GRANDLYON
la métropole

PROJET VILLE PERMÉABLE

Gestion des eaux pluviales d'une voirie : Réflexions sur le coût global étendu et les externalités attendues

Rapport thématique

Edition : Novembre 2017

agence de l'eau
RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE
établissement public de l'État

suez

Sommaire

1. CONTEXTE ET OBJET DE L'ETUDE 6

1.1 Précautions préalables à destination du lecteur 6

1.2 Hypothèses contextuelles 7

2. HYPOTHESES RETENUES POUR LE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES 9

3. ASPECTS ECONOMIQUES 10

3.1 Investissement 10
3.1.1 Hypothèses pour le calcul des coûts d'investissement 10
3.1.2 Bordereau des prix à la mise en œuvre 12

3.2 Gestion 13
3.2.1 Hypothèses considérées pour le calcul des coûts et identification des acteurs concernés 13
3.2.2 Coût de la gestion des ouvrages 17

4. SERVICES RENDUS A LA VILLE 20

4.1 Indice de Bien-être en ville 21
4.1.1 Les îlots de chaleur urbain (ICU) 21
4.1.2 Comment la Ville Perméable lutte-t-elle contre les ICU ? 21
4.2.2 Création d'un indice de « bien-être » en Ville 23

4.3 Indice d'adaptation à l'augmentation du ruissellement 25
4.3.1 Le changement climatique 25
4.3.2 La densification 26
4.3.3 Proposition d'un indice d'adaptation à l'augmentation du volume d'eau 26

4.4 Indice de protection des milieux naturels 27
4.4.1 La protection des milieux naturels face à la pollution 27
4.4.2 Proposition d'un indice de protection des milieux naturels 28

4.5 Indice de production de déchets 29
4.5.1 Les déchets issus du nettoyage des voiries et des espaces publics 29
4.5.2 Les déchets issus du curage des réseaux et ouvrages d'assainissement 31
4.5.3 Proposition d'un indice de production de déchets 32

5. LES DIFFERENTS SCENARIOS ENVISAGES 33

5.1 Option 1 : Infiltration par un ouvrage dédié 33

5.1.1 Noue plantée 33
5.1.2 Puits d'infiltration 37
5.1.3 Chaussée à structure réservoir infiltrante 40

5.2 Option 2 : Solution couplée, jardins de pluie + pavés enherbés 43

5.3 Option 3 : Enrobé poreux 46

5.4 Option 4 : Scénarios avec réseau 48
5.4.1 Réseau unitaire 48
5.4.1 Réseau pluvial 51

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 53

Analyse du coût global étendu à l'investissement 55

Analyse du coût global étendu sur 10 ans 56

REFLEXION PROSPECTIVE SUITE AUX CONCLUSIONS DE L'ETUDE EN COUT GLOBAL ETENDU 63

Les défis à relever par la Métropole de Lyon 63
Estimation financière du Scenario n°1 63
Estimation Financière du Scenario n°2 64
Comparaison des scénarios 64

Quelques pistes de réflexion pour optimiser la gestion de la Ville perméable 68
Un benchmark de structures 68
Une organisation liée à l'ampleur des phénomènes climatiques : l'exemple d'Antibes 68
Mutualisation des services : l'exemple de Rennes 69
Gestion hydraulique versus gestion paysagère : place au conventionnement 69

BIBLIOGRAPHIE 71

ANNEXES 72

Table des figures

Figure 1 : Voie de desserte faisant office de base pour l'étude 7
Figure 2 : Effets de l'arbre en Ville (Source : Vidéo du CEREMA, "la Nature en Ville comme élément de confort climatique") 22
Figure 3 : Indice de protection des milieux naturels selon le risque représenté en termes de pollution 29
Figure 4 : Gestion des déchets issus de l'espace public sur le territoire du Grand Lyon en 2014 (Source : « Rapport annuel 2014 sur le prix et la qualité du service public d'élimination des déchets ») 30
Figure 5 : Répartition des déchets de nettoiement du Grand Lyon en 2013 31
Figure 6 : Option 1-noue simple (Illustration de Luce Ponsar) 33
Figure 7 : aspect d'une noue simple (Photo de l'aménagement du Boulevard Ouest à Sathonay Camp) 34
Figure 8 : Démarche à suivre pour le dimensionnement d'une noue (Source : CETE Nord- Picardie) . 35
Figure 9 : Évolution et répartition des coûts de gestion pour l'option « noue » 36
Figure 10 : Plan de fonctionnement d'un puits d'infiltration (Source : Référentiel « Conception et gestion des ouvrages d'assainissement », Grand Lyon, 2017) 37
Figure 11 : Option 1-puits d'infiltration (Illustration de Luce Ponsar) 38
Figure 12 : Évolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "puits d'infiltration" 39
Figure 13 : Vue en coupe de la chaussée à structure réservoir (référentiel ouvrages enterrés Grand Lyon, 2017) 40
Figure 14 : Option 1- Structure réservoir (Illustration de Luce Ponsar) 41
Figure 15 : Évolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "Structure réservoir" 42
Figure 16 : Exemple de pavés enherbés 43
Figure 17 Option 2-Pavés enherbés + jardins de pluie (Illustration de Luce Ponsar) 43
Figure 18 : Exemple de jardin de pluie 44
Figure 19 : Evolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "pavés enherbés + jardins de pluie" 45
Figure 20 : Exemple d'enrobé poreux 46
Figure 21 : Option 3- revêtement poreux (Illustration de Luce Ponsar) 46
Figure 22 : Evolution et réparation des coûts de gestion pour l'option "revêtement poreux" 47
Figure 23 : Option 4- réseau unitaire (Illustration de Luce Ponsar) 48
Figure 24 : Evolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "réseau unitaire" 50
Figure 25 : Evolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "réseau pluvial" 52
Figure 26 : Coût d'investissement pour chaque scénario proposé 55
Figure 27 : Répartitions des coûts sur les 10 premières années 56
Figure 28 : Comparaison du coût global étendu des différentes options sur 10 ans 57
Figure 29 : Répartition par métier des coûts de gestion sur 10 ans 58
Figure 30 : Notion de coût global sur la durée de vie d'un ouvrage 59
Figure 31 : Répartition des coûts sur 60 ans 60
Figure 32 : Comparaison du coût global étendu des différentes options sur 60 ans 61
Figure 33 : Répartition des coûts de gestion par métier sur 60 ans 62
Figure 34 : Comparaison des coûts d'investissement des 2 scénarios 65
Figure 35 : Evolution du coût global étendu des 2 scénarios envisageables pour la déconnexion de 500 ha 65
Figure 36 : Coût de gestion annuel des 2 scénarios 66

Table des tableaux

Tableau 1 : Hypothèses établies pour le dimensionnement des ouvrages..... 9
Tableau 2 : Bordereau des prix unitaires et durée de vie des différentes techniques 12
Tableau 3 : Coût d'exploitation pour chaque ouvrage..... 17
Tableau 4 : Coût de maintenance pour chaque ouvrage 19
Tableau 5 : Proposition d'un indice de production de déchets 32
Tableau 6 : Exemple de détermination de la surface active pour le dimensionnement de l'option 1-noue..... 35
Tableau 7 : Récapitulatif des volumes pour chaque option..... 53
Tableau 8 : Récapitulatif des services rendus à la ville pour chaque option 54
Tableau 9 : Récapitulatif des coûts sur 10 ans 56
Tableau 10 : Récapitulatif des coûts sur 60 ans 60
Tableau 11 : Hypothèses de rapports surface de l'ouvrage/surface de bassin versant intercepté prises pour l'étude 64
Tableau 12 : Hypothèses de surface prises pour la désimperméabilisation de 500 ha 64

Table des annexes

Annexe 1 : Relation perméabilité et drainage (Holtz et Kovacs, 1991)..... 72
Annexe 2 : Calcul de l'intensité de pluie 72
Annexe 3 : Méthode pour le dimensionnement des ouvrages (méthode des pluies)..... 73

1. Contexte et objet de l'étude

1.1 Précautions préalables à destination du lecteur

Le projet Ville Perméable de la Métropole de Lyon a été l'occasion de mutualiser les connaissances de différents acteurs concernés par la gestion des eaux pluviales des aménagements du domaine public. Par des visites de terrain, des études de recherches et une thèse CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherche) en urbanisme, un retour d'expérience sur la mise en œuvre et l'exploitation des techniques alternatives a pu être réalisé. C'est dans ce contexte que se place ce rapport, proposant une approche technico-économique visant à analyser les coûts et les bénéfices des ouvrages de gestion des eaux pluviales.

Devant la difficulté de disposer de ratios issus de projets réalisés par le Grand Lyon du fait de contextes différents et de l'éparpillement du coût des techniques alternatives dans plusieurs postes des DGD[1] (Directions Générales Déléguées), il a été choisi de travailler sur un cas type afin de comparer la mise en œuvre de plusieurs techniques de gestion des eaux pluviales.

Coût global étendu = coût d'investissement + coût de fonctionnement + externalités positives

Attention ! Cette étude s'appuie sur des hypothèses établies dans un contexte spécifique. Elle apporte une réflexion sur le coût global étendu de la gestion des eaux pluviales dans ce cas particulier et **ne pourra être extrapolée à des cas généraux sans analyse ni réflexion.**

L'objectif de cette étude n'est pas de prouver que telle ou telle technique de gestion des eaux pluviales est la plus avantageuse : **il n'y a pas de réponse générique à cette question, chaque contexte étant différent.** En raisonnant par coût global étendu, l'analyse démontre que la gestion des eaux pluviales par des techniques alternatives est souvent plus avantageuse que par des réseaux collectifs.

Il s'agit ici d'une étude comparative. A ce titre, certains paramètres économiques non significatifs pour la comparaison ne sont pas pris en compte comme le taux d'actualisation ou le taux d'amortissement. Par ailleurs, les externalités ne sont pas monétisées.

[1] Pour disposer de ratios sur le pluvial dans le futur, il est recommandé d'établir une analyse financière à la fin des projets.

1.2 Hypothèses contextuelles

L'étude porte sur la **création d'une voirie de proximité en secteur urbain de moyenne fréquentation**, de 18 m de largeur.

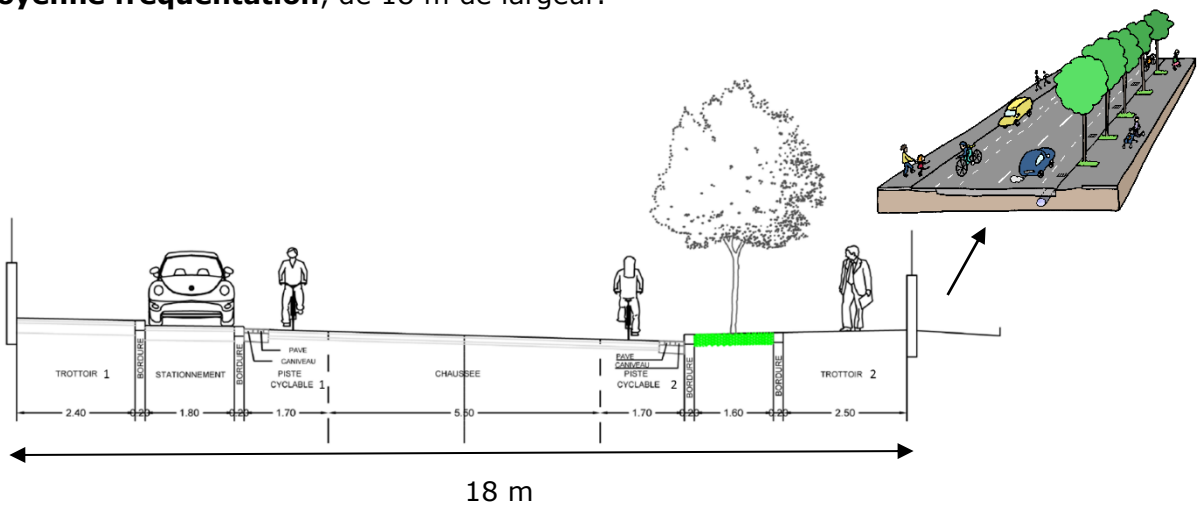


Figure 1 : Voie de desserte faisant office de base pour l'étude

Dans le but de comparer les techniques alternatives et la gestion des eaux pluviales par réseaux enterrés, plusieurs scénarios ont été étudiés sur la base d'un projet de référence comprenant, sur 100 ml de longueur :

-une voirie à double sens de 5,50 m ;

-2 bandes cyclables ;

-une zone de stationnement ;

-des plantations d'arbres d'alignement d'un côté de la voie ;

-2 trottoirs d'une largeur en général de 2,4 à 2,5 m (a minima 1,5 m).

Sur cette base, plusieurs scénarios ont été comparés dans une approche coût global. Pour chacun d'entre eux, les coûts nécessaires à la création et à l'entretien de la voie de desserte à l'échelle de l'espace public ont été estimés. Le calcul a été effectué à différentes dates : à la mise en œuvre des ouvrages, sur 10 ans et sur 60 ans (en tenant compte de la maintenance, de l'entretien et de la durée de vie des installations) afin de se représenter la rentabilité de l'investissement sur le long terme.

Une analyse globale des scénarios a alors été étudiée en intégrant les coûts d'investissement et de gestion ainsi que les bénéfices des projets.

Le rapport s'articule comme suit :

- Présentation des hypothèses employées pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques ;
- Evaluation de leur coût de mise en œuvre et d'entretien sur 10 ans et 60 ans ;
- Réflexion sur les aspects qualitatifs et les services rendus à la Ville (lutte contre les îlots de chaleur, traitement des déchets, protection des milieux naturels)
- Analyse critique des différents scénarios envisageables.

L'ESSENTIEL

Il est important de garder à l'esprit qu'il n'existe pas UNE solution de gestion des eaux pluviales par les techniques alternatives : il y a autant de scénarios envisageables que de cas particuliers possibles (présence d'éléments urbains ou hydrographique à proximité, contexte socio-économique etc.). Il est donc essentiel de se rappeler la non-exhaustivité des solutions proposées dans ce rapport vis-à-vis du contexte dans lequel se trouve ladite coupe type.
L'objectif de ces scénarios est d'établir une analyse comparée coûts/bénéfices des différentes techniques de gestion des eaux pluviales, pas d'élire la « meilleure ».

2. Hypothèses retenues pour le dimensionnement des ouvrages

Le dimensionnement des ouvrages est établi à partir de calculs hydrauliques s'appuyant sur plusieurs hypothèses spécifiques au territoire lyonnais. Il nécessite avant toute chose de connaitre le volume d'eau propre à stocker. Or, la détermination de ce dernier va dépendre de plusieurs paramètres.

Pluie précipitée → Calcul des hauteurs d'eau tombée par la formule de Montana

+

Capacité d'infiltration du sol (perméabilité) + Surface imperméabilisée à considérer

↓

Volume d'eau que doit pouvoir gérer l'ouvrage → Dimensionnement

Tableau 1 : Hypothèses établies pour le dimensionnement des ouvrages

Hypothèse	Valeur retenue	Détail
Le sol de la coupe type possède une bonne capacité d'infiltration, comme c'est le cas sur la majorité du territoire de la Métropole.	Perméabilité = **5.10^{-5} m/s**	En Annexe 1
Les coefficients d'imperméabilisation des surfaces sont issus de la littérature.	**Voirie « classique »** 0.95 **Revêtement perméable** 0.30 **Espaces verts** 0.25	Grand Lyon, (2008). Méthode pour le dimensionnement des ouvrages de stockage
Sur la Métropole de Lyon, la majorité des ouvrages hydrauliques sont dimensionnés pour une période de retour 20 ans. En attendant la nouvelle réglementation sur le ruissellement pluviale, c'est cette valeur qui sera retenue pour l'étude.	**20 ans**	Période de retour usuellement appliquée sur le territoire de la Métropole
L'intensité de pluie est calculée à partir de la formule de Montana et des coefficients du Grand Lyon pour une période de retour 20 ans	**6 min à 30 min**: **a** 6.070, **b** 0.490 **30 min à 1 440 min**: **a** 14.957, **b** 0.743	En Annexe 2 Les coefficients de Montana du Grand Lyon sont disponibles sur le site internet de la Métropole

3. Aspects économiques

3.1 Investissement

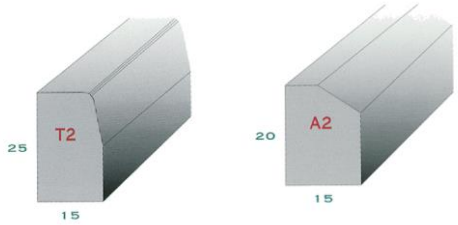
3.1.1 Hypothèses pour le calcul des coûts d'investissement

Il est difficile d'établir les coûts liés aux nouveaux ouvrages, qui dépendent de plusieurs paramètres que tels : la surface, les acteurs, le rendu paysager etc. L'investissement initial est estimé par rapport à une moyenne des prix en vigueur (courant 2016). Avant de présenter l'ensemble des coûts utilisés pour les calculs, il est essentiel de fixer les caractéristiques des ouvrages intervenant dans les différents scénarios.

- **Noue plantée d'arbres :** il s'agit d'un ouvrage rustique, engazonné, avec une alimentation gravitaire directe, sans cloison ni surverse au réseau ou dans des fosses, bassins, etc. Des arbres y sont plantés afin de favoriser l'ombrage et de profiter d'un sol propice à leur mise en place. Du fait de la géométrie de l'ouvrage, les individus mis en place sont de petit développement. Le coût de la noue indiqué ne prend pas en compte celui des arbres (calculé séparément).
- **Puits d'infiltration :** ils sont conformes à l'état de l'art (Grand Lyon, 2016. Référentiel technique des ouvrages d'assainissement).
- **Structure réservoir infiltrante sous chaussée :** ouvrage rustique comportant 30% de vide (0.5 m de 40-80) dans la structure réservoir, avec infiltration.
- **Pavés enherbés :** revêtement modulaire en béton avec joints engazonnés.
- **Jardin de pluie :** il s'agit d'un ouvrage avec alimentation gravitaire directe. Une multitude de jardins de pluie existe. Pour l'étude, il est choisi de considérer une dépression peu profonde, sans drain et recouvert de plantations fleuries. L'ouvrage aurait pu être moins cher mais nous avons considéré un prix plus élevé pour être en accord avec les jardins de pluie usuellement conçus (exemple de la ZAC Zipfel). 2 arbres de petit développement sont également plantés. Le coût du jardin ne prend pas en compte celui de l'arbre (calcul à part).
- **Enrobé poreux :** il s'agit d'un revêtement composé de haut en bas :
  - D'une couche de roulement perméable ;
  - D'une couche de base rigide et stockante composée d'enrobé poreux ;
  - D'une couche de fondation stockante constituée de graves (porosité de l'ordre de 30 %).

- **Arbre :** pour la majorité des scénarios, des fosses d'arbres sont installées. Le coût indiqué comporte la fosse, les bordures et l'individu de grand développement. Lorsqu'aucune indication ne le précise, les fosses d'arbres ne sont pas alimentées par les eaux pluviales.

  Les arbres de petit développement plantés dans la noue et les jardins de pluie ne nécessitent pas de grilles ni l'ajout de terre végétale. Leur coût sera donc nettement moins élevé que celui des fosses arbres (le prix indiqué comprend l'individu et sa pose).
- **Bassin d'infiltration enherbé :** associé au réseau d'eau pluvial.
- **Bassin de stockage/restitution :** associé au réseau unitaire.
- **Avaloir :** concave ou plat, 400x400 mm. Ils sont renouvelés au même rythme que la voirie.
- **Chaussée :** composée de haut en bas :
  - D'une couche de roulement en enrobé de 3cm d'épaisseur ;
  - D'une couche de base ;
  - D'une couche de fondation en grave traitée de 30 cm d'épaisseur ;
  - D'une couche de forme en grave non traitée de 50 cm d'épaisseur.
- **Trottoir et stationnement :** composés de haut en bas :
  - D'une couche de roulement en enrobé de 3 cm d'épaisseur ;
  - D'une couche de fondation en grave de 30 cm d'épaisseur.
- **Bordure :**
  - T2 pour le trottoir 1
  - A2 pour le stationnement



3.1.2 Bordereau des prix à la mise en œuvre

Les prix proposés au bordereau des prix unitaires ont été chiffrés par SAFEGE et confrontés aux retours d'expérience des membres du COTECH du projet Ville Perméable. Ils comprennent le coût des travaux. Ils sont regroupés dans le Tableau 2 qui servira de référence pour cette étude.

Tableau 2 : Bordereau des prix unitaires et durée de vie des différentes techniques

	Mise en place (coût HT)	Durée de vie
Noue plantée d'arbres	100 €/m²	30 ans
Puits	2 000 € l'unité	20 ans
Structure réservoir infiltrante sous chaussée	300 €/ml	30 ans
Pavés enherbés	60 €/m²	10 ans
Jardin de pluie	600 €/m² + 35 €/ml de bordure	30 ans
Enrobé poreux	115 €/m²	20 ans
Arbre de petit développement	500 € l'unité (pour les noues et jardins de pluie)	60 ans
Fosse d'arbre (grand développement)	4 000 € l'unité	60 ans
Bassin d'infiltration enherbé	250 €/m²	30 ans
Bassin de stockage/restitution	250 €/m²	30 ans
Collecteur	295 €/ml	60 ans
Avaloir	400 € l'unité	20 ans
Chaussée	90 €/m²	20 ans
Trottoir	40 €/m²	60 ans
Bordure	35 €/ml	20 ans
Entrée charretière	1 000 € l'unité	20 ans (réfection avec la voirie)

A noter

Ces coûts de mise en œuvre sont issus d'estimations et sont adaptés à ce contexte spécifique. Ils peuvent varier selon le degré de complexité de l'ouvrage et ne peuvent donc être réutilisés sans une réflexion préalable. Dans le cadre de cette étude, la simplicité a été favorisée dans tous les cas. Cette démarche « rustique »

La durée de vie des ouvrages est estimée selon les retours d'expérience sur le territoire de la Métropole dans le cadre du projet Ville Perméable. Elle dépend du bon entretien et de la nature même des techniques alternatives mises en place. En effet, une maintenance insuffisante peut provoquer le vieillissement prématuré des ouvrages. Cependant, les visites de terrain ont confirmé que plus une technique est simple, plus elle est durable et opérationnelle dans le temps. Ainsi, il existe des cas d'ouvrages fonctionnant correctement après 20 ans de vie sans gestion lourde. La réalisation de techniques alternatives ne s'accompagne donc pas nécessairement d'une gestion complexe.
Dans notre étude, chaque ouvrage en fin de vie sera renouvelé à hauteur de son coût d'investissement.

3.2 Gestion

Le coût lié à la gestion de l'aménagement se décompose en deux parties :

- L'exploitation : elle comprend l'entretien courant, c'est-à-dire le nettoiement et les opérations régulières effectuées une à deux fois dans l'année sur les ouvrages hydrauliques.
- La maintenance : elle correspond aux opérations de gestion du patrimoine, nécessaires en cas de problème (pollution accidentelle, structure dégradée) ou par prévention (en général, une fois tous les 5 à 10 ans).

3.2.1 Hypothèses considérées pour le calcul des coûts et identification des acteurs concernés

3.2.1.1 Une réflexion par métier

Sur la Métropole de Lyon, les opérations de gestion sur l'ensemble d'un aménagement sont organisées entre différents acteurs :

- La Direction de l'Eau de la Métropole ;
- La Direction de la Voirie de la Métropole ;
- La Direction Propreté de la Métropole ;
- Le Service Espaces vertes de la Métropole ou de la commune concernée.

Chaque aménagement est géré différemment selon les modalités convenues. Ceci est d'autant plus vrai avec les techniques alternatives, qui peuvent à la fois être des espaces

publics et/ou paysagers ainsi que des ouvrages hydrauliques. C'est pourquoi, pour cette étude, la réflexion ne se fera pas par service mais par métier. On distinguera :

- La gestion hydraulique (visite de l'ouvrage, curage, décolmatage, etc.) ;
- La gestion de la voirie (réfection, maintenance préventive) ;
- Le nettoiement (balayage mécanique, piquetage manuel des déchets, etc.) ;
- Les espaces verts et la gestion horticole (fauche, jardinage, etc.).

3.2.1.2 Les hypothèses concernant l'exploitation

La voirie considérée pour l'étude se situe en secteur urbain, au centre d'un quartier moyennement fréquenté. Ces hypothèses définissent la fréquence d'entretien des espaces, à savoir ici :

- Un balayement mécanisé de la voirie 2 fois par semaine ;
- Un balayement mécanisé du trottoir 3 fois par semaine ;
- Un ramassage manuel par piquetage des feuilles et des déchets au pied des arbres 3 fois par semaine ;
- Un ramassage des déchets par piquetage dans les techniques alternatives végétalisées 3 fois par semaine.

Il est à noter que le ramassage des feuilles dans les espaces végétalisés n'est pas systématiquement une obligation. S'il ne s'agit pas de feuilles de platanes (imputrescibles), elles peuvent au contraire apporter de la matière organique et ainsi apporter une meilleure fertilité au sol. Il faudra toutefois vérifier qu'elles n'obstruent pas la fonction hydraulique de l'ouvrage.

Etant donné que le ramassage des déchets (hors balayement, piquetage au pied des arbres et entretien des espaces végétalisés) est le même en termes de fréquence et de type d'intervention sur l'ensemble des scénarios considérés, cette opération ne sera pas différenciante et donc ne rentrera pas en compte dans le calcul. A titre indicatif, le coût annuel de nettoiement des espaces publics de la Métropole est estimé entre 4 et 11 euros du mètre carré, selon la subdivision de nettoiement. De même, le traitement des déchets collectés et de fin de vie n'est pas abordé ici. Cependant, ce sujet fera l'objet d'une réflexion plus loin dans ce rapport (cf. partie 3.4).

Pour ce qui est des opérations moins fréquentes sur les ouvrages hydrauliques et les arbres, on distinguera :

- **Curage des réseaux :** les collecteurs d'eau pluviale et les avaloirs sont curés tous les 5 ans. En ce qui concerne le réseau unitaire, le coût par m^3 d'eau collectée par le réseau (1 € environ sur le Grand Lyon) inclut le curage et le nettoyage des grilles.

- **Maintenance de la végétation :** selon les plantations, les opérations de maintenance varient :
  - La fauche : elle s'applique aux ouvrages enherbés, à savoir ici la noue et le bassin d'infiltration. Les pavés enherbés étant une surface circulée par des véhicules, la limitation de l'accroissement de l'herbe se fera naturellement.
  - L'engazonnement : le retour d'expérience montre que :
    - Soit l'engazonnement a bien fonctionné à la mise en œuvre, auquel cas l'herbe restera implantée (sauf en cas d'accident causant un désherbage involontaire et dans ce cas il s'agit d'une réfection partielle).
    - Soit l'herbe n'a pas poussé à cause de conditions défavorables et ne s'implantera jamais. Il ne servirait à rien de retenter d'enherber.

    L'engazonnement n'est donc pas pris en compte comme opération de maintenance en sachant qu'à chaque réfection de l'ouvrage (noue et pavés enherbés) l'herbe est de nouveau semée.
  - Le jardinage : seuls les ouvrages avec des plantations horticoles sont concernés. Il s'agit ici des jardins de pluie qui, 2 fois par an, nécessitent un entretien voire des replantations de vivaces.
  - L'élagage des arbres : la fréquence de cette opération dépend de la taille de l'arbre. Pour l'étude, cette opération est calculée pour des individus âgés de 5 à 10 ans sur une durée de vie de 60 ans.

Tous les ouvrages hydrauliques bénéficient d'une inspection visuelle régulière (tous les 2 ans, sauf pour les puits et le bassin d'infiltration qui demandent une fréquence plus élevée : 2 fois par an compte tenu des risques de pollution du milieu plus élevés).

3.2.1.3 Les hypothèses concernant la maintenance

Concernant la maintenance des ouvrages hydrauliques, les retours d'expérience et les visites de terrain en compagnie des exploitants ont permis de mettre en avant les sensibilités des ouvrages ainsi que les maintenances spécifiques qui y sont liées :

- **Accidents de circulation :** les techniques alternatives peuvent être affectées par des accidents de circulation, altérant la structure de l'ouvrage et/ou provoquant des pollutions accidentelles. Toutes les techniques alternatives n'ont pas la même sensibilité à ces accidents :
  - Les ouvrages de surface peuvent être détériorés voire détruits au cours d'un accident de circulation. Ils peuvent également subir une pollution accidentelle du sol ;
  - La chaussée à structure réservoir infiltrante, le revêtement poreux et les puits d'infiltration sont principalement soumis au risque de pollution accidentelle : les polluants peuvent être acheminés à l'ouvrage et sont difficilement détectables (ouvrages enterrés), ce qui représente un risque pour la nappe en cas d'infiltration des eaux pluviales. ;
  - Les pavés enherbés ne sont pas mis en place sur la voirie de circulation. Il existe néanmoins un risque de pollution accidentelle lié aux eaux pluviales ruisselant sur la voirie.

  Il est considéré pour les calculs que les accidents de circulation entrainent une réfection partielle de l'ouvrage d'infiltration à hauteur de 10 % tous les 10 ans. Pour la chaussée et les entrées charretières, plus exposées aux accidents, la réfection partielle sera de 25 %.

- **Décolmatage :** cette opération s'applique aux ouvrages d'infiltration. Elle n'est pas systématique et ne s'effectue qu'en cas de nécessité. Pour tenir compte de la possibilité d'un décolmatage, celui-ci est pris en compte dans les calculs par une opération réalisée à 25 % tous les 10 ans (sauf pour l'enrobé poreux, balayé régulièrement). Or, le coût varie selon la nature de la technique alternative (le décolmatage d'un ouvrage enterré est plus coûteux que celui d'un ouvrage de surface). D'autre part, le retour d'expérience montre que les jardins de pluies et les pavés enherbés ne nécessitent que rarement un décolmatage compte tenu de la faible surface de bassin versant qu'ils gèrent. Le décolmatage de la noue est très rare, il s'agira plutôt d'une aération superficielle.

3.2.2 Coût de la gestion des ouvrages

Les Tableaux 3 et 4 serviront de référence pour le calcul des coûts d'exploitation. Ils sont établis à partir des hypothèses énoncées ci-dessus et des connaissances du comité technique du projet Ville Perméable (incluant des exploitants).

Tableau 3 : Coût d'exploitation pour chaque ouvrage

	Opération	Fréquence	Coût HT	Moyen	Métier concerné
Puits	Inspection visuelle	2 fois par an	**250 €**[2] pour tous les puits	Agent à pied	Gestion hydraulique
Structure réservoir infiltrante sous chaussée	Inspection visuelle	Tous les 2 ans	**250 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
Pavés enherbés	Ramassage des détritus	3 fois par semaine	**3,92 €/m²/an**	VIR (Véhicule d'Intervention Réduit) à 3 (ratio pour 3 agents)	Nettoiement
Enrobé poreux	Test de perméabilité	Tous les 2 ans	**500 €**	Agent à pied /drainomètre	Gestion hydraulique
	Balayage[3]	2 fois par semaine	**1,1 €/ml/an**	Balayeuse sur châssis	Nettoiement
Noue plantée	Fauche	2 fois par an	**400 €**	Agent à pied	Espace vert et gestion horticole
	Inspection visuelle	Tous les 2 ans	**125 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
	Ramassage des détritus	3 fois par semaine	**3,92 €/m²/an**	VIR à 3 (pour 3 agents)	Nettoiement
Bassin d'infiltration enherbé	Fauche	2 fois par an	**400 €**	Agent à pied	Espace vert et gestion horticole
	Inspection visuelle	2 fois par an	**250 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
	Curage	Tous les 5 ans	**1 000 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
	Ramassage des détritus	3 fois par semaine	**3,92 €/m²/an**	VIR à 3 (pour 3 agents)	Nettoiement
Bassin de stockage/ restitution	Nettoyage des filtres	Tous les 5 ans	**500 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
	Inspection visuelle	6 fois par an	**250 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
	Curage	Tous les ans	**1 000 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique

[2] *Les 250 € pour l'inspection visuelle correspondent à l'intervention de 2 agents pendant 2h.*
[3] *Les coûts de balayage ont été fournis par la Direction de la Propreté.*

Arbres	Elagage	Tous les 5 ans	**200 €** pour les arbres de grand développement, **150 €** pour les arbres de petit développement	Agent à pied	Espace vert et gestion horticole
	Ramassage des feuilles	3 fois par semaine	**2,61 €/m²/an**	Piquetage par agent à pied	Nettoiement
Jardin de pluie	Paysager/jardinage	2 fois par an	**135 €**[4]	Agent à pied	Espace vert et gestion horticole
	Inspection visuelle	Tous les 2 ans	**250 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
Chaussée	Balayage	2 fois par semaine	**1,1 €/ml/an**	Balayeuse sur châssis	Nettoiement
Trottoir	Balayage	3 fois par semaine	**1,89 €/m²/an**	Balayeuse de trottoir	Nettoiement
Bordure	Balayage	3 fois par semaine	**1,89 €/m²/an**	Balayeuse de trottoir	Nettoiement
Entrée charretière	Balayage	3 fois par semaine	**1,89 €/m²/an**	Balayeuse de trottoir	Nettoiement
Avaloir	Curage	Tous les 5 ans	**500 €**	Agent à pied	Gestion hydraulique
Collecteur (réseau unitaire)	Traitement de l'eau (inclus le curage et le nettoyage des grilles)	Tous les ans	**1 360 €** [5]	/	Gestion hydraulique
Collecteur (réseau pluvial)	Curage	Tous les 5 ans	**4 €/ml**	Agent à pied	Gestion hydraulique

[4] *En considérant 45 €/h pour les agents des Espaces verts.*

[5] *En considérant 1 €/m³ d'eau collectée (inclus le curage et le nettoyage des grilles) et en prenant les normales de précipitations sur Lyon, soit 831,9 mm (données Météo France, normales sur 1981-2010).*

Tableau 4 : Coût de maintenance pour chaque ouvrage

	Opération de maintenance	Fréquence	Coût HT
Puits	Décolmatage	Tous les 5 ans	**3 000 €**
Structure réservoir infiltrante sous chaussée	Réfection partielle (10 %)	En cas d'accident ou d'intervention de concessionnaire : tous les 10 ans	**10 % du coût initial**
	Curage partiel (25 %)	En cas de nécessité : tous les 10 ans	**3 000 €**
Pavés enherbés	Réfection partielle	Tous les 5 ans	**5 % du prix initial**
Enrobé poreux	Réfection partielle (25 %)	Tous les 10 ans	**25 % du prix initial**
	Décolmatage partiel (15 %)	Tous les 10 ans	**5 €/m²**
Noue plantée	Réfection partielle (10 %)	Tous les 10 ans	**10 % du prix initial**
	Aération partielle	En cas de nécessité : tous les 20 ans	**1 % du prix initial**
Bassin d'infiltration enherbé	Décolmatage partiel (25 %)	Pas systématiquement : tous les 10 ans	**3 000 €**
Bassin de stockage/restitution	Décolmatage partiel (25 %)	Pas systématiquement : tous les 10 ans	**3 000 €**
Arbre	Replanter	10 % des individus repris sur 60 ans	**1000 €** pour les arbres de grand développement **500 €** pour les arbres de petit développement
Jardin de pluie	Réfection partielle (10 %)	Tous les 10 ans	**10 % du prix initial**
	Replantation les plantes	Tous les 5 ans	**1 % du prix initial**
Chaussée	Réfection partielle (25 %)	Tous les 10 ans	**25 % du prix initial**
Entrée charretière	Réfection partielle (25 %)	Tous les 10 ans	**25 % du prix initial**

Dans ce Tableau n'apparait pas la réfection des ouvrages qui a lieu en fin de vie de la structure (cf. Tableau 2). Attention : pour l'étude, il n'y aura pas d'opération de maintenance la même année que la réfection totale.

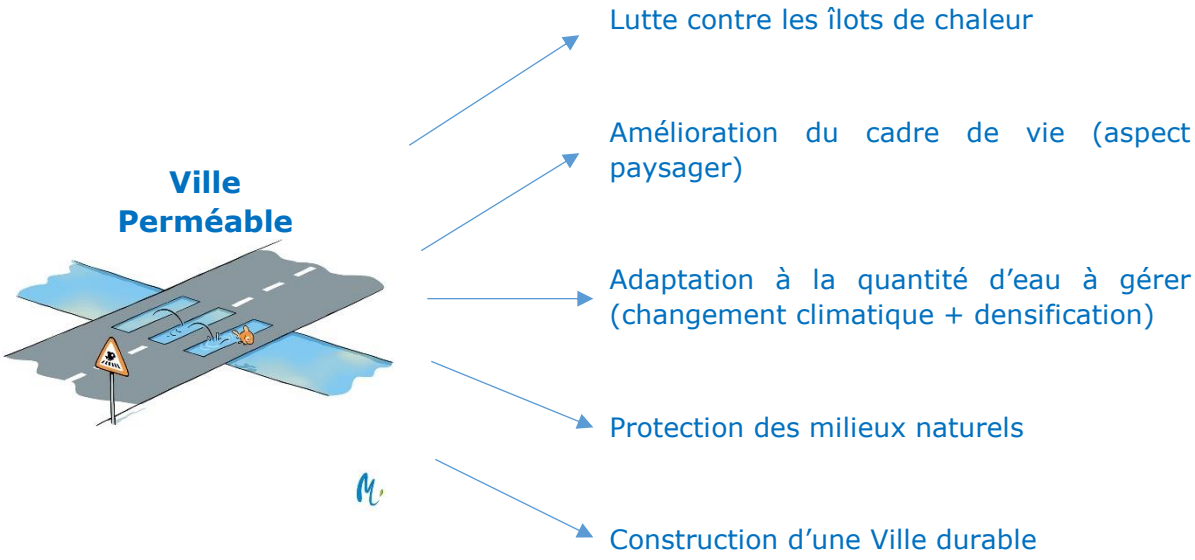
L'ESSENTIEL

Tous les coûts considérés sont donnés à titre indicatif selon les retours d'expérience et les hypothèses établies. Ces dernières sont les mêmes pour chaque scénario, l'objectif étant d'établir une comparaison cohérente des coûts à l'investissement, sur le moyen et le long terme.

4. Services rendus à la ville

Le choix des ouvrages de gestion des eaux pluviales sur un projet d'aménagement en milieu urbain ne dépend pas que du coût et des facilités de gestion mais aussi des bénéfices apportés.

Or, la Ville Perméable a pour objectif de rendre plusieurs services autres que la gestion des eaux pluviales :



La comparaison des différents scénarios portera donc à la fois sur les coûts et sur les plus-values apportées : dans quelles mesures participent-ils aux objectifs de la Ville Perméable, eux-mêmes issus de politiques publiques ?

A ce jour, il n'existe pas d'indices nommés sur le sujet. C'est pourquoi des indices de prise en compte des services connexes à la gestion des eaux pluviales ont été créés pour ce document. Une réflexion plus large est en cours au sein de la Métropole.

4.1 Indice de Bien-être en ville

Pour le maintien d'une ville attractive, il est essentiel de considérer le bien-être des usagers. Nous proposons pour cette étude un indice basé sur 2 paramètres : la lutte contre les îlots de chaleur et la valorisation paysagère d'un aménagement.

4.1.1 Les îlots de chaleur urbain (ICU)

En milieu urbain, on constate une élévation de la température nocturne par rapport au milieu rural : ce phénomène, appelé Ilot de Chaleur Urbain, a une intensité de l'ordre de +1 à +3°C la nuit à Lyon (mesures en été 2016 sur la rue Garibaldi). L'îlot de chaleur urbain est principalement lié à la morphologie urbaine, aux matériaux de construction qui emmagasinent la chaleur, à la faible présence de végétation qui apporte de la fraicheur par évapotranspiration. Du fait de l'ICU, les villes sont plus sensibles aux canicules, amenées par ailleurs à s'intensifier avec le changement climatique.

La Ville Perméable permet de lutter contre les îlots de chaleur par :

- Le retour de la Nature en Ville ;
- La désimperméabilisation.

4.1.2 Comment la Ville Perméable lutte-t-elle contre les ICU ?

4.1.2.1 Le retour de la Nature en Ville

La Ville Perméable permet au milieu urbain de s'adapter à l'amplification des ICU en améliorant notamment l'indice de confort thermique. Les arbres participent au rafraichissement du milieu par l'ombre, la circulation de l'air et l'évapotranspiration :

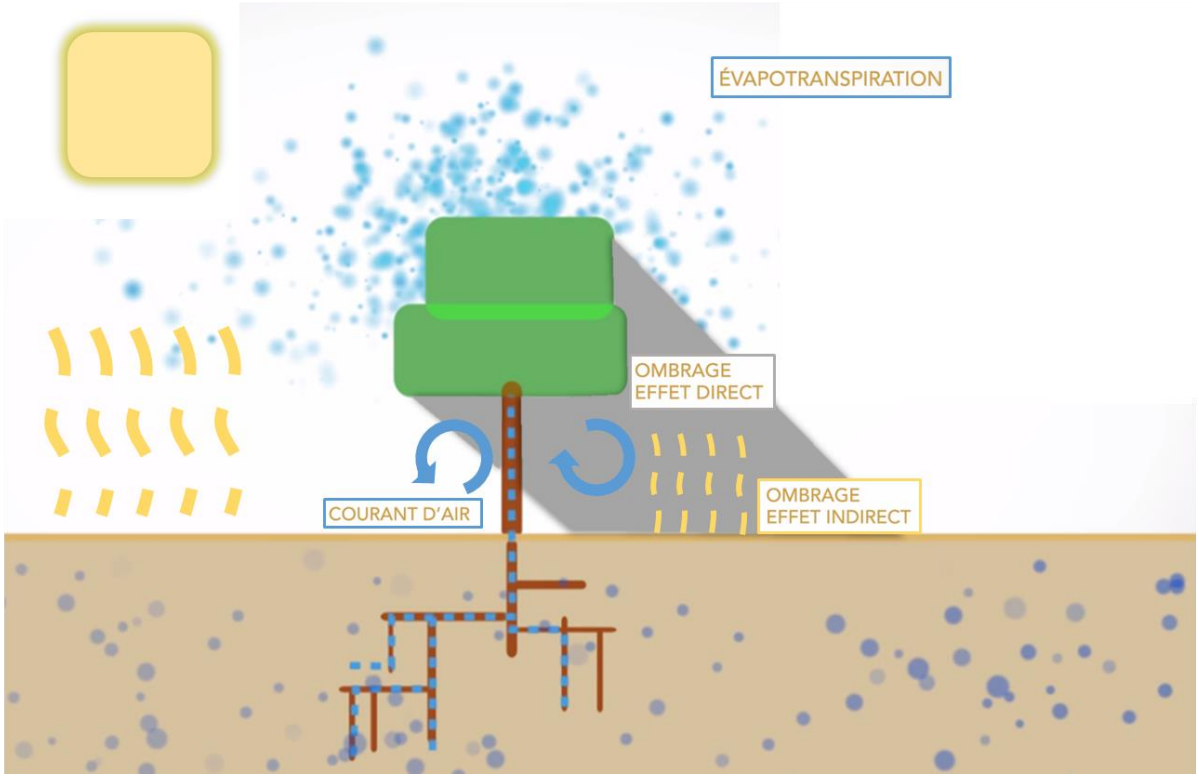
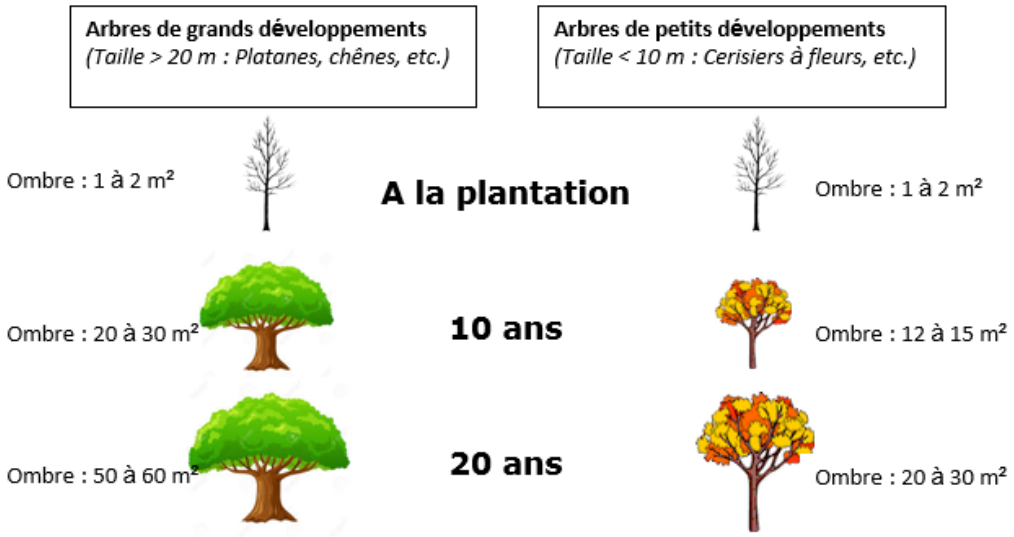


Figure 2 : Effets de l'arbre en Ville (Source : Vidéo du CEREMA, "la Nature en Ville comme élément de confort climatique")

Deux types d'arbres peuvent être considérés :



Compte tenu des bienfaits de la couverture arborescente, il a été choisi de mettre en place des arbres pour chaque scénario étudié. Il est à noter qu'un arbre aura une action d'autant

plus bénéfique sur la ville qu'il sera bien alimenté en eau et planté sur un sol de bonne qualité. Ainsi, tirer profit des nutriments apportés par les surfaces végétalisées, de l'aération du sol par les revêtements poreux (améliorant la qualité des sols) et alimenter les arbres par les eaux pluviales participent au bon développement et à l'efficacité de la couverture arborée.

En plus de tous ces bienfaits, l'arbre participe à l'amélioration du cadre de vie en favorisant le verdissement de la ville.

Pour l'étude, les hypothèses suivantes sont prises pour l'ombrage des arbres :

Age de l'arbre	Ombre pour un arbre de petit développement alimenté par les eaux pluviales	Ombre pour un arbre de grand développement alimenté par les eaux pluviales	Ombre pour un arbre de grand développement non-alimenté par les eaux pluviales
De la plantation jusqu'à 5 ans	2 m²	2 m²	1 m²
Entre 5 et 15 ans	15 m²	30 m²	20 m²
20 ans et plus	30 m²	60 m²	50 m²

4.2.1.2 La désimperméabilisation de la Ville

Les revêtements perméables (enrobé, béton poreux, sablés et espaces végétalisés) retiennent moins la chaleur et participent à la lutte contre les ICU en favorisant la circulation de l'air et l'évapotranspiration pour les surfaces végétales.

4.2.2 Création d'un indice de « bien-être » en Ville

Le bien-être en Ville dépend d'une multitude de paramètres qui sont à prendre en considération lors de la création d'un projet urbain. Pour cette étude, nous proposons de créer un indice s'appuyant sur la capacité de l'aménagement à lutter contre les îlots de chaleur et à améliorer le cadre paysager.

Pour quantifier la participation de chaque scénario au bien-être en Ville, il est proposé de travailler sur les surfaces perméables et les surfaces ombragées.

Soit BE, l'indice de bien-être en Ville :

BE = surface perméable x facteur de plus-value paysagère + surface ombragée

Cet indice est une proposition faite pour l'étude et ne pourra pas être extrapolée à d'autres cas. Il pourra néanmoins servir d'inspiration pour une réflexion similaire.

Comme l'indice ne sera pas calculé tous les ans, il sera considéré des arbres de plus de 5 ans pour la surface ombragée.

Pour tenir compte des aspects paysagers et de l'évapotranspiration, voici les facteurs appliqués à chaque surface perméable :

Objet	**Facteur de plus-value**	**Justification**
Fosse d'arbre	1	Référence
Noue	1.2	Plus-value paysagère apportée par l'herbe
Jardin de pluie	1.3	Plus-value paysagère apportée par les fleurs
Pavés enherbés	1.1	Légère plus-value paysagère apportée par l'aspect des pavés
Enrobé poreux	0.1	Pas de plus-value paysagère
Enrobé classique (imperméable)	0	Pas de plus-value paysagère ni de participation à la lutte contre les îlots de chaleur

Le bassin d'infiltration enherbé n'est pas pris en compte pour le calcul de l'indice du bien-être en Ville étant donné qu'il est situé en dehors de l'aménagement.

Le bien-être en Ville sera considéré comme :

Bon	BE ≥ 20 % de la surface totale soit environ 350 m²
Satisfaisant	15 % < BE < 20 %
A améliorer	BE ≤ 15 % de la surface totale soit 270 m²

Rappel : surface totale du projet = 1 800 m²

L'ESSENTIEL

La présence de végétation et de surfaces perméables participe activement à la lutte contre les îlots de chaleur et à la valorisation paysagère de l'aménagement. Les arbres présentent notamment une efficacité importante pour le rafraîchissement de la Ville.
L'indice « Bien-être en Ville » défini pour ce projet permettra de comparer les scénarios entre eux.

4.3 Indice d'adaptation à l'augmentation du ruissellement

La quantité d'eau à gérer sur l'aménagement peut potentiellement augmenter pour 2 raisons :

- Le changement climatique qui modifie le régime des pluies ;
- La densification qui augmente l'imperméabilisation et donc la surface active.

Pour analyser la capacité d'adaptation de chaque scénario à cette augmentation des ruissellements, les calculs de dimensionnement des ouvrages hydrauliques seront repris afin d'évaluer les potentiels travaux à réaliser.

4.3.1 Le changement climatique

Pour l'analyse « coût global étendu », les ouvrages ont été dimensionnés pour une pluie de période de retour 20 ans. Et si à l'avenir le régime des pluies sur le territoire changeait ?

Peu d'études permettent d'affirmer une augmentation des pluies intenses dans les années à venir. Des recherches sur le changement climatique à l'horizon 2021-2100 ont été menées par Météo France à la demande du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (2014. « Le Climat de la France au XXIe siècle, volume 4 »). L'étude montre une tendance à la hausse des précipitations moyennes hivernales, comprise entre 0,1 et 0,85 mm/j. En ce qui concerne les événements intenses, l'étude montre une faible intensification de leur fréquence d'environ 5 % à l'horizon 2100.

On peut donc faire l'hypothèse pour notre étude que d'ici à 2100, les coefficients de Montana actuels pour une période de retour 25 ans correspondront à ceux d'une pluie vingtennale.

C'est pourquoi les calculs d'intensité de pluie seront refaits avec les coefficients de Montana d'une pluie de période de retour 25 ans pour simuler l'augmentation du volume des pluies vingtennales.

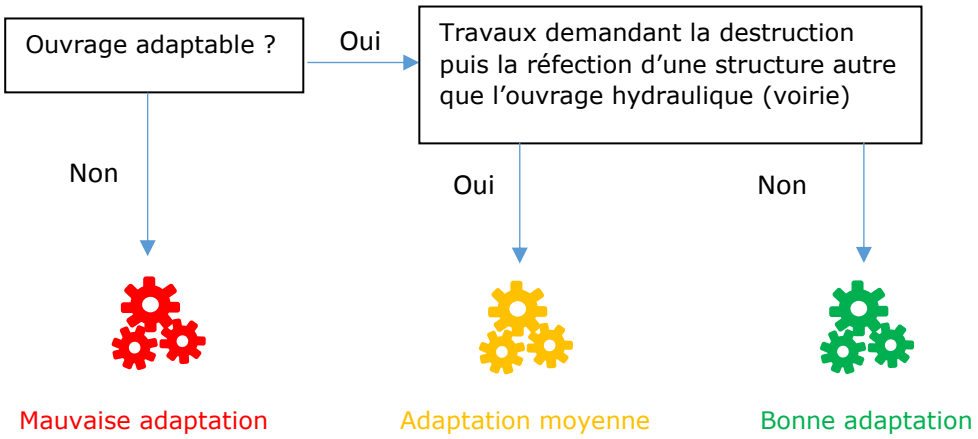
4.3.2 La densification

L'étude réalisée considère la création d'une voirie dans un quartier urbain moyennement passant. Il est probable que dans le siècle à venir, avec la densification de la ville, les surfaces s'imperméabilisent davantage. Bien que chaque nouvel aménagement soit censé gérer ses eaux pluviales et ne pas aggraver les ruissellements des bassins versants en aval, il est possible que des écoulements supplémentaires soient générés. Pour en tenir compte, la surface active globale de l'aménagement sera augmentée de 20 %.

4.3.3 Proposition d'un indice d'adaptation à l'augmentation du volume d'eau

Comme dit précédemment, pour chaque scénario, un nouveau dimensionnement sera effectué en augmentant de 20 % la surface active et en considérant une pluie de période de retour 25 ans.

L'indice d'adaptation à l'augmentation du volume d'eau sera déterminé comme suit :



4.4 Indice de protection des milieux naturels

La préservation de la ressource en eau et la protection des milieux naturels sur le plan qualitatif et quantitatif sont des objectifs inscrits dans la Directive Cadre sur l'Eau, dans le SDAGE et repris dans le PLU. Concevoir un aménagement durable doit impérativement tenir compte de cette problématique. Un indice de protection des milieux est proposé pour évaluer la manière dont un projet peut y participer.

4.4.1 La protection des milieux naturels face à la pollution

4.4.1.1 Pollution des eaux de ruissellement

Les eaux pluviales sont polluées par différentes sources. Un rapport thématique intitulé « *L'impact du changement climatique sur la gestion des eaux pluviales*» (Grand Lyon, 2017) explique plus en détail ce sujet. Pour les besoins de l'étude, il est ici à retenir que l'eau arrivée au sol érode et lessive les surfaces sur lesquelles elle ruisselle. Autrement dit, plus le chemin parcouru par l'eau sera long, plus elle se chargera en substances telles que des matières en suspension ou des hydrocarbures (principalement retrouvés sur la voirie). Le ruissellement pluvial ainsi pollué peut potentiellement s'infiltrer dans la nappe phréatique ou s'écouler jusqu'à un cours d'eau en surface (ou rejoindre le réseau souterrain, cf. partie suivante). L'indice de protection des milieux naturels devra alors tenir compte de 3 paramètres :

- La distance parcourue par le ruissellement ;
- Les surfaces ruisselées ;
- Les spécificités des ouvrages : la noue et la structure réservoir infiltrante sous chaussée par exemple permettent le traitement des eaux pluviales par « piégeage » des matières en suspension. Les puits d'infiltration, souvent profond, sont un risque pour la nappe en zone sensible.

4.4.1.2 Le cas des réseaux souterrains

Plus le parcours de l'eau pluviale est long, plus elle se charge en polluants, lessivant les surfaces sur lesquelles elle ruisselle. Les eaux de ruissellement collectées par les réseaux se chargent d'avantages en substances polluantes qui s'accumulent dans les caniveaux et les conduites.

Les eaux pluviales collectées par le réseau représentent donc un risque de pollution pour le milieu naturel.

Le réseau unitaire : en cas de pluie, le risque de déversements via les déversoirs d'orage est accru. Des eaux usées diluées par les eaux pluviales peuvent alors se déverser directement au milieu naturel, sans traitement.

Le réseau pluvial : le risque de pollution est plus faible qu'en réseau unitaire mais reste présent. Il est d'autant plus fort que le chemin parcouru par le ruissellement est long.

Les solutions réseau sont donc pénalisées d'un « malus » pour l'indice de protection des milieux naturels.

4.4.2 Proposition d'un indice de protection des milieux naturels

Étant donné que chaque option est configurée de la même manière (même risque de pollution accidentelle, même fréquence automobile et de passage des piétons, etc.), seuls 2 paramètres sont considérés :

- La capacité de traitement des eaux pluviales avant rejet au milieu. Pour les techniques alternatives et le réseau pluvial, son efficacité est évaluée selon la surface d'infiltration. Pour le réseau unitaire, compte tenu du risque de déversement non négligeable, ce paramètre est considéré comme nul.
- La charge polluante lessivée par les eaux pluviales. Ce facteur est estimé selon la surface imperméabilisée à gérer.

Soit $I_{protect}$, l'indice de protection des milieux naturels :

$$\boldsymbol{Iprotect}^{6} = \frac{\textbf{Surface imperméabilisée}}{\textbf{Surface d'infiltration}}$$

[6] Cet indice s'appuie sur le risque de concentration des polluants en fonction du rapport surface imperméabilisée à gérer / surface d'infiltration proposée par le Grand Lyon dans le guide « traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon », 2014.

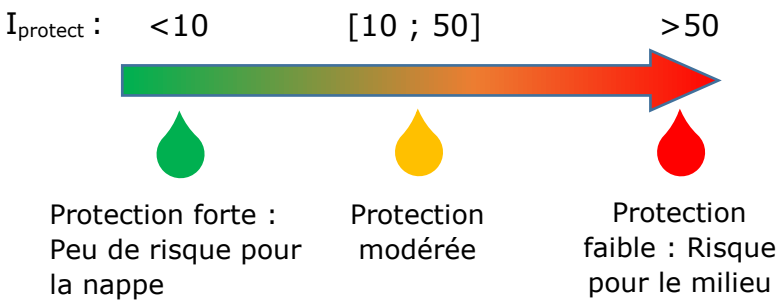


Figure 3 : Indice de protection des milieux naturels selon le risque représenté en termes de pollution

4.5 Indice de production de déchets

Vis-à-vis des enjeux actuels en termes prenant en compte les besoins de la future génération, les ouvrages hydrauliques conçus se doivent d'être durables dans le temps. Attention ! Durable n'est pas synonyme de perpétuel. Il s'agit plutôt de notions d'adaptabilité (cf. partie 4.3) et de gestion des produits issus de l'ouvrage : quelle est leur quantité ? Sont-ils valorisables ? Tant sur l'aspect économique qu'environnemental, une réflexion sur le devenir des déchets issus des ouvrages hydrauliques est essentielle pour évaluer leur durabilité.

4.5.1 Les déchets issus du nettoyage des voiries et des espaces publics

Il s'agit des déchets issus de l'ébouage, du balayage, du ramassage des feuilles mortes et du nettoiement des places de marché.

Sur le territoire du Grand Lyon, en 2014, voici comment ces déchets ont été gérés :

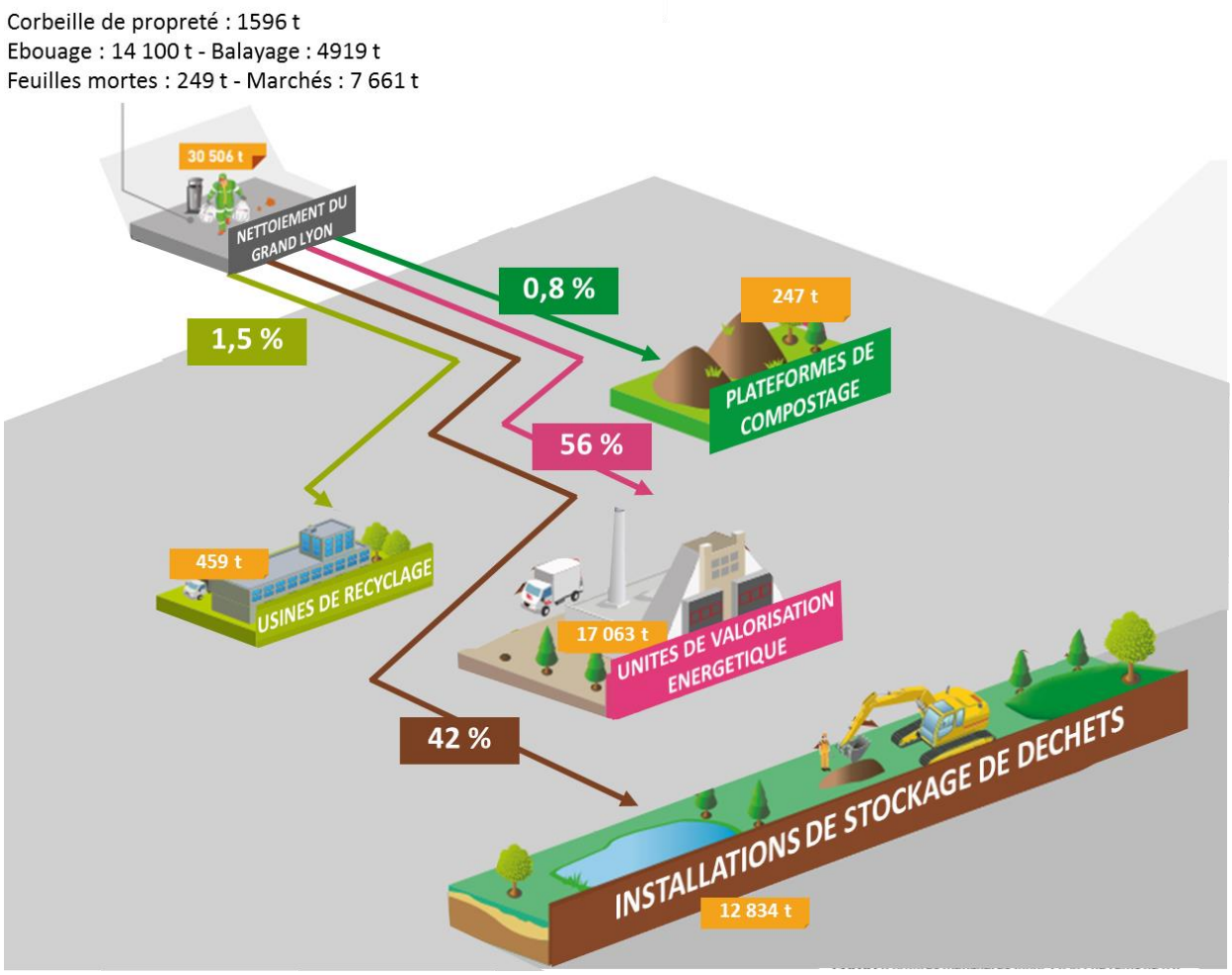


Figure 4 : Gestion des déchets issus de l'espace public sur le territoire du Grand Lyon en 2014 (Source : « Rapport annuel 2014 sur le prix et la qualité du service public d'élimination des déchets »)

Selon le « plan d'actions stratégique de la gestion des déchets 2007-2017 » du Grand Lyon, les déchets de balayage et d'ébouage sont soit valorisés, soit enfouis au Centre de Stockage de Déchets Ultimes de classe II (CSDU II).

Actuellement, des zones de pré-tri sont mises en place pour favoriser la valorisation des déchets d'ébouage et réduire l'enfouissement.

Les feuilles mortes collectées sont envoyées en zone de compostage pour être valorisées.

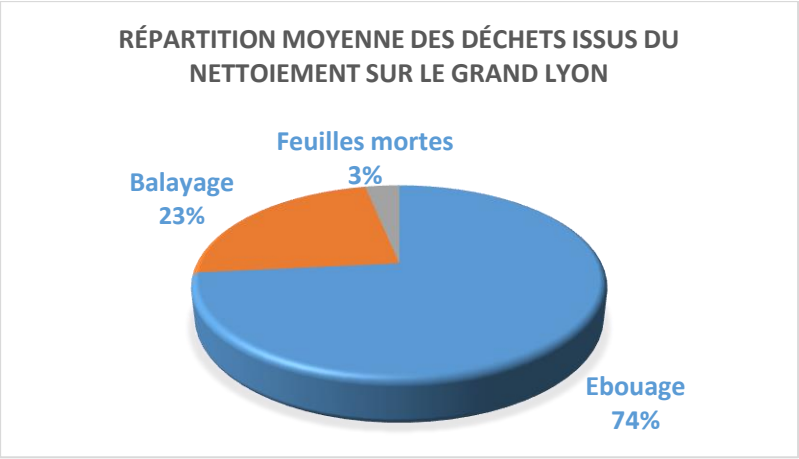


Figure 5 : Répartition des déchets de nettoiement du Grand Lyon en 2013[7]

4.5.2 Les déchets issus du curage des réseaux et ouvrages d'assainissement

La plupart de ces déchets sont traités à la station de Pierre Bénite. Les sables y sont récupérés et traités. Il est à noter qu'en 2009, les gisements de sable étaient issus à 60 % du curage, 30 % du prétraitement en STEP et 10 % du balayage[8] (entretien de la voirie, cf. paragraphe ci-dessus). Les boues issues du curage ne peuvent pas être valorisées dans l'agriculture, compte tenu du taux important en métaux et polluants. Elles sont principalement incinérées.

A noter

Sur le territoire de la Métropole, les ouvrages alternatifs de gestion des eaux pluviales types noues et jardins de pluie n'ont pour l'instant fait l'objet d'aucun curage (ce qui confirme leur faible besoin pour cette opération). Seuls les bassins de stockage et d'infiltration sont régulièrement suivis et curés. Les déchets issus de ce curage sont traités de la même manière et au même coût que ceux des réseaux. Or, une valorisation est possible : des analyses réalisées sur la noue et la tranchée à Porte des Alpes montrent que la qualité du sol répond aux normes AFNOR concernant les normes pour les boues d'épandage. Il existe donc également des alternatives pour le traitement des déchets issus du curage des ouvrages de gestion des eaux pluviales.

[7] *Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public d'élimination des déchets*, Grand Lyon, 2013
[8] *Schéma de gestion des matières de vidange et de sous-produits de l'assainissement*, Rhône le département, 2009

4.5.3 Proposition d'un indice de production de déchets

Comme il est difficile d'estimer les coûts et pourcentages de valorisation pour chaque type de déchets, il s'agit ici de proposer une échelle macroscopique afin de pouvoir se représenter la contribution de chaque scénario en termes de développement durable vis-à-vis des déchets produits.

Il est considéré pour l'étude que les déchets verts sont envoyés au centre de compostage, les déchets issus du curage en centre d'enfouissement ou d'incinération, les déchets de balayage en revalorisation énergétique. Finalement, la majorité des déchets d'exploitation peuvent être valorisés. L'élément déclassant est le curage et le décolmatage dont les matières peuvent être difficiles à traiter selon le taux de pollution.

Tableau 5 : Proposition d'un indice de production de déchets

$I_{déchets}$		
Production de déchets non valorisables importante	**Production de déchets non valorisables modérée**	**Production de déchets non valorisables faible**
Réseaux : opérations de curage fréquentes, ce qui génère beaucoup de déchets non valorisables	Puits d'infiltration : colmatage rapide générant des déchets non valorisables	Ouvrage linéaire limitant grandement la production de déchets non valorisables

5. Les différents scénarios envisagés

Pour chaque option proposée sont détaillés les principes, le dimensionnement, les coûts et l'évaluation des bénéfices.

5.1 Option 1 : Infiltration par un ouvrage dédié

5.1.1 Noue plantée

- **Principe :**

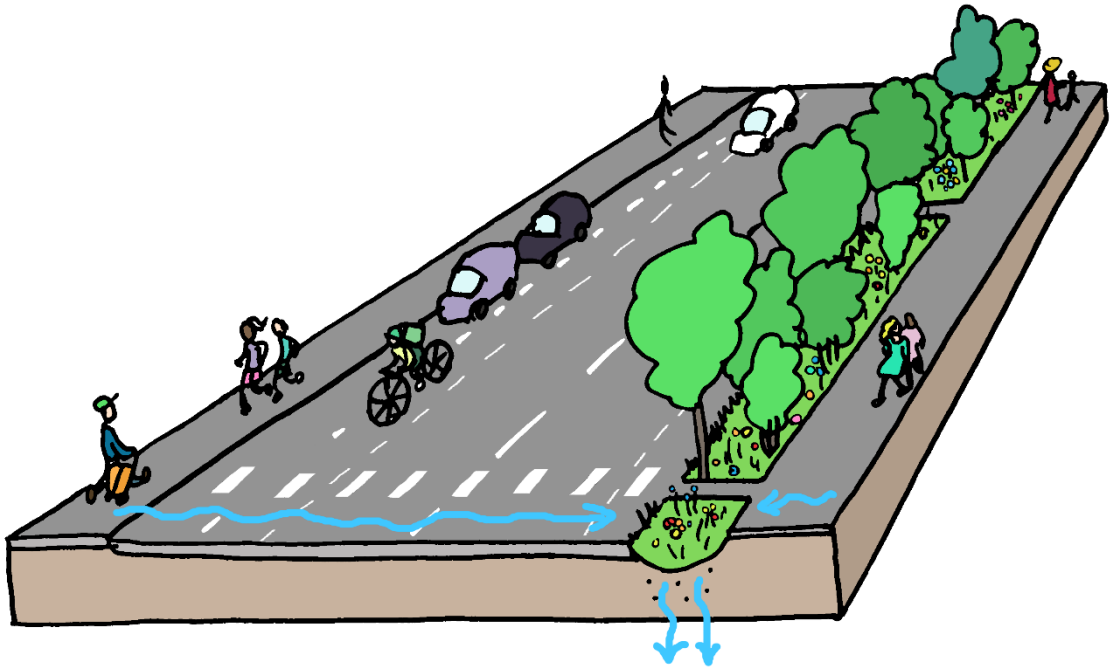
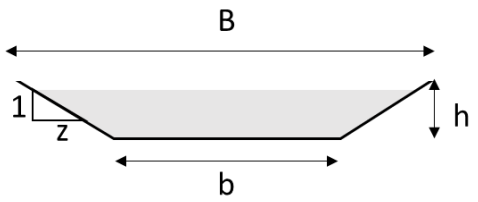


Figure 6 : Option 1-noue simple (Illustration de Luce Ponsar)

Il s'agit ici de mettre en place une noue plantée, pouvant être schématisée comme suit :



B : largeur au miroir
b : largeur à la base
h : profondeur
1/z : pente

La noue est de plain-pied avec la voirie. Son dimensionnement est effectué pour une pente des talus égale à 1/3,3 (soit 30 %. Il est à noter que plus la pente est faible, plus l'entretien est facile). 10 arbres de petit développement sont plantés tous les 9 m.

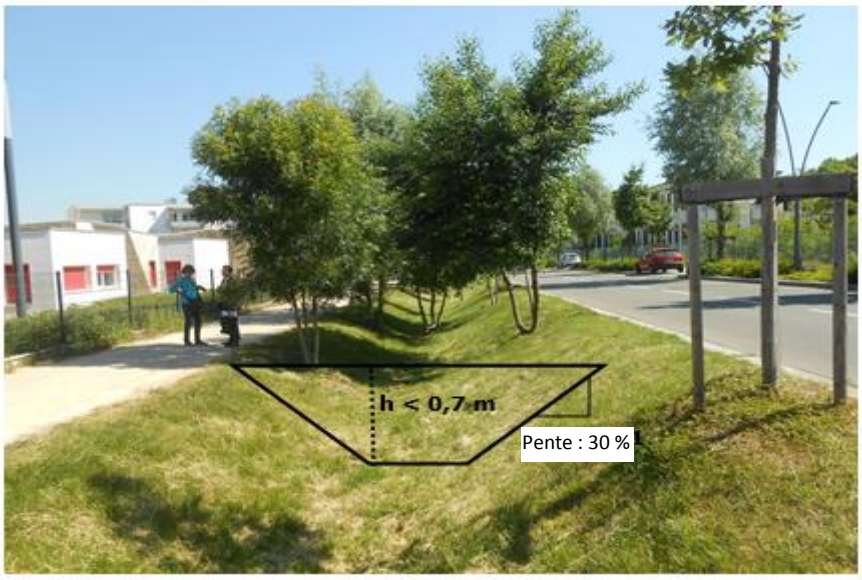


Figure 7 : aspect d'une noue simple (Photo de l'aménagement du Boulevard Ouest à Sathonay Camp)

Concernant les bordures de la noue, 2 types sont installés :

- P1 retournée sciée pour la noue côté route (pour laisser passer le ruissellement)
- Traverses en bois pour la noue côté trottoir de 1 m de longueur tous les mètres

Dimensionnement :

Ce seul ouvrage est suffisant pour le stockage des petites et moyennes pluies jusqu'à une période de retour 20 ans. Le Tableau 6 reprend les différents calculs utilisés pour le dimensionnement de l'ouvrage.

Tableau 6 : Exemple de détermination de la surface active pour le dimensionnement de l'option 1-noue

	Surface totale (m²)	Coefficient d'imperméabilisation	Surface active (m²)
Trottoirs	490	0,95	465,5
Voie + bande cyclable	890	0,95	845,5
Stationnement	180	0,95	171
Noue	160	1*	160
Total	1720	/	**1642**

**Pour un événement pluvieux de période de retour 20 ans, la noue est considérée remplie et donc possédant un coefficient d'imperméabilisation égale à 1.*

Avant de dimensionner la noue, il faut tenir compte des passages pour les piétons, soient 3 entrées charretières de 2,5 m. La longueur cumulée des noues à considérer est donc de 92,5 ml. Puis, il faut fonctionner par itérations.

Les étapes de dimensionnement sont rappelées dans la Figure 8.

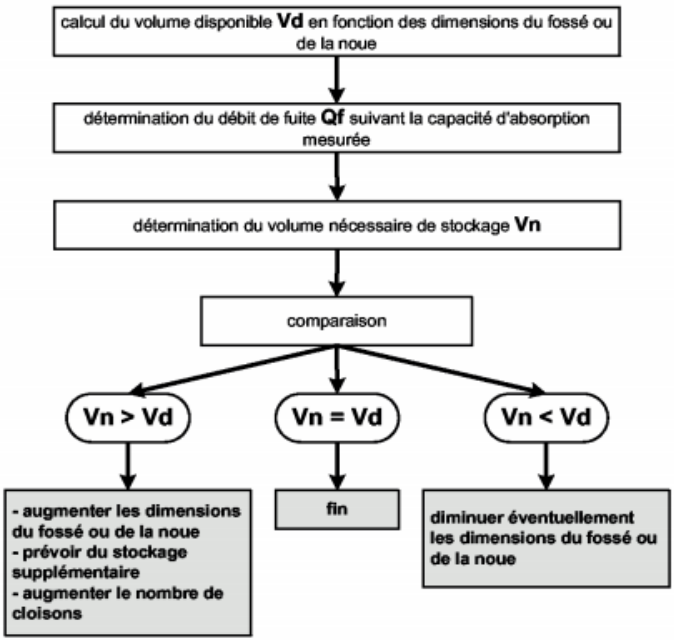
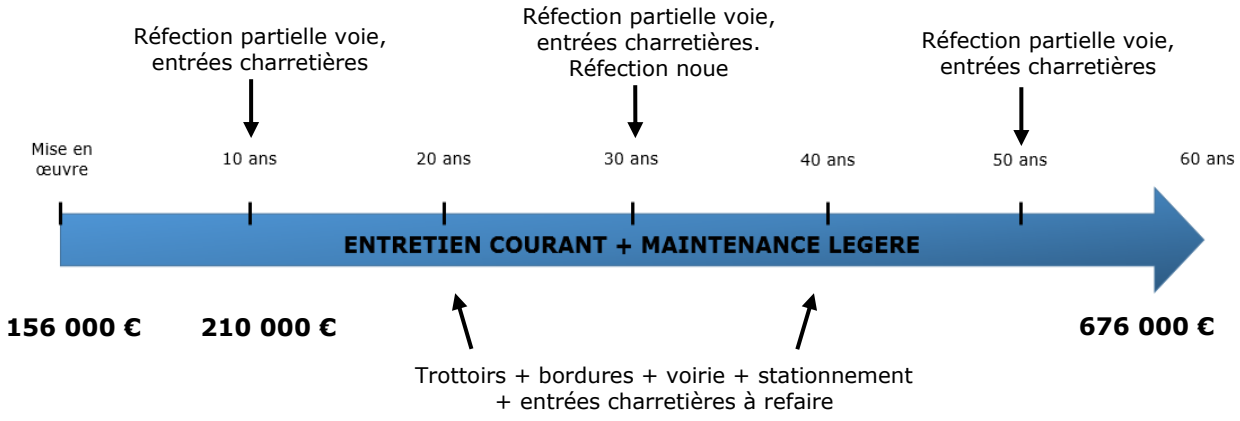


Figure 8 : Démarche à suivre pour le dimensionnement d'une noue (Source : CETE Nord-Picardie)

Ici, la noue dimensionnée possède une largeur au miroir de **2,6 m**, une profondeur de **0.4 m** et une largeur de base de **0 m**. Il y a donc une réduction du trottoir de 1 m, celui-ci atteignant une valeur de 1,5 m, valeur minimale à respecter.

Coûts :

L'évaluation des coûts tient compte de la conception de tous les ouvrages, selon leurs dimensions. Ils sont arrondis au millier près (toujours supérieur afin d'éviter une sous-évaluation des coûts).



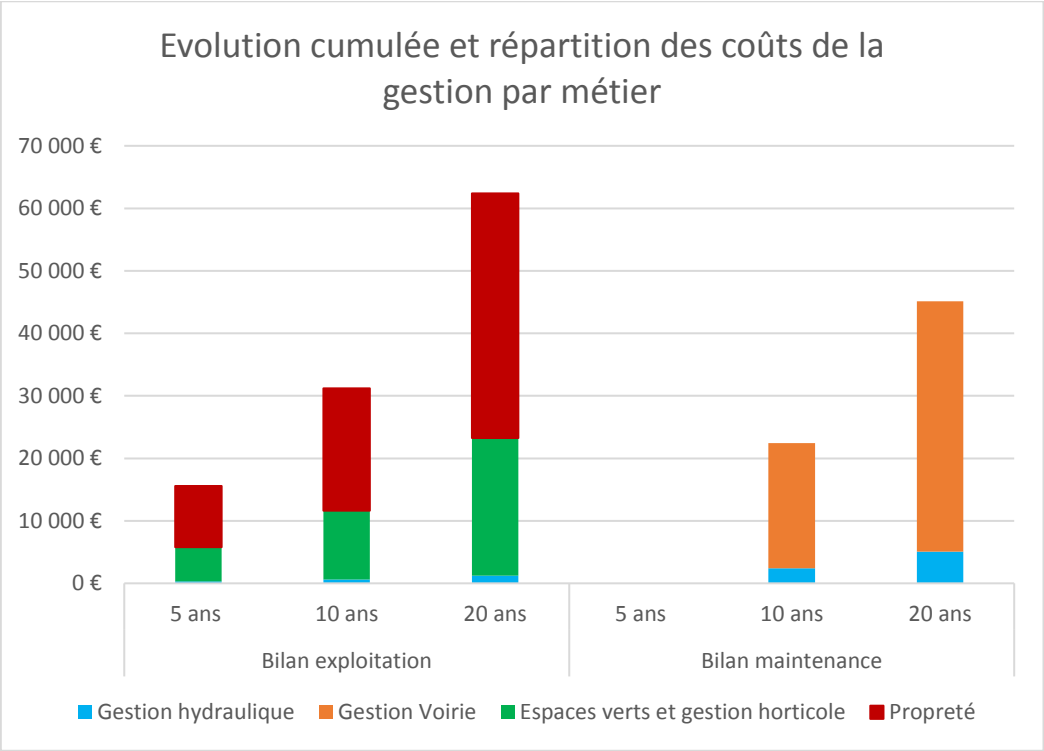


Figure 9 : Évolution et répartition des coûts de gestion pour l'option « noue »

En dehors du nettoiement qui représente une part importante des coûts, ce n'est pas la gestion hydraulique qui coûte le plus mais celle des espaces verts.

Sur 20 ans, les coûts d'exploitation sont plus importants que ceux de la maintenance du fait de la fréquence des opérations.

- **Evaluation des services rendus à la ville :**
  - Bien-être en Ville : BE ≥ 350 m² → Bon
  - Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau → Bonne. Il faudrait surcreuser la noue de 20 cm.
  - Protection des milieux naturels : $I_{protect}$ <10 → Forte
  - Production de déchets : peu de déchets non valorisables → Faible

5.1.2 Puits d'infiltration

- **Principe :**

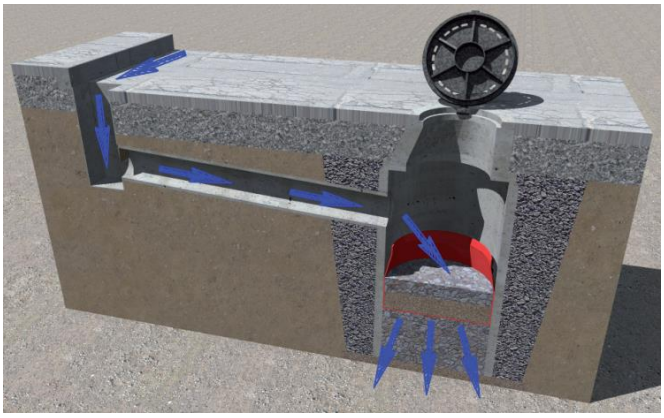


Figure 10 : Plan de fonctionnement d'un puits d'infiltration (Source : Référentiel « Conception et gestion des ouvrages d'assainissement », Grand Lyon, 2017)

Pour cette option, 4 puits d'infiltration sont mis en place sous l'une des bandes cyclables. Ce sont eux qui gèrent les écoulements de la voirie, du stationnement, du trottoir 1 et des bandes cyclables. Des grilles sont installées pour collecter les eaux pluviales. Il est considéré qu'il faut en mettre une tous les 50 m et de chaque côté de la voirie. Ainsi il faudra 4 grilles avaloirs (à 25 m puis à 75 m par exemple).

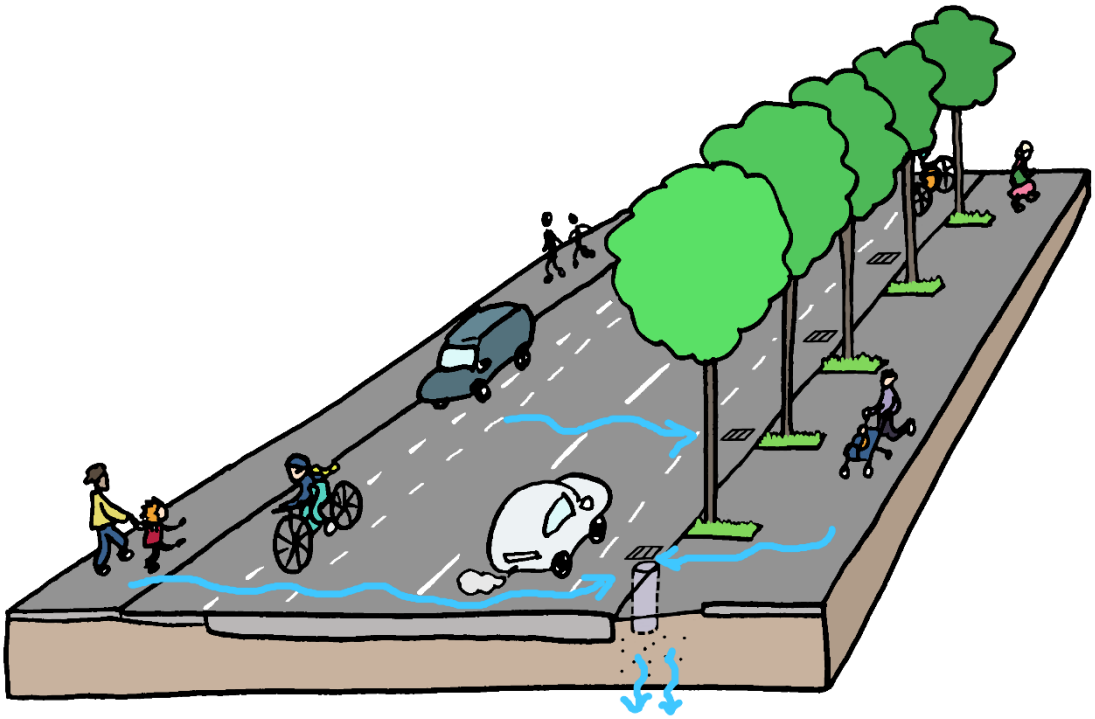


Figure 11 : Option 1-puits d'infiltration (Illustration de Luce Ponsar)

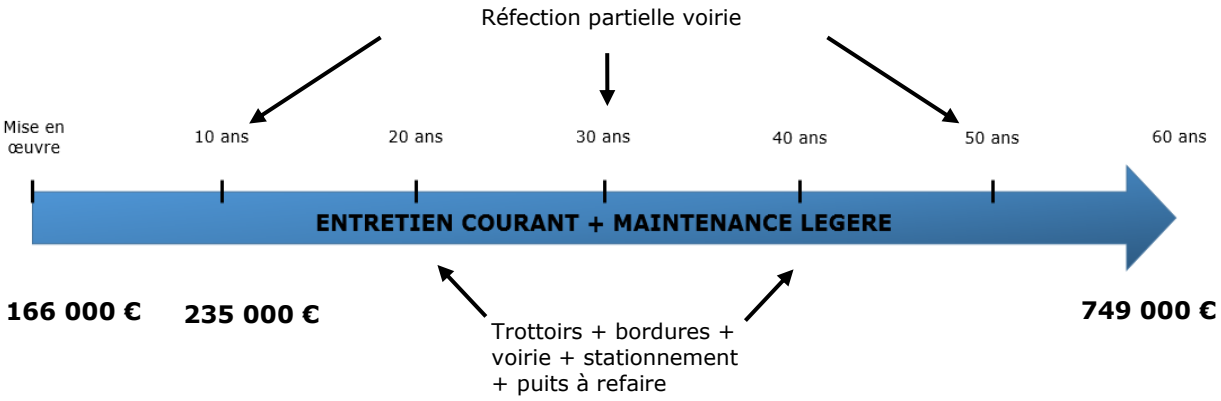
Dimensionnement :

Pour un dimensionnement optimal et pour prendre en compte un éventuel colmatage du fond des puits d'infiltration, la surface d'infiltration considérée est égale à la moitié des parois verticales. Avec la même méthode que précédemment, il vient un volume à stocker de **67 m³.** Pour satisfaire cette fonction de stockage, en considérant 4 puits d'infiltration d'une profondeur de 4 m, il faudrait les dimensionner pour un diamètre de **2,4 m**.

A noter

Pour pouvoir infiltrer, l'épaisseur de sol entre le fond de l'ouvrage d'infiltration et les plus hautes eaux connues de la nappe souterraine doit être supérieure ou égale à 1 m (ce qui correspond à la zone non saturée). Etant donné la profondeur des puits d'infiltration et le risque qu'ils représentent pour la nappe (forte concentration de polluants pour une faible surface d'infiltration), cette valeur est élevée à 2 m, pour plus de sécurité.

Coûts :



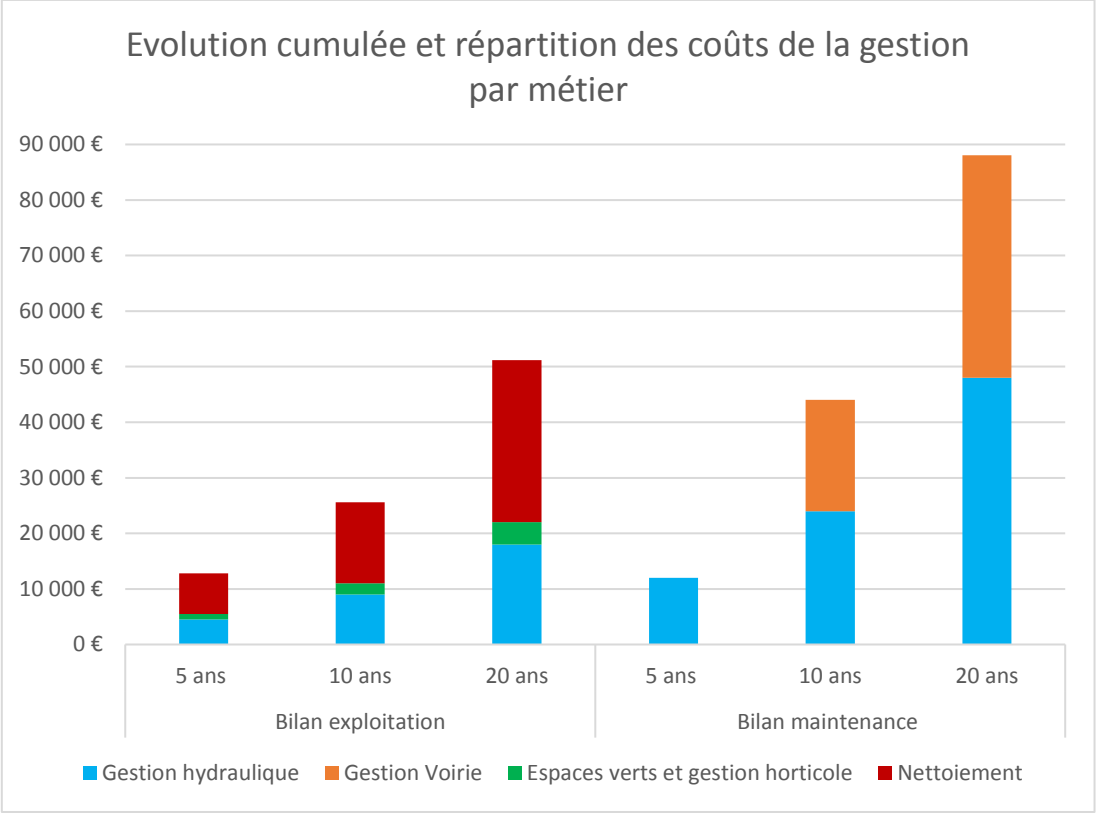


Figure 12 : Évolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "puits d'infiltration"

Contrairement à la noue, ici c'est la gestion hydraulique qui est le plus sollicitée pour la gestion des puits.

Pour cette option, sur 20 ans, les coûts les plus importants concernent la maintenance de l'ouvrage hydraulique.

Evaluation des services rendus à la ville

- Bien-être en Ville : BE < 180 m² → A améliorer
- Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau → Moyenne. Il faudrait rajouter 2 puits d'infiltration et 2 grilles.
- Protection des milieux naturels : $I_{protect}$ > 50 → Faible
- Production de déchets : colmatage rapide, ce qui génère des déchets non valorisables → Modérée

5.1.3 Chaussée à structure réservoir infiltrante

Principe :

Pour cette option, une chaussée à structure réservoir infiltrante est mise en place sous la voirie, dont le revêtement est non poreux.

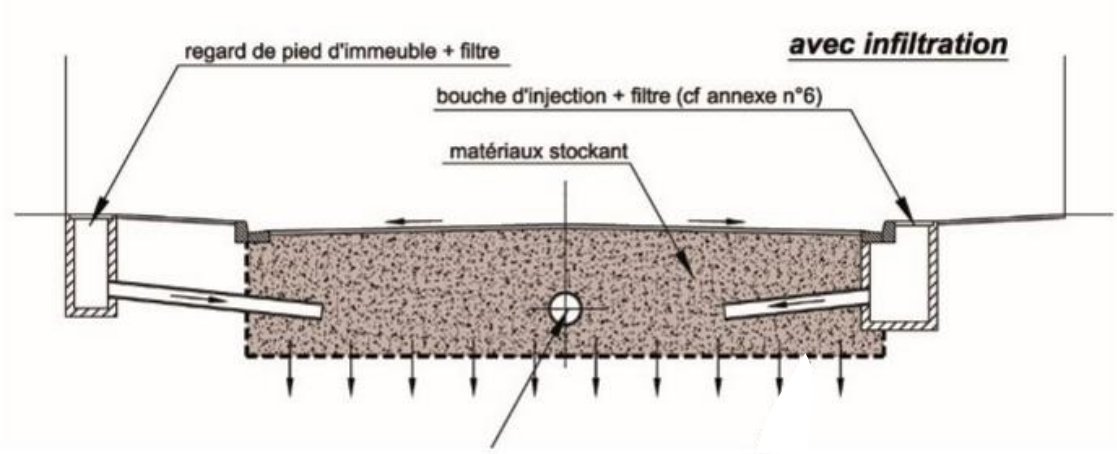


Figure 13 : Vue en coupe de la chaussée à structure réservoir (référentiel ouvrages enterrés Grand Lyon, 2017)

1 grille est installée tous les 50 m de chaque côté de la chaussée pour collecter l'eau de pluie.

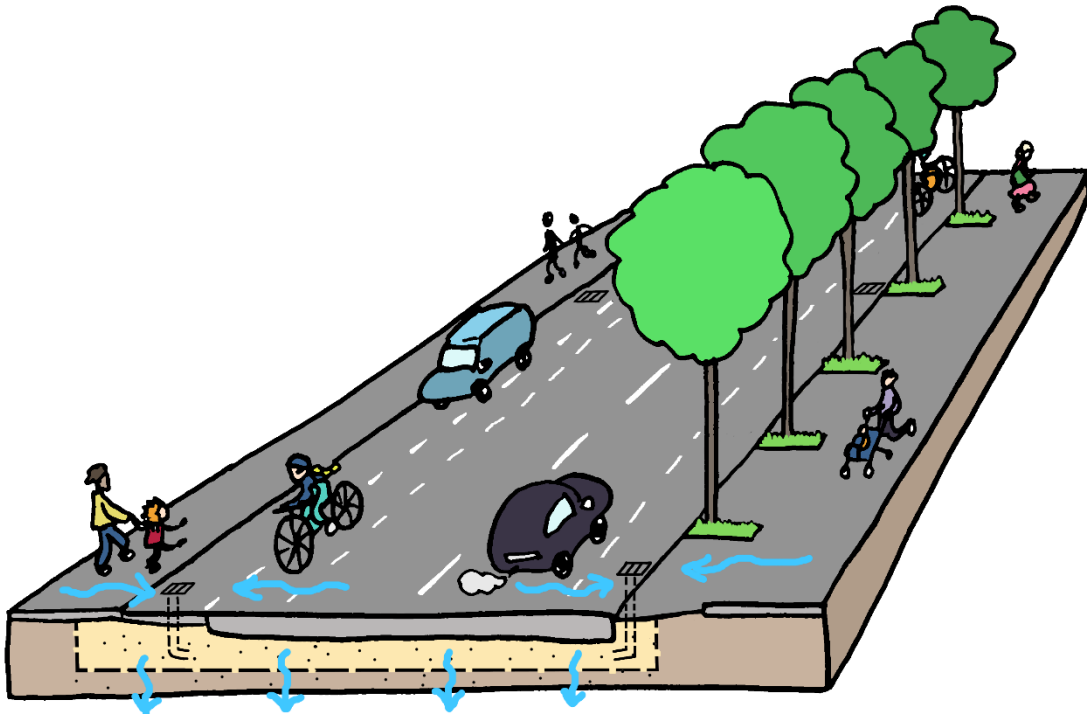
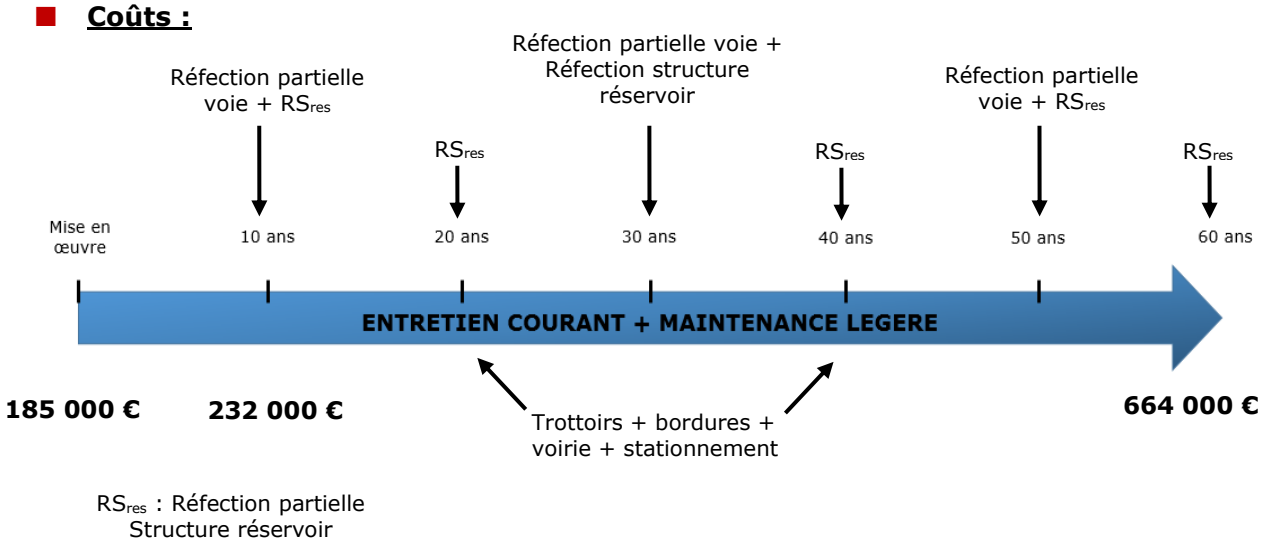


Figure 14 : Option 1- Structure réservoir (Illustration de Luce Ponsar)

Dimensionnement :

Après dimensionnement, il vient qu'une structure réservoir de **2,8 m** de largeur et de 0,4m de profondeur suffirait pour un stockage de **34 m³** d'eau. Elle est mise en place sous le stationnement.

Coûts :



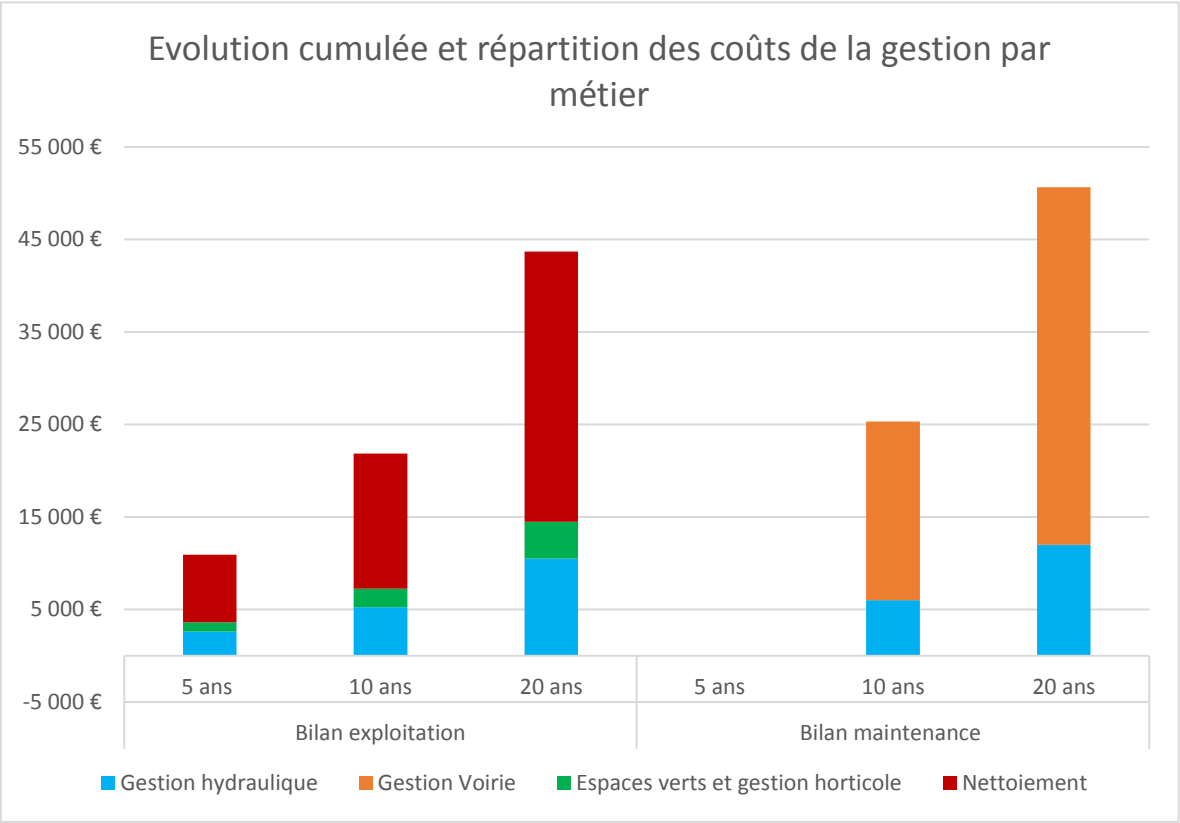


Figure 15 : Évolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "Structure réservoir"

Evaluation des services rendus à la ville :

- Bien-être en Ville : BE < 180m² → A améliorer
- Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau → Mauvaise. Il faudrait rajouter 50 cm de large, ce qui équivaudrait à détruire puis refaire une partie de la voirie.
- Protection des milieux naturels : $I_{protect}$ <10→ Forte
- Production de déchets non valorisables : ouvrage linéaire générant peu de déchets → Faible.

5.2 Option 2 : Solution couplée, jardins de pluie + pavés enherbés

- **Principe :**

Ici, des pavés enherbés (cf. Figure 16) sont mis en place pour la gestion des eaux ruisselant sur le stationnement et le trottoir adjacent. Ils recouvrent uniquement la zone de stationnement afin de ne pas gêner l'accès au trottoir pour les PMR.

Figure 16 : Exemple de pavés enherbés

Le reste du ruissellement est géré par des jardins de pluie qui sont de plain-pied avec la voirie. Les bordures côté voirie et trottoir sont en béton et ajourées.

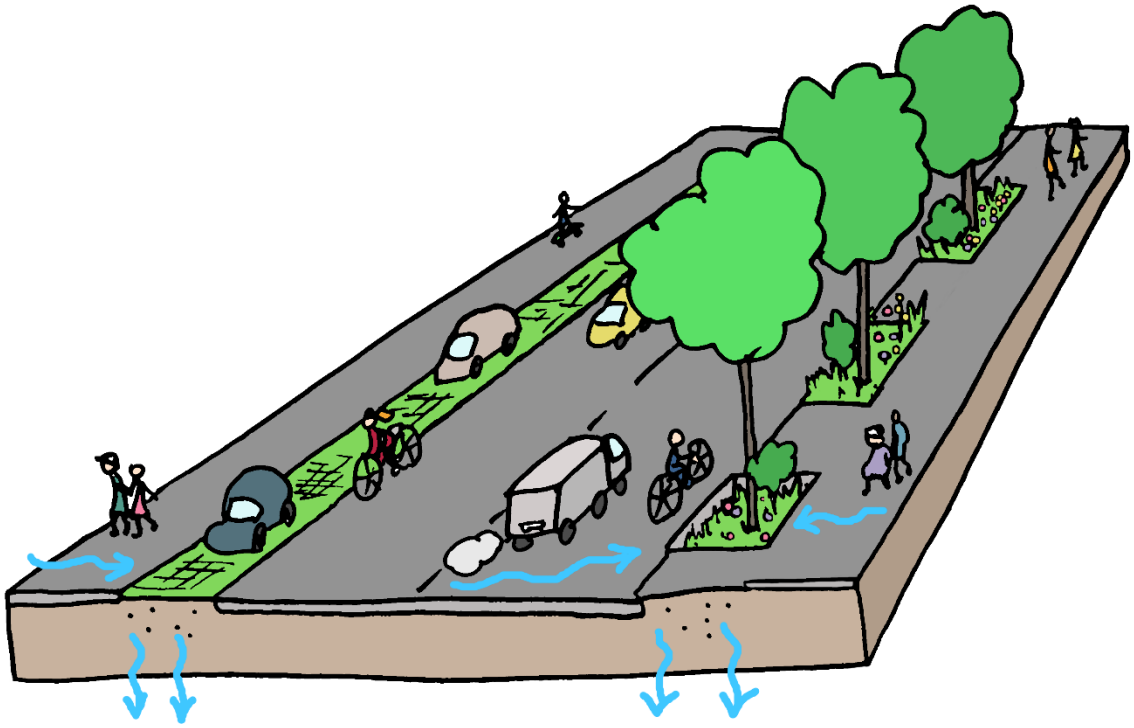


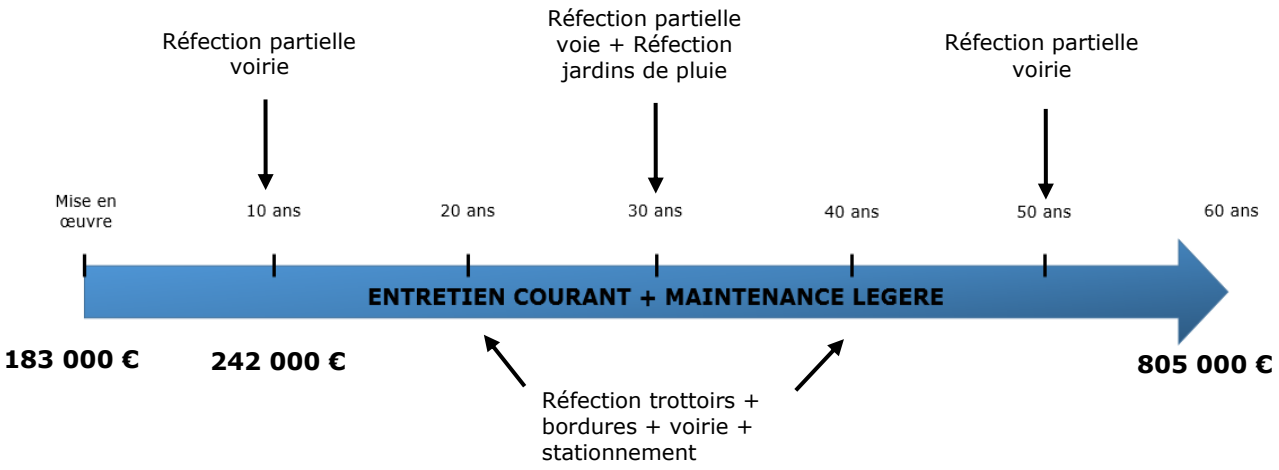
Figure 17 Option 2-Pavés enherbés + jardins de pluie (Illustration de Luce Ponsar)

Dimensionnement :

Suivant les calculs, il reste environ 44 m³ d'eau à stocker. Il est alors envisageable de gérer ce volume par la mise en place de jardins de pluie. Par exemple, 3 ouvrages de ce type de dimension **1.6×15×0.6 m** permettrait le stockage de 43 m³ d'eau.

Figure 18 : Exemple de jardin de pluie

Coût :



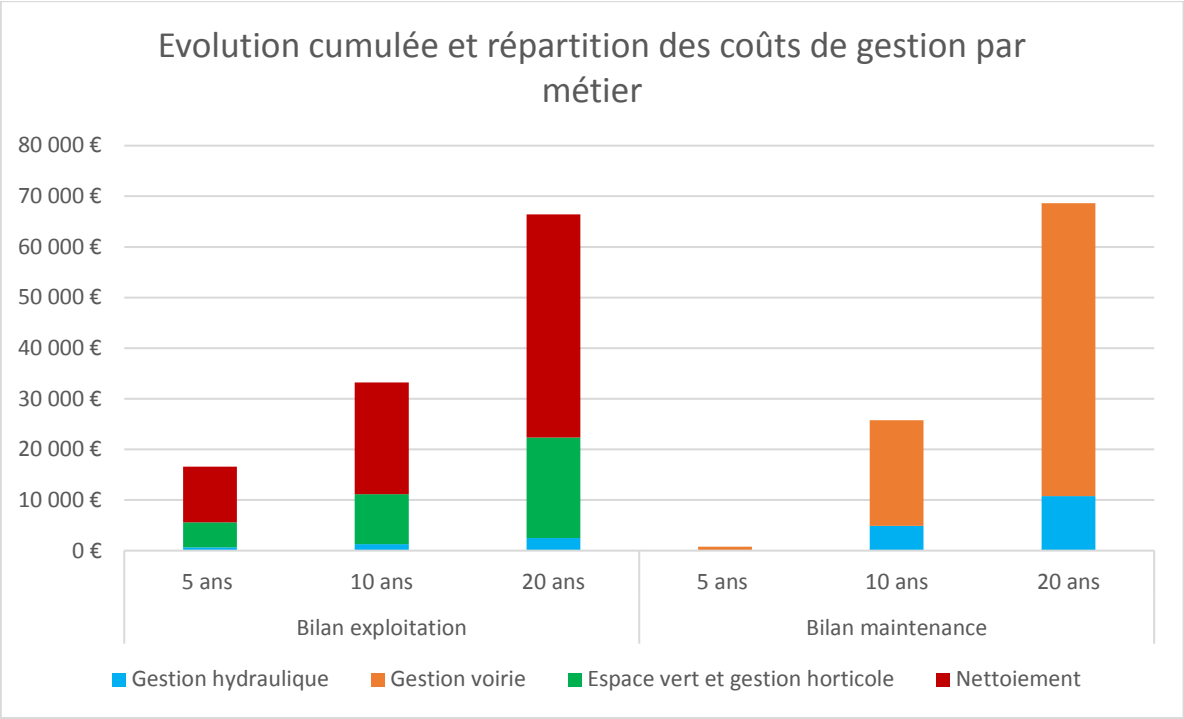


Figure 19 : Evolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "pavés enherbés + jardins de pluie"

En dehors du nettoiement, c'est la gestion horticole qui coûte le plus cher.

Evaluation des services rendus à la ville :

- Bien-être en Ville : BE> 250 m² → Bon
- Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau → Moyenne. Il faudrait rallonger chaque jardin de pluie de 6 m.
- Protection des milieux naturels : 10< $I_{protect}$ < 50 → Modérée
- Production de déchets : ouvrage linéaire générant peu de déchets → Faible.

5.3 Option 3 : Enrobé poreux

- **Principe :**

Figure 20 : Exemple d'enrobé poreux

Un revêtement poreux est mis en place sur la voirie, les bandes cyclables et le stationnement, gérant ainsi les eaux pluviales ruisselant sur ces tronçons et sur l'un des trottoirs. Il ne reste que **14 m³** d'eau à stocker.

Ici, il n'y a pas besoin de mettre en place des grilles pour collecter l'eau pluviale.

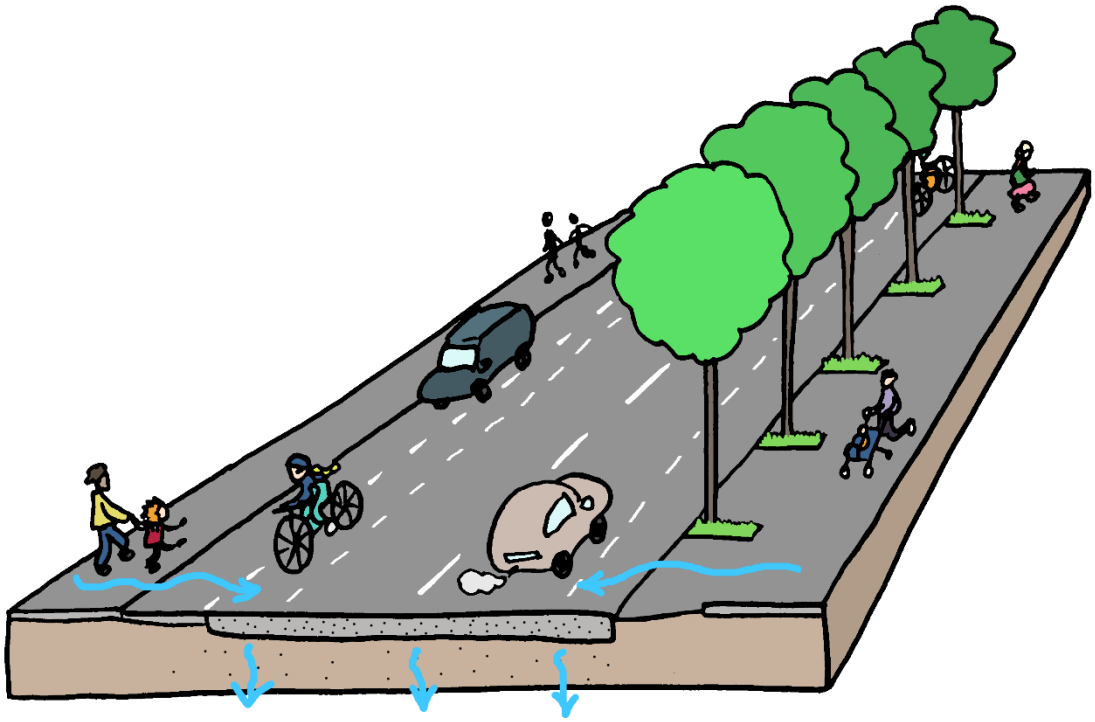
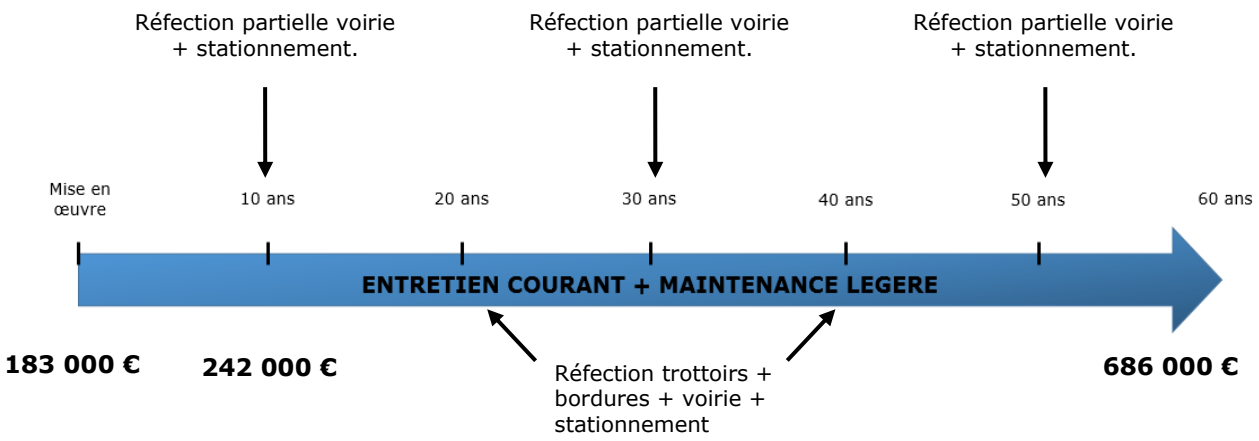


Figure 21 : Option 3- revêtement poreux (Illustration de Luce Ponsar)

- **Dimensionnement :**

Il n'y a pas de dimensionnement particulier ici. Le faible volume d'eau restant à stocker peut être simplement géré par 5 fosses d'arbre.

Coûts :



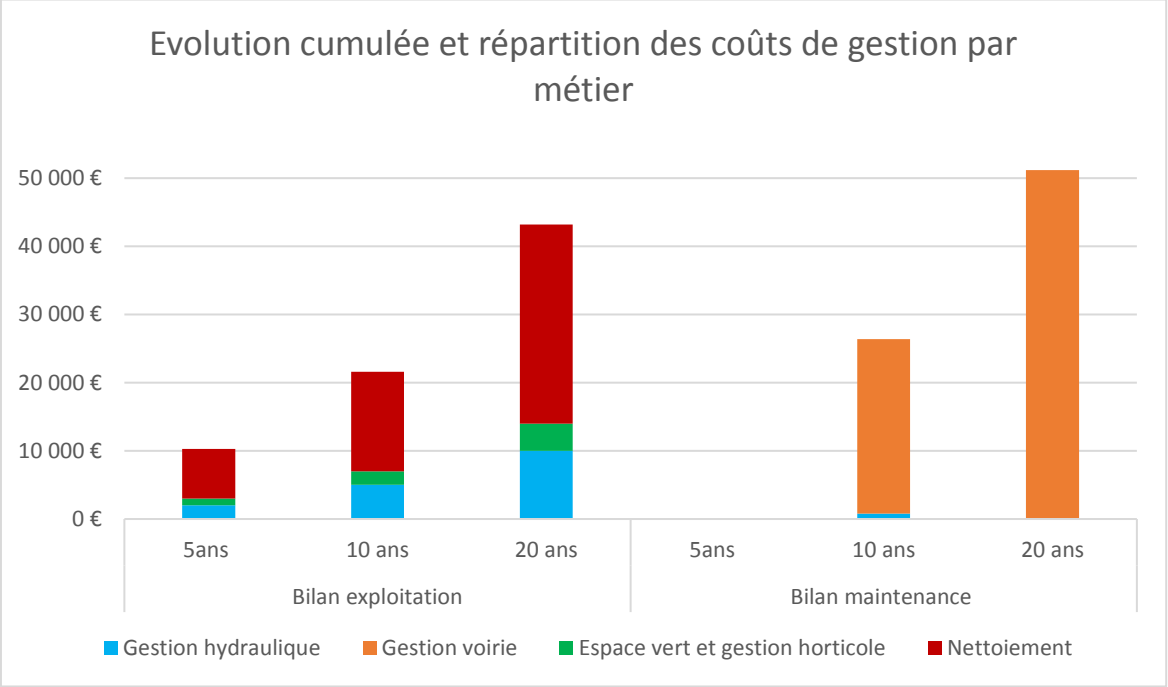


Figure 22 : Evolution et réparation des coûts de gestion pour l'option "revêtement poreux"

Il a été considéré que le coût dédié à la gestion hydraulique correspond à la différence entre le coût réel et celui d'un enrobé classique.

■ **Evaluation des services rendus à la ville :**

- Bien-être en Ville : BE > 350 → Bonne
- Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau → Moyenne. Il faudrait rajouter 2 fosses d'arbre.
- Protection des milieux naturels : $I_{protect}$ < 10→ Forte
- Production de déchets non valorisables : ouvrage linéaire générant peu de déchets → Faible

5.4 Option 4 : Scénarios avec réseau

5.4.1 Réseau unitaire

■ **Principe :**

Les eaux de la voirie, du trottoir 1 et de la bande cyclable sont gérées par un collecteur relié au réseau unitaire et qui sera traité à la STEP (ou déversé à un déversoir d'orage sans traitement en cas de surcharge). Des grilles sont installées tous les 50 m pour collecter l'eau pluviale.

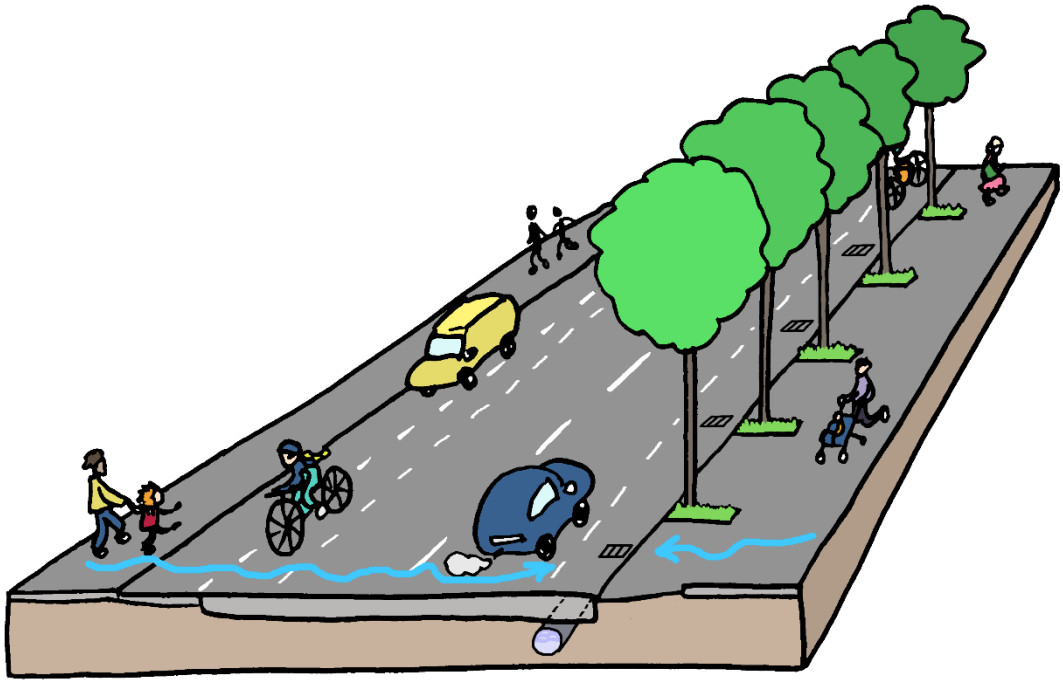


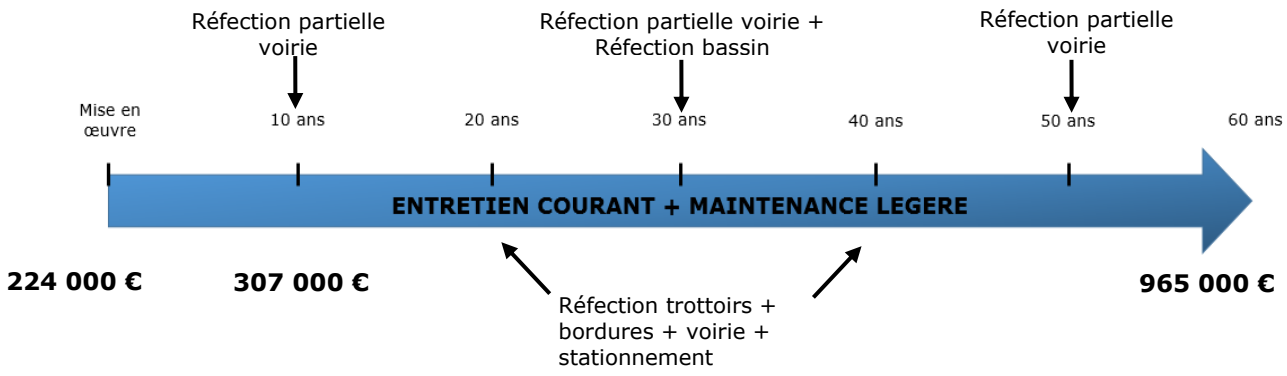
Figure 23 : Option 4- réseau unitaire (Illustration de Luce Ponsar)

Dimensionnement :

Généralement, les conduites sont dimensionnées pour ne pas déborder avant une pluie décennale. Au-delà, les risques de débordements ne sont pas négligeables.

Cette solution n'est plus autorisée sauf cas exceptionnel car les réseaux de la Métropole sont globalement déjà très chargés.

Coûts :



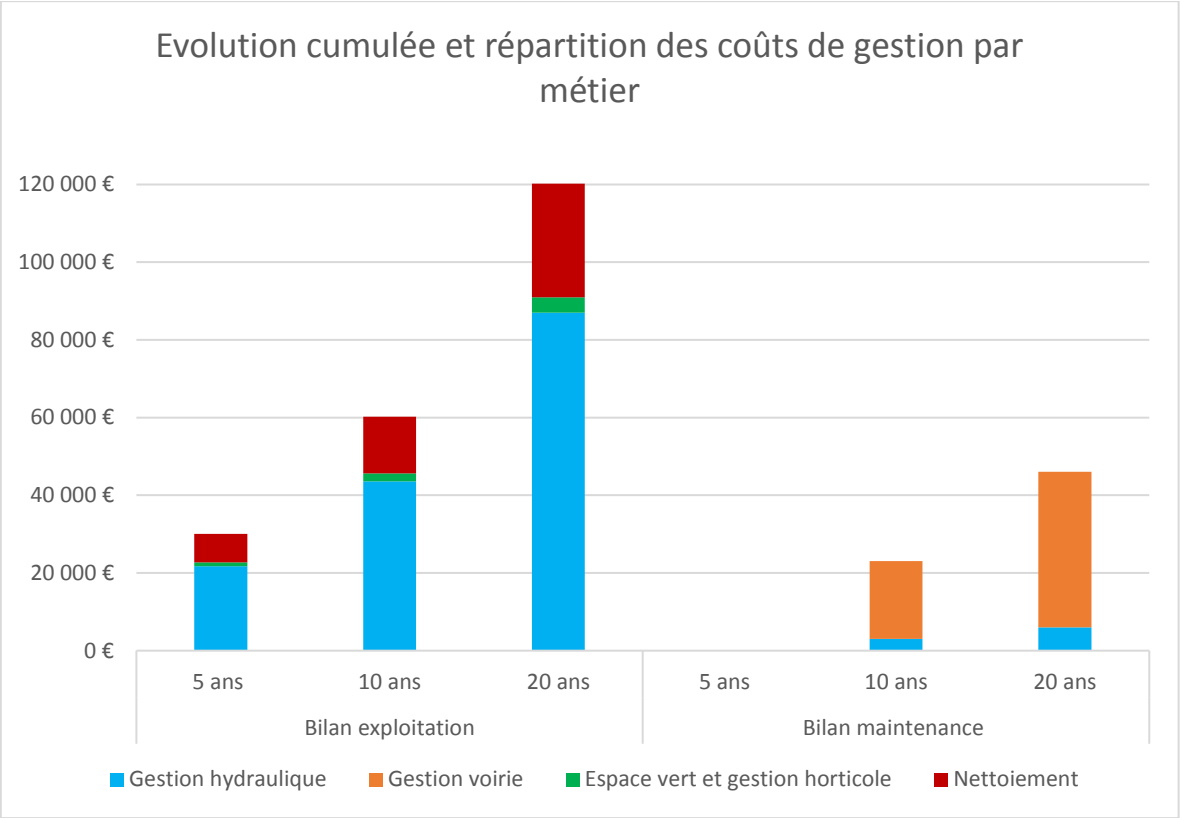


Figure 24 : Evolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "réseau unitaire"

Contrairement aux techniques alternatives, l'exploitation des réseaux unitaires est essentiellement dédiée à la gestion hydraulique.

■ <u>Evaluation des services rendus à la ville :</u>

- Bien-être en Ville : BE < 180 m² → A améliorer
- Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau → Mauvaise. Il faudrait entièrement redimensionner le réseau, ce qui est impossible
- Protection des milieux naturels : risque de débordements au milieu sans traitement de la pollution→ Faible
- Production de déchets non valorisables : opérations de curage générant beaucoup de déchets → Forte

A noter

Le rejet des eaux pluviales sans rétention et sans limitation de débit va entrainer la mise en charge des réseaux unitaires à l'aval, avec un rejet important d'eaux usées au milieu naturel en cas de fortes pluies via des déversoirs d'orage. Ce phénomène peut entrainer des impacts sur les milieux aquatiques et une sanction de la collectivité vis-à-vis de la réglementation relative au Code de l'Environnement.

5.4.1 Réseau pluvial

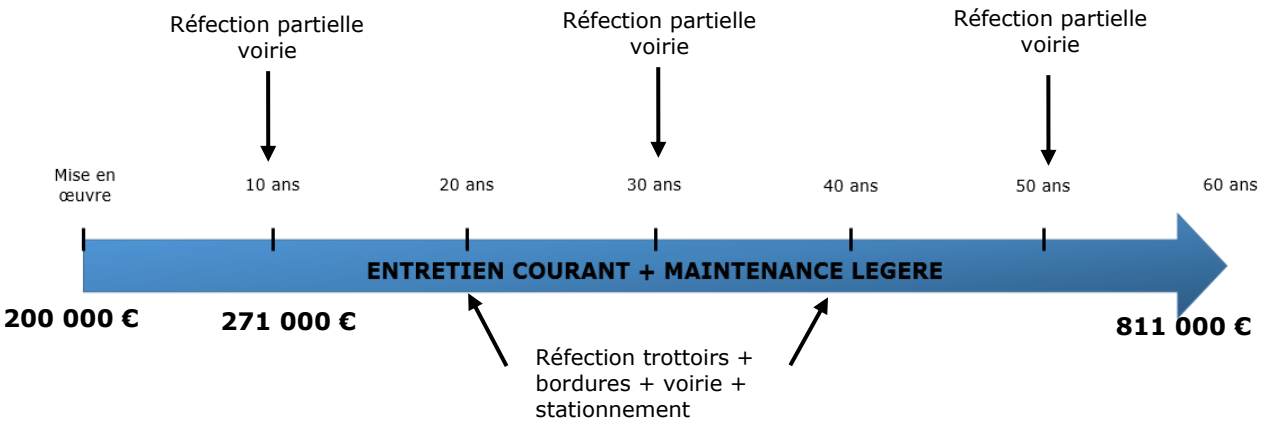
- **Principe :**

Un collecteur est mis en place, relié au réseau d'eau pluviale qui aboutit à un bassin d'infiltration enherbé existant à proximité ou à construire. Des grilles sont installées pour collecter les eaux pluviales tous les 50 m.

- **Dimensionnement :**

Généralement, les conduites sont dimensionnées pour ne pas déborder jusqu'à une pluie de période de retour 20 ans. Pour éviter de faire déborder le bassin à l'aval, un stockage et prévu pour un rejet à débit limité de 5 l/s dans un bassin enherbé en dehors du secteur du projet.

- **Coûts :**



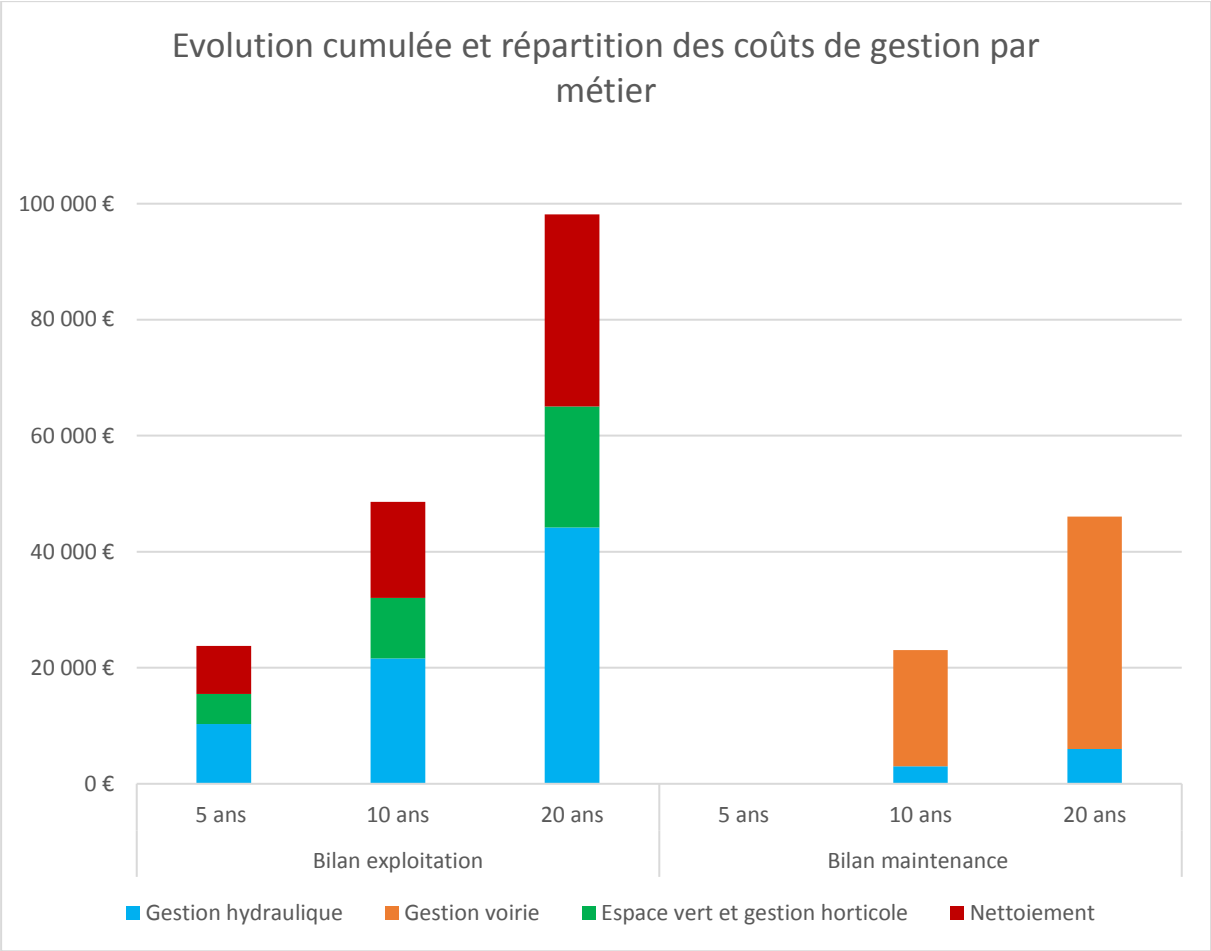


Figure 25 : Evolution et répartition des coûts de gestion pour l'option "réseau pluvial"

Les principaux coûts sont dédiés à la gestion hydraulique, bien que moins importants en comparaison à l'option « réseau unitaire ».

Evaluation des services rendus à la ville :

- Bien-être en Ville (arbres âgés d'au moins 5 ans) : BE < 180 m² → A améliorer
- Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau → Mauvaise. Il faudrait redimensionner le bassin d'infiltration, ce qui demande du foncier.
- Protection des milieux naturels : risque de débordements au milieu sans traitement de la pollution→ Risque fort pour le milieu
- Production de déchets non valorisables : opérations de curage fréquentes, générant beaucoup de déchets → Forte

Conclusions et perspectives

Le choix de la meilleure option reste propre à chaque aménagement et se fait notamment au regard de la rentabilité économique vis-à-vis de l'efficacité des ouvrages. Le Tableau 7 rappelle les volumes d'eaux pluviales générés par chaque option :

Tableau 7 : Récapitulatif des volumes pour chaque option

		Surface d'infiltration (m²)	**Volume à stocker (m³) (ruissellements générés)**	**Volume stockable (m³) (issu du dimensionnement)**
Option 1	Noue	240	38	47
	Puits	60	67	79
	Structure réservoir	280	34	34
Option 2	Pavés enherbés + jardins de pluie	Jardins de pluie : 72 Pavés enherbés : 180	44	45
Option 3	Enrobé poreux	890	14	16
Option 4	Réseau unitaire	/	Volume souhaitable à stocker pour ne pas entrainer les déversements des déversoirs d'orage (**35 l/m² imperméabilisé**) : 49 m³	/
	Réseau pluvial	/	Volume souhaitable à stocker pour ne pas surcharger le bassin d'eau pluviale (**20 l/m² imperméabilisé**) : 30 m³	/

Le volume à stocker est le volume d'eau généré par l'aménagement en tenant compte du coefficient d'imperméabilisation.
Le volume stockable est le volume d'eau que peut stocker l'ouvrage comme dimensionné dans l'étude.

Le Tableau ci-dessus permet notamment d'observer que certains aménagements engendrent plus d'eaux pluviales à gérer que d'autres (liés au taux d'imperméabilisation). C'est le cas par exemple des puits d'infiltration, où le volume à stocker est de 79 m³ (surface d'infiltration 16 m²) contre 14 m³ pour la solution d'un revêtement poreux (surface d'infiltration : 890 m²).

Le choix d'une méthode de gestion se déterminera selon plusieurs paramètres : bonne intégration paysagère, localisation géographique, traitement de la pollution, etc. Le

Tableau 8 rappelle les services rendus à la ville pour chaque option. Un cumul des indices sera proposé et servira à la comparaison des différents scénarios :

= 0 = +1 = +2

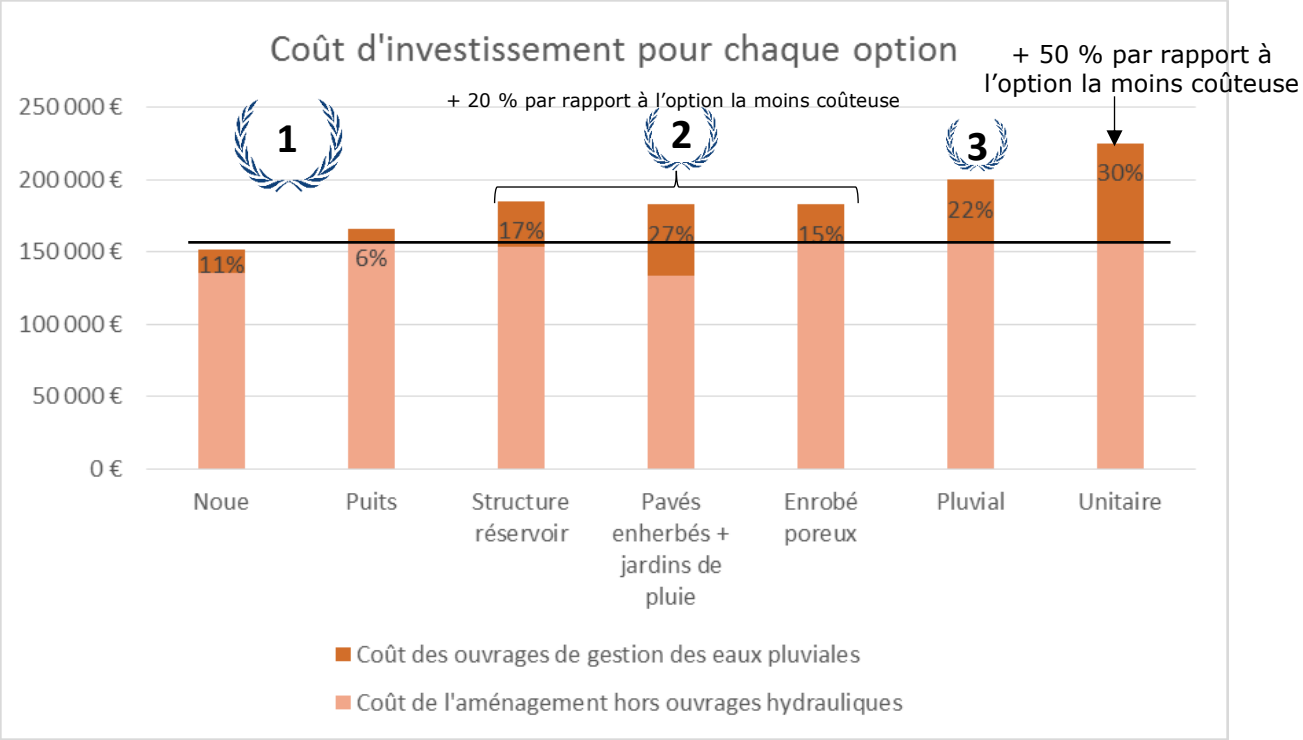
Tableau 8 : Récapitulatif des services rendus à la ville pour chaque option

Option	Bien-être en Ville	Adaptation à l'augmentation des volumes d'eau	Protection des milieux naturels	Production de déchets non valorisables	Cumul des indices
Noue					8
Enrobé poreux					7
Pavés enherbés + jardins de pluie					6
Structure réservoir					4
Puits					2
Réseau pluvial					1
Réseau unitaire					0

L'analyse comparative des solutions classe en tête tous les aménagements qui privilégient les espaces verts/perméable comme les noues, les jardins de pluie et l'enrobé poreux.

Les solutions de puits et de réseaux sont celles qui contribuent le moins aux bénéfices pour la ville.

Analyse du coût global étendu à l'investissement



Les pourcentages représentent la part de la gestion des eaux pluviales sur le coût total de l'aménagement.

Figure 26 : Coût d'investissement pour chaque scénario proposé

Globalement, le coût d'installation entre les différents scénarios proposés est moins cher que pour le réseau unitaire.

Analyse du coût global étendu sur 10 ans

Après 10 ans de mise en service, la voirie construite n'a subi que de rares opérations de maintenance lourde : les réfections survenant au bout de 20 ans n'ont pas encore été faite. L'analyse des coûts sur cette période permet de se rendre compte des frais engendrés à moyen terme par les différentes solutions envisagées.

Tableau 9 : Récapitulatif des coûts sur 10 ans

	Coût de mise en place	Coût de l'exploitation sur 10 ans	Coût de la maintenance sur 10 ans	Coût total sur 10 ans
Noue	156 000 €	31 000 €	23 000 €	**210 000 €**
Puits	165 000 €	26 000 €	44 000 €	235 000 €
Structure réservoir	185 000 €	22 000 €	25 000 €	232 000 €
Pavés enherbés + jardins de pluie	183 000 €	33 000 €	26 000 €	242 000 €
Revêtement poreux	183 000 €	22 000 €	26 000 €	231 000 €
Unitaire	224 000 €	60 000 €	23 000 €	**307 000 €**
Pluvial	199 000 €	48 000 €	23 000 €	271 000 €

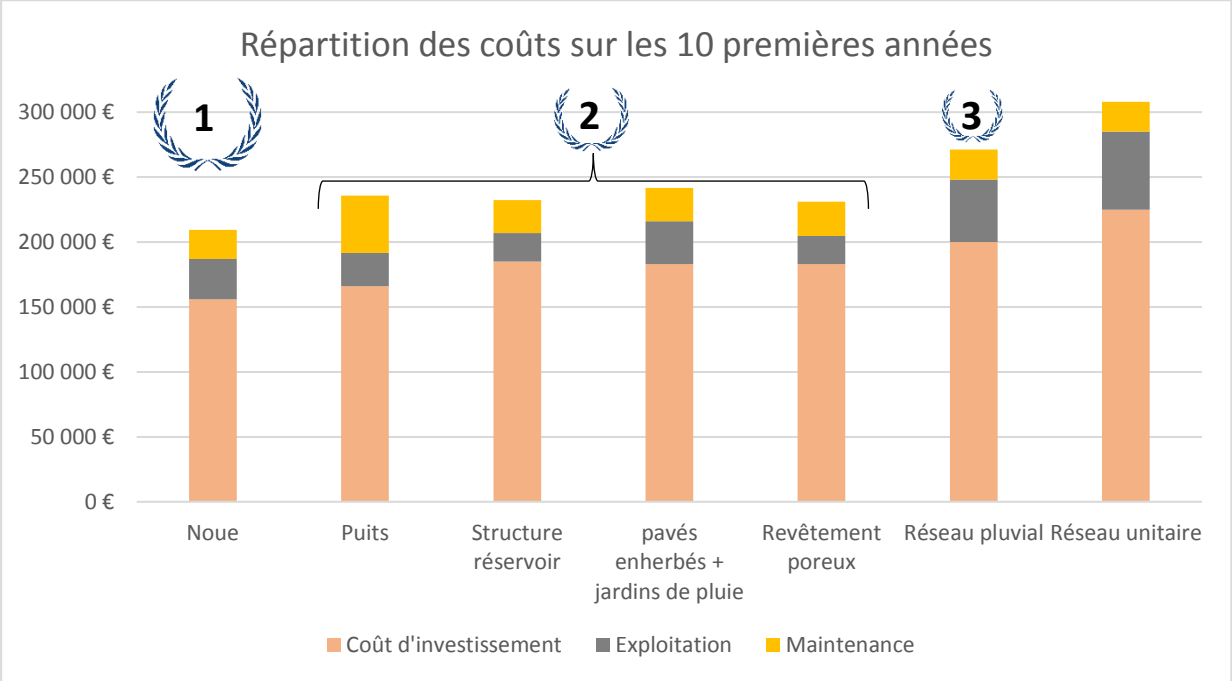
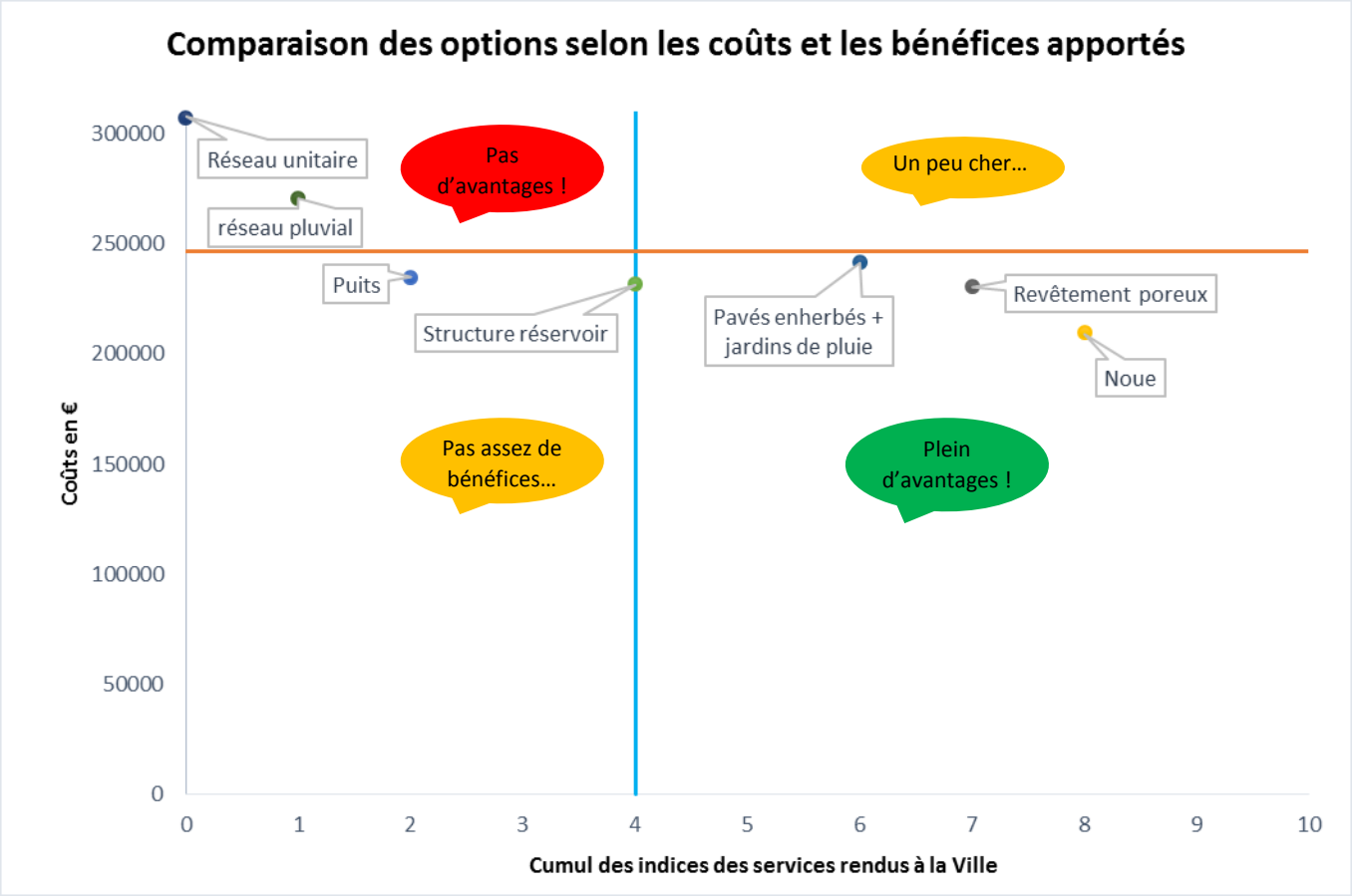


Figure 27 : Répartitions des coûts sur les 10 premières années

Au bout de 10 ans, les scénarios gérant les eaux pluviales par techniques alternatives ont des coûts similaires à 15 % près. En revanche, les solutions réseaux coûtent au moins 30 % de plus que les autres options.



Les lignes orange et bleue du graphe représentent respectivement la moyenne des coûts au bout de 10 ans et la moyenne des cumuls des indices.

Figure 28 : Comparaison du coût global étendu des différentes options sur 10 ans

La Figure 28 ci-dessus montre que pour une réflexion en « coût global étendu », la différence économique entre les différentes options n'est pas significative, hormis pour le réseau unitaire. L'option « noue », « pavés enherbés + jardins de pluie » et « revêtement poreux » apportent de nombreux avantages en termes de services rendus à la Ville.

L'ESSENTIEL

Cette étude montre que pour un aménagement donné, la gestion des eaux pluviales par techniques alternatives ne coûte pas plus cher qu'une gestion par réseau, que ce soit à l'investissement ou sur le moyen terme. Les techniques alternatives sont donc moins coûteuses pour le contribuable de la Métropole et participent à l'amélioration de son cadre de vie.

Afin de se pencher plus précisément sur les coûts engendrés par la maintenance, l'analyse s'est portée sur la répartition de ces derniers entre chaque métier concerné. Les résultats sont présentés en Figure 29.

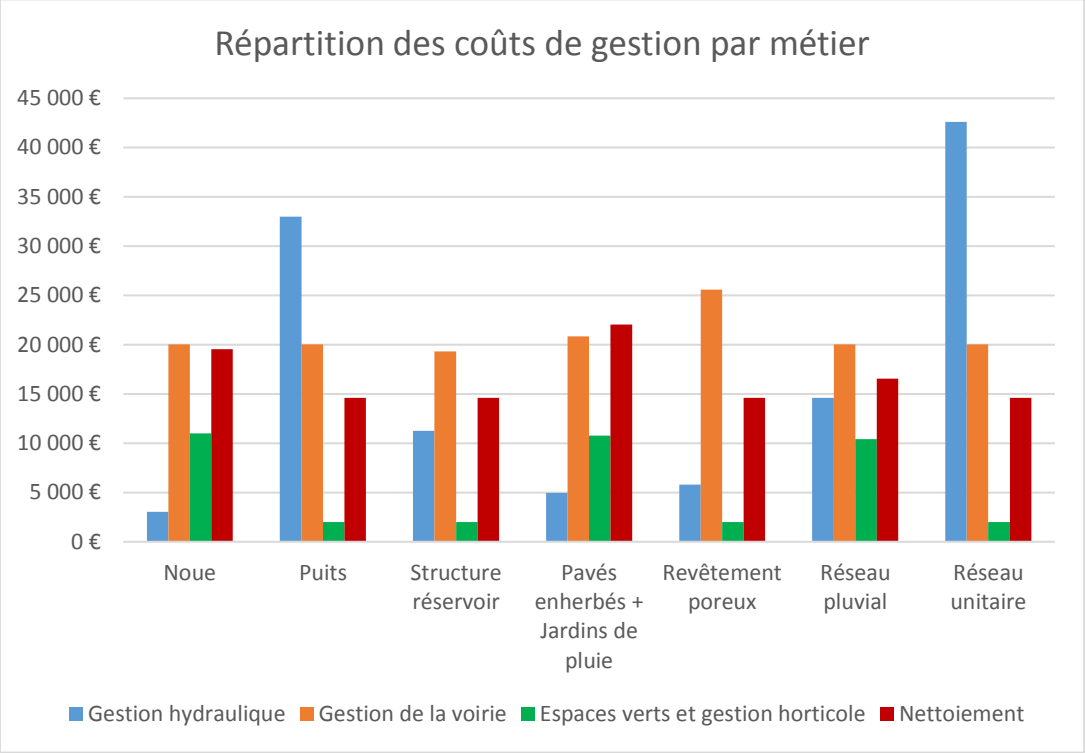


Figure 29 : Répartition par métier des coûts de gestion sur 10 ans

On observe que chaque scénario fait appel aux métiers de façon distincte : les choix faits lors de la conception impactent plus ou moins fortement les équipes de terrain. De manière générale, chaque scénario présente des coûts en nettoiement et gestion de voirie similaires (sauf les pavés enherbés qui demandent un entretien plus complexe et le revêtement poreux dont la réfection est plus coûteuse). Les techniques alternatives de surface demandent peu de gestion hydraulique. Lorsque l'ouvrage est végétalisé, les coûts pour les services de gestion des espaces verts est significativement augmenté. En revanche, les aménagements avec réseaux et puits d'infiltration sont plus chers en termes d'exploitation : le coût généré par la gestion hydraulique reste supérieur au coût transféré à la gestion des espaces verts pour les ouvrages végétalisés.

Exemple : entre le scénario puits et le scénario noue, la gestion hydraulique coûte 30 000 € plus cher tandis que la gestion des espaces verts ne coûte que 10 000 € de moins.

L'ESSENTIEL

Les 10 premières années, une gestion des eaux pluviales par réseau unitaire se révèle bien plus coûteuse que les autres options.

Si les techniques alternatives sont similaires en coût global, elles ne sollicitent pas forcément les métiers d'exploitation de la même façon.

Analyse du coût global étendu sur 60 ans

La comparaison des scénarios sur 60 ans permet de mettre toutes les solutions à pied d'égalité en termes de durée de vie. Ainsi on peut comparer un scénario plus onéreux à l'investissement comme le réseau mais qui a une durée de vie très longue (60 ans) avec un scénario beaucoup moins cher à l'investissement mais qu'il faudra reconstruire 2 fois pour qu'elle atteigne la durée de vie du réseau.

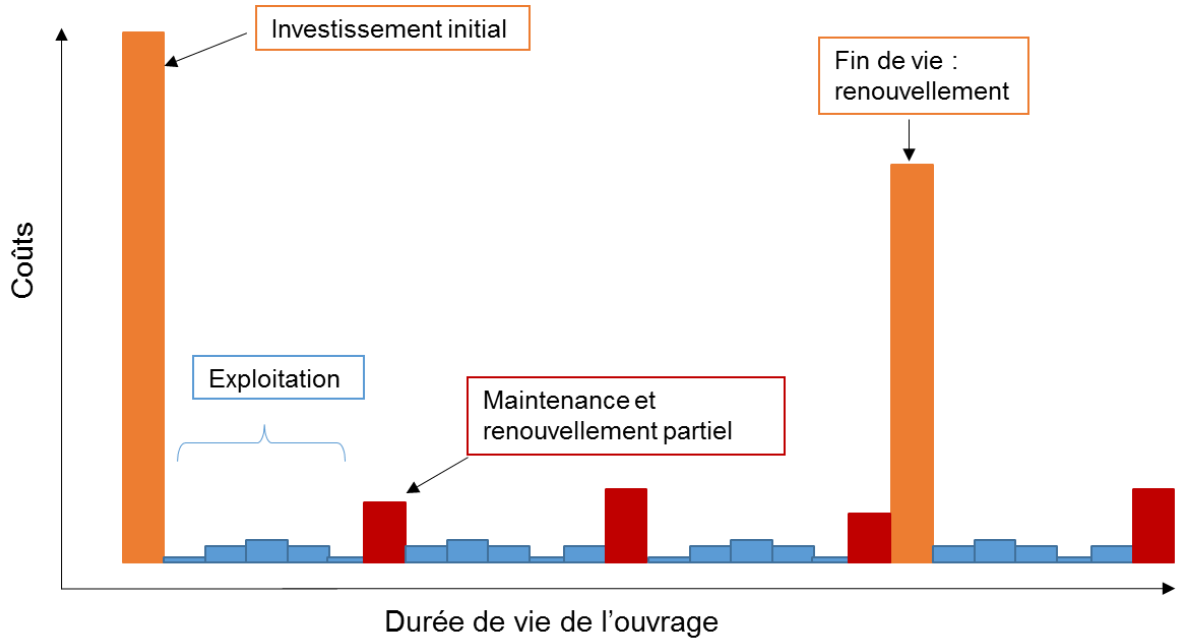


Figure 30 : Notion de coût global sur la durée de vie d'un ouvrage

Nota : il n'y a pas d'actualisation des prix. Plus on regarde sur une longue période, moins les chiffres seraient fiables. En revanche, étant donné que l'objet de l'étude est une comparaison entre scénario, les taux d'actualisation et d'amortissement ne sont pas des paramètres essentiels à prendre en compte.

Le Tableau 10 récapitule les investissements nécessaires pour chaque option. On notera qu'en dehors de la solution « réseau unitaire », les scénarios sont dans des fourchettes de prix assez proches puisqu'il n'y a qu'au plus 21 % d'écart sur l'investissement au bout de 60 ans.

Il est intéressant d'observer que certains coûts de mise en place sont amortis par la rentabilité sur le long terme.

Tableau 10 : Récapitulatif des coûts sur 60 ans

		Coût de mise en place	Coût de l'exploitation sur 60 ans	Coût de la maintenance sur 60 ans	Coût total sur 60 ans
Option 1	Noue	156 000 €	187 000 €	327 000 €	**670 000 €**
	Puits	165 000 €	150 000 €	434 000 €	749 000 €
	Structure réservoir	184 000 €	127 000 €	353 000 €	**664 000 €**
Option 2	Pavés enherbés + jardins de pluie	183 000 €	196 000 €	417 000 €	790 000 €
Option 3	Revêtement poreux	183 000 €	130 000 €	374 000 €	687 000 €
Option 4	Unitaire	224 000 €	374 000 €	347 000 €	**945 000 €**
	Pluvial	199 000 €	229 000 €	323 000 €	751 000 €

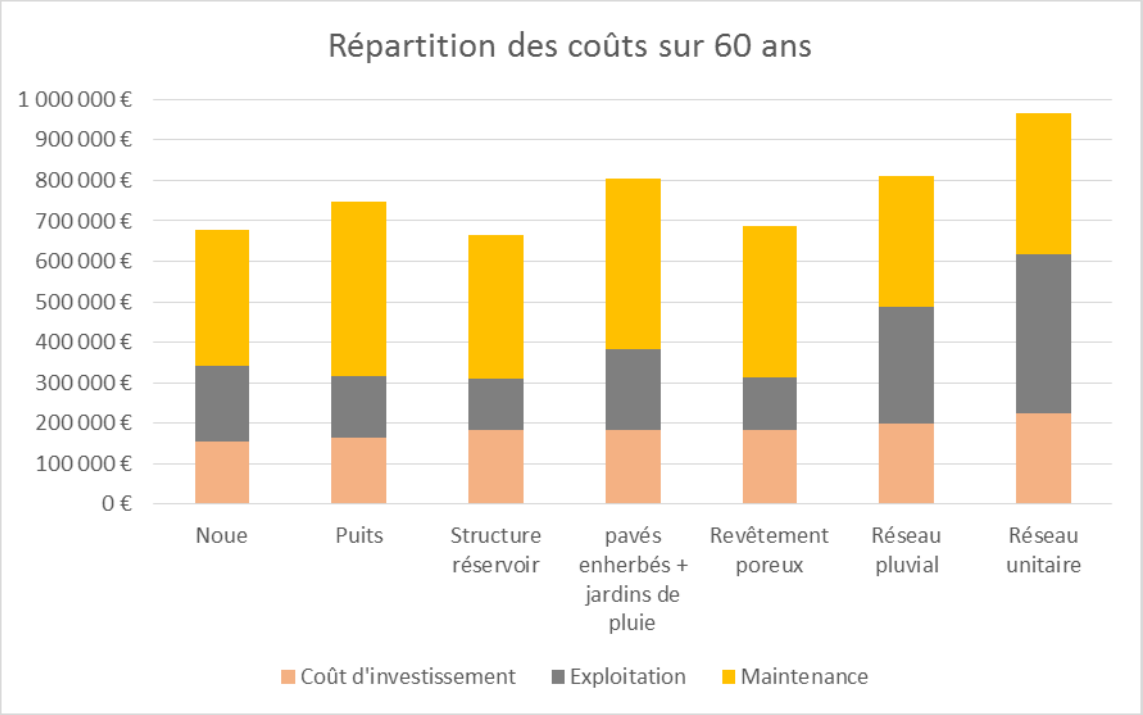
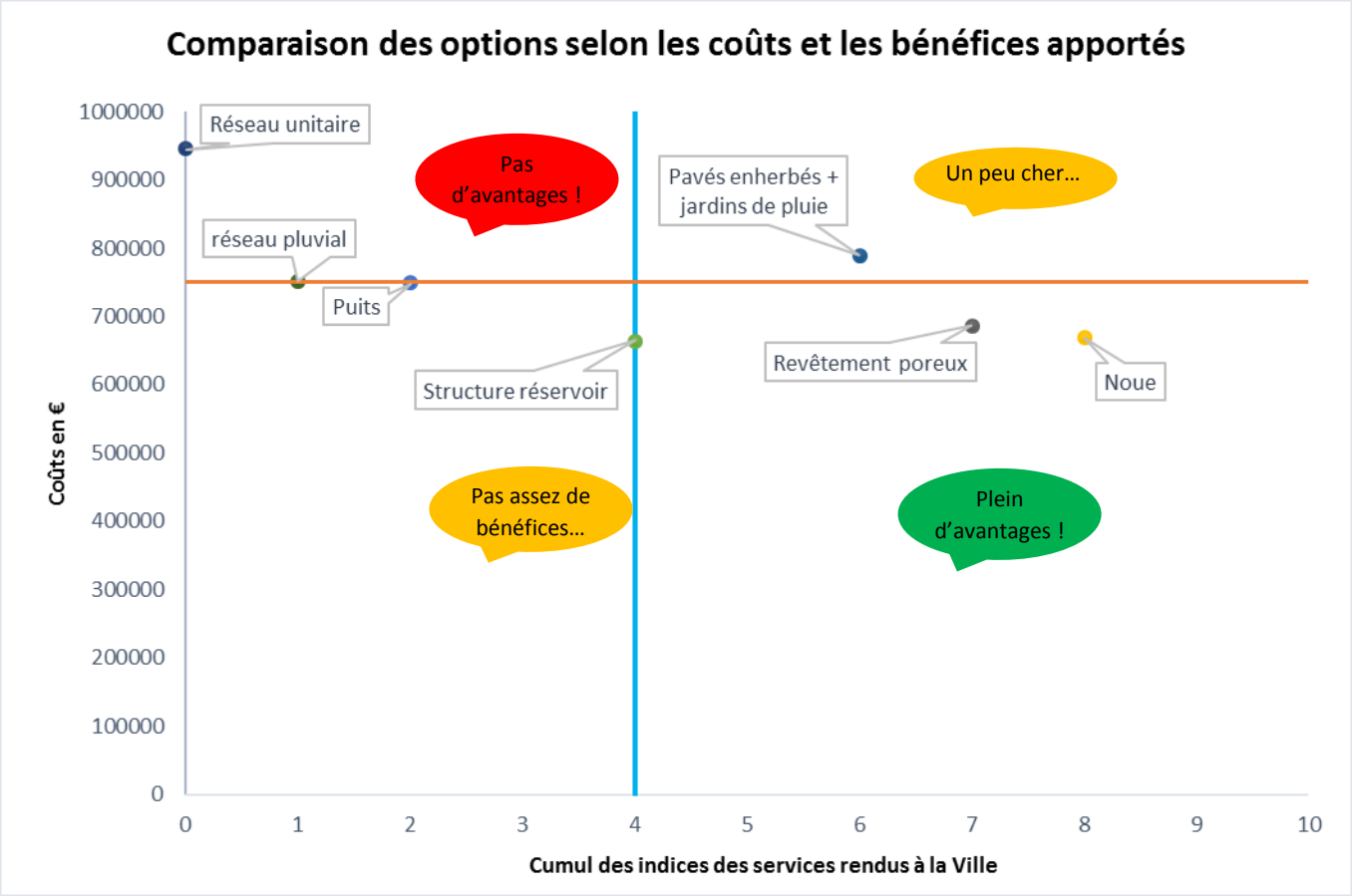


Figure 31 : Répartition des coûts sur 60 ans

Au bout de 60 ans, le coût global du réseau unitaire représentait 60 % de plus environ par rapport aux autres scénarios.



Les lignes orange et bleue du graphe représentent respectivement la moyenne des coûts au bout de 60 ans et la moyenne des cumuls des indices.

Figure 32 : Comparaison du coût global étendu des différentes options sur 60 ans

On retrouve des résultats similaires à une projection sur 10 ans.

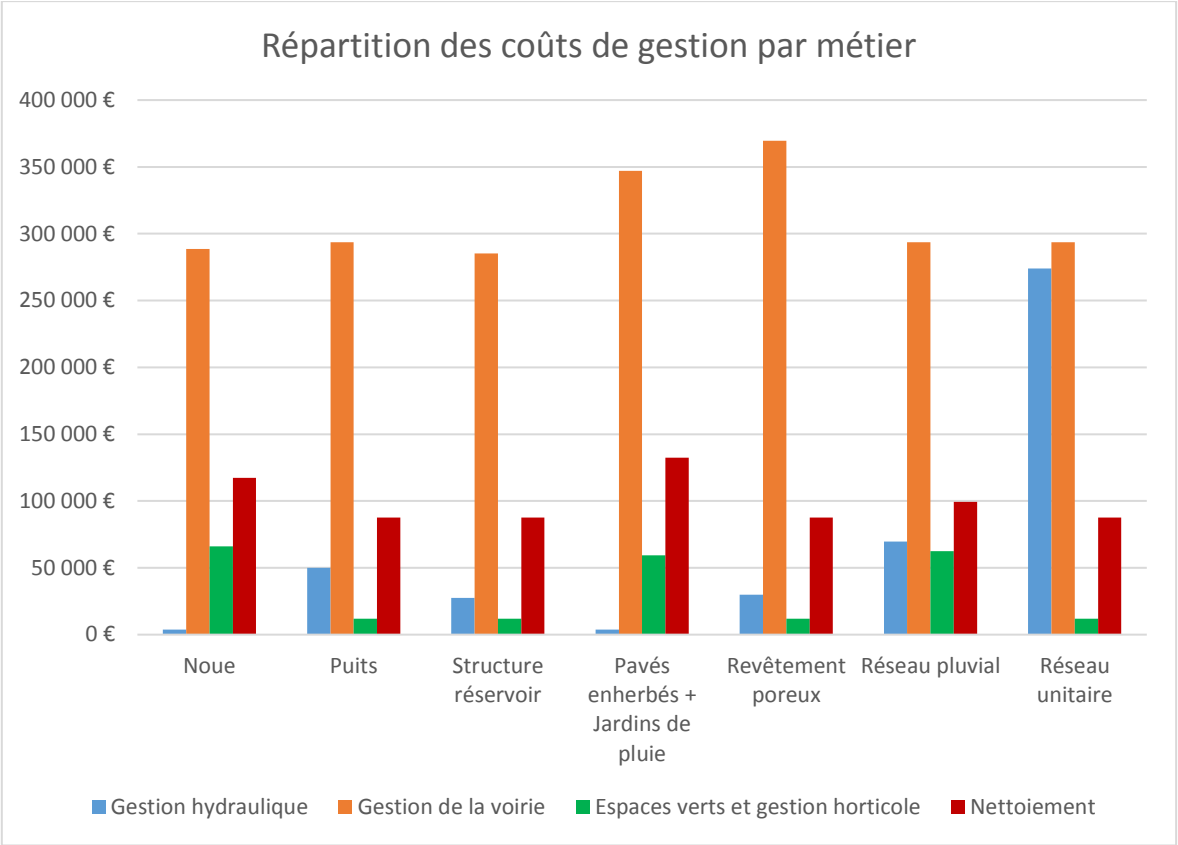


Figure 33 : Répartition des coûts de gestion par métier sur 60 ans

Sur 60 ans de gestion, les variations de coûts par métiers sont accrues. Il est à noter que c'est la gestion de la voirie qui est le plus cher sur le long terme.

L'ESSENTIEL

Dans l'ensemble, les écarts de prix entre les différentes options de gestion des eaux pluviales proposées dans cette étude ne sont pas significatifs, tant à la mise en œuvre qu'après gestion sur le long terme. Les dépenses les plus lourdes en termes de maintenance concernent essentiellement les ouvrages autres que ceux impliqués dans la gestion des eaux pluviales.

Il est important de rappeler qu'il n'existe pas de solution idéale. Dans cette étude, les options « noue » et « revêtement poreux » semblent les plus intéressantes. Dans d'autres contextes elles ne seraient peut-être pas adaptées.

Cette étude permet de confirmer qu'avec une réflexion « coût global » sur les moyens et long termes, la gestion des eaux pluviales par réseau n'est économiquement pas une gestion avantageuse.

Réflexion prospective suite aux conclusions de l'étude en cout global étendu

Les défis à relever par la Métropole de Lyon

Pour répondre aux exigences règlementaires sur la gestion du temps de pluie (DCE, arrêté du 21 juillet 2015, etc.), la Métropole de Lyon a identifié 2 pistes :

- Une action uniquement curative sur le réseau d'assainissement : respecter les objectifs de traitement des pluies usuelles nécessitent la création de 30 bassins d'orage (ou rétention restitution) pour gérer 600 000 m3 d'eau → **Scenario n°1**
- Une action plus durable de désimperméabilisation et de déconnexion des eaux pluviales du réseau unitaire ; la surface estimée ayant été quantifiée à 500 ha. La Métropole s'est engagée dans cette déconnexion en partenariat avec l'Agence de l'Eau avec comme objectif de déconnecter des réseaux 113 ha de son territoire d'ici 2020, et d'atteindre les 500 ha d'ici 2027 → **Scenario n°2**

La démarche appliquée à la voirie type exposée dans le présent rapport a donc été extrapolée à ces hectares déconnectés pour déterminer des ordres de grandeur financier.

Estimation financière du Scenario n°1

La solution de création de 30 bassins de 20 000 m^3 chacun a été chiffrée en investissement et fonctionnement, selon les hypothèses suivantes :

- **Investissement au m^3 stockés** : 1000 € HT /m^3, soit 600 M€ HT (hypothèse de chiffrage plutôt basse) ;
- **Fonctionnement** : 1% de l'investissement consacré à la gestion annuelle. Cette estimation est également plutôt basse car la gestion des bassins doit comprendre a minima les coûts énergétiques, un curage biannuel, une inspection visuelle par semaine, etc. De plus, les coûts de réfection n'ont pas été inclus dans cette étude ;
- **Prise en compte du nettoiement mécanisé** : les 500 ha imperméabilisés sont régulièrement balayés, ce qui représente 11M € HT.

Dans cette réflexion, il n'a pas été pris en compte le coût de traitement des effluents non déversés via les déversoirs d'orage. Ces eaux seront finalement traitées en STEP grâce à ces aménagements, que l'on peut chiffrer à 1€/m^3 d'eau.

Estimation Financière du Scenario n°2

Par l'analyse des aménagements de la Métropole, des hypothèses ont été faites quant au ratio surface d'un ouvrage/ bassin versant intercepté.

Tableau 11 : Hypothèses de rapports surface de l'ouvrage/surface de bassin versant intercepté prises pour l'étude

Ouvrage	Bassin d'infiltration	Enrobé poreux	Noue	Puits	Tranchée	Arbres
Surface de l'ouvrage (m²)	1	1	1	1	1	1
BV moyen associé (m²)	50	1	10	400	5	2

Selon les choix usuels réalisés dans les espaces publics, les 500 ha à déconnecter ont été répartis entre différents type de techniques alternatives pour ainsi estimer le patrimoine pluvial à créer.

Tableau 12 : Hypothèses de surface prises pour la désimperméabilisation de 500 ha

Ouvrage	**Pourcentage des 500 ha à gérer par ouvrage**	**Bassin versant intercepté (ha)**	**Patrimoine (surface ou nombre d'ouvrage**
Noues	39,9 %	199.5	20 ha
Puits	5 %	25	625 unités
Tranchées	20 %	100	20 ha
Enrobé poreux	5 %	25	25 ha
Bassins d'infiltration	30 %	150	3 ha
Arbres	0,1 %	0.5	2500 unités

A partir des bordereaux des prix utilisés dans le présent rapport, nous avons estimé les coûts représentés par chaque scénario.

Comparaison des scénarios

Coût global

Le scénario n°2, c'est-à-dire la déconnexion de 500 ha et la gestion à la source est 6 fois moins onéreuse en investissement que la solution avec création de bassins.

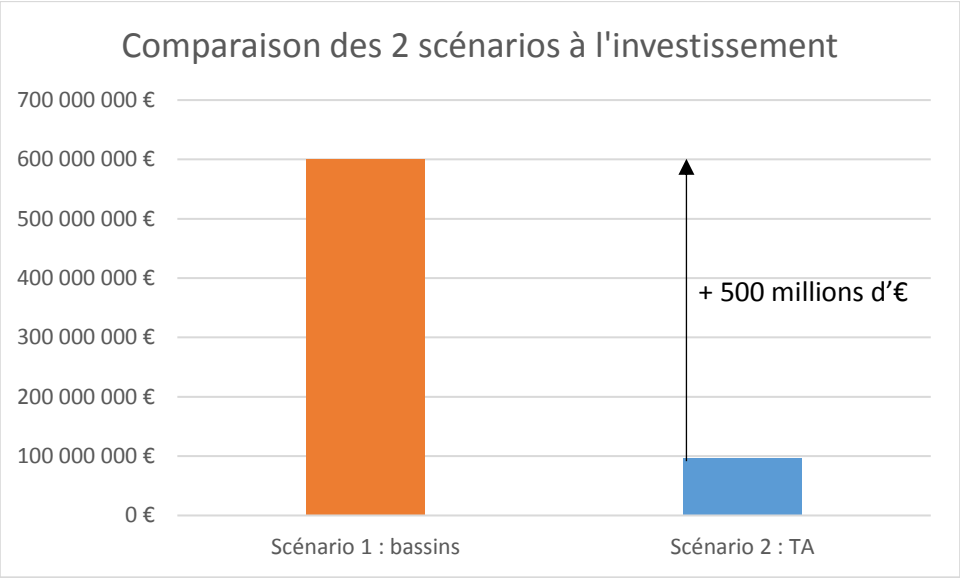


Figure 34 : Comparaison des coûts d'investissement des 2 scénarios

Si l'on compare les coûts de gestion, malgré avoir minimisé les hypothèses du scénario n°1 (pas de prise en compte du coût du traitement des eaux), la gestion des techniques alternatives sur 500 ha reviendrait à environ 2 million d'€/an de plus que celle des bassins. En revanche, le coût global ne s'équilibre jamais du fait que la réfection des bassins est beaucoup plus onéreuse.

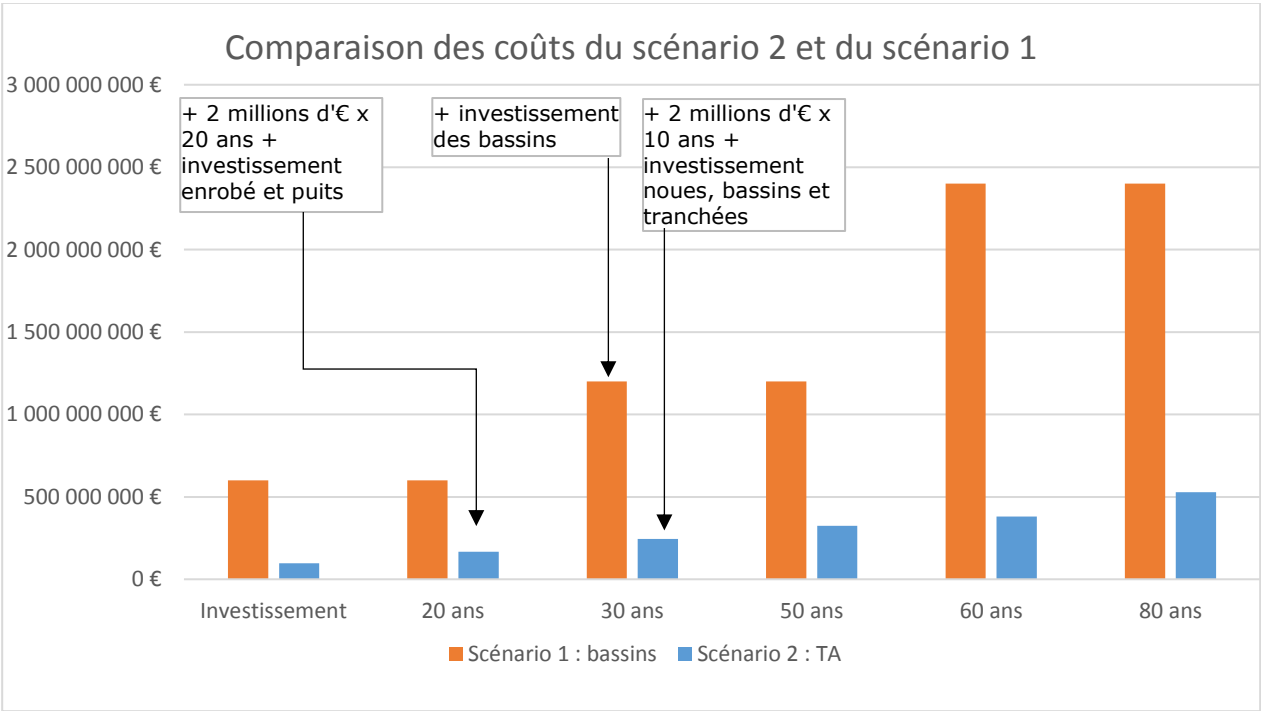


Figure 35 : Evolution du coût global étendu des 2 scénarios envisageables pour la déconnexion de 500 ha

Avec les hypothèses de durée de vie des ouvrages établies dans ce rapport (cf. Tableau 2), la gestion des eaux pluviales par réseau unitaire et bassins de rétention ne sera donc jamais plus rentable que celle par techniques alternatives. En ne considérant que le coût d'investissement initial et les coûts de gestion (sans réfection totale), les coûts globaux des scénarios 1 et 2 s'équilibreraient au bout de 80 ans environ.

Répartition des budgets

Les coûts afférents aux eaux pluviales étant pris en charge par le budget général, une comparaison entre scénario a été approchée dans le graphique ci-après. Pour les bassins d'orage, qui gèrent des effluents de temps de pluie mêlant eaux usées et eaux de ruissellement, il a été décidé la répartition suivante :

- 85% des frais attribué au budget assainissement
- 15% au budget général

Nota : le volet budget général du scénario 1 provient en grande partie du nettoiement des 500 ha d'espaces publics.

Sur le scénario 2, les actions de maintenance hydraulique sur les puits, les bassins et les tranchées drainantes ont été affectées au budget assainissement.

Ces répartitions entre budget peuvent faire l'objet d'ajustement mais nous avons ici vocation à donner des ordres de grandeur.

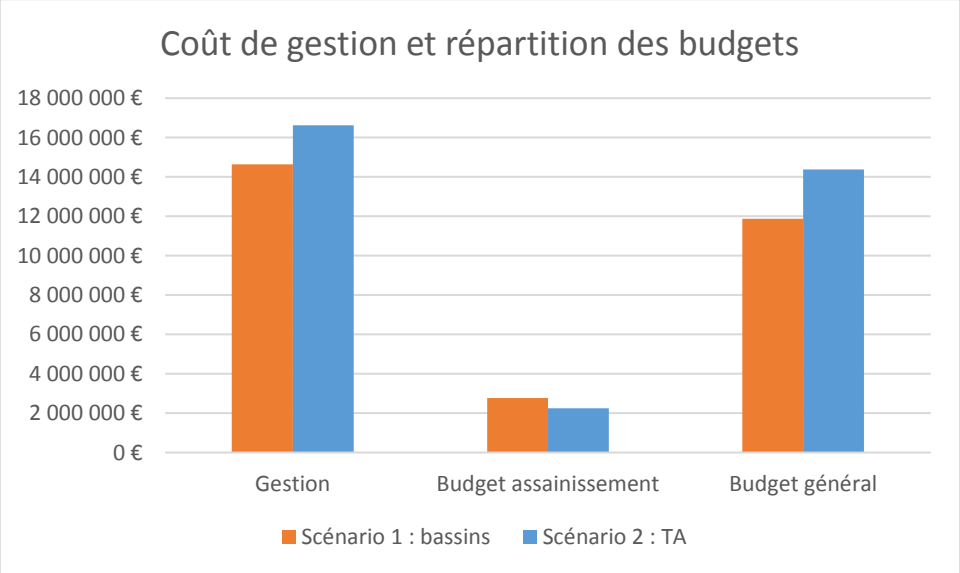


Figure 36 : Coût de gestion annuel des 2 scénarios

L'ESSENTIEL

Dès l'investissement, il est plus rentable de gérer les eaux pluviales par des techniques alternatives de proximité, d'autant plus que ces dernières rendent des services à la ville immédiats et durables, ce qui représente une économie pour l'avenir : avec des ouvrages végétalisés, il n'est pas nécessaire de rajouter des équipements paysagers et ils contribuent à lutter contre les îlots de chaleur.

Quelques pistes de réflexion pour optimiser la gestion de la Ville perméable

Un benchmark de structures

Dans l'optique d'optimiser l'organisation et la répartition budgétaire de la gestion des techniques alternatives, des échanges avec d'autres collectivités ont été engagés :

- La commune d'Antibes,
- La Métropole de Bordeaux (28 communes),
- La Métropole de Rennes (43 communes),
- L'Eurométropole de Strasbourg (33 communes),
- La Segapal, responsable de l'exploitation du parc Miribel Jonage, et qui gère une partie des espaces publics du Grand Stade à Décines.

Il ressort de ces échanges une problématique commune : dans tous les cas, les ouvrages de gestion des eaux pluviales **clos** sont à la charge d'un gestionnaire. C'est l'exploitation d'espaces à la fois ouvert au public, végétalisés et à fonction hydraulique qui pose des difficultés de gestion. Néanmoins, l'analyse des fonctionnements de ces collectivités apporte des pistes de réflexion pour résoudre cette problématique organisationnelle.

Une organisation liée à l'ampleur des phénomènes climatiques : l'exemple d'Antibes

Antibes possède un historique climatique particulier : entre la fin des années 80 et le début des années 90, la commune a subi de grosses inondations avec des dégâts matériels et surtout humains. Depuis, elle s'est organisée et mobilisée pour faire face à ce risque avec notamment la mise en œuvre de mesures compensatoires à l'urbanisation et la création en 2001 d'un service pluvial, dédié à la problématique des vallons le plus souvent secs et qui peuvent se transformer en torrents. Dans la même lignée, la plupart des réseaux sont strictement séparés entre eaux usées et pluvial. Les budgets entre assainissement et pluvial sont donc bien distincts.

En 2017, le service pluvial de la commune fonctionne au côté du service voirie auprès de qui il promeut les techniques alternatives. Il gère également l'investissement des ouvrages de type bassin et s'assure de leur traçabilité (SIG). Il dispose d'une équipe chargée de l'entretien des vallons : c'est un service communal réalisé sur des espaces publics et privées (via une DIG).

Dans ce cas, les privés participent aux investissements nécessaires sur les vallons.

Pour maitriser son risque inondation très important, la commune d'Antibes a donc adopté la stratégie de simplifier la gestion des eaux pluviales par un service et un budget dédiés.

La structure unitaire du système d'assainissement lyonnais et la topographie très différente réduisant la gravité des inondations par ruissellement, rend ce modèle peu applicable en l'état à la Métropole de Lyon.

Le périmètre d'intervention sur domaine privé dans une logique d'intérêt général est creusé par le service juridique en cas de défaillance de gestion d'ouvrages pluviaux construit sur des terrains privés avec des aménageurs / gestionnaires défaillants : limite, modalités réglementaires, report des frais engendrés sur les privés…

Mutualisation des services : l'exemple de Rennes

En ce qui concerne la gestion des ouvrages hydrauliques, les services de la Métropole de Rennes et de la Ville de Rennes sont communs. Les ouvrages à caractère paysager sont entretenus par la direction des jardins et biodiversité. Les autres sont à la charge de la direction assainissement.

Par ailleurs, afin d'assurer au mieux l'entretien et la maintenance des aménagements, 2 réunions de validation des projets sont prévues avec les gestionnaires : lors de l'AVP et au cours du DCE. Cette étape permet de fixer les modalités organisationnelles et de s'assurer de l'exploitabilité des ouvrages.

Gestion hydraulique versus gestion paysagère : place au conventionnement

Comme à Rennes, les services de l'Eurométropole de Strasbourg et de la Ville centre ont fusionnés.

L'Eurométropole travaille en ce moment à clarifier sur SIG son patrimoine pluvial et ce travail est l'occasion de clarifier les modes de gestion des ouvrages multifonctionnels. Il a été retenu que le service assainissement serait le service gestionnaire de ces ouvrages. En tant que tel il assure un entretien axé sur les besoins hydrauliques uniquement soit pour les ouvrages végétalisés, 2 tontes / fauches par an avec inspection visuelle et nettoiement. Ces prestations sont externalisées depuis le printemps 2016

Si la commune souhaite un niveau de service supérieur sur le nettoiement et la gestion des espaces verts, elles assurent des passages supplémentaires ou prennent en charge 100% de la gestion de l'ouvrage moyennant une convention avec la Métropole qui participe

financièrement : ce système, et le montant de la participation financière est en cours de calage.

Une équipe de terrain multicompétente adaptée à des espaces multifonctionnels : l'exemple de SEGAPAL

Pour la gestion de l'accès Sud du Grand Stade de Décines, la SEGAPAL a mis en place des équipes effectuant un passage 1 à 2 fois par semaine. La force de cette organisation réside dans la polyvalence du chef d'équipe : qualifié et prêt à effectuer tout type d'opération, il connait le fonctionnement des ouvrages et comprend ainsi les tenants et les aboutissants des actions de son équipe.

Les outils aussi sont adaptés, avec notamment un camion équipé pour répondre à tous les besoins de maintenance. Pour les opérations plus spécifiques, un renfort ponctuel est programmé.

De plus, un reporting régulier est assuré vers le service exploitation de la Direction de l'Eau. On peut donc retenir que les équipes de la SEGAPAL assurent à la fois des missions de nettoiement de l'espace public (jeux, promenade, espaces verts, ouvrages hydrauliques), de surveillance de 1ere niveau et de lanceur d'alerte, de petits travaux de maintenance quotidienne.

Bibliographie

Agence Nationale de la Recherche. (2010-2013). *INOGEV : Innovations pour une gestion durable de l'eau en ville.* Programme Villes Durables 2009.

Chocat. (2011). *Fiches techniques de l'OTHU.*

GIEC. (2014). *Changements climatiques 2014.* Rapport de synthèse.

Grand Lyon. (2008). *Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon.* Guide pratique.

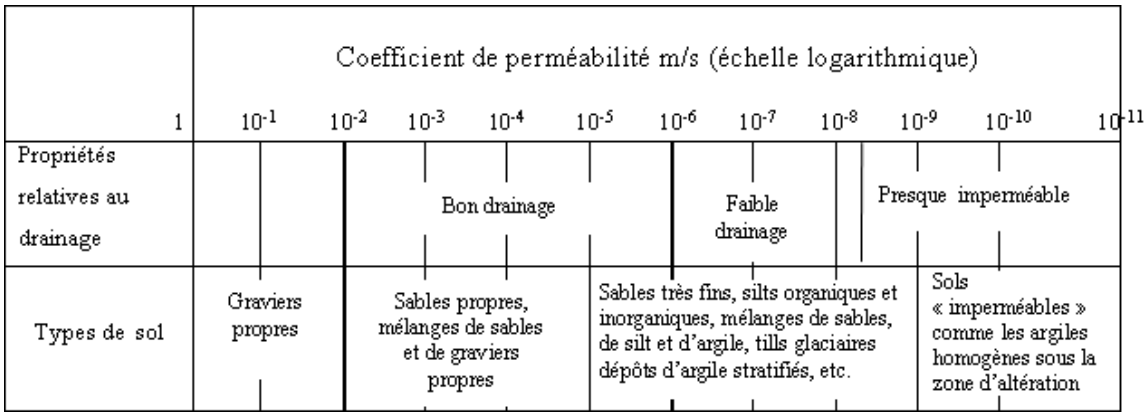
Grand Lyon. (2008). *Fiche n°00 : Méthode pour le dimensionnement des ouvrages de stockage.*

Grand Lyon. (2017). *Référentiel technique des ouvrages d'assainissement.*

Grand Lyon. (2017). Guide de conception.

Annexes

Annexe 1 : Relation perméabilité et drainage (Holtz et Kovacs, 1991)



Pour l'étude, il est supposé que le sol possède une bonne capacité de drainage. La perméabilité sera considérée égale à **5.10^{-5} m/s**, ce qui correspond à un mélange de sables et de graviers propres possédant une capacité de drainage correcte. Cette valeur est l'ordre de grandeur fréquemment retrouvé dans l'est lyonnais.

Annexe 2 : Calcul de l'intensité de pluie

Usuellement, l'intensité de la pluie se calcule selon la formule de Montana suivante :

$$\mathbf{I = a.\Delta t^{-b}}$$

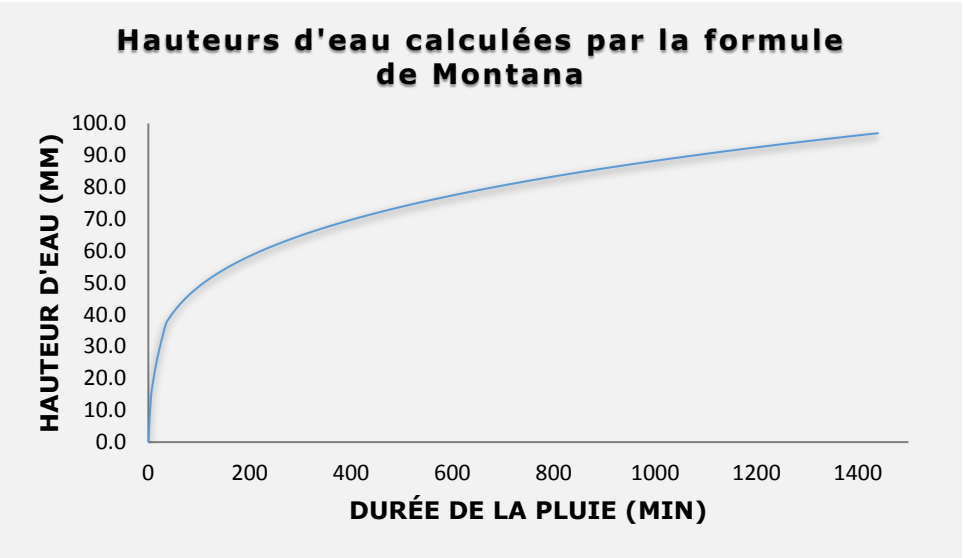
Avec :
- *I : intensité en mm/min*
- *Δt : temps en min*
- *a et b : coefficients de Montana*

Les coefficients de Montana sont estimés à partir des données du Grand Lyon recueillies entre 1987 et 2007 pour des périodes de retour entre 1 et 150 ans. Pour une période de retour 20 ans, ils sont fixés selon le Tableau ci-dessous :

Coefficients de Montana pour une période de retour 20 ans

6 min à 30 min		**30 min à 1 440 min**	
a	**b**	**a**	**b**
6.070	0.490	14.957	0.743

Ces coefficients permettent de calculer les hauteurs d'eau de pluie tombées en fonction du temps.



Annexe 3 : Méthode pour le dimensionnement des ouvrages (méthode des pluies)

L'objectif est de déterminer quel volume devra être stocké par les ouvrages. Pour ce faire, il faut définir :

La surface active = surface participant au ruissellement

+

Le débit de fuite de l'ouvrage = infiltration

+

Le débit spécifique = infiltration rapportée à la superficie

↓

Volume à stocker

Les paramètres évoqués dépendront de l'ouvrage mis en place.

La surface active

La surface active se calcule selon la formule suivante :

$$S_a = \sum Cr_i \times S_i$$

Avec :
- *S_a : surface active en m²*
- *Cr_i : coefficient d'imperméabilisation de la surface i*
- *S_i : surface i en m²*

Elle sert de référence au dimensionnement, puisqu'il s'agit de l'aire équivalente à la fraction imperméabilisée. Le ci-dessous en donne un exemple de calcul.

Calcul de la surface active de la voie de desserte pour un revêtement classique

	Surface totale (m²)	Coefficient d'imperméabilisation	Surface active (m²)
Trottoirs	634	0.95	602.3
Voie + bande cyclable	890	0.95	845.5
Stationnement	180	0.95	171
Fosse à arbre	16*	0.25	4
Total	1720	0.94	1627.8

*Il est considéré 5 arbres espacés de 20 m, dans une fosse de 1,6 × 2 m.

Débits de fuite et spécifique de l'ouvrage

Débit de fuite

Il correspond à l'eau infiltrée au niveau de la coupe étudiée et se calcule suivant la formule suivante :

$$Q_f = S_{inf}.K$$

Avec :
- *Q_f : débit de fuite en m³/s*
- *S_{inf} : surface d'infiltration en m²*
- *K : perméabilité en m/s*

Débit spécifique

Il est calculé à partir du débit de fuite comme suit :

$$q_s = 60\,000 \times Q_f / S_a$$

Avec :
- q_s *: débit spécifique en mm/min*
- Q_f *: débit de fuite en* m^3/s
- S_a *: surface active en* m^2

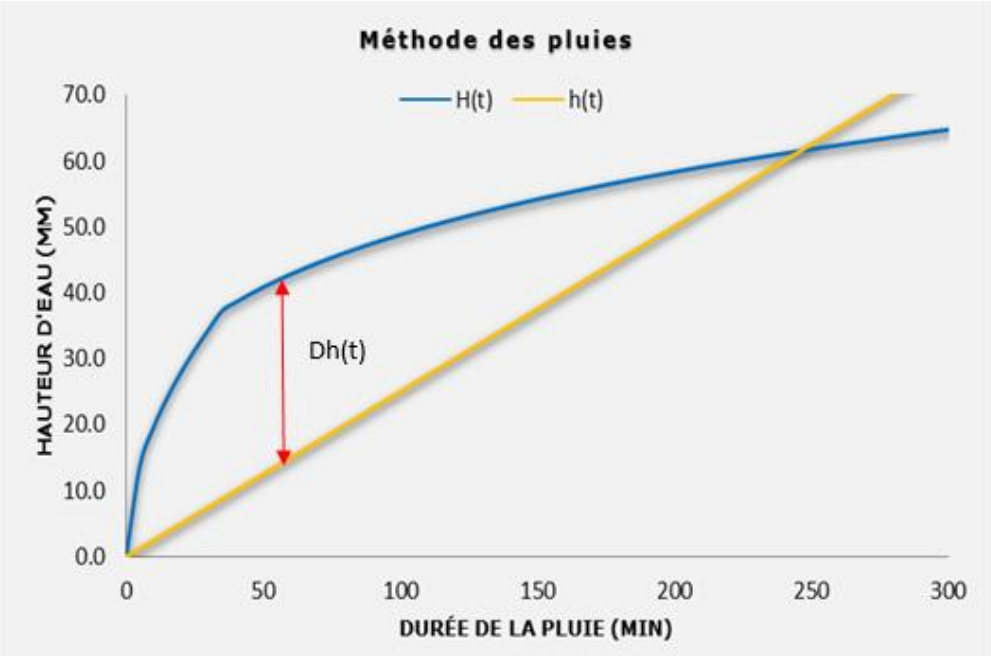
C'est ce paramètre qui est utilisé pour déterminer le volume d'eau à stocker, puisqu'il représente l'infiltration relative à une surface donnée.

Déterminer le volume à stocker par la méthode des pluies

La quantité d'eau stockée par les ouvrages est calculée grâce à la méthode des pluies. Celle-ci repose sur l'exploitation d'un graphique présentant les hauteurs d'eau précipitées et évacuées en fonction du temps.

- Les hauteurs d'eau précipitées (H(t)) sont calculées à partir des coefficients de Montana pour la période de retour 20 ans ;
- Les hauteurs d'eaux évacuées (h(t)) sont déterminées par la droite dont la pente correspond au débit spécifique q_s.

Par exemple, pour un débit spécifique de 0.25 mm/min, le graphe en ci-dessous est obtenu :



Méthode des pluies pour la détermination du volume à stocker

La différence maximale entre les deux courbes, Dh_{max}, donne la hauteur d'eau à stocker pour qu'il n'y ait pas de débordement. Le volume est ensuite facilement déterminé par la formule suivante :

$$\mathbf{V = 1{,}1 \times 10^{-3} \times Dh_{max} \times S_a}$$

Avec :
- *V : volume à stocker en m^3*
- *Dh_{max} : hauteur d'eau à stocker en mm*
- *S_a : surface active en m^2*

1,1 correspond à un coefficient de sécurité.

Une fois le volume d'eau à stocker trouvé, les ouvrages doivent être dimensionné de sorte à pouvoir contenir cette quantité. Il est à noter que le débit q_s (par extension le volume V) varie selon la surface active et donc selon le type d'installation.