faire face au mur d'investissement. La durabilité sociale exige de garantir l'accès de tous à des services de qualité et de renforcer la démocratie locale. La durabilité environnementale commande d'inscrire les infrastructures dans la transition écologique et l'adaptation au changement climatique, en favorisant l'économie circulaire et la réduction de l'empreinte carbone.

L'avenir de la gestion des infrastructures urbaines réside sans doute dans une approche plus intégrée : intégration des différents services en réseau (eau, énergie, déchets), intégration des différentes échelles territoriales, et surtout, intégration des différentes dimensions de la durabilité. Relever ce défi nécessite une vision politique claire, une expertise technique renforcée au sein des collectivités, et une culture de la coopération entre tous les acteurs du territoire. C'est à ce prix que les infrastructures, loin d'être un héritage lourd et coûteux, pourront devenir les vecteurs d'une ville plus résiliente, plus juste et plus agréable à vivre.

Bibliographie

1. ADEME & Syndicat de l'éclairage. (**2021**). Rénover l'éclairage extérieur. ADEME Éditions.
2. Administration générale de l'urbanisme et de la planification. (**2014**). Guide de planification des routes et de transport., première édition, Ramallah, Palestine
3. Agam. (**2018**). Les espaces publics n°1 : Typologies, enjeux, défis et vocabulaire. Consulté sur agam.org
4. Agam. (**2019**). La fabrication des espaces publics : Grands principes et axes de réflexion (Carnet N°3). Métropole Aix-Marseille-Provence.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (**2018**). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (7th ed.)*. AASHTO.
6. ANRU. (**2025**). Conception et réalisation d'espaces publics de qualité dans le cadre des projets en renouvellement urbain. Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine.
7. Archiclasse. (**2021**). L'éclairage. Ministère de l'Éducation Nationale.
8. Banque des Territoires. (**2025**). Production de déchets par habitant : la France dans la moyenne européenne. Repéré à https://www.banquedesterritoires.fr/production-de-dechets-par-habitant-la-france-dans-la-moyenne-europeenne
9. Banque Mondiale. (**2018**). « Déchets : quel gâchis 2.0 » : un état des lieux actualisé sur l'avenir de la gestion des déchets solides. Repéré à https://www.banquemondiale.org/fr/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management
10. Baraud, S. (**2022**). *La ville intelligente au service du citoyen*. Presses Urbaines.
11. Biodiversité Centre-Val de Loire. (2024). Éclairage et biodiversité. Consulté sur biodiversite-centrevaldeloire.fr
12. Brahimi, B & Bouhamed, AE. (**2022**). Etude Comparative entre l'éclairage public classique et l'éclairage solaire photovoltaïque. Mémoire de fin d'études Master en Energies Renouvelables. Université Saad Dahleb Blida
13. Cariboni Group. (**2021**). L'impact social de l'éclairage urbain. Consulté sur caribonigroup.com
14. Cartelmatic. (**2024**). Mobilier urbain connecté : Qu'est-ce que c'est ? Consulté sur cartelmatic.com
15. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). (**2006**). *Les études de circulation et de stationnement : Méthodes et outils*. CERTU. France
16. Cerema. (**2020**). Rues et espaces publics à vivre : une série de fiches basées sur des retours d'expériences. Consulté sur cerema.fr
17. Cerema. (**2024**). Schéma Directeur d'Aménagement Lumière : Définir et planifier. Consulté sur cerema.fr
18. Cerema. (**2025**). Extinction de l'éclairage public : une étude sur les pratiques des collectivités. Consulté sur cerema.fr
19. Chabert, G., & Rocher, L. (**2020**). Partenariats Public-Privé : entre efficacité économique et impératifs démocratiques. *Revue de Droit Public*, *3*(2), 45-67.
20. Commission de coopération environnementale. (**2019**). Rapport technique sur la quantification de la perte et du gaspillage d'aliments et de leurs répercussions. CCE.
21. Cour des comptes. (**2022**). Prévention, collecte et traitement des déchets ménagers : une ambition à concrétiser. Rapport public thématique.
22. Cour européenne des comptes. (**2025**). Rapport spécial 23/2025: Gestion des déchets municipaux. ECA.
23. Debiais, A., Abaï Djoda, L. B., & **Mpinga**-Iyenda, P. (**2021**). La gestion de déchets domestiques à Montréal : Transport, environnement et équité. Université de Montréal. Canada
24. Demazière, C. (**2019**). *Gouverner les services urbains en réseau*. La Découverte.
25. Dupont, J. (**2021**). *Le guide de la conception routière urbaine*. Éditions Eyrolles.

26. ecologie.gouv.fr. (**2025**). L'accessibilité de la voirie et des espaces publics. Ministère de la Transition écologique.
27. Économie d'Énergie. (**2024**). Rénovation de l'éclairage public : quels enjeux ? Consulté sur economiedenergie.fr
28. enviroboite.net. (**2010**). Conception et Gestion durable des espaces publics. VAD.
29. fnau.org. (**2023**). Six piliers pour réussir son projet d'espace public. Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme.
30. Fonroche Lighting. (**2025**). Comment bien choisir son éclairage public extérieur ? Consulté sur fonroche-lighting.com
31. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). (**2012**). *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06)*. FGSV Verlag.
32. Gerard K , (**2004**). Guide pratique des VRD et aménagements extérieurs. EYROLLES. Paris. France
33. Gomes, P. (**2020**). Espaces publics. La fabrique sociale et politique de l'urbanité. Dans S. Bognon, M. Magnan, & J. Maulat (dir.), Urbanisme et aménagement : Théories et débats (p. 81-96). Armand Colin.
34. Google Groups. (**2012**). Calcul des bilans de puissances. Consulté sur googlegroups.com
35. Guichet, B. (**2005**). *Les carrefours giratoires : histoire d'une idée française*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
36. handinorme.com. (**2024**). 9 points à respecter pour être accessible à tous. Consulté sur handinorme.com
37. idverde. (**2022**). Ville durable : quelles sont les innovations en matière de mobilier urbain ? Consulté sur idverde.fr
38. idverde. (**2024**). Entretien des espaces verts en milieu urbain : nos défis et solutions. Consulté sur idverde.fr
39. INRAE. (**2025**). Réduction de l'éclairage urbain : concilier besoins de la biodiversité et des habitants. Consulté sur inrae.fr
40. INSPQ. (**2021**). Accessibilité universelle : la conception d'environnements pour tous. Institut national de santé publique du Québec.
41. Institut national de la recherche et de la sécurité (INRS). (**2018**). Centres de tri de déchets recyclables secs ménagers et assimilés. ED 6098.
42. Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). (**2025**). Quantités de déchets ménagers collectés et spécificité des territoires. Repéré à https://www.insee.fr/fr/information/8573780
43. Institut Paris Region. (**2002**). Sécurité et espaces publics : le rôle de l'aménagement urbain. IAURIF.
44. Institut Paris Region. (**2024**). Approche tactique pour aménager les espaces publics autrement. Consulté sur institutparisregion.fr
45. Institut Veolia. (**2021**). L'économie circulaire - 1. Un modèle de gestion des déchets à réinventer. Repéré à https://www.institut.veolia.org/sites/g/files/dvc2551/files/document/2021/11/
46. Jung, N. (**2020**). Étude relative à la mutualisation et à l'optimisation de la collecte sélective des déchets de cuisine sur les communes du canton de Genève [Mémoire de fin d'études]. Transvoirie SA.
47. La Fabrique de la Cité. (**2019**). Les espaces publics : clef du bien vivre ensemble ? Consulté sur lafabriquedelacite.com
48. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). (**1994**). *Catalogue des dégradations de surface des chaussées*. LCPC.
49. LED Rhythm. (**2025**). Guide détaillé de tous les types de lampadaires. Consulté sur ledrhythm.com
50. Lefebvre, H. (**2000**). *Le Droit à la ville*. (Édition originale 1968). Anthropos.
51. Levenly. (**2018**). Eclairage architectural : le guide complet. Consulté sur levenly.com
52. Lorrain, D. (**2018**). *La main invisible des gouvernements urbains*. Presses de Sciences Po.

53. Mairie de Paris. (**2024**). Ces 5 grandes réalisations déjà permises par les plans environnementaux parisiens. Consulté sur paris.fr
54. Mayor, A. (**2016**). L'influence de l'éclairage urbain sur les espaces publics [Mémoire de master, Université de Lausanne].
55. Métropole de Lyon. (**2022**). Schéma directeur des déchets 2030 de la Métropole de Lyon.
56. Metropole Toulouse. (**2022**). Cahier Technique d'Éclairage Public.
57. Ministère de la Transition écologique. (**2017**). Gestion des déchets : principes généraux. Repéré à https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/gestion-dechets-principes-generaux
58. Ministère de la Transition écologique. (**2018**). L'économie circulaire. Repéré à https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/leconomie-circulaire
59. Ministère de la Transition écologique. (**2024**). Prévention de la production de déchets. Repéré à https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/1er%20PNPD%202004-2014.pdf
60. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. (**2024**). Gaspillage alimentaire : des nouvelles données pour la France. Repéré à https://agriculture.gouv.fr/gaspillage-alimentaire-des-nouvelles-donnees-pour-la-france
61. Mistec Group. (**202**). Éclairage extérieur - Définition, avantages et types. Consulté sur mistec-group.com
62. Monnot, E. (**2014**). Le tri des déchets ménagers : une caractérisation des logistiques déployées par les consommateurs. Recherche et Applications en Marketing, 29(2), 26-49. https://doi.org/10.1177/0767370114527674
63. Natura-sciences. (**2012**). L'enfouissement des déchets est-il une solution durable ? Repéré à https://www.natura-sciences.com/comprendre/enfouissement-dechets.html
64. Notre-environnement.gouv.fr. (**2025**). Le traitement des déchets. Repéré à https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/economie/les-dechets-ressources/article/le-traitement-des-dechets
65. Notre-environnement.gouv.fr. (**2025**). Les déchets ménagers en France : chiffres et enjeux pour l'environnement. Repéré à https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/societe/le-mode-de-vie-des-menages-ressources/article/les-dechets-menagers-en-france-chiffres-et-enjeux-pour-l-environnement
66. objetspublics.com. (**2024**). Petite histoire de l'espace public. Consulté sur objetspublics.com
67. Observatoire Régional des Transports Picardie. (**2009**). Impacts environnementaux du transport des déchets ménagers. ORT Picardie.
68. Offner, J.-M. (**2021**). Les Systèmes d'Information Géographique, outils de renouvellement de l'action publique locale ? *Espaces et Sociétés*, *182*(3), 115-130.
69. Oise.gouv.fr. (**2023**). Guide des bonnes pratiques pour la sureté des espaces publics. Préfecture de l'Oise.
70. Pinson, G. (**2020**). *La ville néolibérale*. PUF. https://doi.org/10.3917/puf.pinso.2020.01
71. Plante & Cité. (**2023**). Conception écologique d'un espace public paysager. Guide méthodologique de conduite de projet (2e éd.).
72. Promotelec. (**2025**). Comment calculer une chute de tension électrique. Consulté sur promotelec.com
73. Propysalford. (**2025**). Mobilier et innovation pour les villes intelligentes ! Consulté sur propysalford.com
74. RECORD. (**2012**). La collecte et le transport des produits usagés et des déchets ménagers. Rapport ADEME.
75. RTS. (**2024**). 6 technologies intelligentes de gestion des déchets qui changent la donne. Repéré à https://www.rts.com/fr/blog/smart-waste-management-technologies/
76. Salvi. (**2025**). Technologies de communication dans l'éclairage public. Consulté sur salvi.es
77. Santé publique France. (**2021**.). Stockage des déchets et santé publique : Synthèse et recommandations.
78. Sassen, S. (**2017**). *The Global City: New York, London, Tokyo*. Princeton University Press.
79. SDE35. (**2024**). Charte éclairage & biodiversité.
80. SDEC Énergie. (**2020**). Guide de l'éclairage public à l'usage des aménageurs.

81. SDEC Énergie. (**2021**). Guide de l'élu local et intercommunal : Éclairage Public.
82. SEMCO. (**2025a**). Fonctionnalité et esthétique : un équilibre essentiel dans le mobilier urbain. Consulté sur semco.fr
83. SEMCO. (**2025b**). Mobilier urbain et innovations urbaine durables. Consulté sur semco.fr
84. SEMCO. (**2025c**,). L'entretien du mobilier urbain : enjeux et bonnes pratiques. Consulté sur semco.fr
85. Service des données et études statistiques (SDES). (**2024**). La production et le recyclage des déchets en France. Bilan environnemental 2024.
86. Service des données et études statistiques (SDES). (**2025**). Déchets | Données et études statistiques. Repéré à https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/dechets
87. Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (SETRA). (**2000**). *Aménagement des Routes Principales (ARP)*. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.
88. SGDSN. (**2021**). Guide des bonnes pratiques pour la sûreté des espaces publics. Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale.
89. Shoup, D. C. (**2011**). *The High Cost of Free Parking, Updated Edition*. Routledge.
90. SIEML. (**2021**, Décembre). Préconisations techniques pour le réseau d'éclairage public.
91. Statistiques du Développement Durable. (**2025**). La pollution lumineuse en France en 2023. Consulté sur statistiques.developpement-durable.gouv.fr
92. Syctom. (**2019**). Centre de tri à Paris XV schéma de fonctionnement. Repéré à https://www.syctom-paris.fr/fileadmin/mediatheque/installations_et_projets/Paris-XV/SchemaProcessParisXV.pdf
93. Syndicat de l'éclairage. (**2021**). Avant-propos. In Rénover l'éclairage extérieur (p. 3). ADEME Éditions.
94. Territoires en Transitions. (**2025**). Traitement des déchets : quels leviers pour les collectivités ? Repéré à https://www.territoiresentransitions.fr/actus/180/traitement-des-dechets-un-defi-environnemental-pour-les-collectivites
95. Thonart, P., Diabaté, S. I., Hiligsmann, S., & Lardinois, M. (**2005**). Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du Sud. Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF).
96. unhabitat.org. (**2022**). Accès aux espaces publics pour tous. ONU-Habitat.
97. Université Paris-Saclay. (**2025**). Éclairage public et pollution lumineuse : éclairer la ville, protéger le vivant. Consulté sur universite-paris-saclay.fr
98. Université Paris-Saclay. (**2025**). Éclairage public et pollution lumineuse : éclairer la ville, protéger le vivant. Consulté sur universite-paris-saclay.fr
99. Urbanews. (2017). 10 idées clés pour concevoir des espaces publics plus vivants et attrayants. Consulté sur urbanews.fr
100. Verdier, P. (**2023**). *L'économie circulaire dans les territoires : de la théorie à la pratique*. Éditions Technip.
101. Vigier, F. (**2009**). *The History of the Street*. MIT Press.
102. villeintelligente.esg.uqam.ca. (2023). Les espaces publics urbains : Pistes de réflexion stratégiques. Cahier In.SITU.
103. Waga Energy. (2018.). Valorisation du biogaz des ISDND. Repéré à https://waga-energy.com/fr/valorisation-biogaz/
104. ZEMRA R, .(2020) Polycopie de cours VRD Partie 1(Voiries). Département de Génie Civil. Faculté de Technologie. Université BATNA 2
105. Zero Waste France. (2025). Incinération des déchets : une menace persistante pour la santé et l'environnement. Repéré à https://www.zerowastefrance.org/incineration-des-dechets-une-menace-persistante-pour-la-sante-et-lenvironnement/