

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

- Spécialité Génie Civil -

ÉTUDE DES TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES ET USEES EN AMENAGEMENT



Auteur : Nicolas LUTZ

INSA Strasbourg, Spécialité Génie Civil, Option Aménagement du Territoire

Tuteur Entreprise : François SCHIESTEL

Chargé d'études, LOLLIER Ingénierie

Tuteur INSA Strasbourg : Abdelali TERFOUS

Maître de conférences, INSA Strasbourg

Juin 2010



Samuel Lollier Ingénierie

SARL au capital de 7700€
Siret 42259293100022
APE 7112B
RCS Strasbourg B 422 592 931

Bureau d'études techniques VRD et aménagement paysager

Tél. : +33 (0)3 88 51 47 93
Fax : +33 (0)3 88 51 47 99
Mail : contact@lollier.com

3, rue de Mittelhausen
67170 MITTELSCHAEFFOLSHEIM
www.lollier.com

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à M. Samuel LOLLIER, Gérant de la société, Ingénieur ENSAIS 95, qui m'a donné la possibilité d'effectuer ce stage au sein de son bureau d'études spécialisé en voirie et réseaux divers ainsi qu'en aménagement d'espaces publics ou privés.

Ensuite, je souhaite exprimer ma reconnaissance à mon tuteur de stage, M. François SCHIESTEL, chargé d'affaires, Ingénieur ENSAIS 95, pour son encadrement, ses avis, ses explications, et pour le partage de son expérience.

Je désire également remercier mon tuteur de l'INSA de Strasbourg, M. Abdelali TERFOUS, Maître de conférences, pour son suivi régulier et pour ses conseils ayant permis la concrétisation de ce projet.

Un grand merci à l'ensemble de mes collègues de bureau, en particulier à M^{lle} Anne-Sophie KAPP, élève-ingénieur de l'INSA de Strasbourg, avec qui j'ai travaillé, qui m'a fournies les informations nécessaires relatives au projet du quartier Rives du Bohrie à Ostwald ayant servi d'application pratique à ce travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué, par leur participation, à mon enquête sur l'acceptabilité des techniques alternatives, ainsi qu'à la société Ordimat pour la réalisation du site Internet.

RESUME

On assiste depuis quelques années à l'essor de techniques dites alternatives dans une conjoncture mettant au premier plan les principes du développement durable dans ses aspects économique, social et environnemental. Dans ce contexte, les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées (bassins, noues, filtres plantés de roseaux...) commencent sérieusement à concurrencer les techniques dites « classiques » (séparateurs à hydrocarbures, décanteurs, stations d'épuration...) dans la conception des projets d'aménagement.

Une analyse critique de la situation peut amener à soulever quelques questions : l'emploi de ces techniques alternatives est-il pertinent et justifié ? Peut-on réellement se passer des techniques classiques ? Les techniques alternatives présentent-elles des performances suffisantes ? Sont-elles vraiment moins onéreuses ? Comment sont-elles perçues ? Leur emploi actuel est-il un gage de leur pérennité ou est-ce uniquement un phénomène de mode ?

Autant de questions qui suscitent une réflexion approfondie afin de guider les acteurs de l'eau en général, et les bureaux d'études en particulier, vers un changement de stratégies dans la gestion des eaux.

Ainsi, ce projet de fin d'études s'attache à répondre à ces interrogations en mettant en relation tous les éléments caractérisant ces techniques, en particulier l'efficacité de dépollution des eaux, les conditions d'utilisation et bien sûr les coûts, pour en dégager des conclusions sur la base d'études comparatives. Par ailleurs, une analyse du contexte réglementaire a été réalisée et l'acceptabilité de ces techniques par tous les acteurs des projets a été sondée au moyen d'une enquête. Enfin, le mémoire se termine par une étude de cas de gestion alternative des eaux sur le projet « Rives du Bohrie » à Ostwald dans la banlieue strasbourgeoise (Bas-Rhin).

Mots clés : techniques alternatives, eaux pluviales, eaux usées, efficacité, acceptabilité sociale.

ABSTRACT

We attend for some years the development of alternative technologies in the current climate which forwards the sustainable development principles in its environmental, economic and social aspects.

In this context, the alternative techniques of storm water and waste water management (wet ponds, swales, reed beds filters...) begin seriously to compete with the classical techniques (hydrocarbon separators, decanters, water-treatment plants...) in the conception of urban development projects.

A critical analysis of that situation can raise some questions: is the use of these alternatives techniques relevant and justified? Can we really do without the classical techniques? Are the alternative techniques efficient enough? Are they really less expensive? How are they perceived? Is their current use a security of their perpetuity or is it only a phenomenon of fashion?

So many questions which arouse an in-depth reflection to guide actors concerned in water management in general and engineering consulting firms in particular towards a change of strategy in the management of water.

So, this civil-engineering graduation project attempts to answer these questions by putting in relation all the elements characterising these techniques, in particular the efficiency of waters purification, the conditions of use and naturally the costs, to draw conclusions on the basis of comparative studies. Besides, an analysis of the regulatory context was realised and the alternatives technologies' acceptability was sounded by means of a sample survey by all the actors of projects. Finally, the report ends with a case study of an integrated rainwater management into the project "Rives du Bohrie" in Ostwald situated in the suburb of Strasburg (Bas-Rhin).

Keywords: alternative techniques, rain water, waste water, efficiency, social acceptability.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
PARTIE 1 : PRESENTATION ET ENJEUX	10
1. Définition du cadre de l'étude	10
1.1. But de l'étude	10
1.2. Cadre de l'étude	10
2. Présentation des techniques alternatives.....	10
2.1. Enjeux et problématique de la gestion des eaux	10
2.2. Définition des techniques alternatives	12
2.3. Principaux avantages.....	12
2.4. Principaux freins à leur utilisation.....	13
PARTIE 2 : ASPECT JURIDIQUE ET REGLEMENTAIRE	14
1. Contexte.....	14
2. Dispositions législatives et réglementaires.....	14
2.1. Réglementation relative aux eaux pluviales.....	14
2.2. Réglementation relative aux eaux usées.....	15
3. Conclusion.....	15
PARTIE 3 : ETAT DES LIEUX DES TECHNIQUES CLASSIQUES.....	16
1. Techniques classiques en eaux pluviales	16
1.1. Séparateurs à hydrocarbures	16
1.2. Décanteurs	18
1.3. Débourbeurs	21
1.4. Autres systèmes	22
1.5. Conclusions sur l'efficacité des ouvrages	23
2. Techniques classiques en eaux usées	24
2.1. Assainissement collectif : Station d'épuration	24
2.2. Assainissement non collectif (autonome).....	25
2.3. Conclusions sur l'efficacité des ouvrages	29
PARTIE 4 : TECHNIQUES ALTERNATIVES EN EAUX PLUVIALES.....	30
1. Nature et caractéristiques des eaux pluviales	30
1.1. Définition des principaux paramètres de pollution	30
1.2. Quantités de pollution selon la provenance des eaux	30
1.3. Définition des types de pollution	32
2. Techniques de dépollution.....	33
2.1. Décantation.....	33
2.2. Filtration	34
2.3. Phyto-rémediation ou dépollution par les plantes	34
3. Présentation des systèmes alternatifs en eaux pluviales	34
3.1. Noues - fossés enherbés	34
3.2. Tranchées drainantes	36
3.3. Puits d'absorption	37
3.4. Bassins secs et en eau	39
3.5. Chaussées à structure réservoir.....	42
3.6. Toitures terrasses et toitures végétalisées.....	44
3.7. Citernes	46
3.8. Autres systèmes	47
4. Conditions d'utilisation des systèmes alternatifs	49
4.1. Caractéristiques en fonction des contraintes du site.....	49
4.2. Choix d'une technique en fonction du site	51

5.	Comparaison des coûts.....	52
5.1.	Récapitulatif des coûts des techniques alternatives.....	52
5.2.	Approche des coûts par rapport aux techniques classiques.....	53
5.3.	Conclusion.....	55
6.	Comparaison de l'efficacité des techniques.....	55
6.1.	Efficacité des techniques alternatives.....	55
6.2.	Conclusions.....	56
7.	Comparaison multicritère des techniques alternatives.....	56
7.1.	Objet de l'étude.....	56
7.2.	Attribution des notes et pondérations.....	57
7.3.	Résultats.....	58
7.4.	Conclusions.....	58
8.	Calcul de la pollution.....	59
8.1.	Précisions et hypothèses de calculs de la DDT.....	59
8.2.	Etablissement d'une feuille de calcul.....	60
PARTIE 5 : TECHNIQUES ALTERNATIVES EN EAUX USEES.....		61
1.	Nature et caractéristiques des eaux usées.....	61
1.1.	Définition des principaux paramètres de pollution.....	61
1.2.	Notion d'équivalent habitant (EH).....	61
1.3.	Définition des types d'eaux usées.....	61
1.4.	Charges polluantes des eaux usées.....	62
2.	Terminologie pré-requise - Techniques de dépollution.....	62
3.	Présentation des systèmes alternatifs en eaux usées.....	63
3.1.	Lagunage.....	63
3.2.	Filtre à infiltration-percolation.....	66
3.3.	Filtres plantés de roseaux.....	67
3.4.	Autres systèmes.....	69
4.	Conditions d'utilisation des systèmes alternatifs.....	71
5.	Comparaison des coûts.....	72
5.1.	Récapitulatif des coûts des techniques alternatives.....	72
5.2.	Coûts par rapport aux techniques classiques.....	72
6.	Comparaison de l'efficacité des techniques.....	72
6.1.	Efficacité des techniques alternatives.....	72
6.2.	Conclusions.....	73
7.	Comparaison multicritère des techniques.....	74
7.1.	Objet de l'étude et notation.....	74
7.2.	Résultats.....	74
7.3.	Conclusions.....	74
8.	Calcul de la pollution.....	74
PARTIE 6 : ACCEPTABILITE SOCIALE.....		75
1.	Objet.....	75
2.	Méthodologie et questions de l'enquête.....	75
3.	Résultats et commentaires.....	75
3.1.	Participations.....	75
3.2.	Résultats.....	76
4.	Commentaires, axes de réflexion et pistes d'amélioration.....	80
4.1.	La connaissance des techniques et pratiques d'utilisation actuelles.....	80
4.2.	L'avenir des techniques alternatives.....	80
4.3.	Les caractéristiques et les performances des techniques alternatives.....	81
4.4.	La communication et les informations.....	81
4.5.	Le volet commercial et financier.....	82
4.6.	Réflexions diverses.....	83
5.	Conclusions.....	83

PARTIE 7 : ETUDE DE CAS – LES RIVES DU BOHRIE A OSTWALD	84
1. Présentation du projet.....	84
2. Assainissement pluvial du projet	84
2.1. Gestion des eaux pluviales de voiries.....	84
2.2. Gestion des eaux pluviales de toitures et des espaces verts	85
2.3. Justification des techniques alternatives	85
3. Vérification de l’impact sur le milieu naturel.....	85
3.1. Données hydrologique du site	85
3.2. Impact de la pollution chronique	86
3.3. Impact de la pollution accidentelle	86
4. Conclusion.....	86
CONCLUSION	87
BIBLIOGRAPHIE	88
Ouvrages, articles et revues.....	88
Sites Internet.....	90

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les grandes étapes de l'assainissement.....	10
Figure 2 : Séparateur à hydrocarbures.....	16
Figure 3 : Séparateur à hydrocarbures Techneau avec by-pass.....	16
Figure 4 : Schéma d'un décanteur horizontal	18
Figure 5 : Schéma d'un décanteur à flux horizontal (théorie de Hazen).....	19
Figure 6 : Schéma d'un décanteur lamellaire.....	19
Figure 7 : Décanteurs à contre-courant (à gauche), décanteurs à courant croisé (au centre) et décanteur particulaire lamellaire en acier de Techneau (à droite).....	20
Figure 8 : Schéma type d'un débourbeur.....	21
Figure 9 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration	24
Figure 10 : Schéma de principe d'une fosse septique.....	26
Figure 11 : Décanteur-digester horizontal de Sebico.....	27
Figure 12 : Micro station d'épuration WPL Diamond	28
Figure 13 : Schéma d'un bac à graisse	29
Figure 14 : Noue (à gauche) et fossés d'infiltration (à droite) équipant le quartier Vauban à Fribourg.....	35
Figure 15 : Schéma d'une tranchée drainante (à gauche) et Tranchée d'infiltration à Lyon (à droite).....	36
Figure 16 : Schéma d'un puits d'infiltration.....	38
Figure 17 : Bassin en eau.....	39
Figure 18 : Bassin sec	39
Figure 19 : Profil en travers d'une chaussée réservoir (lotissement au lieu-dit "Kreuzel" à Rossfeld)	42
Figure 20 : Chaussée a structure réservoir avec infiltration	42
Figure 21 : Principe de stockage d'eau en toiture.....	44
Figure 22 : Toiture végétalisée Optigreen.....	44
Figure 23 : Types de végétation d'une Toiture végétalisée	45
Figure 24 : Cuve de récupération eau de pluie Aquamop de Simop.....	46
Figure 25 : Le module d'épandage Graf	47
Figure 26 : Parking végétalisé (à gauche) et revêtements absorbants (à droite)	48
Figure 27 : Graphique des abattements des systèmes pour chaque paramètre	56
Figure 28 : Classes de qualité de l'eau douce pour quelques paramètres chimiques et microbiologiques	59
Figure 29 : Principe de la méthode de dilution.....	60
Figure 30 : Charge polluante journalière produite par équivalent-habitant	61
Figure 31 : Macrophytes en plan d'eau.....	63
Figure 32 : Coupe transversale d'un système classique de lagunage	63
Figure 33 : Lagunage naturel à Gommersdorf (à gauche) et Lagunage àéré (à droite)	64
Figure 34 : Système de bassin d'infiltration-percolation	66
Figure 35 : Schéma d'un filtre planté à écoulement vertical	67
Figure 36 : Schéma d'un filtre planté à écoulement horizontal.....	68
Figure 37 : Principe des lits plantés de macrophytes.....	69
Figure 38 : Jardins filtrants Phytoestore®	70
Figure 39 : Lits filtrants (a gauche) et terre d'infiltration (à droite).....	70
Figure 40 : Graphique des abattements des systèmes pour chaque paramètre	73
Figure 41 : Fréquence d'utilisation	76
Figure 42 : Oobjectifs d'un aménagement	77
Figure 43 : Connaissance des possibilités	77
Figure 44 : Prise en compte du développement durable.....	78

Figure 45 : Les techniques alternatives en tant qu'argument de vente.....	78
Figure 46 : Emprises dédiées aux techniques	79
Figure 47 : Plan d'aménagement général de la ZAC	84
Figure 48 : Gestion des eaux de voiries.....	84
Figure 49 : Gestion des eaux de toitures.....	85

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Exemple de séparateurs du fournisseur Franceaux	17
Tableau 2 : Les 3 types de décanteurs lamellaires	20
Tableau 3 : Taux d'abattement des MES selon la vitesse de chute	21
Tableau 4 : Charges et concentrations des eaux de ruissellement pluvial de voirie, parking, toitures et espaces verts	32
Tableau 5 : Masses de polluants rejetées dans les eaux de ruissellement (en kg/ha/an)	32
Tableau 6 : Masses de polluants (en kg) véhiculées par hectare de surface imperméabilisée (toitures et chaussées) pour des événements de 6 mois à 5 ans de période de retour	33
Tableau 7 : Rendements sur les flux annuels	35
Tableau 8 : Exemple d'abattement de tranchée d'infiltration mesuré.....	37
Tableau 9 : Taux d'abattement des matières en suspension contenue dans les eaux pluviales	40
Tableau 10 : Rendement épuratoire en fonction du temps de séjour (en %).....	40
Tableau 11 : Abattement moyen des chaussées réservoirs.....	43
Tableau 12 : Choix d'une technique alternative EP en fonction des contraintes du site.....	51
Tableau 13 : Choix d'une technique alternative EP en fonction du type d'urbanisme.....	52
Tableau 14 : Tableau des coûts des techniques alternatives en eaux pluviales	52
Tableau 15 : Comparaison d'une noue avec un réseau EP	54
Tableau 16 : Comparaison d'une noue avec un réseau EP (sans prise en compte du foncier).....	54
Tableau 17 : Comparaison d'une chaussée réservoir avec une chaussée classique.....	54
Tableau 18 : Tableau des abattements moyen des techniques alternatives EP	55
Tableau 19 : Critères de notation	57
Tableau 20 : Pondérations des critères en fonction du milieu	57
Tableau 21 : Résultats de l'étude comparative des techniques alternatives EP	58
Tableau 22 : Charges polluantes des eaux usées domestiques	62
Tableau 23 : Types de laguange naturel	64
Tableau 24 : Choix d'une technique alternative EU en fonction des contraintes du site	71
Tableau 25 : Choix d'une technique alternative EU en fonction de la capacité et de l'emprise disponible	71
Tableau 26 : Tableau des coûts des techniques alternatives en eaux usées	72
Tableau 27 : Tableau des abattements moyen des techniques alternatives EU	72
Tableau 28 : Tableau des abattements moyen des techniques alternatives EU par rapport aux techniques classiques	73
Tableau 29 : Résultats de l'étude comparative des techniques alternatives EU	74
Tableau 30 : Taux de participation à l'enquête.....	75
Tableau 31 : Impact de la pollution chronique	86

INTRODUCTION

Dans le cadre de ma formation d'ingénieur en Génie Civil, j'ai effectué mon stage de fin d'études dans le bureau d'études LOLLIER Ingénierie. Son gérant, M. Samuel LOLLIER, m'a proposé et confié la mission de fournir une étude détaillée des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées en aménagement.

L'étude doit mener à une justification ou non de l'emploi des techniques alternatives pour remplacer à terme les techniques classiques (séparateurs d'hydrocarbures, décanteurs, stations d'épuration...).

Ces techniques alternatives constituent notamment un enjeu considérable pour tous les bureaux d'études. En effet, ces derniers doivent capitaliser un certain nombre de connaissances et changer leur mode de conception habituel des ouvrages pour pouvoir répondre aux nouvelles exigences de leurs clients qui sont désormais résolument orientées vers des aménagements durables.

Ainsi, les objectifs de ce travail sont d'analyser en détail le fonctionnement des principaux systèmes alternatifs mais aussi des systèmes classiques, de conclure sur leur efficacité, leurs coûts, leurs avantages et inconvénients et leurs conditions d'utilisation. L'étude a pour objet de comparer tous les paramètres afférents à ces techniques, pour en dégager des conclusions précises et d'établir des tableaux de synthèse directement exploitables par le bureau d'études.

Afin d'atteindre ces objectifs, il convient de réaliser un travail de recherche bibliographique important, puis de mettre en relation toutes les informations recueillies afin de proposer plusieurs études comparatives et d'en analyser les résultats.

Ce mémoire débute par une présentation des techniques alternatives ainsi que les enjeux, ensuite il aborde l'aspect juridique et réglementaire lié à leur utilisation, puis il propose successivement un état des lieux des techniques classiques, une étude des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales puis usées. Enfin le mémoire se termine sur une analyse de l'acceptabilité sociale de ces techniques alternatives, et un exemple pratique basé sur un projet réel.

PARTIE 1 : PRESENTATION ET ENJEUX

1. DEFINITION DU CADRE DE L'ETUDE

1.1. BUT DE L'ETUDE

Le présent travail a principalement pour objectif d'analyser les caractéristiques des différentes techniques (classiques et alternatives) de gestion des eaux pluviales et usées et de les confronter, d'étudier les coûts et l'efficacité des systèmes alternatifs et les comparer aux systèmes classiques, de définir les conditions d'utilisation de ces techniques alternatives, d'analyser le cadre réglementaire lié à leur emploi et de mesurer l'acceptabilité sociale attachée à leur utilisation.

1.2. CADRE DE L'ETUDE

L'assainissement des agglomérations a pour but d'assurer la collecte, le transit, au besoin la rétention de l'ensemble des eaux pluviales et usées, et de procéder aux traitements avant leur rejet dans le milieu naturel.

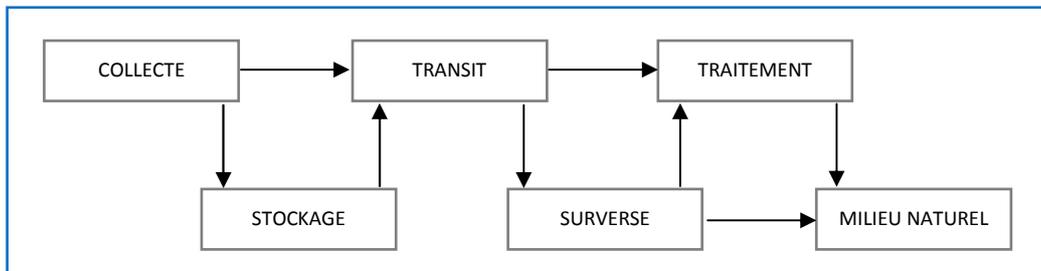


FIGURE 1 : LES GRANDES ETAPES DE L'ASSAINISSEMENT [1]

Le projet de fin d'études s'intéresse particulièrement à l'étape qui concerne le traitement des eaux pluviales et usées, aussi bien par les systèmes classiques que les systèmes alternatifs. Toutefois, il est important de noter que la plupart de ces systèmes assurent plusieurs étapes de ces processus de gestion. Par exemple, les bassins d'infiltration combinent à la fois les fonctions de stockage, de traitement et de rejet au milieu naturel.

2. PRESENTATION DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

2.1. ENJEUX ET PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DES EAUX

2.1.1. EVOLUTION HISTORIQUE

Les techniciens conçoivent et dimensionnent les systèmes d'assainissement et de drainage selon le même concept depuis 150 ans, à savoir « évacuer le plus loin et le plus vite possible les eaux de toute nature ». En effet, le développement urbain a très vite été associé à la nécessité de se protéger contre les inondations et d'évacuer les eaux usées, puis les eaux pluviales. Ainsi, le concept du « tout-à-l'égout » ou du « tout au réseau » est choisi au début du XIX^{ème} siècle. C'est à partir de la fin du XIX^{ème} siècle qu'on assiste au développement des réseaux d'assainissement suite à la loi du 10 juillet 1894 sur le « tout-à-l'égout ». Ce concept prédomine jusqu'aux années 1950 [2][3].

Dans les années 1960-1970, la généralisation de l'automobile et le développement de l'habitat individuel et des grandes zones commerciales conduisent à une augmentation considérable de l'urbanisation et des surfaces imperméabilisées. Ce développement révèle les limites des réseaux et de leur structure qui ramène les flux hydrauliques de la périphérie nouvellement urbanisée vers les centres urbains. Les débordements de réseaux

sont de plus en plus importants. Se développe alors un concept hydraulique, notamment préconisé par l'Instruction Technique de 1977. Ce sont les bassins de retenue qui visent à ralentir l'écoulement sur les surfaces urbanisées.

Depuis certains événements catastrophiques marquants (notamment de type inondations), les principes d'une gestion intégrée de l'eau dans la ville sont progressivement formalisés et diffusés. Ces principes se placent même au cœur des préoccupations des élus et de tous les acteurs intervenant dans les projets.

2.1.2. CONSTATS

- L'urbanisation imperméabilise l'espace : l'eau ne s'infiltré pas dans le sol et les surfaces lisses favorisent l'accélération du ruissellement [36] ;
- Les réseaux enterrés coûtent chers et accélèrent la montée des eaux dans les rivières : réfection de chaussée pour chaque intervention, problème de détection des fuites, évacuation rapide de l'eau, risques d'inondation accrus en aval... ;
- Les eaux pluviales sont inégalement chargées en pollution : plus elles ruissellent, plus elles risquent de se charger en remettant en suspension les pollutions ;
- Tout ce qui est enterré disparaît des préoccupations quotidiennes des habitants. Seuls les événements et dysfonctionnement du cycle de l'eau sont commentés : inondations, assecs, et leurs multiples arrêts... ;
- Les eaux pluviales ne sont pas ou peu valorisées : le potentiel est encore peu utilisé ;
- Certaines stations d'épuration présentent des capacités limitées à cause de l'augmentation de la démographie et de l'urbanisation ;
- Le traitement des eaux usées en station d'épuration utilise des procédés plus ou moins chimiques, dont certains sont nuisibles à l'environnement.

2.1.3. OBJECTIFS

La collecte et la dépollution des eaux pluviales et usées constituent un impératif pour la préservation du cycle de l'eau. A ce titre, l'assainissement des eaux est une étape décisive, qui permet de maintenir la qualité de l'environnement et des nombreuses activités liées à l'eau (tourisme, pisciculture, agriculture, industrie...) et de prévenir des risques d'inondations.

Afin de mieux gérer les eaux pluviales et usées, il convient donc de procéder aux actions suivantes :

- ✓ Intégrer la gestion des eaux pluviales dans les aménagements. La récupération de l'eau de pluie s'avère être un moyen efficace pour réaliser des économies d'eau dans un contexte de déficit local. De plus, la gestion en surface des eaux pluviales contribue à faire pénétrer la nature en ville, dynamise les espaces publics, et peut avoir des vertus pédagogiques intéressantes à valoriser ;
- ✓ Gérer et différencier les eaux selon leur provenance ;
- ✓ Limiter l'impact de l'imperméabilisation sur le milieu naturel et le risque d'inondation et de pollution : l'augmentation des surfaces imperméables engendre des apports d'eaux pluviales importants dans le réseau hydrographique de surface ainsi qu'une dégradation de la qualité des cours d'eau ;
- ✓ Assurer une meilleure gestion au plus près du cycle naturel et une meilleure préservation de la ressource en eau en permettant l'infiltration des eaux pluviales sur place ;
- ✓ Traiter les eaux usées écologiquement avant de les rejeter dans le milieu naturel pour soulager les infrastructures actuelles.

2.2. DEFINITION DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

On entend par techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées toutes les techniques dont le concept s'oppose au principe du tout au réseau. Leur objectif est non plus d'évacuer le plus loin et le plus vite possible les eaux mais de les retarder et/ou de les infiltrer. Ces techniques constituent une alternative au réseau traditionnel de conduites, ce qui justifie leur nom. On parle également de solutions compensatoires (sous-entendu des effets de l'urbanisation) [4].

Elles peuvent être utilisées de manière autonome, c'est-à-dire sans réseau de conduites, ou bien peuvent être associées à un réseau d'assainissement classique. Elles peuvent être présentes à toutes les échelles d'aménagement : au niveau de la parcelle (puits, citerne, toits stockant, terre d'infiltration...), au niveau secondaire (tranchées, chaussées à structure réservoir, noues...) ou au niveau primaire (bassins en eau, lagunage, filtres plantés de roseaux...).

2.2.1. TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES

Les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales reposent sur deux principes : la rétention de l'eau pour réguler les débits et limiter la pollution des milieux naturels et l'infiltration de l'eau dans le sol, lorsqu'elle est possible, pour réduire les volumes s'écoulant vers l'aval.

2.2.2. TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX USEES

On définit par ces techniques, toutes celles qui s'appuient sur le modèle de l'auto-épuration de l'eau qui s'établit dans les milieux humides. Ces techniques offrent l'avantage de ne pas utiliser de produits chimiques de traitement, d'assurer un fonctionnement plus économe en énergie, de réduire les coûts d'exploitation et de permettre dans certains sites une meilleure insertion paysagère [37].

2.3. PRINCIPAUX AVANTAGES

L'utilisation de ces techniques alternatives dans la gestion des eaux permettent :

- ✓ d'aménager : L'urbanisation de secteurs où les réseaux de collecte sont saturés est possible, alors que les techniques classiques ne le permettent plus. Elles s'adaptent au site, ce qui permet de concevoir des projets d'aménagement et d'assainissement en fonction des contraintes et des potentialités de celui-ci. Par ailleurs, elles sont bien adaptées au phasage du développement d'un projet d'urbanisation. En effet, au lieu de prévoir un grand et unique ouvrage à l'aval de la zone à urbaniser, il est possible d'en construire plusieurs au fur et à mesure de l'urbanisation.
- ✓ de participer à l'amélioration du cadre de vie : Les espaces aménagés pour la gestion de l'eau peuvent jouer un rôle structurant et paysager. Moins minéraux, moins denses, ils constituent souvent des espaces de vie collectifs (jardins, terrains de sports, placettes).
- ✓ de participer à l'éducation environnementale du citoyen : Le caractère simple, local et visible des ouvrages contribue à la sensibilisation et à l'éducation environnementale des citoyens. Ils peuvent être des acteurs de la gestion de l'eau.
- ✓ de maîtriser les risques d'inondation : La gestion « à la source » permet de réduire les risques d'inondation en aval. En effet, il s'agit de limiter l'imperméabilisation des surfaces pour diminuer les quantités d'eau qui ruissellent. Elle permet également de limiter les volumes raccordés aux réseaux pour éviter leur débordement en aval.

- ✓ de maîtriser les risques environnementaux : Les techniques doivent permettre de préserver l'alimentation naturelle des nappes et des cours d'eau, la qualité des milieux naturels et les usages de l'eau. L'infiltration sur place permet de maintenir les flux d'alimentation naturelle des nappes et petits cours d'eau amont, participant ainsi au maintien de la ressource. De plus, les eaux pluviales, interceptées au plus près du lieu où elles tombent sont moins chargées en polluants, la pollution des milieux récepteurs est ainsi réduite.
- ✓ d'introduire l'écologie dans l'épuration des eaux : Les eaux pluviales et usées peuvent être traitées par des procédés biologiques et naturels. En effet, pour purifier les eaux, on peut utiliser les capacités naturelles de filtrage et d'absorption des plantes et des végétaux (phénomènes d'auto-épuration), comme les macrophytes par exemple.
- ✓ d'optimiser les coûts : L'expérience montre souvent que les solutions alternatives sont moins onéreuses en investissement que les solutions classiques. De plus, la plurifonctionnalité des équipements permet d'optimiser le coût global des opérations et les coûts d'entretien. Le fait de soulager les réseaux de collecte permet également de limiter les investissements en station d'épuration et de réduire l'importance des dégâts liés aux débordements [3].

2.4. PRINCIPAUX FREINS A LEUR UTILISATION

Les techniques alternatives sont encore peu utilisées car :

- Elles sont nouvelles, donc elles sont l'objet de nombreux a priori, notamment concernant l'évolution de leur fonctionnement dans le temps, leur conception, leur réalisation et leur entretien. Elles nécessitent également de convaincre les maîtres d'ouvrages, qu'ils soient publics ou privés ;
- Elles sont complexes, c'est-à-dire qu'elles peuvent prendre des formes diverses qui affectent considérablement l'aménagement d'une zone. De plus, leur conception exige une concertation forte entre différents acteurs qui n'ont pas forcément l'habitude de travailler ensemble, c'est-à-dire entre les techniciens de l'eau (hydrauliciens, hydrologues, géotechniciens, hydrogéologues, hydrobiologistes, génie-civilistes...) mais aussi entre les acteurs de la conception urbaine (aménageurs, architectes, paysagistes, techniciens, économistes, juristes...) ;
- Elles sont multifonctionnelles. Certaines techniques alternatives assurent d'autres fonctions que leur fonction hydraulique. Par exemple, les chaussées à structure réservoir permettent simultanément la circulation des véhicules et le stockage provisoire de l'eau ;
- Elles sont dépendantes de leur environnement, qu'il soit physique, social ou intentionnel. L'environnement va influencer sur l'ensemble de la vie de ces techniques, de la conception à l'entretien et à la gestion [2].

PARTIE 2 : ASPECT JURIDIQUE ET REGLEMENTAIRE

1. CONTEXTE

Les premiers textes modernes concernant le droit de l'eau remontent aux codes napoléoniens. Leur objectif principal était de déterminer le régime de propriété de l'eau. La qualité de l'eau distribuée est rapidement devenue un enjeu majeur de santé publique face aux risques d'épidémie.

Dans la lutte contre la pollution et pour la restauration de la qualité des milieux, trois textes législatifs s'appliquent :



- ✓ La loi sur l'eau du 16 décembre 1964 qui a organisé la gestion décentralisée de l'eau par bassin versant. Il s'agit de l'un des principaux textes législatifs régissant la gestion des ressources en eau en France. Cette loi affirme la volonté d'instaurer un équilibre entre l'alimentation en eau potable des populations et les besoins des secteurs de l'agriculture et de l'industrie.
- ✓ La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 consacre l'eau en tant que « patrimoine commun de la Nation ». Elle a renforcé l'impératif de protection de la qualité et de la quantité des ressources en eau. Elle fixe le cadre global de la gestion de l'eau en France, sous tous ses aspects (ressources, police de l'eau, tarification, gestion du service, etc.).
- ✓ La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 dont l'ambition première est de permettre d'atteindre les objectifs de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) d'octobre 2000, en particulier le bon état des eaux d'ici 2015.

Par ailleurs, une grande partie de la réglementation française découle des directives européennes et notamment de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) qui a été transposée en droit français par la loi du 21 avril 2004. La directive organise notamment la gestion de l'eau en s'inspirant largement de ce qui a été fait depuis plusieurs décennies en France.

2. DISPOSITIONS LEGISLATIVES ET REGLEMENTAIRES

Ce point aborde de manière synthétique le cadre juridique de la gestion des eaux. Une description détaillée de ces aspects réglementaires a été réalisée et est jointe en annexes (Annexes A).

2.1. REGLEMENTATION RELATIVE AUX EAUX PLUVIALES

Les dispositions réglementaires relatives à l'assainissement sont éparpillées dans plusieurs codes (notamment le Code civil, le Code de l'urbanisme, le Code Général des Collectivités Territoriales, le Code de la santé publique...), mais aussi dans divers textes de loi et décrets non codifiés, complétés par des circulaires et des instructions techniques. On retiendra [5][38] :

- Les articles 640, 641 et 681 du Code Civil qui permettent de légiférer en matière de ruissellement des eaux de pluies. Ces articles incitent les propriétaires à recourir aux techniques alternatives pour évacuer les eaux pluviales de leur terrain.
- Les dispositions de la Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 imposant une planification de l'eau avec l'élaboration de schémas directeurs (SDAGE et SAGE) ainsi que la délimitation d'un zonage d'assainissement. La police de l'eau est exercée par plusieurs services de l'Etat, regroupés sous

l'autorité du préfet au sein des MISE (Missions Inter-Services de l'Eau). Les MISE interviennent directement dans le domaine de l'eau à l'échelle locale (Département).

- Le Code l'Urbanisme, par l'intermédiaire de nombreux articles, qui assure une liaison entre urbanisme et assainissement. Les documents d'urbanisme réglementaire (PLU) ou outils d'urbanisme opérationnel (ZAC) peuvent favoriser l'usage de ces techniques alternatives.
- La réglementation est également encadrée par des articles du Code de la Santé Publique, du Code de la Voirie Routière et le Code Rural. Par ailleurs, des dispositions spécifiques sont applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement.

2.2. REGLEMENTATION RELATIVE AUX EAUX USEES

En France, les textes de loi concernant la gestion des eaux usées sont nombreux, qu'il s'agisse d'un assainissement collectif ou non collectif. Il se dégage toutefois quelques grands principes en matière d'assainissement, à savoir :

- La directive CEE sur les eaux usées du 21 mai 1991 qui impose depuis 2005 un système d'assainissement collectif dans toutes les collectivités de plus de 2 000 habitants.
- La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 qui exige que tout immeuble d'habitation doit être raccordé à un réseau d'assainissement collectif ou être doté d'un système d'assainissement autonome. Le consommateur supporte la charge de l'assainissement de ses eaux usées.
- Le droit français qui met en œuvre le principe du « pollueur-payeur » pour tous les utilisateurs de l'eau. Le consommateur doit participer à la protection de la ressource puisqu'il contribue à sa pollution par le rejet de ses eaux usées.
- Le Code des Communes qui précise dans l'article L.372-1-1 (aujourd'hui repris à l'article L.2224-8 du Code Général des Collectivités Territoriales) que « les communes prennent obligatoirement en charge les dépenses relatives aux systèmes d'assainissement collectif [...] Elles peuvent prendre en charge les dépenses d'entretien des systèmes d'assainissement non collectif ».

3. CONCLUSION

L'encadrement juridique de gestion des eaux pluviales et des eaux usées relève de nombreuses dispositions législatives et réglementaires très dispersées. Cependant, la réglementation va globalement dans le sens de l'utilisation des techniques alternatives en contraignant les propriétaires immobiliers (Code Civil) et en donnant des moyens d'actions aux collectivités (Code de l'environnement, Code de l'Urbanisme, Code de la santé publique). Les collectivités, aux travers d'instruments de planification comme par exemple le SDAGE et les actions de la police de l'eau (MISE), peuvent mettre en adéquation leurs documents réglementaires d'urbanisme (PLU, carte communale, etc.) et leur règlement d'assainissement pour mener une réelle gestion équilibrée de la ressource en eau dans l'intérêt général.

Le recours aux techniques alternatives doit être privilégié dans les projets d'aménagement, bien évidemment en respectant les contraintes liées à la prévention des risques, et sans compromettre l'objectif de retour au bon état écologique des cours d'eau d'ici 2015.

Ainsi, le contexte juridique, par ses dispositions législatives et incitations financières découlant entre autres de la LEMA, a forcément remis en cause les stratégies habituelles d'assainissement et va favoriser la recherche de solutions alternatives innovantes.

PARTIE 3 : ETAT DES LIEUX DES TECHNIQUES CLASSIQUES

1. TECHNIQUES CLASSIQUES EN EAUX PLUVIALES

1.1. SEPARATEURS A HYDROCARBURES

PRINCIPE

Les séparateurs à hydrocarbures (également appelés déshuileurs) sont des dispositifs destinés à piéger les hydrocarbures et les matières décantables contenus dans les eaux de ruissellement, tels que les huiles, les graisses et autres flottants. D'une manière générale, ils séparent les liquides légers (de densité inférieure à celle de l'eau) de la phase eau, contrairement aux décanteurs ou débourbeurs qui séparent les matières en suspension ou charriées par l'eau, dont la densité est supérieure à l'eau. Toutefois, les déshuileurs ne sont pas dimensionnés pour traiter les MES (cf. définition Partie 4 - §1.1) et assurer une bonne décantation [4].



FIGURE 2 : SEPARATEUR A HYDROCARBURES [39]

Les normes en vigueur préconisent deux classes qui correspondent à la teneur résiduelle maximale d'hydrocarbures avant rejet [6] :

- Classe 1 : Teneur résiduelle < 5 mg/l suivant essai norme EN 858 (Modèle avec filtre coalesceur) ;
- Classe 2 : Teneur résiduelle < 100 mg/l suivant essai norme EN 858 (Modèle avec filtre coalesceur).

Le séparateur à hydrocarbures avec by-pass a les mêmes fonctions qu'un séparateur classique, mais il permet également d'absorber des débits très importants en cas d'orage, environ 5 fois son débit nominal. Le passage dans le séparateur est limité, ainsi quand le débit est supérieur au débit admissible, le niveau monte et passe dans le by-pass, et cela sans perturber le fonctionnement du séparateur [40].

Une cellule coalescente est souvent intégrée afin d'accélérer le processus de séparation gravitaire, en favorisant l'union des microscopiques gouttelettes d'hydrocarbures pour en former de plus grosses plus facilement piégeables. Ce filtre coalesceur, composé de pores, assure en effet une coagulation optimale des hydrocarbures en dispersion fine. Ces derniers sont ensuite retenus en sortie par une cloison siphonide qui sert de piège à flottants et aspire les hydrocarbures. Le séparateur est le plus souvent précédé d'un compartiment de débouage et dessablage, permettant la décantation des particules les plus grossières et protégeant ainsi le séparateur. Des modules lamellaires sont souvent ajoutés. Enfin, un obturateur automatique évite l'évacuation des hydrocarbures vers le réseau en cas de problème (absence d'entretien ou déversement

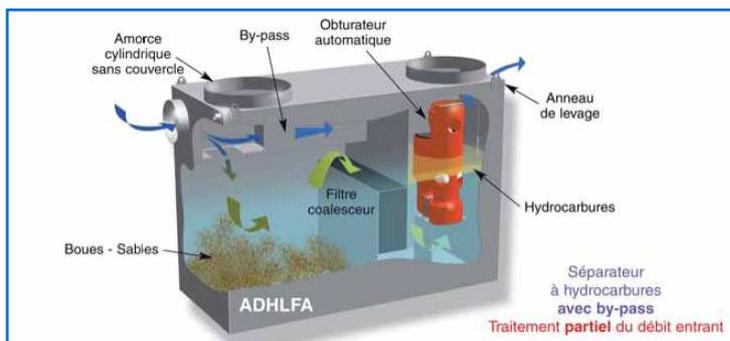


FIGURE 3 : SEPARATEUR A HYDROCARBURES TECHNEAU AVEC BY-PASS [42]

accidentel). Il s'agit d'un clapet monté sur un flotteur taré à la densité des hydrocarbures. Le flotteur suit la couche d'hydrocarbures jusqu'à obturation lorsque la capacité de stockage est atteinte [7][41].

Le séparateur est dans la plupart des cas associé en amont à un décanteur ou débouageur. De nos jours les deux systèmes sont intégrés.

EFFICACITE

Efficacité d'après les constructeurs :

Les principaux constructeurs (Techneau, Franceaux, Simop, Sahler, etc.) annoncent une efficacité épuratoire caractérisée par une séparation souvent supérieure à 95% d'hydrocarbures et ce par rapport aux normes AFNOR en application.

Par exemple, le fournisseur Franceaux affiche les rendements suivants :

Produits FRANCEAUX	Rendement*
POLYBAC NPBCK - Séparateur à hydrocarbures 5 mg/l avec débourbeur	99,88 %
POLYBAC NPBC - Séparateur à hydrocarbures 100 mg/l avec débourbeur	97 %

** pour une teneur résiduelle respectivement < 5 et 100 mg/l en hydrocarbures de densité 0,85, selon norme EN 858-1.*

TABLEAU 1 : EXEMPLE DE SEPARATEURS DU FOURNISSEUR FRANCEAUX [42]

Efficacité réelle :

On constate globalement une diminution de l'efficacité lorsque le débit augmente ou lorsque la teneur en hydrocarbures en entrée est faible.

Pour certaines études, les conclusions sur l'efficacité de ces séparateurs sont positives ; les teneurs en hydrocarbures en sortie sont en effet assez faibles pour ces ouvrages. Pour d'autres expériences, le résultat épuratoire est moins bon et est même très en deçà des rendements annoncés par les constructeurs.

Face aux résultats constatés issus d'expériences réalisées, il apparaît que l'efficacité des séparateurs à hydrocarbures est réelle contre la pollution aux hydrocarbures mais à condition que les hydrocarbures soient libres et en abondance. Ces ouvrages seraient donc adaptés pour intercepter les pollutions massives des stations service, des aires de lavage, des aéroports et des déversements accidentels. Cependant, ces systèmes semblent moins appropriés pour les parkings et les routes où les concentrations piégées restent faibles. En effet, les eaux de ruissellement de chaussées présentent une faible concentration en hydrocarbures libres (< 10 mg/l).

En définitive, les séparateurs seraient donc mieux adaptés au traitement industriel, au traitement des eaux provenant d'une aire de stationnement ou pour lutter contre la pollution accidentelle plutôt qu'au traitement des eaux de ruissellement urbain. Le manque d'expérimentations réelles réalisées sur de longues périodes ainsi qu'un dimensionnement peu fiable des ouvrages semblent indiquer que ces appareils ne répondent pas toujours de façon satisfaisante aux besoins du traitement des rejets urbains par de temps de pluie.

Par ailleurs, le dimensionnement des ouvrages est peu fiable, rendant difficile leur entretien : les séparateurs sont souvent dimensionnés trop petits et pour une densité d'hydrocarbures de 0.8 à 0.9 ne fonctionnant pas pour une densité supérieure à 0.95 [8].

ENTRETIEN ET COUTS

L'entretien des séparateurs d'hydrocarbures consiste essentiellement à vidanger régulièrement le système en boues et en hydrocarbures. Il faut donc prévoir des puits d'accès au séparateur à cet effet. Pour les séparateurs lamellaire ou coalescent, il faudra également nettoyer les blocs lamellaires (jet sous pression). Il subsiste un réel problème de maintenance car les séparateurs sont souvent des ouvrages enterrés et donc difficiles à entretenir. De nombreux dysfonctionnements sont dus à un manque d'entretien : obturateur cassé, ensablement, bac non vidangé...

Le coût des séparateurs varie énormément en fonction du débit de filtration mais aussi de la capacité de stockage en hydrocarbures et boues. Le coût d'investissement d'un séparateur varie de 4 000 à 9 000 € en

fonction de la taille et des modèles [43]. Par exemple, un séparateur à hydrocarbures Hydroclair avec by-pass, débourbeur, filtre à coalescence et obturateur automatique, d'une capacité de 3 l/s de STRADAL (SHDOC3BP), coûte 3 737 €. Pour le même système à 20 l/s (SHDOC20BP), il faut prévoir 8 881 € (Tarifs du 1^{er} février 2009).

L'entretien d'un séparateur à hydrocarbures nécessite un pompage régulier par un prestataire. Le volume pompé représente un peu plus d'une fois le volume du séparateur à hydrocarbures, pour un coût de 130 € HT (transport) auquel est ajouté un coût de 180 € HT par m³ pompé [43].

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Dépollution importante des eaux - Ouvrages invisibles car enterrés - Emprise peu élevée - Entretien simple mais régulier 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de colmatage - Perte d'efficacité avec des pluies importantes, avec des séparateurs sous dimensionnés - Coût élevé du système et de la pose (levage et enterrement)

1.2. DECANTEURS

PRINCIPE

Ces appareils utilisent le procédé physique de séparation des matières en suspension (MES) dans un liquide, telles que les boues, sables voire des hydrocarbures. Les particules, dont la densité est supérieure à l'eau, s'accumulent au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. L'eau clarifiée se situant à la surface est ensuite dirigée vers un filtre. Cette décantation est relativement longue pour les particules très fines qui sont très sensibles aux courants du bac de décantation.

Pour que la décantation puisse se faire correctement, il faut que la vitesse de l'eau soit inférieure à la vitesse de sédimentation des particules (V_s). La vitesse de l'eau est appelée charge hydraulique superficielle ou vitesse de Hazen (V_H) et permet de dimensionner les décanteurs.

- Lorsque la vitesse de sédimentation des particules (V_s) est inférieure à la vitesse de Hazen (V_H), les particules ne sont pas sédimentées et partent avec l'eau vers le filtre.
- Lorsque la vitesse de sédimentation des particules (V_s) est supérieure à la vitesse de Hazen (V_H), les particules sont piégées par le décanteur et s'accumulent au fond du bac.

Par ailleurs, il est important de préciser pour qu'une décantation particulière soit efficace, l'écoulement de l'eau à l'intérieur du décanteur doit être laminaire. L'écoulement turbulent, utilisé dans les séparateurs à hydrocarbures, est à proscrire [40].

Il existe deux types de décantations, détaillés ci-après : la décantation statique (décanteurs horizontaux) et la décantation lamellaire (décanteurs lamellaires)

Les décanteurs horizontaux

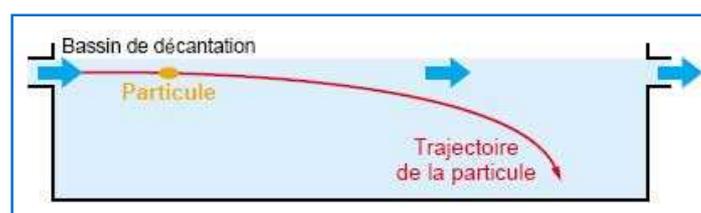


FIGURE 4 : SCHEMA D'UN DECANTEUR HORIZONTAL [40]

Le décanteur horizontal est constitué d'une cuve parallélépipédique : l'eau chargée de MES pénètre à une extrémité et l'eau décantée ressort à l'autre suivant un écoulement horizontal. Elle nécessite une surface de bassin de décantation importante avec une vitesse de sédimentation généralement faible.

Le principe de la décantation à flux horizontal est représenté de manière simplifiée par le modèle de Hazen [4]. Selon ce modèle, une particule de vitesse de chute V_c décantant sur une hauteur H est retenue dans un bassin de longueur L et de surface horizontale S traversé par un débit Q si : $V_c \geq Q/S = V_H$, avec V_H : vitesse de Hazen.

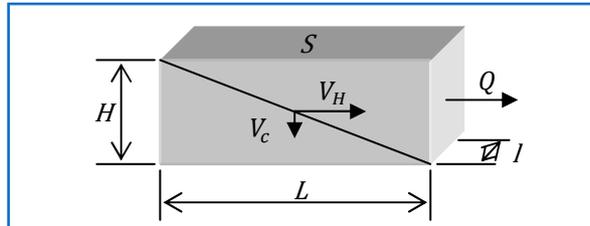


FIGURE 5 : SCHEMA D'UN DECANTEUR A FLUX HORIZONTAL (THEORIE DE HAZEN) [4]

Théoriquement, l'efficacité d'un décanteur horizontal ne dépend que de sa vitesse de Hazen et non de sa hauteur ou de son temps de rétention (soit de 0,5 à 1,5 m/h). Cependant, les particules contenues dans l'eau floculée entrant dans le décanteur présentent toute une gamme de dimensions. Pendant leur parcours dans l'ouvrage les plus petites peuvent s'agglutiner entre elles, c'est le phénomène de coalescence. Leur taille, et donc la vitesse de sédimentation augmente avec le temps. La trajectoire devient de ce fait curviligne et l'efficacité de la décantation dépend donc aussi du temps de rétention [44].

Ainsi, les hypothèses qui sont à la base de la théorie de Hazen sont loin de refléter la réalité. Elles négligent en particulier la turbulence et la dispersion des particules n'est pas prise en compte. Il s'agit pourtant d'un phénomène important dans la plupart des ouvrages de rétention. Pour optimiser le rendement du décanteur on le fait souvent précéder d'un compartiment de tranquillisation dans lequel une sensible diminution de la vitesse de transfert permet la décantation des particules les plus grosses et la coalescence du floc le plus fin.

Décanteurs lamellaires

Il s'agit d'un ouvrage de décantation dans lequel des lamelles parallèles inclinées permettent de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique à flux horizontal. Les décanteurs utilisant des plaques ou des tubes réalisent également une décantation considérable plus rapide que la décantation classique.

La décantation lamellaire est fondée sur le principe de la décantation à flux horizontal. Ainsi, on constate que la décantation d'une particule est liée uniquement au débit Q et à la surface horizontale S , et qu'elle est théoriquement indépendante de la hauteur H de décantation. Si on répartit le débit Q sur n lamelles parallèles de surface unitaire $S_l = S/n$, on obtient une décantation théoriquement identique à celle obtenue dans le bassin de la figure ci-dessus. Afin de pouvoir extraire en continu les solides décantés, et pour des raisons pratiques de fonctionnement et d'exploitation, les lamelles sont inclinées d'un angle α , compris entre 30° et 60° par rapport à l'horizontale selon le type de décanteur. Une telle disposition permet, pour un rendement identique, de construire des ouvrages plus compacts qu'un bassin classique.

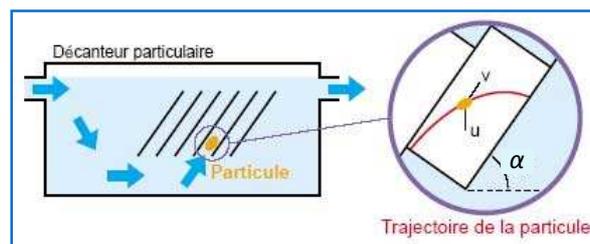


FIGURE 6 : SCHEMA D'UN DECANTEUR LAMELLAIRE [40]

Par analogie avec la théorie de Hazen, et moyennant quelques hypothèses simplificatrices (écoulement laminaire permanent notamment), on peut déterminer la vitesse limite de décantation V_{lim} d'une particule [4] :

$$V_{lim} = \frac{Q}{n \cdot S_L \cdot \cos\alpha}$$

Il existe 3 types de décanteurs lamellaires [4][9] :

Type et Sens d'alimentation	Avantages / Inconvénients	Vitesse limite*
Décanteurs à contre-courant Alimentation par le bas : l'eau et les solides décantés circulent en sens inverse.	- Systèmes les plus fiables car plus performants et plus simples d'un point de vue hydraulique	$V_{lim} = \frac{Q}{n \cdot l \cdot (L \cdot \cos\alpha + e \cdot \sin\alpha)}$
Décanteurs à co-courant Alimentation par le haut : l'eau et les solides décantés circulent dans le même sens.	- Dispositions hydrauliques plus complexes pour évacuer l'eau traitée et pour une reprise correcte des solides décantés - Ouvrages plus hauts et plus coûteux	$V_{lim} = \frac{Q}{n \cdot l \cdot (L \cdot \cos\alpha - e \cdot \sin\alpha)}$
Décanteurs à courant croisés Alimentation latéralement : l'eau et les solides décantés circulent selon des directions perpendiculaires parallèles aux lamelles.	- Ouvrages très compacts et de faible hauteur - Problèmes d'équirépartition hydraulique du débit sur les lamelles	$V_{lim} = \frac{Q}{n \cdot l \cdot L \cdot \cos\alpha}$

**en considérant la longueur de la lamelle (L), sa largeur (l), et l'écartement (e) de deux lamelles voisines*

TABLEAU 2 : LES 3 TYPES DE DECANTEURS LAMELLAIRES

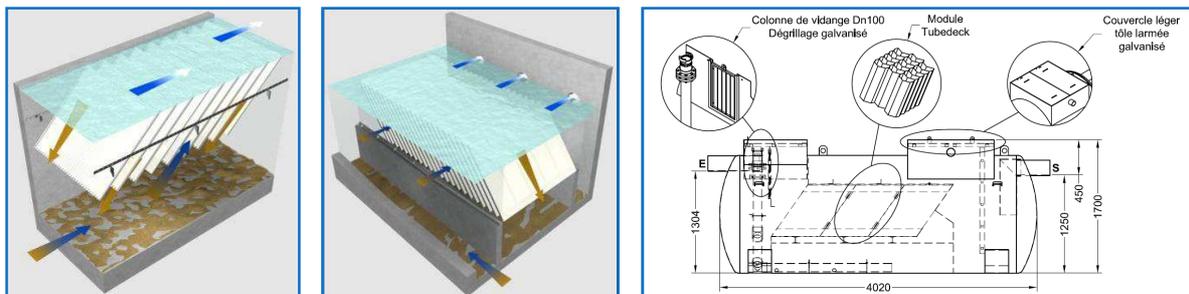


FIGURE 7 : DECANTEURS A CONTRE-COURANT (A GAUCHE), DECANTEURS A COURANT CROISE (AU CENTRE) [45] ET DECANTEUR PARTICULAIRE LAMELLAIRE EN ACIER DE TECHNEAU (A DROITE) [40]

EFFICACITE

Le décanteur particulaire est défini par le débit maximum qu'il peut recevoir et par la charge hydraulique souhaitée. Plus la charge hydraulique est faible et plus le décanteur est efficace pour piéger les MES.

Le rendement de décantation des MES dépendra de la vitesse de chute choisie. Plus la vitesse de chute des particules sera lente, plus le rendement de la décantation sera important. Connaissant le débit nominal Q (ou débit maximum admis) du dispositif ainsi que sa surface de séparation S , on peut facilement déduire la vitesse de chute V_c et donc le rendement épuratoire espéré. Ainsi, le taux d'abattement des MES avec un débit d'entrée régulé est directement fonction de la vitesse de chute retenue pour le dimensionnement :

Vitesse de chute en cm/s	Vitesse de chute en m/h	Rendement en %
0,0003	0,01	100
0,001	0,04	98
0,003	0,1	95
0,014	0,5	88
0,027	1	80
0,14	5	60
0,28	10	40
1,39	50	15
2,78	100	10
13,89	500	7
27,78	1000	5

TABLEAU 3 : TAUX D'ABATTEMENT DES MES SELON LA VITESSE DE CHUTE [10]

ENTRETIEN ET COÛTS

L'entretien devrait idéalement être réalisé après chaque épisode pluvieux afin de ne pas réduire l'efficacité du décanteur et d'éviter les relargages. La récupération des boues peut être effectuée par pompage ou ces dernières peuvent être évacuées directement dans le réseau d'eaux usées s'il n'est pas trop éloigné. Dans tous les cas, les décanteurs doivent être entretenus par une société spécialisée.

Ces ouvrages nécessitent une vidange dans les 6 mois après la mise en service puis au moins une fois par an. Cette opération permet de vérifier les pièces mécaniques de l'ouvrage ainsi que son étanchéité.

Le coût d'un décanteur varie selon le débit d'entrée. Les tarifs de STRADAL oscillent entre 2 900 € pour un décanteur particulaire 3 l/s en béton et 6 700 € pour un décanteur particulaire 20 l/s dans le même matériau. Le coût d'un décanteur lamellaire est quant à lui plus onéreux et peut être jusqu'à 5 à 8 fois supérieur au décanteur particulaire.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Dépollution efficace des eaux - Systèmes fiables et simples (peu de mécanique) - Ouvrages compacts (cas des décanteurs horizontaux) - Entretien relativement facile 	<ul style="list-style-type: none"> - Emprise au sol importante (décanteurs horizontaux) - Problèmes de répartition homogène des débits (décanteurs lamellaires) - Coûts élevés pour les décanteurs lamellaires

1.3. DEBOURBEURS

PRINCIPE

Les déboueurs sont des dispositifs destinés à retenir les solides les plus facilement décantables contenus dans un effluent grâce à une décantation rapide et sommaire. Sont donc concernées les particules grossières (supérieures à 200 µm) plus denses que l'eau.

Cette décantation est rendue possible par une réduction des vitesses d'écoulement liée le plus souvent à un élargissement de la section d'écoulement. Les dispositifs les plus classiques sont les déboueurs cylindriques préfabriqués, installés soit horizontalement soit

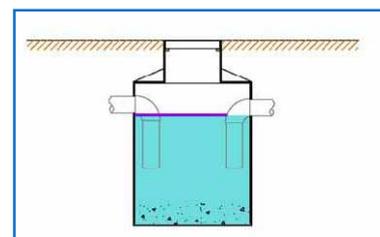


FIGURE 8 : SCHEMA TYPE D'UN DEBOURBEUR [46]

verticalement. Ils peuvent être munis de grilles ou de cloisons siphonides pour retenir également des objets flottants de dimensions supérieures à quelques centimètres. Les débourbeurs sont le plus souvent installés en tête d'un traitement plus poussé vis-à-vis duquel ils font office de prétraitement, ou pour assurer une protection d'équipements situés immédiatement à l'aval et sensibles aux dépôts ou aux fortes concentrations en MES [4].

EFFICACITE

Ces ouvrages ont pour objectif de piéger les particules grossières plus denses que l'eau. Si l'on considère le traitement de la pollution chronique, ces ouvrages ont une efficacité très minime. En effet, la décantation des particules supérieures à 200 µm peut, au maximum, traiter 20 % de la DCO (cf. définition Partie 4 - §1.1), des hydrocarbures, et 50 % des éléments traces métalliques : ce rendement est très faible en comparaison des rendements attendus des ouvrages classiques [46].

ENTRETIEN ET COÛTS

Comme pour les séparateurs, les débourbeurs doivent être vidés régulièrement des boues. En effet, tous les débourbeurs ont une capacité limitée de rétention.

Le coût d'un débourbeur varie de 1 000 à 3 000 € HT et son entretien est compris entre 150 et 200 € HT à raison de 2 fois par an au maximum.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Coûts faibles du système - Invisible (enterré) - Empêche de colmater les réseaux - Emprise faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne dépollue pas l'eau - Entretien régulier (surtout après des épisodes orageux) - Coûts de pose élevés (levage et enterrement)

1.4. AUTRES SYSTEMES

1.4.1. DECANTEURS-DESHUILEURS

Ces ouvrages ont une double vocation : ils décantent les particules plus lourdes que l'eau et retiennent les particules moins denses que l'eau comme les hydrocarbures. Ce sont généralement ces ouvrages qui sont utilisés dans le traitement des eaux de ruissellement routières [46].

1.4.2. DEGRILLEURS

Il s'agit d'un ouvrage spécial constitué par un, deux ou trois niveaux de grilles à barreaux de plus en plus serrés ou de tamis à mailles de plus en plus fines, destiné à arrêter les éléments les grossiers transportés par l'eau, quel que soit le mode de transport (flottation, suspension ou charriage). Les dégrilleurs sont systématiquement utilisés à l'entrée des stations d'épuration. Leur utilisation se développe également à l'amont immédiat des déversoirs d'orage de façon à limiter le rejet d'objets flottants (bouteilles, sacs plastiques...). On en place également à l'amont des ouvrages comportant des pièces mobiles ou susceptibles de s'obstruer : siphons, stations de pompes... [4].

1.4.3. DESSABLEURS

Un dessableur est un ouvrage spécial constitué d'une chambre permettant le piégeage des particules les plus grossières qui sont transportées par charriage et par saltation. Le concept traditionnel de chambre de dessablement de grande dimension est actuellement remplacé par celui de chambre de dimension plus réduite (quelques dizaines de mètres cubes au maximum), éventuellement partiellement couverte, située dans le

radier des conduites. Cette solution limite en particulier la remise en suspension des sédiments pendant les périodes de fort débit dû aux précipitations ainsi qu'une meilleure sélection des solides interceptés (piégeage préférentiel des minéraux les plus grossiers). Le fait que le dessableur recueille moins de matières organiques, associé à une périodicité plus grande de curage (lié à une dimension plus réduite), limite les nuisances olfactives souvent associées à ce type d'ouvrage. L'utilisation des dessableurs est cependant limitée par des difficultés de curage en zone urbaine [4].

1.5. CONCLUSIONS SUR L'EFFICACITE DES OUVRAGES

1.5.1. LES SEPARATEURS A HYDROCARBURES

Il est désormais admis, y compris par les constructeurs de dispositifs compacts, que les séparateurs d'hydrocarbures ne sont pas pertinents pour piéger des pollutions pluviales chroniques, qu'il s'agisse de ruissellement routier, de parking, ou a fortiori de quartiers d'habitat. Deux points sont à souligner :

- La plupart de ces systèmes garantissent 5 mg/l d'hydrocarbures en sortie. Mais il est rare d'observer de telles quantités en entrée (ex : Autoroute A11, 24000 véhicules/jour, 44 pluies mesurées, moyenne : 1,2 mg/l, écart type de 0,94 [11]). Ainsi les rendements mesurés sur ces dispositifs pour la pollution chronique des eaux de ruissellement sont faibles [10]. Si l'objectif est de piéger des hydrocarbures présents en quantité inférieures à 5 mg/l, ce n'est pas le système adapté.
- Les séparateurs sont également conçus, en théorie, pour décanter. Mais dans la pratique, ils sont capables de relarguer. Les rendements négatifs peuvent être donc fréquents. Ces dispositifs sont plutôt à réserver, moyennant un entretien régulier, à certains rejets industriels de temps de pluie tels que les stations services.

Le séparateur peut garder un intérêt comme rempart vis-à-vis d'une pollution accidentelle, mais d'autres systèmes seront souvent plus adéquats [12].

1.5.2. LA SIMPLE DECANTATION

Un grand nombre d'études a démontré la bonne décantabilité des effluents unitaires [13]. Ceci légitime l'emploi de solutions de décantation pour des eaux unitaires. Par contre, pour des eaux strictement pluviales, la simple décantation comporte des limites [12] :

- Limites liées à l'emprise, dans la mesure où l'essentiel de la pollution, y compris les hydrocarbures, sont fixées sur des particules fines. L'approche par simple décantation peut donc conduire à imperméabiliser des surfaces disproportionnées au regard de la pollution chronique véhiculée par la pluie ;
- Limites liées à l'entretien : Le curage des décantats doit être régulier pour éviter les relargages, or c'est une opération délicate (taille des bassins, protocole de vidange, fragilité du système d'étanchéité...).

1.5.3. LES DECANTEURS LAMELLAIRES

Ces décanteurs lamellaires sont adaptés au piégeage de particules fines, et sont donc efficaces sur la pollution pluviale chronique à condition d'être surveillés et entretenus plusieurs fois par an. Une de leur limite réside toutefois dans leur coût, de l'ordre de dix fois supérieur à celui d'un séparateur [12].

1.5.4. CONCLUSION

Les débourbeurs et les déshuileurs n'ont pas un rendement assez satisfaisant pour être utilisés comme ouvrages de traitement de la pollution d'origine routière. Seuls les décanteurs-déshuileurs peuvent prétendre à un rendement théorique satisfaisant qui soit compatible avec les objectifs de traitement de la pollution des eaux de ruissellement [46].

2. TECHNIQUES CLASSIQUES EN EAUX USEES

2.1. ASSAINISSEMENT COLLECTIF : STATION D'EPURATION

PRINCIPE

Les eaux usées sont acheminées jusqu'à une station d'épuration (STEP), qui se situe le plus souvent à l'extrémité du réseau de collecte. L'eau est alors en partie traitée avant d'être rejetée dans le milieu naturel.



FIGURE 9 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION D'EPURATION [47]

Une station d'épuration rassemble une succession de procédés qui permettent, petit à petit, de purifier l'eau.

Les prétraitements

Les dispositifs de prétraitements ont pour but d'éliminer les éléments solides ou particuliers les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements : déchets volumineux (dégrillage), sables (dessablage) et corps gras (dégraissage - déshuilage).

Le dégrillage consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux retiennent les éléments les plus grossiers. Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels ou automatiques, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères. Le tamisage, qui utilise des grilles de plus faible espacement, peut parfois compléter cette phase du prétraitement.

Le dessablage et le déshuilage-dégraissage consistent ensuite à faire passer l'eau dans un premier bassin où les matières plus lourdes que l'eau (sables, graviers,...) se déposent au fond, puis elle passe dans un deuxième bassin, où les graisses seront récupérées en surface. L'injection des microbulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses. Les sables sont récupérés par pompage alors que les graisses sont raclées en surface. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 μm ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales) [47].

Les traitements primaires et physico-chimiques

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension.

Dans le traitement primaire, on utilise surtout des procédés physiques (décantation) et parfois des procédés physico-chimiques (coagulation-floculation) pour éliminer une partie des matières en suspension. Ces traitements consistent à éliminer environ 70 % des matières en suspension dans un bassin de décantation. Les traitements physico-chimiques permettent d'agglomérer ces particules par adjonction d'agents coagulants (chlorure ferrique) et floculants (sels de fer ou d'alumine, chaux...). L'effet conjugué des deux produits favorise la concentration des matières en suspension sous forme de « floccs ». Ces matières en suspension se déposent au fond du bassin et sont ensuite récupérées par raclage du fond du bassin [48].

Les traitements biologiques

Il consiste à reproduire, mais en accéléré, le processus naturel qui existe dans les rivières. Les eaux arrivent dans un bassin où se sont développées des bactéries. Ces êtres vivants microscopiques vont digérer les impuretés et les transformer en boues. Ces techniques se réalisent avec oxygène (aérobies) ou sans oxygène (anaérobies). En France, c'est le procédé des boues actives (avec oxygène) qui est le plus répandu [49].

La décantation secondaire

La décantation secondaire assure la séparation des boues biologiques et de l'eau. Les boues décantent au fond du clarificateur dont une partie réalimente les bassins d'aération. Le clarificateur permet une dépollution à environ 90 %. L'eau épurée restée en surface est rejetée au milieu naturel [50].

EFFICACITE

Les abattements moyens réalisés par les STEP sont estimés à 95% pour la DBO5, de 90% pour la DCO et de 94% pour les MES (cf. définitions Partie 4 - §1.1).

ENTRETIEN ET COÛTS

L'investissement peut être évaluée à 380 €/EH pour une station de 2 000 EH, à 250 €/EH pour une station de 50 000 EH et à 220 €/EH pour une station de 100 000 EH [1]. A titre d'exemple, pour illustrer ces chiffres, la station d'épuration de Haguenau (Bas-Rhin), mise en service en 2004, dimensionnée pour une capacité de 57 500 EH, a nécessité un investissement de 12,2 M€ HT, soit un coût moyen de 212 €/EH.

Les coûts de fonctionnement d'une station d'épuration sont fonction de la taille de l'ouvrage et des traitements qui y sont réalisés. Ces coûts se répartissent sommairement de la façon suivante : Les frais du personnel (entretien, contrôle...), les frais énergétiques (pompes, soufflantes d'air et brassage) et les frais de traitement des boues.

Pour les stations d'épuration biologique classiques de moins de 20 000 EH, le coût est de l'ordre de 15 à 25 €/EH. Pour le même type de stations de 20 000 à 50 000 EH, le coût peut varier de 8 à 15 €/EH.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Très bonnes performances épuratoires- Relativement faible emprise au sol au regard de la capacité de traitement de ce type de station- Possibilité de réaliser des installations closes (lutte contre les odeurs et les bruits)	<ul style="list-style-type: none">- Coût élevé des installations (investissement et exploitation)

2.2. ASSAINISSEMENT NON COLLECTIF (AUTONOME)

2.2.1. FOSSES SEPTIQUES

PRINCIPE

Une fosse septique est un élément préfabriqué en béton ou en matière plastique, constitué d'au moins deux compartiments. Le premier compartiment a pour but de permettre une décantation des MES contenues dans les eaux usées ainsi qu'une fermentation des boues. La fermentation s'effectue grâce à des micro-organismes anaérobies et s'accompagne d'un dégagement de méthane, d'anhydride carbonique, d'hydrogène

sulfuré, etc. Ces gaz doivent être évacués par une conduite spécifique terminée par un extracteur. Le deuxième compartiment n'est là que pour l'évacuation des eaux en empêchant le passage des boues décantées ou des matières flottantes [4].

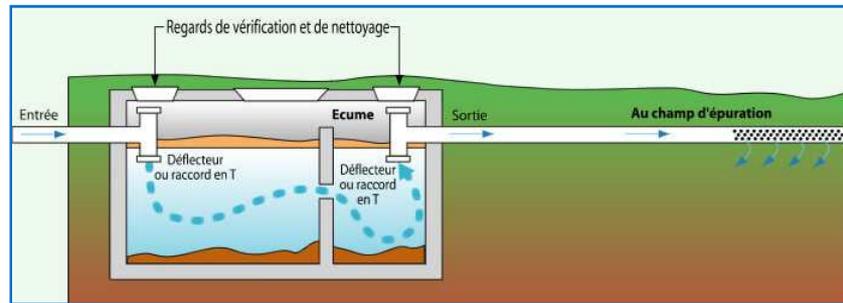


FIGURE 10 : SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE FOSSE SEPTIQUE [51]

EFFICACITE

Les rendements moyens obtenus dans une fosse septique varient de 50 à 60% pour la DBO5, de 45 à 50% pour la DCO et de 65 à 80% pour les MES.

ENTRETIEN ET COUTS

La vidange de la fosse doit se faire maximum tous les 4 ans, pour éviter son colmatage (vidange de la partie superficielle de la fosse et vidange des boues). Toutefois, une petite fraction des boues, ainsi que l'eau interstitielle chargée en bactéries, doivent être laissées en place après vidange pour un redémarrage rapide des bactéries.

La fourniture et la pose d'une fosse revient environ à 3 000 à 5 000 €. A titre d'illustration, STRADAL commercialise des fosses toutes eaux de 3 200 L à 2 200 € HT et celles de 6 200 L à 4 050 €.

Le coût moyen de fonctionnement est de 135 € HT annuel pour une fosse de 3 m³ [1].

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Fréquence de vidange des boues espacée - Prétraitement assez efficace - Plus économiques que le raccordement au réseau collectif - Exploitation aisée 	<ul style="list-style-type: none"> - Problèmes sanitaires, en particulier pour l'irrigation - Pollution des nappes phréatiques - La cuve nécessite une grande quantité d'eau pour chasser les déchets qui l'encombrent - Plus cher que la plupart des systèmes d'assainissement individuel - N'élimine que très peu la pollution - Risques d'odeurs

2.2.2. DECANTEUR-DIGESTEUR

PRINCIPE

Un décanteur-digester est un ouvrage de prétraitement qui assure la décantation des matières en suspension et la digestion anaérobie de la fraction organique des boues décantées. La digestion (ou fermentation) est plus ou moins avancée selon le temps de séjour des particules solides décantées. Il peut recevoir l'ensemble des eaux usées domestiques (eaux de lessive, de cuisine, de nettoyage de locaux, des sanitaires, etc.).

Il se présente sous la forme d'un élément préfabriqué en béton ou en matière plastique, constitué de deux compartiments superposés. Cette conception permet de diminuer l'encombrement au sol par rapport à une fosse septique. Ceci explique que les décanteurs-digesteurs sont plutôt adaptés à l'assainissement groupé où les volumes à traiter sont plus importants que pour l'assainissement individuel [4].

Le décanteur-digester réalise ainsi simultanément deux fonctions : une fonction mécanique de séparation des matières lourdes en suspension qui sédimentent et forment progressivement les boues ; une fonction biologique avec la fermentation des éléments organiques grâce aux enzymes sécrétés par les bactéries naturellement présentes.

EFFICACITE

Les décanteurs-digesteurs permettent un abattement de 30% de la DBO5 et une élimination de 50% des MES. Le système ne permet aucun traitement sur les matières azotées et phosphorées et l'abattement bactériologique est nul.

ENTRETIEN ET COUTS

Les décanteurs-digesteurs nécessite un investissement de 400 €/EH (pour 50 à 500 EH), 150 €/EH (pour 500 à 1000 EH) et 90 €/EH (pour plus de 1000 EH).

Le fonctionnement du décanteur-digester doit être vérifié régulièrement. On procédera à une vidange de celui-ci tous les 6 mois et les boues seront évacuées. L'entretien peut être estimé de la façon suivante : 3 à 5 €/EH (moins de 200 EH), 5 à 8 €/EH (de 200 à 500 EH).

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Faibles coûts d'investissement et d'exploitation- Bonne stabilisation des boues- Absence de septicité de l'effluent traité	<ul style="list-style-type: none">- Efficacité limitée- Peu adapté pour les surcharges hydrauliques- Risques d'odeurs



FIGURE 11 : DECANTEUR-DIGESTEUR HORIZONTAL DE SEBICO [52]

2.2.3. MICRO STATION D'ÉPURATION

PRINCIPE

La micro station à boues activées fonctionne sur le principe d'une oxygénation forcée de ces dernières. L'effluent arrive directement, sans bac dégraisseur, dans la cellule d'activation où s'opère une oxygénation favorisant le développement des bactéries aérobies (en présence d'oxygène) contrairement aux micro-organismes anaérobies des fosses toutes eaux qui produisent des gaz sulfurés (mauvaises odeurs). Cette oxygénation est réalisée par une turbine de surface entraînée par un moteur électrique. L'effluent traité se sépare de la plus grande partie de ses boues dans le clarificateur. Ces boues déposées sont recyclées partiellement. Les matières résiduelles minéralisées encore en suspension, sont stockées dans le clarificateur et devront être évacuées. Les eaux purifiées débouchent dans l'exutoire par l'intermédiaire d'un regard de prélèvement [53].

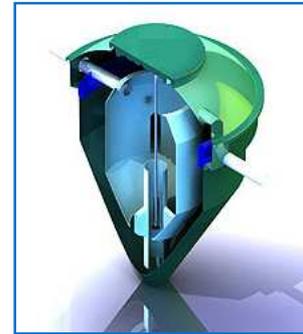


FIGURE 12 : MICRO STATION D'ÉPURATION WPL DIAMOND [54]

EFFICACITE

Les abattements sont estimés à 95% pour la DBO5, de 90% pour la DCO et de 92% pour les MES [55].

ENTRETIEN ET COUTS

Ces micro stations nécessitent un investissement de 4 700 € HT pour un système conçu pour 1 à 20 EH [54].

Les micro-stations d'épuration domestiques typiques nécessitent un enlèvement de boues partiel tous les 3 à 5 ans. L'exploitation du système doit aussi prendre en compte les frais de consommation électrique.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Faible emprise au sol- Facilité d'utilisation- Meilleur rendement qu'une fosse septique- Pas de dégagement d'odeurs	<ul style="list-style-type: none">- Entretien régulier- Des coupures électriques prolongées et les variations de charge en eaux usées nuisent gravement aux performances

2.2.4. AUTRES SYSTEMES

BACS A GRAISSES

Le bac à graisse est un appareil destiné à séparer gravitairement par flottation les graisses non solubles dans l'eau. Un système de siphon ou de cloison siphonée permet de retenir les graisses en surface. Elles peuvent ensuite être écumées. Il est utilisé en prétraitement dans les installations autonome dans au moins deux cas : une production importante de graisses ou une distance importante (10 à 15 m) entre le lieu de production des graisses et le lieu de traitement. Dans ce cas, il s'agit d'éviter une obstruction des canalisations par solidification des graisses, notamment en périodes de basses températures.

Les bacs à graisses comportent généralement 3 compartiments : le premier est muni d'un panier perforé permettant de retenir les éléments grossiers, le deuxième sert à la rétention des huiles et des graisses par flottation et le troisième évacue les eaux [4].

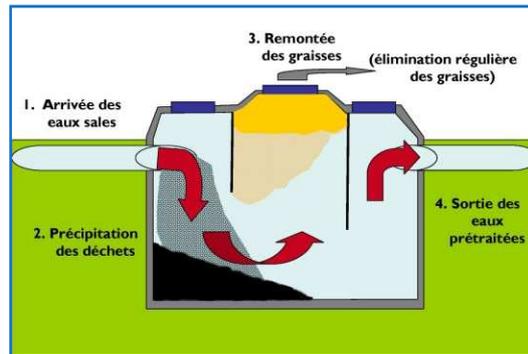


FIGURE 13 : SCHEMA D'UN BAC A GRAISSE [56]

Le volume nécessaire est de 200 à 500 litres, selon qu'il s'agit de traiter les eaux de cuisine seules ou toutes les eaux ménagères. L'ouvrage doit être implanté dans un endroit accessible et les tampons doivent être visibles pour les vidanges. Un nettoyage trimestriel est nécessaire pour une habitation.

PREFILTRES

Il s'agit d'un équipement de prétraitement dans les installations d'assainissement autonome. Le préfiltre se présente sous la forme d'une boîte remplie de graviers de 7 à 15 mm de diamètre. Il assure une simple filtration des effluents. Le préfiltre peut être installé à l'aval d'une fosse septique pour prévenir du colmatage d'un système d'épuration. L'ouvrage doit être implanté dans un endroit accessible. Un nettoyage régulier est nécessaire, sa fréquence doit être adaptée à la vitesse du colmatage [4].

Le volume nécessaire dépend du nombre de pièces principales : 200 litres pour 1 à 3 pièces, 500 litres pour 4 à 5 pièces et 1000 litres pour plus de 6 pièces.

2.3. CONCLUSIONS SUR L'EFFICACITE DES OUVRAGES

2.3.1. LES STATIONS D'EPURATION

Après plus de 4 ans de recherche sur 21 stations d'épurations représentatives du parc français, le programme de recherche AMPERES, lancé en 2006 par le Cemagref et Suez Environnement, vient de livrer ses résultats sur l'identification des micropolluants et l'efficacité des traitements sur les stations existantes.

Si les résultats sont qualifiés de « satisfaisants », les stations actuelles laissent encore passer beaucoup trop de polluants. S'agissant du traitement des substances prioritaires définies par la directive cadre européenne, les stations d'épuration éliminent déjà une part importante des substances (arrêt de 85% ces molécules). Des efforts restent à faire sur les autres substances étudiées, rejetées dans les eaux usées [57].

Finalement, 15 % des substances prioritaires, 30 % des molécules organiques et 90 % des substances pharmaceutiques se retrouvent dans les rejets en sortie de stations d'épuration conventionnelles en raison de leurs propriétés physico-chimiques et de leur concentration élevée en entrée de stations d'épuration. Une dizaine de substances préoccupantes ont également été identifiées comme pouvant conduire à un dépassement des normes lorsque le débit du cours d'eau récepteur est très faible [58].

2.3.2. LES SYSTEMES AUTONOMES

Les systèmes d'assainissement autonome peuvent être efficaces contre la pollution organique, contre les matières en suspension et les germes. Ils le sont moins pour le traitement de l'azote produit par les déjections humaines. La qualité de leur conception, leur dimensionnement et leur entretien conditionnent leur efficacité pour la protection du milieu naturel [59].

PARTIE 4 : TECHNIQUES ALTERNATIVES EN EAUX PLUVIALES

1. NATURE ET CARACTERISTIQUES DES EAUX PLUVIALES

1.1. DEFINITION DES PRINCIPAUX PARAMETRES DE POLLUTION

- **Les matières en suspension (MES)** : Ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Les effets négatifs des matières en suspension sont notamment l'augmentation de la turbidité de l'eau, le ralentissement du processus de photosynthèse et la création de dépôts propices aux fermentations consommant de l'oxygène [1].

- **La demande biochimique en oxygène (DBO)** : Quantité d'oxygène à fournir nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Ce paramètre traduit la consommation d'oxygène relative au phénomène d'auto-épuration. On utilise généralement la DBO5 comme indicateur de la quantité de pollution biodégradable contenue dans l'eau. Elle se mesure par l'oxygène consommée après 5 jours d'incubation dans l'obscurité de l'échantillon à 20°C [60].

- **La demande chimique en oxygène (DCO)** : Quantité d'oxygène consommée, par l'ensemble des matières oxydables chimiquement contenues dans l'effluent, qu'elles soient biodégradables ou non. Le rapport DCO/DBO5 donne une indication sur la biodégradabilité des effluents. Pour un rapport inférieur à 3, l'effluent est facilement biodégradable ; au delà de 5, l'effluent est difficilement biodégradable.

- **Les hydrocarbures totaux (Hc)** : Le taux d'hydrocarbures (Hc) est la quantité d'hydrocarbures présente par litre d'eau. Ces polluants (essence, pétrole, mazout, huiles...), qui sont nocifs pour le milieu naturel et ses écosystèmes, résultent de l'activité humaine.

- **Les métaux lourds : Plomb (Pb), Zinc (Zn), Cadmium (Cd), Cuivre (Cu)** : Métaux dont la masse volumique est supérieure à 5 g/cm³. On considère que le plomb, le cuivre ou le zinc sont les plus nocifs.

1.2. QUANTITES DE POLLUTION SELON LA PROVENANCE DES EAUX

Les eaux pluviales constituent l'essentiel des eaux de ruissellement. Avant d'arriver dans les réseaux ou au milieu naturel, elles se chargent de pollution en deux étapes, dans l'atmosphère (non négligeable pour les hydrocarbures et les métaux lourds) puis lors du ruissellement sur les surfaces. C'est pourquoi les quantités de polluants varient en fonction des conditions météorologiques et du type d'occupation des sols. Nous distinguerons deux types de surfaces, d'une part les voiries et les parkings, et d'autre part les toitures et les espaces verts.

1.2.1. EAUX DE VOIRIE ET DE PARKING

Les eaux de voirie et de parking sont polluées par les sources suivantes :

- Essences, pots catalytiques : Plomb, nickel, cobalt, platine, palladium, rhodium, HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), MTBE (méthyl-tertiobutyl éther) ;
- Freins : Cuivre, chrome, nickel, plomb, zinc, fer ;
- Pneus : Zinc, plomb, cuivre, chrome, nickel, cadmium ;

- Revêtement des routes : Nickel, manganèse, plomb, chrome, zinc, arsenic, HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) ;
- Entretien des voiries : Pesticides, sels ;
- Pollution naturelle : feuilles, déjections d'animaux, poussières...

1.2.2. EAUX DE TOITURES ET D'ESPACES VERTS

Généralement, on considère les eaux ruisselant sur les toitures et les espaces verts comme peu polluées du fait que les toitures concentrent moins de fines, de métaux et d'hydrocarbures que les voiries. Ces eaux sont donc autorisées à être infiltrées.

Les eaux de toitures et d'espaces verts sont polluées par les sources suivantes :

- Lessivage atmosphérique : Pesticides (ex : atrazine) ;
- Toitures :
 - Pollution naturelle : feuilles, déjections d'animaux, poussières, mousses... ;
 - Isolation de toits plats : Pesticides (ex : mécoprop) ;
- Revêtements avec métaux lourds, ferblanterie, façades : Cuivre, zinc, plomb, étain ;
- Sol naturel ou végétalisé : Débris végétaux, déjections animales, engrais, pesticides, particules de terre.

LES EAUX DE TOITURES

Les eaux pluviales peuvent ruisseler sur divers matériaux (toits végétalisés, toits avec graviers, toits à tuiles, toits métalliques...). Il convient d'évaluer les propriétés des eaux pluviales dans chaque cas de figure. Toutefois, on peut dégager plusieurs degrés de pollution en fonction de la nature du toit :

- Pollution faible pour les toits verts, toitures en matériaux inertes non métalliques, toits en verre, terrasses ;
- Pollution moyenne pour les toitures composées principalement avec une part normale d'équipements métalliques : cuivre, zinc, étain, plomb ;
- Pollution élevée pour les toits à forte proportion d'éléments métalliques sans revêtement protecteur en cuivre, en zinc, en étain ou en plomb [61].

LES ESPACES VERTS

Les espaces verts occupent une place croissante dans l'urbanisation des villes. Néanmoins, l'entretien de ces espaces passe de nos jours par l'utilisation de produits phytosanitaires comme les pesticides pour soigner ou prévenir les maladies des organismes végétaux et les herbicides pour la destruction de plantes indésirables. L'essentiel des produits phytosanitaires aboutissent dans les sols où ils subissent des phénomènes de dispersion. Les risques pour l'environnement sont d'autant plus grands que ces produits sont toxiques, utilisés sur des surfaces et à des doses/fréquences élevées.

Par contre, les collectivités ont tendance à mettre en place une politique « Zéro Phyto », à l'image de la Communauté Urbaine de Strasbourg depuis fin 2007. Cette politique consiste à ne plus employer de produits phytosanitaires qui constituaient l'une des sources de pollution par les pesticides.

1.2.3. CONCENTRATIONS MOYENNES

Le tableau ci-dessous indique des valeurs moyennes annuelles de charges et de concentrations déversées par des réseaux séparatifs (Etude de 10 bassins versants en Ile de France).

Paramètre	Concentrations des eaux de voirie et parkings [14]	Concentrations des eaux de toitures [15][16][17][62]
MES (mg/l)	235	6 à 14
DCO (mgO ₂ /l)	180	12 à 73
DBO5 (mgO ₂ /l)	25	2 à 13
Hydrocarbures (mg/l)	5.5	/
Pb (mg/l)	0.35	0.07 à 2.46

TABLEAU 4 : CHARGES ET CONCENTRATIONS DES EAUX DE RUISSELLEMENT PLUVIAL DE VOIRIE, PARKING, TOITURES ET ESPACES VERTS

1.3. DEFINITION DES TYPES DE POLLUTION

Il y a trois types de pollution qui concernent les eaux pluviales : la pollution chronique qui est inévitable, la pollution accidentelle qui résulte d'un événement non prévu, localisé dans le temps et l'espace, et enfin la pollution saisonnière.

1.3.1. POLLUTION CHRONIQUE

La pollution chronique est liée essentiellement au trafic automobile mais également à l'infrastructure routière (usure de la chaussée, corrosion des équipements de sécurité et de signalisation...) [18]. A cette pollution s'ajoutent les débris de consommation humaine (papier, plastique, verre...), les débris et rejets organiques (végétaux ou animaux), l'érosion des surfaces naturelles.

Les apports d'eaux pluviales de ruissellement dans le milieu naturel peuvent entraîner deux types de conséquences dommageables : d'une part les effets cumulatifs, et d'autre part les effets de choc.

- **Les effets cumulatifs** : Les déversements répétés de matières en suspension et l'adsorption de certains polluants au sein de ces sédiments peut être un facteur contribuant à la dégradation du milieu naturel. Ainsi, par définition les effets cumulatifs s'opèrent sur de longues périodes (toxiques, solides, nutriments...) [19]. Les rejets annuels peuvent être estimés à partir du tableau tiré du guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales [20] :

Paramètre	Rejets pluviaux lotissement - parking - ZAC (kg/ha/an)	Rejets pluviaux zone urbaine dense ZAC importante (kg/ha/an)
MES	660	1000
DCO	630	820
DBO5	90	120
Hydrocarbures totaux	15	25
Métaux	1	1.3

TABLEAU 5 : MASSES DE POLLUANTS REJETEES DANS LES EAUX DE RUISSELLEMENT (EN KG/HA/AN) [19]

- **Les effets de choc** : Lors d'orages sur les secteurs imperméabilisés, le ruissellement des eaux de pluie peut amener des quantités non négligeables de polluants dans le milieu naturel sur un court laps de temps, notamment après une longue période de temps sec (concentrations importantes des eaux en polluants). En général, un épisode pluvieux de fréquence annuelle apporte environ 5 à 10% de la masse totale annuelle. Ainsi, des effets de chocs peuvent être dus à une augmentation brutale de la concentration d'un produit toxique, de la turbidité, des colonies bactériennes... ou à une chute du taux d'oxygène dissous contenu dans l'eau.

Paramètre	Episode pluvieux de fréquence annuelle (kg/ha imperméabilisé)	Episode pluvieux plus rare 2 à 5 ans (kg/ha imperméabilisé)
MES	65	100
DCO	40	100
DBO5	6.5	10
Hydrocarbures totaux	0.7	0.8
Métaux	0.04	0.09

TABEAU 6 : MASSES DE POLLUANTS (EN KG) VEHICULEES PAR HECTARE DE SURFACE IMPERMEABILISEE (TOITURES ET CHAUSSEES) POUR DES EVENEMENTS DE 6 MOIS A 5 ANS DE PERIODE DE RETOUR [19]

1.3.2. POLLUTION ACCIDENTELLE

La pollution accidentelle est essentiellement consécutive à un accident de circulation au cours duquel sont déversées des matières polluantes voire dangereuses en quantité supérieure à la normale, avec des conséquences plus ou moins graves sur la ressource en eau, selon la nature et la quantité du produit déversé [18].

1.3.3. POLLUTION SAISONNIERE

La pollution saisonnière est surtout caractérisée par des rejets liés à la viabilité hivernale (fondants routiers : chlorures de sodium, chlorures de calcium...) ou à l'utilisation de produits phytosanitaires d'entretien (désherbants, désherbants sélectifs, débroussaillants, ralentisseurs de croissance...).

2. TECHNIQUES DE DEPOLLUTION

On dénombre trois grands mécanismes de traitement des pollutions employés dans les techniques alternatives : la décantation, la filtration et la phyto-remédiation [63].

2.1. DECANTATION

La décantation est une méthode de séparation des MES dans un liquide sous l'effet d'une force (pesanteur et/ou force centrifuge). Pour une décantation optimale, on cherche lors de la conception des ouvrages à :

- Réduire la vitesse d'écoulement (une augmentation de la section d'écoulement diminue la vitesse) ;
- Diminuer la hauteur de chute des particules ;
- Augmenter le temps de séjour dans le bassin.

2.2. FILTRATION

Le principe de la filtration consiste à faire passer l'effluent à travers un filtre qui piège les particules. Dans les techniques alternatives, la fonction de filtre est remplie par les différents matériaux ou structures suivants :

- Les dégrilleurs qui retiennent les très grosses particules, les flottants ;
- Des couches de matériaux drainant (roulés, concassés, graviers...) qui retiennent les particules plus petites ;
- Le sol (terre végétale, sable...) qui constitue un très bon filtre dans les techniques d'infiltration (très fines particules).

La pollution particulaire est donc stoppée et s'accumule lors du passage de l'eau à travers ces pseudo-filtres.

Il faut savoir que les particules sont retenues lors de la filtration selon plusieurs modes d'actions : par tamisage (effet passoire), par sédimentation (dépend du poids de la particule), par interception directe (dépend du diamètre de la particule), par diffusion (mouvement aléatoire de la particule dans un fluide et dépendant de la température). La complémentarité de ces modes d'action fait de la filtration par interception une très bonne technique de dépollution permettant de traiter des particules très petites.

2.3. PHYTO-REMEDIATION OU DEPOLLUTION PAR LES PLANTES

Certaines espèces de plantes, outre leur contribution paysagère, permettent une action de dépollution efficace. On distingue :

- La phyto extraction : les polluants (essentiellement les métaux lourds dans notre cas) contenus dans les dépôts formés par décantation ou interceptés par filtration, accumulés dans les couches superficielles du sol sont absorbés par les racines, puis amenés et accumulés dans les parties aériennes de la plante. On parle de plantes hyper accumulatrices.
- La phyto dégradation : c'est une biodégradation des composés organiques et des hydrocarbures réalisée par la plante elle même et par les micro-organismes se développant sur ces tiges souterraines (les rhizomes) et ses racines.
- La phyto-remédiation permet d'éliminer des polluants difficiles à traiter comme les métaux lourds, les hydrocarbures et les composés organiques. Les végétaux les mieux adaptés à cette dépollution sont des plantes aquatiques telles que les roseaux, les joncs, les massettes et les nénuphars.

3. PRESENTATION DES SYSTEMES ALTERNATIFS EN EAUX PLUVIALES

3.1. NOUES - FOSSES ENHERBES

PRINCIPE

Une noue est un fossé large et peu profond, avec un profil présentant des rives en pente douce. Sa fonction est de stocker une partie du volume ruisselé issu d'un épisode pluvieux. Le stockage et l'écoulement de l'eau se font à l'air libre, à l'intérieur de la noue. L'eau est collectée soit par l'intermédiaire de canalisations (eaux de toitures...) ou après ruissellement sur les surfaces adjacentes. Elle est évacuée soit vers un exutoire (réseau, puits, bassin de rétention, milieu naturel) ou par infiltration dans le sol et/ou par évaporation. Lorsque l'infiltration n'est pas autorisé (cf. MISE 67 – Eaux de voirie), on mettra en place une géomembrane ou un dispositif d'étanchéité qui isolera le sol et le protégera de toute pollution. Du gazon sera planté par-dessus pour conserver l'aspect esthétique de la noue et pour assurer également une première dépollution [5].



FIGURE 14 : NOUE (A GAUCHE) ET FOSSES D'INFILTRATION (A DROITE) EQUIPANT LE QUARTIER VAUBAN A FRIBOURG [64]

EFFICACITE

Contrairement à un fossé revêtu (berge/cunette en béton), la cunette enherbée joue un rôle non négligeable vis-à-vis de la pollution particulaire chronique, en obtenant des vitesses d'écoulement plus faibles. Le filtre sera d'autant plus efficace que la végétation herbacée sera maintenue haute (10 à 15 cm minimum). Il faut donc trouver un compromis entre l'aspect visuel (esthétique) et l'efficacité.

Pour un fossé enherbé, les rendements courants rencontrés sur les flux annuels sont proches des valeurs suivantes :

Paramètre	Abattement de la charge (%)
MES	50-60
DBO5 – DCO	40-60
Hydrocarbures totaux	50-70
Plomb	65-75
Zinc	60-70

TABLEAU 7 : RENDEMENTS SUR LES FLUX ANNUELS

Plus le sol support est perméable, plus l'efficacité sera importante, du fait d'une infiltration directe pour les pluies faibles. Par contre pour les pluies fortes, on a un rendement faible à nul, sauf si le dispositif est dimensionné de façon à conserver une vitesse faible.

Si l'on veut assurer les deux fonctions d'épuration et de piégeage en même temps, on peut prévoir un fossé étanche et végétalisé, ou un fossé stockeur.

ENTRETIEN ET COUTS

Les fossés et les noues sont à entretenir comme des espaces verts (tonte, ramassage de feuilles) et les orifices doivent être curés régulièrement. Les manières de réagir vis-à-vis de la pollution accidentelle sont différentes selon que le fossé infiltre ou non les eaux polluées. Dans le cas d'un fossé de rétention, il est possible d'arrêter la pollution en obstruant les orifices (bouchon, vanne, plaque...). Dans le cas d'un fossé d'infiltration, il faut rapidement pomper ce qui ne s'est pas encore infiltré et utiliser les moyens spécifiques pour décontaminer le sol [2]. La noue doit aussi être curée selon l'envasement, en priorité aux exutoires et/ou aux cloisons, tous les 10 ans. Ceci afin d'éviter que la noue se transforme en marre.

La réalisation d'une noue coûte environ 7 à 20 €/m³ stocké. L'entretien s'élève à 1 à 2 €/m²/an.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Espace paysager et esthétique- Utilisation éventuelle en espaces de jeux et de loisirs- Alimentation de la nappe phréatique (si infiltration)- Délimitation de l'espace- Coût peu élevé- Bonne efficacité épuratoire	<ul style="list-style-type: none">- Risque de colmatage- Entretien régulier (tonte)- Risque d'accident en période de remplissage- Emprise foncière immobilisée pouvant être importante- Risque de pollution de la nappe- Nuisances possibles avec la stagnation de l'eau- Cloisonnement et orifice calibré nécessaires sur site pentu pour limiter les pertes de volume de stockage

3.2. TRANCHEES DRAINANTES

PRINCIPE

Il s'agit d'une excavation de profondeur et de largeur variables, servant à retenir les eaux. Les tranchées drainantes recueillent les eaux de ruissellement, généralement perpendiculairement à leur longueur, puis les évacuent soit par infiltration, soit vers un exutoire (réseau, puits...). Elles sont remplies de matériaux poreux tels que des gravas et galets (porosité $\approx 30\%$), des matériaux alvéolaires en plastique (porosité $\approx 90\%$), des pneus de récupération (porosité $\approx 70\%$).

Elles peuvent revêtir en surface divers matériaux tels qu'un enrobé drainant, des pavés à joints larges, des galets ou de la pelouse, selon son usage superficiel : parkings de centres commerciaux, trottoirs le long de la voirie, pistes cyclables ou jardins.

L'eau est collectée soit localement par un système classique d'avaloirs et de drains qui conduisent l'eau dans le corps de la tranchée, soit par infiltration répartie à travers un revêtement drainant en surface [5].

On distingue ainsi, suivant la nature de l'évacuation des eaux stockées dans la tranchée [2] :

- Les tranchées d'infiltration ou absorbantes (infiltration dans le sol des eaux recueillies) ;
- Les tranchées de rétention (restitution des eaux vers un exutoire avec un débit régulé).

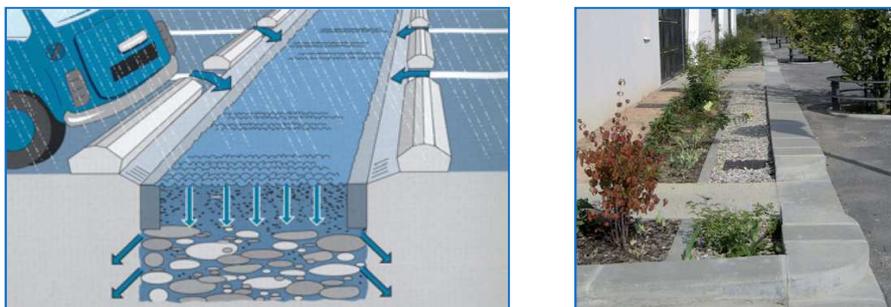


FIGURE 15 : SCHEMA D'UNE TRANCHEE DRAINANTE (A GAUCHE) [65] ET TRANCHEE D'INFILTRATION A LYON (A DROITE) [66]

EFFICACITE

Les tranchées d'infiltration peuvent améliorer la qualité des eaux pluviales. Une tranchée bien entretenue peut retirer aussi bien les polluants solubles que les polluants particulaires. La rétention s'opère par adsorption et par conversion biologique et chimique dans le sol. Le taux de rétention des polluants dépend de la nature du sol (les sols sablonneux étant moins efficaces que les sols plus imperméables pour retenir les nitrates et les métaux-traces).

Les tranchées d'infiltration, même si elles conçues principalement pour la gestion qualitative des eaux pluviales, permettent d'obtenir les abattements suivants :

	MES	DCO	DBO5	Pb
Tranchée d'infiltration (aux Etats-Unis [67])	95 %	66 %	66 %	71 %

TABLEAU 8 : EXEMPLE D'ABATTEMENT DE TRANCHEE D'INFILTRATION MESURE [67]

ENTRETIEN ET COUTS

La mise en œuvre d'une tranchée demande un investissement d'environ 60 €/m³. L'entretien annuel s'évalue à environ 0,5 €/m².

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Coûts relativement faibles- Installation aisée et maîtrisée- Epuration partielle des eaux ruisselées- Très bonne intégration paysagère- Faible emprise foncière- Réalimentation de la nappe (si infiltration)- Bien adaptées aux terrains plats dont l'assainissement pluvial est difficile à mettre en place	<ul style="list-style-type: none">- Risques de colmatage- Risques de nuisances olfactives- Entretien régulier- Pas adaptées à des terrains à forte pente- Risque de pollution de la nappe (si infiltration)

3.3. PUIS D'ABSORPTION

PRINCIPE

Le puits d'absorption est un ouvrage de profondeur variable (quelques mètres à une dizaine de mètres) permettant un stockage et une évacuation directe des eaux de ruissellement vers le sol. Cette technique est plutôt prédestinée à un usage à la parcelle. Il existe différents types de puits : les puits creux, les puits comblés de massif filtrant permettant une épuration des eaux et les puits maçonnés ou busés. Ce type d'ouvrage peut être implanté dans les zones peu perméables en surface.

On distingue deux types de puits, à savoir les puits d'infiltration n'ayant pas de contact avec la nappe phréatique et les puits d'injection plongeant dans la nappe dans lesquels seules des eaux de ruissellement très peu polluées peuvent être infiltrées. L'usage de ces puits est proscrit par la MISE du Bas-Rhin.

Dans le cas de puits d'infiltration, les eaux de toute nature sauf celles de surfaces très polluées ou ayant un risque élevé de pollution accidentelle (station d'essence, parking poids lourds...) peuvent être récupérées si l'ouvrage est précédé de dispositifs de prétraitement. A cette technique peut également être associé un

système de trop plein pour évacuer l'eau vers un exutoire en cas de dysfonctionnement du puits. Dans la conception d'un puits d'infiltration, il est fortement recommandé de conserver une distance minimale de 1 mètre entre la base du puits et le niveau des plus hautes eaux de la nappe. Par ailleurs une prolifération de puits d'infiltration sur un même site peut augmenter localement le niveau de la nappe, dans ce cas les puits d'infiltration vont se comporter comme des puits d'injection [2].

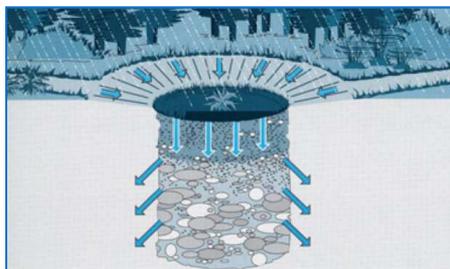


FIGURE 16 : SCHEMA D'UN PUIIS D'INFILTRATION [65]

EFFICACITE

Les puits d'absorption peuvent présenter une efficacité proche d'une tranchée drainante, par l'utilisation d'une structure de matériaux poreux cités précédemment à la différence notable d'un plus faible volume traité. Compte tenu des faibles superficies habituellement drainées par les puits, il paraît difficile de se prémunir efficacement contre une pollution accidentelle. En effet, les temps de concentration sont très faibles et sûrement bien inférieurs aux délais d'intervention des services compétents. Dans le cas où la pollution n'a pas été arrêtée à temps, il est toujours possible de pomper la pollution à l'intérieur du puits qu'il faut vider de ses matériaux dans le cas d'un puits comblé. Cependant, cette pollution accidentelle peut être restreinte en utilisant des systèmes de stockage à l'amont du puits.

ENTRETIEN ET COUTS

Le puits doit être nettoyé deux fois par an, à cette fin il doit rester accessible. La couche filtrante, présente en dessous du puits, doit être renouvelée lorsque l'eau stagne plus de 24 heures dans le puits.

La mise en œuvre d'un puits requiert un investissement de 3 €/m² de surface assainie/an ainsi qu'un coût d'entretien de 1,50 €/m² surface assainie/an.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Diminution des réseaux à l'aval d'un projet (encombrements, travaux...) - Gain financier - Peu d'emprise foncière - Bonne intégration dans le tissu urbain (non-détection visuelle) - Alimentation de la nappe - Pas de contrainte topographique majeure - Technique intéressante dans le cas d'un sol superficiel imperméable et d'un sous-sol perméable 	<ul style="list-style-type: none"> - Colmatage possible - Entretien régulier - Risque de pollution de la nappe - Capacité de stockage limitée

3.4. BASSINS SECS ET EN EAU

PRINCIPE

L'eau est collectée par un ouvrage d'arrivée, stockée dans le bassin, puis évacuée à débit régulé soit par un ouvrage vers un exutoire de surface (bassins de retenue), soit par infiltration dans le sol (bassins d'infiltration).

Parmi les bassins de retenue, on distingue :

- les bassins en eau qui conservent une lame d'eau en permanence. Un bassin en eau est une étendue d'eau à part entière. Même si elle a été créée par l'homme, elle doit avoir toutes les caractéristiques d'une étendue d'eau naturelle. Quel que soit sa taille, il abrite toujours un « écosystème » aquatique dont l'équilibre dépend des variations de volume et de qualité dues aux apports pluviaux. Souvent ces bassins sont interdits au public et doivent être clos. Si on choisit de créer un bassin accessible au public, il est nécessaire d'aménager les berges en faible pente pour des raisons de sécurité.
- les bassins secs qui sont vides la majeure partie du temps et dont la durée d'utilisation est très courte, de l'ordre de quelques heures selon les précipitations. En effet, le bassin sec se vidange complètement suite à un événement pluvieux. Après un prétraitement, les eaux pluviales peuvent s'évacuer soit par infiltration, soit au réseau. Le fond d'un bassin sec peut être imperméabilisé ou végétalisé. Dans ce dernier cas, les espèces plantées seront choisies pour leur capacité à supporter d'être inondées [5][69].



FIGURE 17 : BASSIN EN EAU [68]



FIGURE 18 : BASSIN SEC [70]

EFFICACITE

Vitesse de sédimentation [22]

Pour l'évaluation de l'efficacité de décantation des bassins à sec, on retient généralement « la méthode de la vitesse de sédimentation ». Le principe de base de la décantation est de limiter la vitesse horizontale pour favoriser la chute des particules dans un piège. Le dispositif devra bien entendu être dimensionné en tenant compte des caractéristiques des particules concernées, et en supposant qu'on a un régime hydraulique bien défini (tranquillisation de flot à l'entrée).

Le dimensionnement se fait en privilégiant la vitesse verticale par rapport à la vitesse horizontale dans l'ouvrage :

- Décanteur à niveau constant : $S > \frac{Q}{V_s}$

Avec : S la surface du décanteur, Q le débit et V_s la vitesse de sédimentation des particules les plus fines dont la décantation est souhaitée.

- Décanteur à niveau variable :
$$S > \frac{(0.8 \cdot Q_e) - Q_f}{V_s \cdot \log(0.8 \cdot Q_e / Q_f)}$$

Avec : S la surface du décanteur, Q_e le débit de pointe d'entrée, Q_f le débit de sortie régulé et V_s la vitesse de sédimentation des particules les plus fines dont la décantation est souhaitée.

Les paramètres significatifs pour le dimensionnement d'un bassin sont donc : la surface (longueur x largeur), les débits caractéristiques d'entrée-sortie et la taille de la particule de référence à décanter (on retient généralement 50 µm pour les eaux pluviales).

La hauteur d'eau dans le dispositif n'intervient pas directement dans le calcul, ni la forme. En fait, ces deux paramètres sont importants pour assurer un bon fonctionnement hydraulique, en particulier une répartition homogène des vitesses à l'intérieur du dispositif.

Vitesse de chute en cm/s	Vitesse de chute en m/h	Rendement en %
0,0003	0,01	100
0,001	0,04	98
0,003	0,1	95
0,014	0,5	88
0,027	1	80

TABLEAU 9 : TAUX D'ABATTEMENT DES MATIERES EN SUSPENSION
CONTENUE DANS LES EAUX PLUVIALES [22]

Le taux d'abattement minimum après décantation ne pourra être inférieur à 80% pour les MES ce qui correspond à une vitesse de chute maximale de 1 m/h.

Remarque : D'après ce tableau et les formules de dimensionnement des surfaces horizontales des décanteurs, on remarque que pour gagner 15% de rendement (pour passer de 80 à 95%), la vitesse de chute doit être diminuée de 10 fois (de 1 à 0,1 m/h) et en conséquence la surface du bassin doit être augmentée de 10 fois !

Temps de séjour

L'efficacité globale dépend également du temps de séjour, comme l'indique le tableau ci-après. Plus le temps de séjour à l'intérieur du bassin est important et plus la sédimentation sera importante.

Temps de séjour	MES	DCO	DBO5	Hc	Métaux
12 heures	20-40	20-40	20-40	20-30	10-20
48 heures	50-70	30-50	30-50	50-60	50-60

TABLEAU 10 : RENDEMENT EPURATOIRE EN FONCTION DU TEMPS DE SEJOUR (EN %) [21]

Pollution chronique

Une solution de traitement de la pollution chronique, qui comprend essentiellement des matières en suspension, est de favoriser la décantation. Mais, un bassin de rétention permet également d'oxygéner un effluent et d'assurer ainsi un rôle épuratoire vis-à-vis de la charge de MES, de DCO et de DBO5 par le maintien d'une lame d'eau permanente à grand temps de séjour. Il en résulte une meilleure décantation des particules, par une oxygénation accrue par simple aération de surface, par une décomposition de la matière organique et enfin par une assimilation de certains composés par les végétaux [21].

De plus, la mise en place d'un système de rétention des eaux pluviales permettra le traitement de la pollution chronique (décantation simple dans le système de rétention et déshuilage par le biais de la cloison siphonide) [71].

Pollution accidentelle

Les bassins ne sont jamais adaptés au traitement de la pollution accidentelle, puisque celle-ci est de faible volume, alors qu'un bassin est prévu pour accumuler un grand volume. La seule méthode pour traiter ce type de pollution est de disposer sur le réseau des vannes qui permettront de piéger cette pollution, le temps de permettre aux services spécialisés son évacuation et son élimination par des méthodes adaptées [69].

Les systèmes de rétention comporteront un volume mort étanche à chaque arrivée de conduite dans les bassins afin de retenir une pollution accidentelle par temps sec [71].

ENTRETIEN ET COUTS

Bassins en eau

L'entretien d'un bassin consiste en un curage tous les 3 ou 4 ans. De ce fait, il faut porter une attention particulière à son état d'envasement pour des raisons de salubrités. Il faut également s'assurer du dégagement de la conduite d'amenée des eaux dans le bassin, lieu où l'envasement a tendance à s'accroître et dans lequel on peut observer un développement de végétaux.

Ce type de technique nécessite un investissement variable, de l'ordre de 15 à 60 € le m³ (hors coût du foncier). Concernant son entretien, il faut compter 0,5 €/m³/an environ.

Bassins secs

Ce type de bassin nécessite généralement de l'entretien. Les bassins secs sont généralement aménagés en espaces verts, l'entretien peut s'effectuer comme tel. Etant géré à sec, il faut veiller à son état lorsqu'il n'y a pas d'eau dans le bassin et après chaque événement pluvieux important (curage si nécessaire). Si le bassin est étanche, il faudra créer en fond de bassin une noue disposant d'une pente suffisante pour évacuer l'eau et ainsi éviter toute stagnation.

Son investissement varie également de 15 à 60 €/m³ et son entretien peut s'évaluer à 1€/m³/an.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
Bassins secs <ul style="list-style-type: none">- Bonne intégration paysagère (zone verte en milieu urbain ou périurbain)- Utilisation pour les aires de détente, terrains de jeux- Faibles coûts de réalisation (terrassment, plantation)- Entretien simple (tonte ou balayage)	Bassins secs <ul style="list-style-type: none">- Emprise foncière importante- Risque de nuisances olfactives par défaut de réalisation ou manque d'entretien- Entretien fréquents des espaces verts pour les bassins paysagers- Pollution de la nappe
Bassins en eau <ul style="list-style-type: none">- Possibilité de recréer un écosystème- Investissement faible (aménagement d'un plan d'eau existant)- Possibilité de réutiliser les eaux de pluie- Entretien des espaces verts réduit- Autres fonctions que le stockage des eaux : plans d'eau, lieux de promenade ou d'activités aquatiques	Bassins en eau <ul style="list-style-type: none">- Emprise foncière importante- Assurer une gestion appropriée afin de prévenir de l'eutrophisation, la prolifération de moustiques, de grenouilles...- Pollution de la nappe pour les bassins d'infiltration- Risques liés à la sécurité des riverains

3.5. CHAUSSEES A STRUCTURE RESERVOIR

PRINCIPE

Les chaussées à structure réservoir (CSR) ont pour but d'écarter les débits de pointe de ruissellement en stockant temporairement la pluie dans le corps de la chaussée. Elles peuvent être assimilées à des bassins de retenue enterrés remplis de matériaux poreux. Leur fonctionnement consiste donc à stocker l'eau dans le volume vide des matériaux. L'eau est évacuée par infiltration ou vers le réseau public.

La structure réservoir est caractérisée par le coefficient de vide définissant leur capacité de stockage des eaux ainsi que par la résistance à la compression définissant leur solidité et domaine d'utilisation.

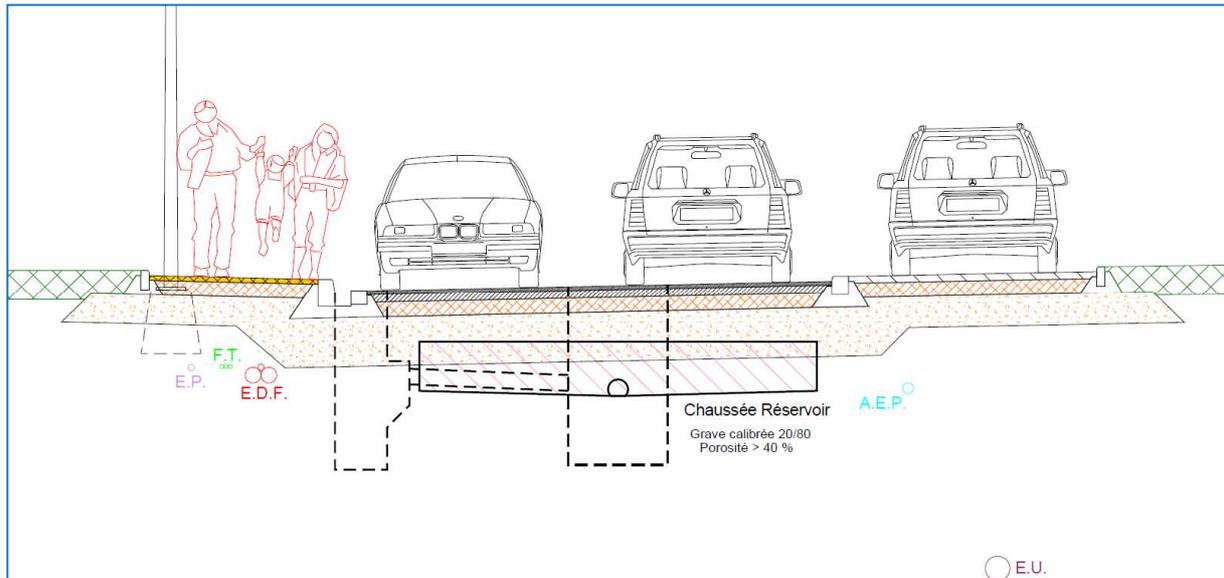


FIGURE 19 : PROFIL EN TRAVERS D'UNE CHAUSSEE RESERVOIR (LOTISSEMENT AU LIEU-DIT "KREUZEL" A ROSSFELD)

Le fonctionnement hydraulique de la chaussée à structure réservoir est assuré par 3 fonctions : une injection de l'eau dans l'ouvrage, un stockage temporaire de l'eau et une évacuation [4].

L'injection de l'eau dans le corps de la chaussée se fait soit de manière répartie (utilisation d'un revêtement drainant : dalles, pavés à joints larges, enrobés et bétons drainants...), soit de manière localisée (revêtement étanche). Dans ce dernier cas, l'eau est recueillie par des avaloirs classiques et injectée dans le corps de la chaussée par l'intermédiaire d'un drain diffuseur.

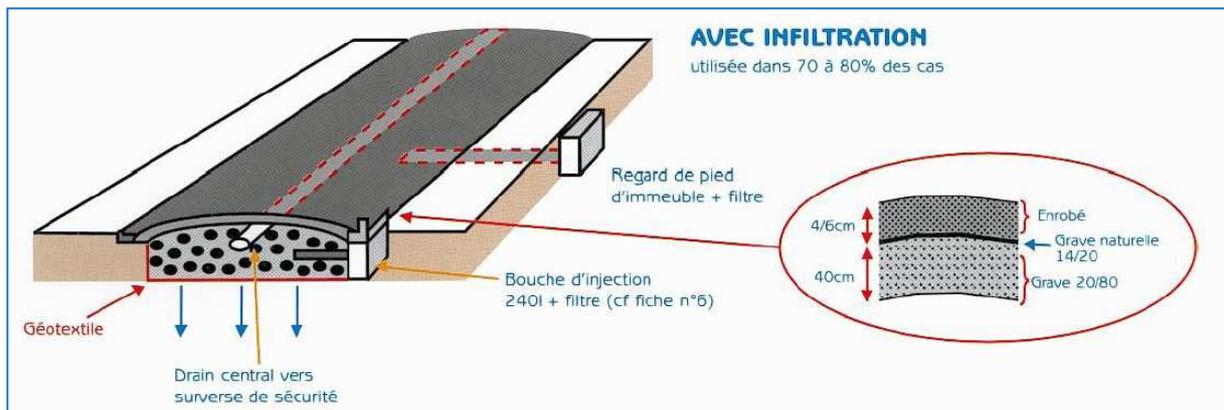


FIGURE 20 : CHAUSSEE A STRUCTURE RESERVOIR AVEC INFILTRATION [72]

L'assise poreuse peut être composée de [2] :

- Matériaux non liés (grave concassée, semi-concassée, roulés, hors sable) : Porosité jusqu'à 45 %
- Matériaux traités au liant bitumineux (graves bitumes drainantes) : Porosité de 10 à 15 %
- Matériaux traités au liant hydraulique (béton poreux) : Porosité de 10 à 20 %
- Matériaux alvéolaires en plastique (structure de type nid d'abeilles) : Porosité > 90 %
- Matériaux de récupération (pneus) : Porosité > 70 %

La composition de la chaussée peut avoir l'avantage de retarder la propagation d'une pollution accidentelle vers l'exutoire ou vers le sol support, pouvant laisser le temps aux services compétents d'intervenir.

Dans le cas d'une chaussée à structure réservoir de rétention (sans infiltration), il peut être possible d'arrêter la pollution par l'intermédiaire des regards et de la soustraire en effectuant une aspiration.

Par contre, dans le cas d'une chaussée à structure réservoir d'infiltration, il est conseillé d'effectuer le plus tôt possible une aspiration de la pollution. La meilleure prévention contre ces pollutions accidentelles reste de ne pas implanter ces systèmes infiltrant les eaux dans le sol support, dans les zones à risques [2].

EFFICACITE

Ces systèmes permettent d'épurer les eaux par décantation et filtration à travers les matériaux de la structure poreuse. On considère généralement les abattements moyens suivants :

	MES	DCO	DBO5	Hc
Chaussées à structure réservoir (et ouvrages annexes)	75 %	60 %	50 %	60 %

TABLEAU 11 : ABATTEMENT MOYEN DES CHAUSSEES RESERVOIRS

ENTRETIEN ET COUTS

L'entretien est similaire à celui d'une chaussée classique (simple balayage). Pour les enrobés drainants, on nettoiera la chaussée par aspiration. Si le revêtement est colmaté, on pourra combiner un lavage à l'eau sous haute pression avec une aspiration.

Cette technique nécessite un investissement de l'ordre de 80 € par m² de chaussée. Le coût de son entretien se décompose de la façon suivante : Lavage simple 1 €/m²/an ; lavage et changement de la couche de roulement 3 €/m²/an.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrages enterrés sans impact visuel - Insertion en milieu urbain sans consommation d'espace supplémentaire - Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation et « filtration » par interception des particules au travers de la structure - Elimination de l'aquaplaning et suppression des éclaboussures - Réalimentation de la nappe (si infiltration) 	<ul style="list-style-type: none"> - Etude et mise en œuvre délicate - Risques de colmatage - Problèmes de viabilité hivernale - Entretien difficile - Durée de vie réduite - Problème de la voirie provisoire de chantier - Problématique du passage des réseaux

3.6. TOITURES TERRASSES ET TOITURES VEGETALISEES

PRINCIPE

Toitures terrasses

Le stockage en toitures terrasses (toits stockants) est un moyen efficace pour réduire les effets de l'imperméabilisation sur le ruissellement. L'eau stockée est restituée à débit limité au réseau d'eau pluvial ou à un autre exutoire grâce à un dispositif de régulation spécifique. Le stockage se fait sur quelques centimètres d'eau de pluie sur les toits le plus souvent plats, ou éventuellement présentant une pente de 0,1 à 5 %.

L'eau est retenue au moyen d'un parapet en pourtour de toiture, sur une certaine hauteur d'eau, puis est évacuée. Sur les toits plats, le dispositif d'évacuation est constitué d'une ogive centrale avec filtre, raccordée au tuyau d'évacuation et d'un anneau extérieur, percé de rangées de trous dont le nombre et la répartition conditionnent le débit de décharge. Dans le cas de toits en pente, le stockage est rendu possible grâce à l'utilisation des caissons cloisonnant la surface et jouant le rôle de mini barrages.

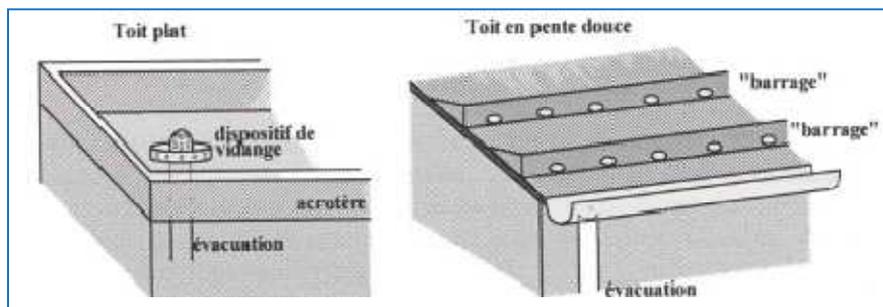


FIGURE 21 : PRINCIPE DE STOCKAGE D'EAU EN TOITURE [23]

Toitures végétalisées

Il est possible de combiner cette technique avec des toitures végétalisées qui offrent en plus de la rétention d'eau, un apport isolant, et augmente l'évapotranspiration. La toiture végétalisée consiste en un système



FIGURE 22 : TOITURE VEGETALISEE OPTIGREEN [73]

d'étanchéité recouvert d'un complexe drainant qui accueille un tapis de plantes précultivées (sédum, vivaces, graminées, etc.). Grâce à l'absorption de ces plantes, les eaux pluviales sont épurées d'une partie de leur pollution. Le complexe de végétalisation est caractérisé par une surcharge limitée et une faible épaisseur (généralement < 10 cm), et le poids du complexe est, dans la plupart des cas, compris entre 50 et 150 kg/m² [5].

On distingue généralement deux types de toitures vertes : les toitures à végétation intensive et les toitures à végétation extensive. Le premier groupe se caractérise par une épaisse couche de substrat dans laquelle il est même possible de planter des arbres. Les toitures appartenant au deuxième groupe possèdent quant à elles une couche de substrat plus fine et ne sont bien souvent pas accessibles [74].

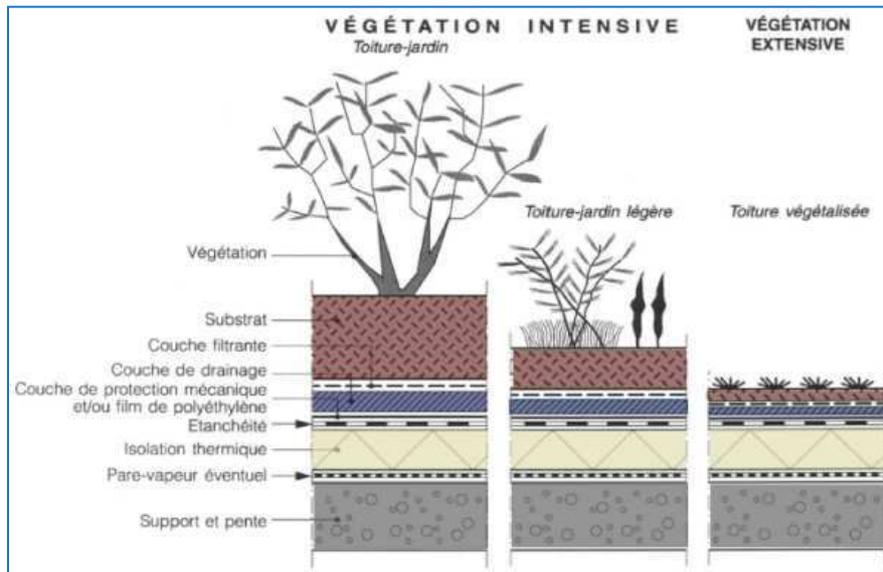


FIGURE 23 : TYPES DE VEGETATION D'UNE TOITURE VEGETALISEE [75]

EFFICACITE

Toits stockants

Les eaux recueillies présentent les mêmes caractéristiques de pollution que celles des eaux de toitures classiques. Le traitement de l'eau n'est donc pas nécessaire. C'est pourquoi ce système n'est utilisé qu'à des fins de stockage.

Toits végétalisés

La qualité de l'eau évacuée par le biais de ces toitures serait telle qu'elle pourrait être utilisée pour la plupart des applications domestiques (rinçage des toilettes, lessive...) selon les fabricants de toitures végétalisées. Une affirmation démentie par Karel De Cuyper, ingénieur au Centre Scientifique et technique de la Construction (CSTC) de Belgique qui explique avoir plutôt constaté « un enrichissement suite à la percolation de l'eau à travers un milieu contenant entre autres des engrais ». En traversant les toitures végétalisées, les eaux se colorent ; elles se chargent en matières organiques et en produits chimiques oxydables, ainsi qu'en bactéries [74][76]. On notera toutefois que des engrais ne sont pas systématiquement employés sur les toitures végétalisées.

ENTRETIEN ET COÛTS

L'entretien d'une végétalisation intensive est beaucoup plus contraignant que celui d'une végétalisation extensive, qui ne demande qu'un ou deux contrôles et une fauche par an.

Le coût d'une toiture végétalisée s'établit entre 20 et 100 €/m² selon la méthode employée et peut aussi engendrer un surcoût au niveau de la construction (charge supplémentaire, étanchéité, plantations) qui sera compensé par des économies au niveau de la climatisation et de l'isolation (besoins plus faibles). L'entretien se résume à environ 1 €/m²/an.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Adapté à l'échelle de la parcelle- Pas d'emprise foncière- Bonne intégration dans le tissu urbain- Pas de technicité particulière par rapport aux toitures traditionnelles- Pour les toitures végétalisées, augmentation des performances des bâtiments (limite des déperditions thermiques, isolation acoustique, confort d'été...)	<ul style="list-style-type: none">- Entretien régulier (végétation intensive)- A utiliser avec précautions sur une toiture existante (vérification de la stabilité et d'étanchéité)- Difficultés de mise en place sur des toitures de pente > 2 %- Eventuel surcoût dans certains cas (éléments structurels du projet)- Nécessité d'une réalisation soignée par des entreprises qualifiées

3.7. CITERNES

PRINCIPE

La citerne est un réservoir strictement équivalent à un bassin de retenue étanche, qui peut être enterré ou non, permettant le stockage des eaux pluviales des toitures. Il s'agit d'un système bien adapté à la réutilisation des eaux à l'échelle parcellaire. Il existe plusieurs types de citernes : en béton, en polyéthylènes (PEHD) ou en acier.

Pour un usage privatif, les citernes ont des capacités variant de 2 à 9 m³. Les capacités peuvent atteindre les valeurs suivantes : jusqu'à 20 m³ pour les cuves en béton armé, jusqu'à 50 m³ pour celles en polyéthylène et jusqu'à 120 m³ pour celles en acier, pour des usages industrielles par exemple.

Des citernes standardisées sont souvent utilisées. Dans ce cas, on choisit une capacité volumique au moins égale à celle déterminée lors du dimensionnement. Le surdimensionnement du volume de la citerne permet de créer une réserve d'eau pour une réutilisation ultérieure [2].

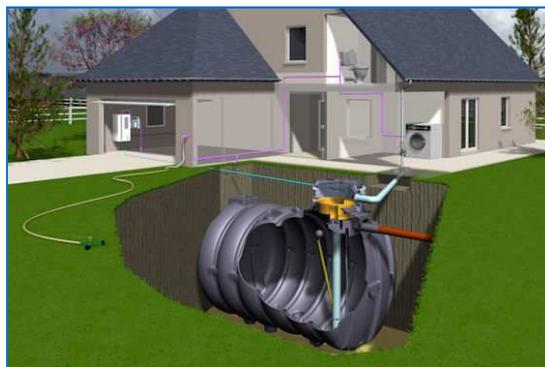


FIGURE 24 : CUVE DE RECUPERATION EAU DE PLUIE AQUAMOP DE SIMOP [77]

L'eau de pluie est récupérée par les gouttières, un filtre positionné à l'amont de la cuve élimine les grosses impuretés (feuilles, brindilles, cailloux ...), puis l'eau est réinjectée à la demande des utilisateurs à l'aide d'une pompe immergée dans la cuve et subit une seconde filtration avant d'arriver aux robinets.

EFFICACITE

Ces systèmes sont généralement dédiés à la récupération et au stockage des eaux de pluies. Même s'ils permettent d'abattre une petite quantité de pollution, on considérera que les citernes n'ont aucune efficacité vis-à-vis de l'épuration.

ENTRETIEN ET COUTS

Une trappe doit permettre de nettoyer l'intérieur de la citerne. Cet entretien doit assurer que la citerne fonctionne correctement (pas d'obstruction des orifices de vidange...) [2].

Les prix des citernes béton tournent généralement autour des 200 €/m³ HT, pour les citernes rondes, et pour les citernes/fosses rectangulaires, environ 150 €/m³ HT. Les citernes en polyéthylène sont plus onéreuses que les citernes en béton : 1 600 € pour une contenance de 3 000 l, 3 000 € pour 9 000 l et jusqu'à 6 200 € pour une cuve de 22 000 l [78]. Les citernes en acier peuvent coûter jusqu'à 5 000 € pour une capacité de 10 000 l [79].

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Système adapté aux particuliers- Installation aisée et maîtrisée- Invisible si enterré- Encombrement faible- Réutilisation des eaux pluviales (arrosage...)	<ul style="list-style-type: none">- Aucune épuration- A intégrer dans l'environnement si non enterrées- Entretien des pompes et des filtres- Vidange si besoin

3.8. AUTRES SYSTEMES

3.8.1. LES FILTRES PLANTES DE ROSEAUX

Etant aussi bien adapté au traitement des eaux pluviales et usées, ce système est décrit dans la partie 5 au §3.3 - Filtres plantés de roseaux.

Cette culture fixée sur sol présente de bons rendements sur les hydrocarbures de la pollution chronique. On note un abattement de 83% par voie biologique. L'action est également importante face à une pollution accidentelle. Ce procédé permet par ailleurs un abattement de 70% de la DCO et 95% des MES.

L'entretien du filtre à roseaux consiste à uniquement un curage en surface des dépôts accumulés. Il n'y a pas de faucardage à réaliser contrairement au même système utilisé pour les eaux usées, les roseaux fanent et repoussent l'année suivante. La durée de vie du substrat est estimée à 10 à 20 ans.

3.8.2. LES MODULES D'EPANDAGE

Les modules d'épandage ont une double fonctionnalité : tout d'abord ils retiennent dans un premier temps l'eau tombée en excès de manière à réguler le débit et d'éviter les risques d'inondations puis ils permettent une infiltration progressive dans le sol. Chaque module peut absorber jusqu'à 95 % de son volume d'eau.



FIGURE 25 : LE MODULE D'EPANDAGE GRAF [80]

3.8.3. LES MATERIAUX POREUX

Le sol joue un rôle important dans le cycle hydrologique naturel. Les aménagements végétalisés ou drainants sont des techniques environnementales qui contribuent de façon significative à la préservation des sols perméables. Ces techniques favorisent l'infiltration de l'eau redonnant aux surfaces d'écoulement un rôle régulateur et son évaporation contribuant au rafraîchissement du climat urbain. Sur le plan de l'insertion paysagère, elles permettent la réduction du « tout minéral » dans les aménagements urbains d'espaces publics ou privés pour laisser place un cadre à prédominance paysager. En fonction de la perméabilité des matériaux utilisés, on peut les associer à des solutions compensatoires de recueil des eaux de ruissellement (noues, tranchées d'infiltration, etc.). Ces structures sont souvent utilisées pour la réalisation d'aires de stationnements avec bien évidemment des restrictions d'usage (cf. MISE).

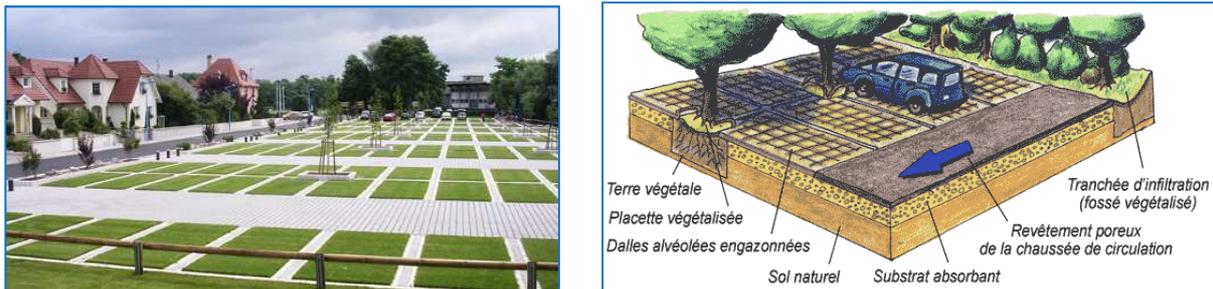


FIGURE 26 : PARKING VEGETALISE (A GAUCHE) [81] ET REVETEMENTS ABSORBANTS (A DROITE) [82]

4. CONDITIONS D'UTILISATION DES SYSTEMES ALTERNATIFS

4.1. CARACTERISTIQUES EN FONCTION DES CONTRAINTES DU SITE

Ce point aborde les principaux critères à vérifier pour une bonne mise en œuvre et les principaux points de vigilance à considérer pour l'utilisation des systèmes [2][4][5][23].

4.1.1. LES NOUES / FOSSES ENHERBES

- **Pente du terrain naturel :**
 - Dans le cas d'une forte pente, des cloisons peuvent être mises en place afin d'augmenter le volume de stockage et réduire les vitesses d'écoulement.
 - Dans le cas d'une pente très faible, inférieure à 0.2 ou 0.3 %, une cunette en béton permet d'assurer un écoulement minimal.
- **L'érosion des sols :**
 - Elle dépend de la nature des sols et de la pente transversale de la noue. La conception et l'entretien peuvent limiter l'érosion afin d'assurer la pérennité de la noue.
 - Le ruissellement provenant des surfaces drainées ne doit pas entraîner des apports de fines ou de polluants trop importants.
- **Perméabilité du sol :**
 - Dans le cas d'une infiltration, les critères à vérifier sont les mêmes que pour une chaussée à structure réservoir.
 - Le sol doit être propice à la présence d'eau.
- **Profondeur de la nappe :**
 - Les plus hautes eaux de la nappe sont à plus de 0.5 mètre de la base supposée du fossé.

4.1.2. LES TRANCHEES DRAINANTES / ABSORBANTES / D'INFILTRATION

- **Pente du terrain naturel :**
 - Dans le cas d'une forte pente, des cloisons peuvent être mises en place afin d'augmenter le volume de stockage et réduire les vitesses d'écoulement.
 - Dans le cas d'une pente très faible, inférieure à 0.2 ou 0.3 %, l'eau va stagner dans la structure.
- **Perméabilité du sol :**
 - Dans le cas d'une infiltration, les critères à vérifier sont les mêmes que pour une chaussée à structure réservoir.
- **Profondeur de la nappe :**
 - Les plus hautes eaux de la nappe sont à plus de 0.5 mètre de la base de la tranchée.

4.1.3. LES PUIITS D'ABSORPTION

- **Perméabilité du sol :**
 - La perméabilité du sol en place doit être suffisante (supérieure à 10^{-6} m/s), ou bien celui-ci ne doit pas être imperméable sur une trop grande profondeur, ce qui obligerait à implanter des puits trop profonds.
- **Profondeur de la nappe :**
 - Les plus hautes eaux de la nappe sont à plus de 0.5 mètre de la base du puits.

- L'existence d'une nappe peu profonde ou affleurante peut limiter l'utilisation des puits d'absorption car elle conduit à diminuer le volume de stockage et ainsi limiter ses capacités hydrauliques.

4.1.4. LES BASSINS SECS ET EN EAU

- **Perméabilité du sol :**
 - Le sol doit être suffisamment perméable dans le cas des bassins d'infiltration.

4.1.5. LA CHAUSSEE A STRUCTURE-RESERVOIR

- **Pente du terrain naturel :**
 - La pente peut varier de 0.3% à 10%.
 - Si la pente est vraiment forte, les capacités de rétention ne pourront guère être améliorées par des cloisons.
- **Trafic :**
 - L'utilisation de chaussées à structure réservoir nécessite de prendre des précautions dans le cas de fort trafic en raison des propriétés mécaniques limitées des matériaux poreux.
 - Trafic en général inférieur à T2.
- **Perméabilité du sol :**
 - 10^{-5} à 10^{-3} m/s pour infiltration.
 - Pour des perméabilités plus faibles, il convient d'associer une évacuation régulée vers le réseau public ou le réseau hydrographique superficiel.
 - Attention à la sensibilité du sol support à l'eau.
- **Profondeur de la nappe :**
 - Une nappe peu profonde peut réduire les volumes de stockages, risque d'être contaminée par une pollution chronique ou accidentelle, et endommager les ouvrages étanchés par sous-pression.
 - Une infiltration avec une nappe affleurante nécessite des mesures de protection supplémentaires.

4.1.6. LES TOITURES TERRASSES ET TOITURES VEGETALISEES

- **Pente de la toiture :**
 - Le toit doit être en faible pente c'est-à-dire inférieure à 5 %. Plus la pente est faible, plus grande sera l'efficacité du système.
- **Climat :**
 - Une grande prudence s'impose en raison du climat très variable entraînant des problèmes de gel et de surcharge notamment.
 - Ces techniques ne s'appliquent pas dans les régions ayant un climat de montagne et qui sont caractérisées conventionnellement par une altitude supérieure à 900 m.

4.1.7. LES CITERNES

- **Perméabilité du sol :**
 - Les citernes sont utilisées lorsque la capacité d'infiltration est très réduite ou si les utilisateurs le souhaitent (récupération des eaux pour arrosage...).

4.2. CHOIX D'UNE TECHNIQUE EN FONCTION DU SITE

Toutes les techniques ne sont pas adaptables à toutes les situations. Il n'existe a priori pas une solution compensatoire donnée pour un type de projet ou d'opération d'urbanisme. Aussi, on peut établir les tableaux suivants présentant la compatibilité des systèmes en fonction des données et des contraintes du site d'une part, et en fonction du type d'urbanisme d'autre part.

4.2.1. CHOIX EN FONCTION DES CONTRAINTES DU SITE

	Contraintes du site				
	Capacité d'absorption du sol faible	Pente du site forte	Nappe peu profonde (< 0.50 m)	Climat montagneux	Risque d'eaux chargées en fines
Noue et fossés d'infiltration	✘	✓	✘	✓	✓
Noue et fossés de rétention	✓	✓	✓	✓	✓
Tranchées drainantes d'infiltration	✘	✓	✘	✓	✓
Tranchées drainantes de rétention	✓	✓	✓	✓	✓
Puits d'infiltration	✘	✓	✘	✓	✓
Puits d'injection	✘	✓	✓	✓	✓
Bassin d'infiltration	✘	✓	✘	✓	✓
Bassin étanche	✓	✓	✘	✓	✓
CSR d'infiltration	✘	✓	✘	✓	✘
CSR de rétention	✓	✓	✓	✓	✘
Toitures terrasse/végétalisées	-	-	-	✘	-
Citernes	✓	✓	✓	✓	✓

Légende : ✓ Compatible ✘ Incompatible

TABLEAU 12 : CHOIX D'UNE TECHNIQUE ALTERNATIVE EP EN FONCTION DES CONTRAINTES DU SITE

4.2.2. CHOIX EN FONCTION DU TYPE D'URBANISME

	Type d'urbanisme					
	Parcelle privative	Domaine public	Milieu urbain dense	Milieu urbain peu dense / Lotissement	Zone commerciale	Zone industrielle
Noue et fossés d'infiltration	✓	✓	✗	✓	✓	✗
Noue et fossés de rétention	✓	✓	✗	✓	✓	✗
Tranchées drainantes d'infiltration	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Tranchées drainantes de rétention	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Puits d'infiltration/injection	✓	✗	✓	✓	✗	✗
Bassin d'infiltration	✗	✓	✗	✓	✓	✗
Bassin étanche	✗	✓	✗	✓	✓	✓
CSR d'infiltration	✓	✓	✓	✓	✓	✗
CSR de rétention	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Toitures terrasse/végétalisées	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Citernes	✓	✗	✗	✓	✗	✗

Légende : ✓ Compatible ✗ Incompatible

TABLEAU 13 : CHOIX D'UNE TECHNIQUE ALTERNATIVE EP EN FONCTION DU TYPE D'URBANISME

5. COMPARAISON DES COÛTS

5.1. RECAPITULATIF DES COÛTS DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

Le tableau suivant donne des coûts à titre indicatif. Ces coûts varient selon de nombreux facteurs et chacun doit être estimé au cas par cas en fonction du projet.

Système	Coût	Entretien
Noues – fossés enherbés	7 à 20 €/m ³ stocké	1 à 2 €/m ² /an (espaces verts) + curage tous les 10 ans
Tranchées drainantes	60 €/m ³ de tranchée	0,5 €/m ² /an
Puits d'infiltration	3 €/m ² de surface assainie/an	1,5 €/m ² de surface assainie/an
Bassin en eau	15 à 60 €/m ³	0,5 €/m ³ /an
Bassin sec	15 à 60 €/m ³	1 €/m ³ /an
Chaussée à structure réservoir	80 €/m ² de chaussée	1 à 3 €/m ² /an
Toitures terrasses et végétalisées	20 à 100 €/m ²	1 €/m ² /an
Citernes et cuves	150 à 200 €/m ³	-

TABLEAU 14 : TABLEAU DES COÛTS DES TECHNIQUES ALTERNATIVES EN EAUX PLOUVIALES

5.2. APPROCHE DES COÛTS PAR RAPPORT AUX TECHNIQUES CLASSIQUES

5.2.1. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Ces techniques alternatives sont souvent considérées comme étant moins coûteuses que les ouvrages classiques et ont l'avantage de s'intégrer plus facilement dans la ville et le paysage.

Par exemple, « à Saint-Jean-d'Illac (Gironde), sur un lotissement de 119 parcelles, le coût comparé d'une technique par chaussée réservoir est, toutes choses égales par ailleurs, de 20% inférieur au coût d'une chaussée classique accompagnée d'un réseau enterré. Au Neubourg (Eure), le traitement intégré du pluvial et des espaces publics par noues et fossés d'une opération de zone d'équipement public permet une dépense de 3 500 kF (530 k€) pour l'ensemble des VRD, contre 6 000 kF (920 k€) par une approche classique » [24].

Les gains financiers externes au projet, notamment ceux liés à la plurifonctionnalité des systèmes, doivent également être pris en compte. En effet, les usages secondaires des bassins et des noues (zone de loisirs, de promenades...) font partie des gains financiers non chiffrables. Par exemple dans certains cas, l'utilisation d'une chaussée à structure réservoir avec enrobé drainant, qui réduit le bruit de roulement des véhicules, limitera la construction des murs antibruit et apportera un meilleur confort de conduite [5]

Toutefois, même si les techniques alternatives sont généralement considérées comme de moindre coût, le surcoût des études préalables qu'elles nécessitent (couplage et calage des modèles numériques de terrain et des modèles de pluie) s'oppose aux routines professionnelles qui exigent des études préalables rapides et à moindre coût [83].

5.2.2. COMPARAISONS DES RATIOS

Les coûts d'investissement et d'entretien mentionnés ci-dessus sont à comparer avec ceux d'un réseau d'assainissement classique accompagné de ses ouvrages annexes. On se propose donc de confronter les coûts de certains systèmes alternatifs à des systèmes classiques qui sont les plus comparables (fonction similaire). Prenons l'exemple d'une noue avec une conduite d'assainissement, et d'une chaussée à structure réservoir avec une chaussée classique. Le détail des coûts obtenus dans les tableaux ci-dessous sont joints en annexes (Annexe B.1).

NOUE/RESEAU D'ASSAINISSEMENT EP

- Hypothèses :
- Noue : largeur 3 m – profondeur 0,5 m – volume stocké 1 m³
 - Réseau EP : conduite DN1200 – profondeur 2,50 m – volume stocké 1 m³

Noue		Réseau d'assainissement EP	
Désignation	Coût au ml	Désignation	Coût au ml
<i>Investissement</i>		<i>Investissement</i>	
Déblais	10 €/ml	Fouille	125 €/ml
Étanchéité	75 €/ml	Conduite DN1200	200 €/ml
Terre végétale	20 €/ml	Ouvrages	60 €/ml
Ensemencement	15 €/ml	Essais	5 €/ml
Ouvrages	40 €/ml	Réfections diverses	20 €/ml
Terrain occupé	300 €/ml		
Total Investissement	460 €/ml	Total Investissement	410 €/ml

<i>Entretien sur 20 ans</i>	120 €/ml	<i>Entretien sur 20 ans</i>	100 €/ml
Total Entretien sur 20 ans	120 €/ml	Total Entretien sur 20 ans	100 €/ml
TOTAL	580 €/ml	TOTAL	510 €/ml

TABLEAU 15 : COMPARAISON D'UNE NOUE AVEC UN RESEAU EP

On remarque sur cet exemple que les noues, malgré l'idée reçue que l'on peut avoir, peuvent être plus onéreuses que les systèmes classiques. Ces résultats résultent du fait que ces noues consomment de l'emprise (publique ou privée) contrairement aux réseaux d'assainissement qui sont enterrés. Ainsi, la forte pression du foncier dans un milieu très dense peut rendre ces techniques plus coûteuses. Sans la prise en compte du coût du foncier, les noues seraient alors les plus économiques.

D'ailleurs, dans la pratique, on peut profiter des contraintes réglementaires imposées par les documents d'urbanismes (POS, PLU, carte communale) qui prescrivent en général 20 à 30% de surface d'espaces verts. En effet, on peut donc assimiler les noues à des espaces verts en les disposant judicieusement le long de la voirie et en les affectant au domaine privé afin de les comptabiliser dans le pourcentage minimal requis. C'est également en ce fait que toute l'approche de la conception diffère par rapport aux techniques classiques. Ainsi, le coût du foncier présenté dans le tableau ci-dessus peut être réduit voire rendu nul par ce biais. Dans ce cas, on aboutirait au tableau suivant, qui rend cette fois-ci la solution alternative avantageuse.

Noue		Réseau d'assainissement EP	
Désignation	Coût au ml	Désignation	Coût au ml
Total Investissement	160 €/ml	Total Investissement	410 €/ml
Total Entretien sur 20 ans	120 €/ml	Total Entretien sur 20 ans	100 €/ml
TOTAL	280 €/ml	TOTAL	510 €/ml

TABLEAU 16 : COMPARAISON D'UNE NOUE AVEC UN RESEAU EP (SANS PRISE EN COMPTE DU FONCIER)

CSR/CHAUSSEE CLASSIQUE

- Hypothèses :
- CSR : revêtement classique – sans infiltration – 1 m³ de galets de porosité 30% – volume stocké 0,3 m³
 - Chaussée classique : conduite DN600 – profondeur 2,00 m – volume stocké 0,3 m³

CSR avec revêtement imperméable		Chaussée classique	
Désignation	Coût au m ²	Désignation	Coût au m ²
<i>Investissement</i>		<i>Investissement</i>	
Enrobés	10 €/m ²	Enrobés	10 €/m ²
Galets	15 €/m ²	GNT1	18 €/m ²
Siphon	2 €/m ²	Siphon	2 €/m ²
Drain	15 €/m ²	Conduite DN600	120 €/m ²
Géomembrane/géotextile	20 €/m ²	Essais	5 €/m ²
Total Investissement	62 €/m²	Total Investissement	155 €/m²
<i>Entretien sur 20 ans</i>	20 €/m ²	<i>Entretien sur 20 ans</i>	20 €/m ²
Total Entretien sur 20 ans	20 €/m²	Total Entretien sur 20 ans	20 €/m²
TOTAL	82 €/m²	TOTAL	175 €/m²

TABLEAU 17 : COMPARAISON D'UNE CHAUSSEE RESERVOIR AVEC UNE CHAUSSEE CLASSIQUE

Concernant les chaussées, on s'aperçoit que les chaussées à structure réservoir ont un coût plus faible que les chaussées classiques. Néanmoins, lorsque la structure poreuse de la chaussée réservoir sera colmatée, il faudra procéder au remplacement de celle-ci, ce qui implique un réinvestissement non négligeable.

5.3. CONCLUSION

En conclusion, on ne peut pas affirmer de manière définitive que les techniques alternatives sont systématiquement moins onéreuses que les techniques dites classiques. En effet, les études entreprises donnent des résultats mitigés comparés aux techniques classiques. On notera principalement l'importance du coût du foncier occupé par les techniques alternatives contrairement aux réseaux d'assainissement et aux techniques de traitements qui sont enterrés, même si dans la pratique, cette importance peut être atténuée par exemple par l'affectation des noues dans le domaine privé.

En résumé, un nombre trop important de paramètres chiffrables, et non chiffrables liés à la plurifonctionnalité des systèmes, est à prendre en considération. Ainsi, il convient d'estimer, pour chaque projet, les conséquences financières de chaque solution (gestion alternative et classique) et d'en dégager les conclusions pour déterminer la solution la plus appropriée à l'aménagement.

6. COMPARAISON DE L'EFFICACITE DES TECHNIQUES

6.1. EFFICACITE DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

6.1.1. TABLEAU DE COMPARAISON

	Nature de la dépollution	Abattements moyens par paramètre (%)					Moyenne par système
		MES	DCO	DBO5	Hc	Pb	
Noue et fossés	Phyto. Déc. Filt.	55	50	50	60	70	57
Tranchées drainantes	Déc. Filt.	95	66	66	- *	71	72
Bassin de rétention	Phyto. Déc.	85	75	75	65	72	75
Chaussée réservoir	Déc. Filt.	75	60	50	60	86	66
Toitures végétalisées	Phyto. Déc. Filt.	55	50	50	60	70	57
<i>Moyenne par paramètre</i>	-	73	60	58	61	74	65

*Abréviations : Déc. : Décantation - Filt. : Filtration - Phyto : Phyto-remédiation
* Valeur supposée égale à 60% pour le calcul des moyennes*

TABLEAU 18 : TABLEAU DES ABATTEMENTS MOYEN DES TECHNIQUES ALTERNATIVES EP

Remarques :

- Les puits d'absorption ne sont pas intégrés à cause de l'absence de données bibliographiques ;
- Les citernes ne figurent pas dans le tableau ci-dessus car il ne s'agit pas d'un système ayant une vocation de traitement et d'épuration de l'eau ;
- L'abattement des toitures végétalisées peut être assimilé à une noue, c'est-à-dire à un espace vert (d'après la DDT du Bas-Rhin).

6.1.2. REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EFFICACITES

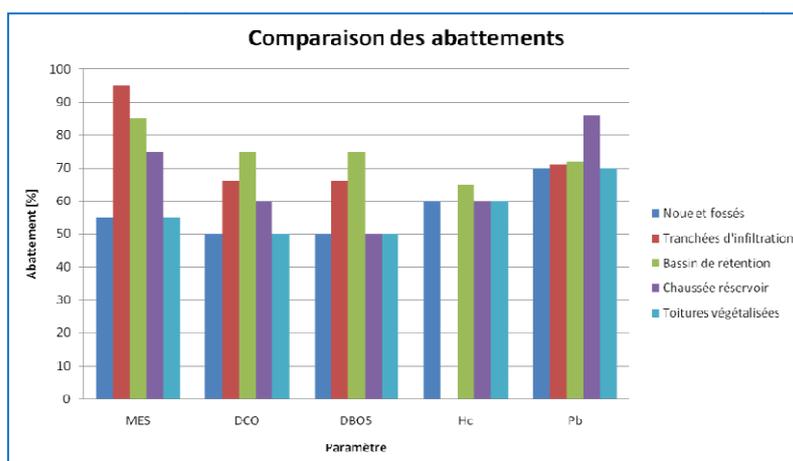


FIGURE 27 : GRAPHIQUE DES ABATTEMENTS DES SYSTEMES POUR CHAQUE PARAMETRE

6.2. CONCLUSIONS

6.2.1. CONCLUSIONS SUR LES TECHNIQUES ALTERNATIVES

D'après ces abattements, il en résulte que les systèmes les plus efficaces sont les bassins de rétention et les tranchées drainantes. Toutefois, il convient de s'assurer de la fiabilité des valeurs d'abattement de ces tranchées pour attester de l'efficacité réelle de ces dernières. On souligne que l'efficacité des tranchées drainantes est presque semblable à celle des chaussées réservoirs, ce qui s'explique par la composition des structures (matériaux poreux) mises en œuvre pour leur réalisation.

Les systèmes composés de revêtements constitués d'espaces verts (noues, toitures végétalisées) présentent des valeurs moyennes d'abattement de l'ordre de 60 %.

Tous les systèmes alternatifs sont très efficaces en ce qui concerne le traitement des MES et du plomb. On souligne également qu'ils présentent tous un abattement des hydrocarbures similaire, de l'ordre de 60 %.

6.2.2. CONCLUSIONS PAR RAPPORT AUX TECHNIQUES CLASSIQUES

Les bassins en eau et les décanteurs fonctionnent sur le même principe. Leur efficacité théorique est donc identique (s'ils possèdent les mêmes caractéristiques : débit, vitesse de chute...).

En ce qui concerne l'efficacité des séparateurs à hydrocarbures, ils demeurent les plus performants par leur potentiel d'abattement des hydrocarbures. Mais rappelons que face à une pollution chronique, les rendements de ces systèmes sont faibles. Ainsi, les systèmes alternatifs sont souvent plus appropriés au traitement des hydrocarbures, et permettent en plus d'éviter tout relargage.

7. COMPARAISON MULTICRITERE DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

7.1. OBJET DE L'ETUDE

Les techniques alternatives, même s'ils recherchent les mêmes objectifs, présentent des caractéristiques différentes. De ce fait, les décideurs, les ingénieurs et techniciens de bureau d'études doivent prendre en compte non seulement les contraintes liées au projet mais également celles liées directement aux différentes

solutions compensatoires, à savoir les contraintes techniques (hydraulique, topographique, etc.), les contraintes sociologiques (insertion dans le site, usage, gestion, etc.) et les contraintes économiques (coût de la solution en investissement et entretien).

Il s'avère donc intéressant de comparer les systèmes entre eux sur leurs caractéristiques et leurs performances. On s'intéressera particulièrement à des critères autres que les contraintes du site et le type d'urbanisme présentés précédemment (§4.2). Ainsi, on fixera les critères suivants :

- ✓ Intégration paysagère ;
- ✓ Emprise au sol ;
- ✓ Coût d'investissement ;
- ✓ Coût d'entretien ;
- ✓ Capacité de stockage ;
- ✓ Efficacité épuratoire ;
- ✓ Plurifonctionnalité ;
- ✓ Durée de vie de l'ouvrage.

La comparaison est effectuée dans 2 configurations différentes d'emploi de ces techniques :

- **Situation 1** : en milieu urbain ;
- **Situation 2** : en milieu rural.

7.2. ATTRIBUTION DES NOTES ET PONDERATIONS

7.2.1. NOTATION DES SYSTEMES

Chaque système se voit attribué une note indépendamment du milieu (urbain ou rural) selon le système de notation suivant, qui juge les performances des systèmes aux différents critères définis ci-dessus.

NOTATION	
Très insatisfaisant ou inexistant	0
Insatisfaisant	5
Assez satisfaisant	10
Satisfaisant	15
Très satisfaisant	20

TABLEAU 19 : CRITERES DE NOTATION

7.2.2. ATTRIBUTION DE PONDERATIONS

Les pondérations permettent de donner de l'importance à certains critères en fonction du site. Par exemple, le critère relatif à l'emprise au sol aura un poids plus prépondérant en milieu urbain qu'en milieu rural, le foncier étant plus rare et plus cher.

Les pondérations appliquées ont été établies selon les résultats de l'enquête menée, où cette question a été posée (cf. Partie 6 - Acceptabilité sociale). Ainsi, en découle le tableau suivant, où les pondérations représentent les pourcentages de vote à la question posée.

Critères	Pondération	
	MILIEU URBAIN	MILIEU RURAL
Intégration paysagère	0.73	0.78
Emprise au sol	0.37	0.21
Encombrement du sous-sol	0.22	0.07
Coût d'investissement	0.64	0.70
Coût d'entretien	0.75	0.82
Capacité de stockage	0.31	0.30
Efficacité épuratoire	0.59	0.63
Plurifonctionnalité	0.33	0.29
Durée de vie de l'ouvrage	0.65	0.72

TABLEAU 20 : PONDERATIONS DES CRITERES EN FONCTION DU MILIEU

7.3. RESULTATS

On aboutit aux résultats ci-dessous. Les tableaux détaillés des calculs présentés sont joints en annexe B.2.1.

Système	Situation 1 : Milieu urbain			Situation 2 : Milieu rural		
	Note	Note/10	Classement	Note	Note/10	Classement
Bassins	79.05	8.6	1	79.5	8.9	1
Noue et fossés	70.2	7.6	2	69.2	7.8	2
Chaussée réservoir	46.25	5.0	5	44.9	5.0	5
Tranchées drainantes	53.35	5.8	4	50.75	5.7	4
Puits d'infiltration	37.4	4.1	7	34.95	3.9	7
Toitures végétalisées	57.1	6.2	3	51.95	5.8	3
Citernes	38.2	4.2	6	36.45	4.1	6

TABLEAU 21 : RESULTATS DE L'ETUDE COMPARATIVE DES TECHNIQUES ALTERNATIVES EP

7.4. CONCLUSIONS

On peut remarquer en premier lieu que les classements respectifs sont identiques (milieu urbain et rural). Ce constat peut s'expliquer par le fait que certains critères n'ont pas suffisamment été démarqués par les sondés pour permettre des éventuelles différences entre les deux classements.

Les résultats de l'enquête amalgamés avec les caractéristiques des systèmes désignent les bassins, les noues et les fossés comme étant les meilleures techniques alternatives de gestion des eaux pluviales. Le classement des bassins en 1^{ère} position s'explique par l'importance donnée par le panel des sondés à l'intégration paysagère de cette technique, aux faibles coûts d'investissement (hors acquisition foncière) et d'entretien, à leur capacité de stockage, à leur efficacité épuratoire, à leur plurifonctionnalité, et à la durée de vie de l'ouvrage. Tous ces critères correspondent aux points forts de ce système. On relève également que ces bassins sont mieux adaptés au milieu rural. Pour introduire cette technique plébiscitée dans une urbanisation dense, la tâche s'avère cependant plus délicate dans la mesure où le coût d'acquisition du foncier afférent à cette technique peut entraîner un surcoût non négligeable pour ce mode de gestion. En seconde position, les noues et les fossés s'affirment. Leur bonne intégration paysagère, leur encombrement du sous-sol limité et leurs coûts d'investissement faibles sont leurs plus grands atouts et présentent également des performances satisfaisantes à tous les autres critères.

En outre, les tranchées drainantes et les chaussées à structure réservoir affichent des notes similaires à la fois en milieu urbain et en milieu rural. Toutefois les chaussées réservoir, dans le cas d'une emprise foncière limitée par les documents d'urbanismes (PLU ou POS), pourraient davantage être appropriés en milieu urbain.

A l'échelle de la parcelle, il paraît plus intéressant d'employer des toitures végétalisées plutôt que des citernes. En effet, les citernes, contrairement aux toitures, ne permettent aucune intégration paysagère, ne garantissent aucune dépollution et génèrent surtout un impact visuel peu appréciable pour celles non enterrées ou un encombrement du sous-sol important pour celles enterrées. Même si ce dernier inconvénient est atténué par le fait que le sous-sol n'est généralement peu encombré dans un espace privatif. Malgré le très bon classement des toitures végétalisées, elles sont peu employées en Alsace (hormis pour les toits peu pentus de garages ou de hangars) ; les règlements d'urbanisme actuels ne favorisant pas pour l'heure leur usage dans la région. En dernier lieu, on trouve les puits d'infiltration qui, d'après cette étude, recueillent les notes les plus basses. Ce procédé d'infiltration n'a pas beaucoup d'arguments qui militent en sa faveur, d'autant plus que son usage est interdit par la MISE du Bas-Rhin.

8. CALCUL DE LA POLLUTION

8.1. PRECISIONS ET HYPOTHESES DE CALCULS DE LA DDT

8.1.1. DOSSIERS LOI SUR L'EAU (DLE)

Une estimation de l'impact qualitatif des rejets d'eaux pluviales dans le milieu naturel doit être réalisée dans le cadre des dossiers (déclaration et autorisation) adressés au guichet unique de l'eau (DDT).

Les dossiers déposés doivent notamment indiquer les incidences du projet sur l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux (articles R.214-6 et R.214-32 du code de l'environnement). Ils doivent également justifier la compatibilité du projet avec le SDAGE et indiquer sa contribution à la réalisation des objectifs visés à l'article L.211-1 du code de l'environnement (dont notamment la protection des eaux et la lutte contre toute pollution par déversements, écoulement, rejets, la restructuration et la qualité des eaux et leur régénération).

C'est pourquoi la note de doctrine MISE relative à la gestion des eaux pluviales issues d'une imperméabilisation nouvelle précise à l'article 1 « que le dossier présenté devra démontrer à partir de l'analyse du milieu récepteur, que le rejet prévu est compatible avec les objectifs de qualité assignés au milieu », et l'article 6 précise les modalités de traitement des eaux pluviales avant rejet.

8.1.2. POLLUTION CHRONIQUE – EFFETS CUMULATIFS

Le débit instantané à traiter dépend du cas de figure. Il peut varier du débit de fuite calculé à l'aval de l'ouvrage de rétention au débit d'une pluie bisannuelle [25].

Dans les calculs réalisés, le débit instantané sera considéré égal au débit de fuite.

8.1.3. POLLUTION CHRONIQUE – EFFETS CHOCS

L'impact est établi au minimum pour un épisode pluvieux biennal (orage de fréquence 2 ans) sur le cours d'eau au débit mensuel d'étiage de fréquence de retour 1 année sur 2 (QMNA2) [25].

8.1.4. OBJECTIFS DE QUALITE DES COURS D'EAU

En application du nouveau SDAGE, les objectifs de qualité des cours d'eau sont désormais le bon état écologique avec les valeurs physico-chimiques correspondantes (cf. SEQ-Eau). Un abattement de la pollution insuffisant amenant un déclassement du cours d'eau doit amener à la reconsidération du traitement initial vers un traitement plus performant.

Classe de qualité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Indice de qualité	80	60	40	20	
DBO5 (mg/l O2)	3	6	10	25	Au-delà
DCO (mg/l O2)	20	30	40	80	Au-delà
MES (mg/l)	5	25	38	50	Au-delà

FIGURE 28 : CLASSES DE QUALITE DE L'EAU DOUCE POUR QUELQUES PARAMETRES CHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES [84]

Les valeurs initiales du cours d'eau à prendre en compte sont les valeurs seuils supérieures correspondant au bon état écologique pour un débit mensuel sec de retour 5 ans ramené à un débit mensuel sec de retour 2 ans [25] :

$$\text{Concentration à prendre en compte} = \text{concentration maximale} \times \frac{QMNA5}{QMNA2}$$

8.2. ETABLISSEMENT D'UNE FEUILLE DE CALCUL

8.2.1. RAPPEL : METHODE DE LA DILUTION

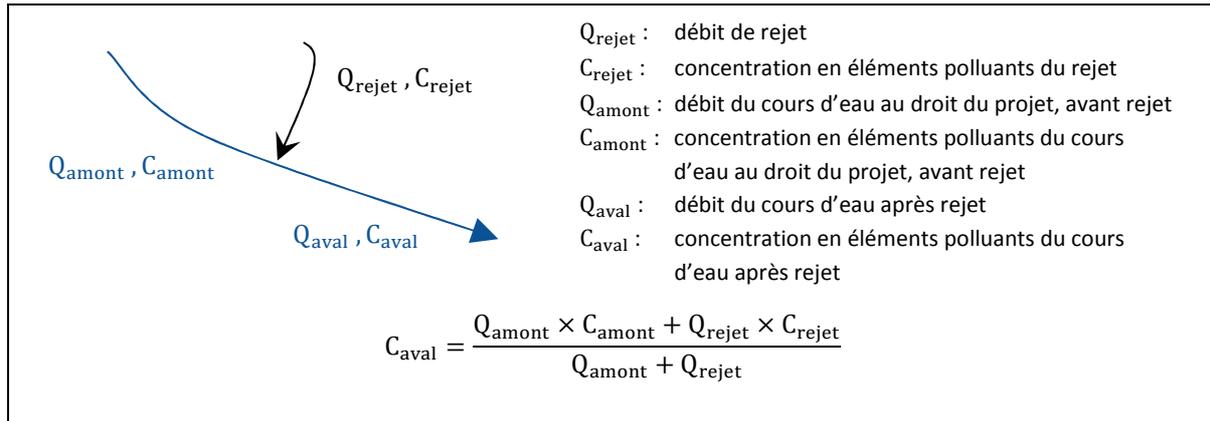


FIGURE 29 : PRINCIPE DE LA METHODE DE DILUTION [85]

L'objectif de qualité issue du SDAGE énoncée ci-dessus sera respectée si C_{aval} est inférieure à la concentration de l'objectif de qualité.

8.2.2. FEUILLE DE CALCUL

Les tableaux établis ont été renseignés avec les données de l'exemple pratique du projet des Rives du Borie à Ostwald (cf. Partie 7 – Etude de cas).

PARTIE 5 : TECHNIQUES ALTERNATIVES EN EAUX USEES

1. NATURE ET CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES

1.1. DEFINITION DES PRINCIPAUX PARAMETRES DE POLLUTION

- **Les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO)** (cf. Partie 4 - §1.1).

- **Les matières oxydables (MO)** : Ce paramètre a été établi dans le but de disposer d'un seul chiffre pour caractériser la pollution carbonée. Les matières oxydables (MO) correspondent à une moyenne pondérée de la DCO et de la DBO5, mesurées après une décantation de 2 h, suivant la formule : $MO = (DCO + 2 \times DBO5)/3$

- **L'azote total Kjeldahl (NTK)** : L'azote Kjeldahl est la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal (toxique et consommateur d'oxygène lorsqu'il se transforme en nitrates, puis en nitrites) qui, oxydé en nitrates, favorise l'eutrophisation. Cette forme d'azote est analysée suivant la méthode dite « de Kjeldahl ». L'azote présent dans les eaux usées brutes en réseau est quasiment exclusivement sous cette forme [1][60].

- **Le phosphore total (Pt)** : Le phosphore joue un rôle capital dans un grand nombre de métabolismes cellulaires et favorise les croissances algales (eutrophisation). Ce polluant est principalement apporté par les lessives. A l'inverse du cycle de l'azote, le cycle du phosphore est fermé et n'a aucun échange avec l'atmosphère. Pour cette raison, le phosphore apparaît comme un facteur de contrôle plus facilement maîtrisable au niveau du phénomène d'eutrophisation, d'où les enjeux sur la question des lessives sans phosphates.

1.2. NOTION D'EQUIVALENT HABITANT (EH)

L'Equivalent Habitant (EH) exprime la charge polluante moyenne engendrée par un habitant et par jour (soit la charge polluante contenue dans 150 litres d'eaux usées). Son utilisation se justifie par le fait qu'il est extrêmement difficile d'évaluer la pollution produite car elle dépend de nombreux paramètres liés aux activités diverses et variées qui peuvent exister. C'est pourquoi, face à ce manque d'homogénéité, on travaille sur des valeurs unitaires de production correspondant à un rejet standard d'un équivalent habitant.

L'arrêté du 9 décembre 2004 définit la quantité journalières suivantes pour chaque habitant ;

Charge polluante	MES	MO	NTK	Pt
1 EH	90 g	57 g	15 g	4 g

FIGURE 30 : CHARGE POLLUANTE JOURNALIERE PRODUITE PAR EQUIVALENT-HABITANT

Par ailleurs, la directive CEE du 21 mai 1991 fixe la DBO5 de l'équivalent habitant à 60 g. La DCO n'est quant à elle pas définie réglementairement.

1.3. DEFINITION DES TYPES D'EAUX USEES

Les eaux usées urbaines et rurales sont issues des habitations ou des sanitaires des entreprises, et sont dénommées « domestiques », (par opposition aux eaux industrielles qui ne seront pas développées dans cette étude). Les eaux usées comprennent les eaux vannes (ou eaux noires) et les eaux ménagères (ou eaux grises).

1.3.1. EAUX VANNES OU EAUX NOIRES

Les eaux vannes sont les eaux contenant des matières fécales (WC). Ces eaux se caractérisent par un volume journalier en général assez limité, mais dont la charge polluante est très importante. Elles contiennent 98% de la charge azotée produite par les ménages.

1.3.2. EAUX MENAGERES OU EAUX GRISES

Les eaux ménagères sont des eaux provenant des salles de bains, cuisines, lavabo, machines à laver, éviers, dont le volume est lié à la configuration intérieure des habitations.

1.4. CHARGES POLLUANTES DES EAUX USEES

Le tableau suivant est établi d'après des études menées aux USA [26] et des études françaises [27].

Référence	MES [g/hab/j]		DCO [g/hab/j]		DBO5 [g/hab/j]	
	[26]	[27]	[26]	[27]	[26]	[27]
WC	12.5 à 31	-	68	-	10.5 à 23.5	-
Douche, bain et lavabo	2 à 8	2 à 3	12	7 à 10	3 à 9	3 à 5.5
Evier de cuisine	3 à 4.5	5.5 à 17	19	18 à 57	6 à 9	9 à 26
Machine à laver	7 à 11	3 à 4	20	11 à 21	8 à 15	3.5 à 7
Total eaux ménagères	15.5 à 17.5	11 à 24	51	45.5 à 85	24.5 à 26	18.5 à 36
Total eaux ménagères + eaux vannes	30 à 46	-	119	-	37 à 49	-

TABLEAU 22 : CHARGES POLLUANTES DES EAUX USEES DOMESTIQUES [28]

2. TERMINOLOGIE PRE-REQUISE - TECHNIQUES DE DEPOLLUTION

- **Alimentation par un système de « bâchées »** : Alimentation par à-coups. Après stockage temporaire, le liquide est déversé rapidement sur le filtre, grâce à des pompes ou à un siphon auto-amorçant, de manière à submerger la totalité de la surface. Ce dispositif permet une infiltration homogène au travers du filtre.
- **Bactéries aérobies** : Micro-organismes ayant besoin d'oxygène pour vivre et se développer.
- **Bactéries anaérobies** : Micro-organismes n'ayant pas besoin d'oxygène.
- **Biomasse** : Masse totale des organismes vivants présents à un moment donné dans un biotope particulier.
- **Dénitrification** : Respiration dissimulatrice des nitrates par des bactéries anaérobies facultatives. NO_3^- est l'accepteur d'électrons d'une réaction conduisant à la production des composés gazeux NO , N_2O et N_2 .
- **Dispositifs « extensifs »** : Ensemble des systèmes d'épuration qui ont pour principe le traitement naturel via filtre planté, lagune, zone humide reconstituée, etc. sans intervention mécanique.
- **Dispositifs « intensifs »** : Ensemble des systèmes d'épuration avec traitement mécanique et oxygénation.
- **Eutrophisation** : Prolifération anormale de certaines algues aboutissant à l'asphyxie et la destruction de l'ensemble de l'écosystème.
- **Macrophytes** : Terme générique pour désigner toutes les plantes aquatiques visibles à l'œil nu.

- **Microphytes** : Végétaux minuscules composés d'une ou quelques cellules. Désigne l'ensemble des plantes aquatiques microscopiques.
- **Nitrification** : Processus par lequel l'ammonium est oxydé en nitrite (nitritation) puis en nitrate (nitratisation).
- **Percolation** : Mouvement de l'eau à travers un matériau poreux sous le seul effet de la gravité.
- **Photosynthèse** : La photosynthèse (lumière et composition) est le processus bioénergétique qui permet aux plantes et à certaines bactéries de synthétiser de la matière organique en exploitant la lumière du soleil. Les besoins nutritifs de ces organismes sont du dioxyde de carbone de l'eau et des sels minéraux. Dans ce processus bioénergétique, la végétation est utilisée comme support aux colonies bactériennes, assurant l'épuration efficace de l'eau qui traverse lentement les colonies végétales installées.
- **Rhizosphère** : Petite région autour des racines des roseaux où croissent de grandes populations de bactéries consommatrices ou non d'oxygène. Elle est l'interface entre plantes et micro-organismes.



FIGURE 31 : MACROPHYTES EN PLAN D'EAU [18]

3. PRESENTATION DES SYSTEMES ALTERNATIFS EN EAUX USEES

3.1. LAGUNAGE

PRINCIPE

Une station de lagunage est une succession de bassins de rétention peu profonds dans lesquels l'eau s'écoule lentement par gravité. Dans chacun de ces bassins, stagne une tranche d'eau où évolue un écosystème particulier. Cette technique permet essentiellement de s'appuyer sur une association biologique couvrant toute une chaîne alimentaire, à savoir ; les bactéries aérobies, les bactéries anaérobies, les algues ou phytoplancton et le zooplancton dans certains cas. Cette chaîne de dépollution se résume à une décantation des particules solides, à la filtration des effluents à travers la végétation, à la minéralisation aérobie et éventuellement la dégradation anaérobie de la matière organique ainsi que l'utilisation des nutriments produits par la végétation et l'action germicide du rayonnement solaire ainsi que l'aptitude à dégrader certaines molécules, en particulier les hydrocarbures.

La technique du lagunage est particulièrement bien adaptée aux petites communes rurales où de grandes surfaces sont disponibles. Pour assurer une bonne fiabilité de fonctionnement, on dispose généralement trois bassins en série ; le premier étant beaucoup plus grand que les autres car il s'agit d'un lieu de décantation plus important.

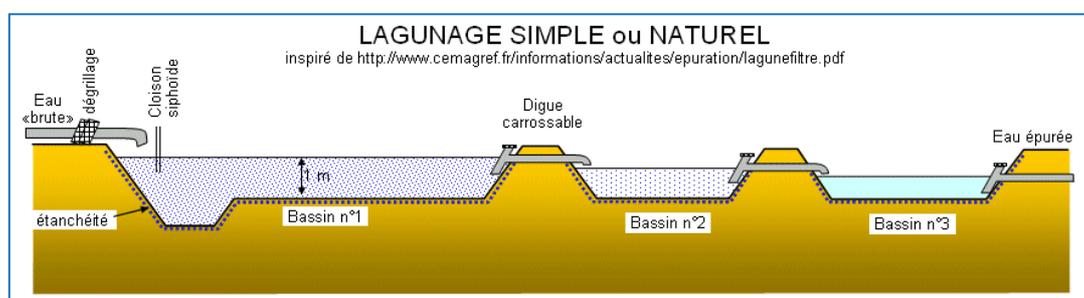


FIGURE 32 : COUPE TRANSVERSALE D'UN SYSTEME CLASSIQUE DE LAGUNAGE [86]

On distingue deux grandes familles de lagunage : le lagunage naturel et le lagunage aéré.

Remarque : Même si elle contient des végétaux aquatiques, la lagune est à différencier des filtres plantés de roseaux. Son processus d'épuration repose sur un équilibre complexe entre bactéries libres aérobies et algues, qui apportent l'oxygène par photosynthèse.

Lagunage naturel

Le principe de fonctionnement repose sur une dégradation aérobie biologique de la phase dissoute par les bactéries libres, l'oxygène étant fourni par les algues, en période diurne, grâce aux mécanismes naturels de la photosynthèse.

La tranche d'eau supérieure est exposée à la lumière et cela permet l'apparition d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Le gaz carbonique formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées permettent aux algues (microphytes) de se multiplier. En fond de bassin, les bactéries anaérobies dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Cette dégradation entraîne un dégagement de gaz carbonique et de méthane. En fait, l'épuration repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en culture libre et d'algues.

Il existe trois grands types de lagunage naturel suivant la profondeur des bassins, leur nombre et leur mode de fonctionnement.

Type	Profondeur des bassins	Appréciation des techniques
Lagunage à microphytes	> 1 m	Système éliminant mal l'azote et favorisant l'eutrophisation
Lagunage à macrophytes	0.30 – 0.50 m	Système valable requérant une surveillance régulière (faucardage et exportation des végétaux coupés) pour éviter l'envasement et l'eutrophisation
Lagunage mixte microphytes/macrophytes	1 m (1 ^{er} bassin) 0.30 – 0.50 m (autres bassins)	Technique simple et efficace

TABLEAU 23 : TYPES DE LAGUNAGE NATUREL

Lagunage aéré

Ces lagunes sont aérées par un brassage mécanique, ce qui permet de réduire leur taille. Dans l'étage d'aération, les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation. L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Dans l'étage de décantation, assuré principalement par une ou deux simples lagunes, les matières en suspensions (amas de micro organismes et de particules piégées) s'agglomèrent lentement sous forme de boues. Ces dernières doivent être régulièrement extraites. Le lagunage aéré est donc une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène [87].



FIGURE 33 : LAGUNAGE NATUREL A GOMMERSDORF (A GAUCHE) [88] ET LAGUNAGE AERE (A DROITE) [89]

EFFICACITE

Le lagunage est parfois considéré comme peu efficace. Ce jugement est dû aux mauvaises conditions dans lesquelles cette technique a souvent été utilisée : absence d'entretien, dimensionnement parfois hasardeux des ouvrages... Or, le lagunage est un excellent procédé si on le met correctement en œuvre et si on entretient correctement les différents éléments [4]. Cette technique offre de bons rendements épuratoires. Elle permet en général de diminuer la DBO de 90%, l'azote de 70-90% et le phosphore de 30-50%. Par rapport aux autres techniques existantes, le lagunage se distingue par son efficacité dans l'élimination des pathogènes.

ENTRETIEN ET COÛTS

Outre l'entretien des systèmes de prétraitement et des abords (fauchage des berges), il est nécessaire de procéder au faucardage des macrophytes avant l'hiver et de curer les bassins à microphytes tous les 7 à 10 ans pour remédier à l'accumulation des boues.

Les coûts d'investissements et d'entretien sont détaillés dans un tableau comparatif (cf. §5.1).

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Très bonne intégration paysagère- Excellente élimination de la pollution microbiologique- Faibles coûts d'investissement- Entretien facile et économique- Valorisations aquacole et agricole de la biomasse planctonique produite et des effluents épurés- Boues de curage stables (sauf celles en tête du premier bassin) avec une fréquence de curage pour la zone proche de 10 à 15 ans- Participe à la biodiversité (plantes, oiseaux...)- Lagunage naturel adapté au réseau unitaire- Lagunage aéré adapté au réseau séparatif	<ul style="list-style-type: none">- Emprise importante- Coûts d'investissement élevés s'il y a la nécessité d'imperméabiliser le sol- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie (rendement plus faible en hiver)- Maîtrise limitée de l'équilibre biologique et des processus épuratoires- N'apprécie pas les grandes pollutions ponctuelles et les pollutions chimiques- Risque de mauvaises odeurs si dysfonctionnement- Incompatible avec une nappe haute

3.2. FILTRE A INFILTRATION-PERCOLATION

PRINCIPE

Le principe d'épuration par infiltration-percolation consiste à infiltrer, après le passage des eaux usées dans un ouvrage de décantation primaire, l'effluent à épurer à travers un support granulaire fin (massif de sable) non saturé sur lequel est fixée la biomasse épuratoire. La filtration sur le sable en milieu insaturé permet principalement une oxydation de la matière organique, de nitrifier l'azote ammoniacal (formation de nitrates) et de réduire les germes pathogènes. L'épuration par filtration fait appel à la fois à des processus d'ordre physique, chimique et biologique [87].

Ce système repose principalement sur 2 mécanismes :

- La filtration superficielle : Les MES sont piégées en surface du massif filtrant et avec elle une fraction de la pollution organique (DCO particulaire).
- L'oxydation : le milieu granulaire constitue le réacteur biologique servant de support aux bactéries aérobies responsables de l'oxydation de la pollution dissoute (DCO soluble, azote organique et ammoniacal).

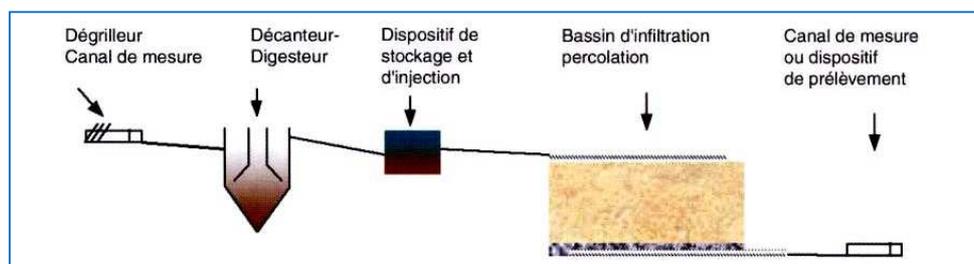


FIGURE 34 : SYSTEME DE BASSIN D'INFILTRATION-PERCOLATION

EFFICACITE

Les performances épuratrices de cette technique dépendent de la qualité de l'effluent (préalablement épuré), de la granulométrie du massif filtrant et de la vitesse d'infiltration. Le système d'alimentation des unités d'infiltration détermine, pour une large part, les performances d'une installation. Ce système doit assurer la répartition uniforme de l'eau sur la surface d'infiltration (submersion temporaire, tourniquet hydraulique...). La surface des massifs filtrants doit être subdivisée en au moins deux unités d'infiltration, de manière à permettre l'alternance des phases de fonctionnement et de séchage. L'épaisseur de sable (granulométrie fine de 0,2 à 0,5 mm de diamètre) peut varier de 0,7 m à 3 m. Une épaisseur importante est généralement requise pour permettre un abattement microbiologique significatif. Ce procédé permet l'élimination de 92% de la DBO₅, de 85% de la DCO et de 89% des MES, la disparition totale des germes pathogènes, l'abattement de 76% de l'azote et de 43% des phosphates.

ENTRETIEN ET COUTS

Les stations d'infiltration-percolation n'échappent pas aux règles générales d'entretien et de surveillance applicables aux stations d'épuration classiques. Outre les visites de routine et de contrôle, il faut procéder à la vidange périodique des boues du décanteur et à un entretien régulier des surfaces d'infiltration (ratisage des résidus secs, nivellement, entretien de la végétation). On notera que le colmatage est la principale cause de défaillance de ces systèmes.

Les coûts d'investissements et d'entretien sont détaillés dans un tableau comparatif (cf. §5.1).

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Excellentes performances pour la DBO5, la DCO et les MES - Nitrification poussée - Exploitation simple, de courte durée mais régulière - Gestion des boues facilitée - Emprise au sol limitée - Bonne intégration paysagère 	<ul style="list-style-type: none"> - Demande une parfaite maîtrise du matériau support (structure et texture) - Risque élevé de colmatage - Très sensible aux effets du gel - Nécessite un entretien régulier - Nécessite un ouvrage de décantation primaire

3.3. FILTRES PLANTES DE ROSEAUX

PRINCIPE

L'épuration, s'effectue selon le principe de l'épuration biologique principalement aérobie dans des milieux granulaires fins à grossiers. Ces filtres seront précédés d'un dispositif de décantation. On emploie communément le terme « Rhizosphère » pour désigner les stations d'épuration à lits filtrants plantés de roseaux.

Les filtres plantés de roseaux (FPR) à écoulement vertical

Dans les filtres à écoulement vertical, les eaux usées percolent au travers de matériaux drainés. Ils sont généralement toujours agencés en parallèle et ainsi alimentés de façon alternée et par des bûchées. Cette technique d'épuration, comme l'infiltration-percolation, repose sur les mécanismes d'infiltration superficielle et d'oxydation.

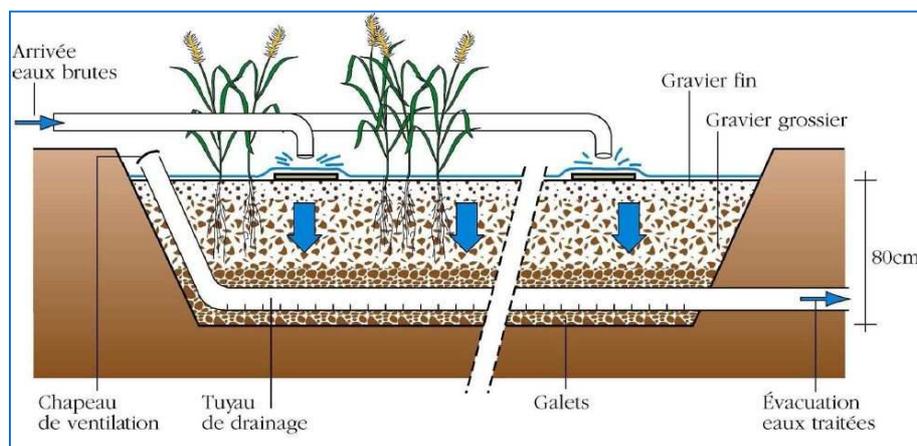


FIGURE 35 : SCHEMA D'UN FILTRE PLANTE A ECOULEMENT VERTICAL [29]

Les filtres plantés de roseaux (FPR) à écoulement horizontal

Dans les filtres à écoulement horizontal, les matériaux sont en état de saturation permanente quasi complète et ils sont constitués d'un seul bassin ou de plusieurs placés en série. Les filtres horizontaux sont des bassins remplis de manière homogène de sable, de gravier ou de sol en place, et dans lesquels ont été plantés des macrophytes.

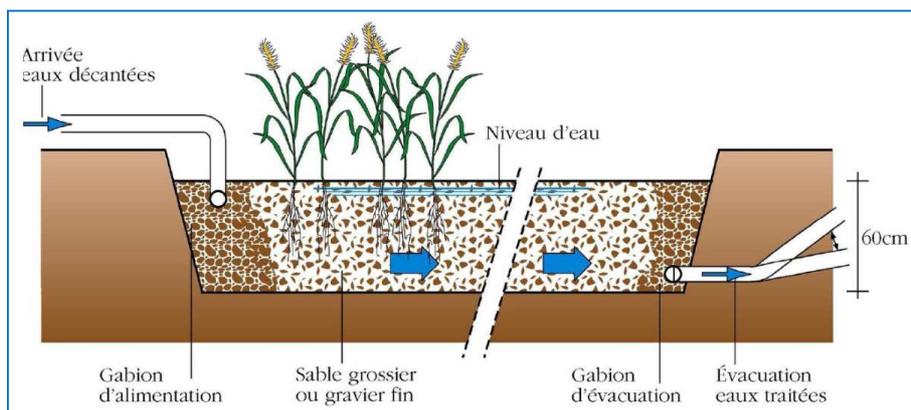


FIGURE 36 : SCHEMA D'UN FILTRE PLANTE A ECOULEMENT HORIZONTAL [29]

ROLE DES ROSEAUX (MACROPHYTES)

Ces plantes disposent d'un système racinaire très dense qui améliore l'oxygénation des filtres, une condition sine qua non au développement des micro-organismes. Les roseaux ont la propriété de transporter, en grande quantité, de l'oxygène depuis leurs feuilles vers leurs racines et radicules. Ainsi, tout l'environnement racinaire, et donc la masse des boues, devient un milieu oxygéné (aérobie) propice à la dégradation de la matière organique, sans odeurs (pas de fermentation).

De plus sous l'action des vents, les oscillations des roseaux entraînent un mouvement des tiges et racines dans la masse des boues et au sein du massif. De fait, les boues ne risquent pas de colmater les lits filtrants. Poursuivant leur croissance même en hiver, les rhizomes assurent la protection du système contre le gel. Pour terminer, les roseaux, en créant de l'ombre, permettent le maintien d'une hydrométrie propice à la formation d'une biomasse bactérienne.

EFFICACITE

Les lits filtrants plantés de roseaux présentent des performances épuratoires très intéressantes. Son efficacité est optimale avec une juxtaposition de filtres végétaux verticaux et en fin de processus un filtre végétal horizontal. Après un dégrillage, les eaux sont orientées vers un filtre végétal vertical où les particules plus fines et les matières solides sont récupérées (1^{er} étage). Ensuite, le passage dans un 2^{ème} filtre végétal vertical permet d'épurer l'eau des matières organiques dissoutes. Enfin, un traitement complémentaire peut être effectué par l'intermédiaire d'un lit planté à écoulement horizontal (3^{ème} étage). Il s'agit d'un traitement de finition qui permet de traiter des polluants qui ne peuvent l'être qu'en milieu où l'oxygène ne circule pas librement (azote et phosphore).

En général, les effluents perdent par filtration jusqu'à 90 % de leurs matières en suspension en traversant un massif de granulats adaptés (contre seulement 50 % par décantation classique). Les MES (boues) retenues sont déshydratées et compostées sur place grâce à l'action conjuguée des bactéries et des plantes. Dans ce processus, leur volume diminue très fortement et le résidu est transformé en terreau parfaitement aéré et de perméabilité élevée qui s'accumule très lentement sur la surface des filtres.

ENTRETIEN ET COUTS

Un lit de roseaux a théoriquement une espérance de vie minimale de 70 ans. Les plus vieux lits de roseaux actuels ont plus de 20 ans et continuent de fonctionner pratiquement sans entretien.

L'exploitation consiste à une vérification du fonctionnement pendant ½ heure deux fois par semaine ainsi qu'à un faucardage des végétaux une fois par an. Il convient également de procéder à une gestion des phases de repos et d'alimentation. Le renouvellement des sables et des roseaux, le curage des bassins plantés de roseaux est aussi à prévoir.

Les coûts d'investissements et d'entretien sont détaillés dans un tableau comparatif (cf. §5.1).

AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Avantages	Inconvénients
<p>FPR à écoulement vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bonnes performances épuratoires pour les paramètres particuliers, carbonés et azotés - Possibilité de traiter les eaux usées brutes et d'infiltrer dans le sol en place - Gestion facile des boues - Entretien simple - Coûts d'investissement et d'exploitation relativement faible - Bonne intégration paysagère <p>FPR à écoulement horizontal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faible consommation énergétique hormis alimentation par poste de pompage - Entretien simple - Dénitrification partielle possible en cas de recirculation de l'eau traitée 	<p>FPR à écoulement vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peu adapté aux surcharges hydrauliques - Faibles abattements pour le traitement de l'azote global (absence de dénitrification) - Emprise au sol relativement importante - Exploitation régulière, faucardage annuel, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux - Risque de présence d'insectes ou de rongeurs <p>FPR à écoulement horizontal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Traitement primaire impératif à l'amont - Emprise au sol relativement importante

3.4. AUTRES SYSTEMES

3.4.1. LITS PLANTES DE MACROPHYTES

On entend par « lit planté de macrophytes » tout système de traitement des eaux usées qui met en œuvre des plantes non microscopiques dans un substrat, appelé également filtre planté ou phytoépuration.

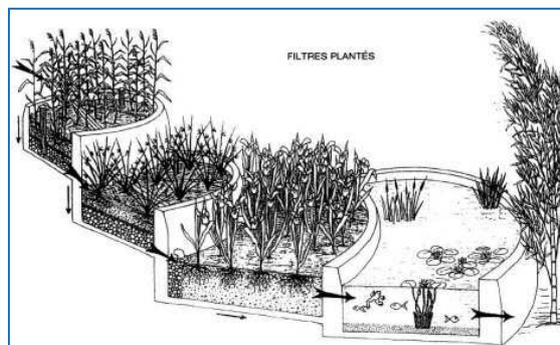


FIGURE 37 : PRINCIPE DES LITS PLANTES DE MACROPHYTES [90]

4. CONDITIONS D'UTILISATION DES SYSTEMES ALTERNATIFS

4.1.1. CHOIX EN FONCTION DES CONTRAINTES DU SITE

	Contraintes du site				
	Nappe peu profonde	Pente du site forte	Climat froid	Capacité d'absorption du sol faible	Roche affleurante
Lagunage naturel	✗	✗	✗	✓	✓
Lagunage aéré	✗	✗	✓	✓	✓
Infiltration-percolation	✗	✓	✗	✗	✗
Filtres plantés de roseaux	✗	✓	✓	✓	✓
Jardins filtrants	✗	✓	✓	✓	✗
Tertre d'infiltration	✓	✓	✗	✗	✗

Légende : ✓ Compatible ✗ Incompatible

TABLEAU 24 : CHOIX D'UNE TECHNIQUE ALTERNATIVE EU EN FONCTION DES CONTRAINTES DU SITE

4.1.2. CHOIX EN FONCTION DE LA CAPACITE ET DE L'EMPRISE DISPONIBLE

	Capacité (EH)				Emprise par EH (m ² /EH)		
	< 50 EH	50 à 100 EH	100 à 200 EH	> 200 EH	Emprise/EH faible (< 5 m ² /EH)	Emprise/EH moyenne (5 à 10 m ² /EH)	Emprise/EH élevée (> 10 m ² /EH)
Lagunage naturel	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓
Lagunage aéré	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗
Infiltration-percolation	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓
Filtres plantés de roseaux	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗
Jardins filtrants	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Tertre d'infiltration	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓

Légende : ✓ Compatible ✗ Incompatible

TABLEAU 25 : CHOIX D'UNE TECHNIQUE ALTERNATIVE EU EN FONCTION DE LA CAPACITE ET DE L'EMPRISE DISPONIBLE

5. COMPARAISON DES COUTS

5.1. RECAPITULATIF DES COUTS DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

Système	Coûts d'investissement (€/EH)				Coûts Entretien (€/EH/an)
	< 100 EH	100 à 500 EH	500 à 1000 EH	> 1000 EH	
Lagunage naturel	-	600 €	250 €	150€	5 à 10 €
Lagunage aéré	-	-	300 €	180 €	6 à 10 €
Infiltration-percolation	530 €	600 €	550 €	500 €	25 à 40 €
Filtres plantés de roseaux	750 €	600 €	450 €	350 €	9 à 20 €
Jardins filtrants	1 100 €	700 €	500 €	400 €	25 à 40 €
Tertre d'infiltration	1 150 €	-	-	-	5 à 10 €

TABLEAU 26 : TABLEAU DES COUTS DES TECHNIQUES ALTERNATIVES EN EAUX USEES

5.2. COUTS PAR RAPPORT AUX TECHNIQUES CLASSIQUES

Ces techniques alternatives sont moins coûteuses que les stations d'épuration. Rappelons qu'une STEP nécessite un investissement de 380 €/EH pour une station de 2 000 EH, de 250 €/EH pour une station de 50 000 EH et de 220 €/EH pour une station de 100 000 EH [1]. On relève un coût entretien quasi similaire, voire plus avantageux pour les lagunages et les tertres d'infiltration (5 à 10 €/EH contre 8 et 25 €/EH pour les STEP).

Cependant, les STEP sont très avantageux lorsque de grandes capacités de traitement d'effluents sont requises. Dans ce cas, elles sont moins onéreuses que la majorité des systèmes alternatifs, exception faite du lagunage. En définitive, ces techniques alternatives peuvent représenter une solution compensatoire intéressante pour soulager les stations d'épuration qui atteignent les capacités pour lesquelles elles ont été dimensionnées.

6. COMPARAISON DE L'EFFICACITE DES TECHNIQUES

6.1. EFFICACITE DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

6.1.1. TABLEAU DE COMPARAISON

	Abattements moyens par paramètre (%)					Moyenne par système
	MES	DCO	DBO5	NTK	PT	
Lagunage naturel	80	75	90	70	60	75
Lagunage aéré	87	82	93	60	50	74
Infiltration-percolation	89	85	92	76	43	77
Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical	90	85	90	85	40	78
Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	80	76	83	35	30	61
Moyenne par paramètre	85	81	90	65	45	73

TABLEAU 27 : TABLEAU DES ABATTEMENTS MOYEN DES TECHNIQUES ALTERNATIVES EU [87]

6.1.2. REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EFFICACITES

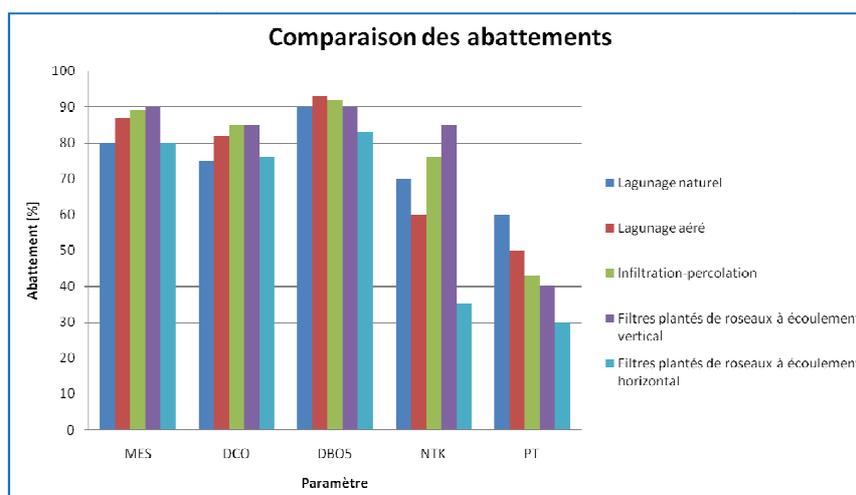


FIGURE 40 : GRAPHIQUE DES ABATTEMENTS DES SYSTEMES POUR CHAQUE PARAMETRE

6.2. CONCLUSIONS

6.2.1. CONCLUSIONS SUR LES TECHNIQUES ALTERNATIVES

L'ensemble des systèmes étudiés montrent des valeurs quasi-similaires en ce qui concerne l'efficacité sur les MES, la DCO et la DBO5. Cependant, des différences sensibles sont à noter pour l'azote NTK et le phosphore total : les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et le lagunage sont respectivement les plus performants pour le traitement de l'azote NTK et du phosphore, tandis que les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal présentent les résultats d'épuration les plus faibles. Néanmoins, les performances des filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal visant la réduction du phosphore peuvent être améliorées avec l'emploi d'un matériau spécifique, par exemple l'apatite (roche de phosphate de calcium naturelle) qui a la particularité d'être attrayante pour son pouvoir fort de fixation du phosphore sur le long terme.

6.2.2. CONCLUSIONS PAR RAPPORT AUX TECHNIQUES CLASSIQUES

	MES	DCO	DBO5
STEP	94	90	95
Fosses septiques	65 à 80	45 à 50	50 à 60
Décanteurs-digesteurs	50	-	30
Micro station d'épuration	92	90	95
Moyenne systèmes classiques	77	76	69
Moyenne systèmes alternatifs	85	81	90

TABLEAU 28 : TABLEAU DES ABATTEMENTS MOYEN DES TECHNIQUES ALTERNATIVES EU PAR RAPPORT AUX TECHNIQUES CLASSIQUES

Les systèmes alternatifs présentent des abattements presque aussi performants voire meilleurs que la majorité des systèmes classiques. On remarque que les stations d'épuration demeurent le moyen le plus efficace pour l'épuration des eaux usées. Par contre, les techniques alternatives peuvent largement concurrencer les systèmes usuels d'assainissement non collectif d'un point de vue de l'efficacité, les abattements étant très souvent bien supérieurs.

7. COMPARAISON MULTICRITERE DES TECHNIQUES

7.1. OBJET DE L'ETUDE ET NOTATION

Cette étude est similaire à celle réalisée dans la partie 4. Les notes et pondérations sont attribuées selon la même méthodologie.

7.2. RESULTATS

Les tableaux détaillées des calculs sont joints en annexes B.2.2. On aboutit aux résultats suivants :

Système	Situation 1 : Milieu urbain			Situation 2 : Milieu rural		
	Note	Note/10	Classement	Note	Note/10	Classement
Lagunage naturel	70,70	7,7	1	70,80	8,0	1
Lagunage aéré	65,40	7,1	2	65,45	7,4	3
Infiltration-percolation	45,40	4,9	6	43,35	4,9	5
Filtres plantés de roseaux	67,90	7,4	3	66,05	7,4	2
Jardins filtrants	62,60	6,8	4	59,90	6,7	4
Tertre d'infiltration	45,75	5,0	5	42,80	4,8	6

TABLEAU 29 : RESULTATS DE L'ETUDE COMPARATIVE DES TECHNIQUES ALTERNATIVES EU

7.3. CONCLUSIONS

Tout d'abord, on s'aperçoit que le classement des systèmes dans les deux milieux est différent même s'il n'y a pas de grandes variations.

D'après cette étude, les lagunages naturels et aérés présentent les meilleures caractéristiques. Les résultats démontrent qu'ils sont mieux adaptés à un environnement rural qu'à un environnement urbain. Les points forts de ces systèmes étant l'intégration dans le paysage, les coûts d'investissement et d'entretien, la capacité de stockage, la plurifonctionnalité et la longévité de l'ouvrage.

S'en suivent les filtres plantés de roseaux qui peuvent être mis en œuvre aussi bien à la ville qu'à la campagne. Ils obtiennent de bons résultats dans tous les critères avec notamment une excellente intégration paysagère.

Les jardins filtrants présentent des performances presque similaires aux filtres plantés de roseaux. Cependant les coûts d'investissement et d'entretien de ces systèmes sont plus élevés.

Enfin, les tertres d'infiltration et les systèmes à infiltration-percolation recueillent les notes les plus faibles. Cela se justifie principalement par leur intégration paysagère médiocre même si leur efficacité est avérée. Par ailleurs, leurs emplois peuvent se faire sans contraintes relatives au milieu, qu'il soit urbain ou rural.

8. CALCUL DE LA POLLUTION

On pourra établir en première approximation les impacts de la pollution par un calcul analogue à celui effectué dans la partie 4. Toutes les données de type pluviométrie et surface imperméabilisées étant remplacées par le nombre d'équivalent habitant total et les quantités de pollution afférents ainsi que les concentrations avant et après traitement. Les caractéristiques du milieu récepteur restant identiques. A titre d'exemple, un calcul est joint en annexes (Annexe D.3).

PARTIE 6 : ACCEPTABILITE SOCIALE

1. OBJET

Cette partie du mémoire a pour objectif de mesurer l'acceptabilité sociale de ces techniques alternatives. Dans l'optique d'établir un diagnostic précis et représentatif, et de bénéficier d'une vision réaliste sur l'acceptabilité des techniques alternatives, j'ai décidé de mener une enquête ciblant tous les acteurs intervenant dans un projet d'aménagement. Cette enquête a donc pour finalité d'appréhender la connaissance, la perception et l'acceptabilité de ces ouvrages par les élus, les services techniques, les bailleurs sociaux, les aménageurs, les architectes, les urbanistes, les constructeurs privés et les citoyens.

2. METHODOLOGIE ET QUESTIONS DE L'ENQUETE

Deux questionnaires différents ont été établis, le premier à destination des décideurs et des hommes d'études (élus, services techniques, bailleurs sociaux, aménageurs, architectes, paysagistes, urbanistes, constructeurs privés), le second destiné aux usagers (citoyens). Bien évidemment, même s'ils ont été adaptés à chaque catégorie sociale, certaines questions sont identiques ou présentent des similitudes dans leur formulation afin de pouvoir comparer efficacement les résultats entre catégories.

Les questions couvrent plusieurs thèmes :

- ✓ Connaissance des techniques ;
- ✓ Pratiques d'utilisation des techniques ;
- ✓ Perception des techniques alternatives ;
- ✓ Communication et informations ;
- ✓ Questions générales ;
- ✓ Volet commercial et financier ;
- ✓ Remarques, suggestions et critiques.

Une page Web a été réalisée pour cette consultation. L'enquête a été ouverte pendant 3 semaines et 264 appréciations ont été recueillies (voir ci-dessous).

3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

3.1. PARTICIPATIONS

	Elus	Services techniques	Aménageurs, architectes, urbanistes	Bailleurs sociaux	Constructeurs privés	Citoyens	TOTAL
Participants	42	36	33	2	3	148	264

TABLEAU 30 : TAUX DE PARTICIPATION A L'ENQUETE

Remarque : la lecture et l'appréciation des réponses des bailleurs sociaux et des constructeurs privés vont être interprétées avec une grande prudence et avec discernement. En effet, le faible recueil de résultats de ces catégories ne permet pas de conclure avec une représentativité suffisante. Néanmoins, il s'agit d'acteurs en première ligne des projets, leurs voix ne sont donc pas pour autant à négliger.

3.2. RESULTATS

L'ensemble des résultats et des graphiques associés, pour chaque question, est présenté en annexes C.

3.2.1. CONNAISSANCE DES TECHNIQUES

▪ La connaissance des systèmes alternatifs en EP

Les noues, fossés, tranchées drainantes ainsi que les citernes de récupération des eaux de pluie et les toitures végétalisées sont les systèmes les plus connus par les décideurs et hommes d'études (systèmes mentionnées à plus de 80%). Les autres techniques alternatives, hormis les modules d'épandages, sont toutes bien connues par ce panel (> 56%).

Les citernes de récupération arrivent largement en tête pour les citoyens (97%), s'en suivent les toitures végétalisées (73%). Par contre, tous les autres systèmes sont très peu connus (< 45%).

▪ La connaissance des systèmes alternatifs en EU

Le lagunage naturel et les filtres plantés de roseaux sont bien cernés par les élus, décideurs et professionnels. Les autres techniques (lagunage aéré, bassins d'infiltration-percolation, jardins filtrants...) semblent moins évoquées.

Du côté des citoyens, on relève qu'environ 30% des personnes n'ont connaissance d'aucun des systèmes mentionnés.

3.2.2. PRATIQUES D'UTILISATION DES TECHNIQUES

L'enquête montre actuellement que les élus, services techniques, aménageurs, architectes-paysagistes et urbanistes, ont recours fréquemment aux techniques alternatives (entre 20% et 60%). De plus, d'après les résultats, les pratiques d'utilisation sont élevées : utilisation fréquente et/ou occasionnelle de 83% contre 17% de techniques « jamais utilisées ».

Une grande partie de citoyens (45%) prétend posséder des citernes ou des cuves de récupération des eaux pluviales. 48% assurent employer un autre système (puits perdu, fosse septique...) et 28% n'ont aucun système, c'est-à-dire qu'ils bénéficient d'un raccordement au réseau d'assainissement collectif.

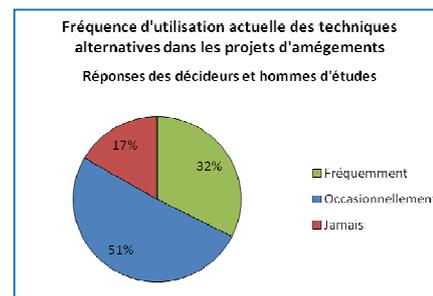


FIGURE 41 : FREQUENCE D'UTILISATION

3.2.3. PERCEPTION DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

▪ L'emploi des techniques alternatives dans les projets futurs

Toutes les catégories, y compris les citoyens, s'accordent à dire qu'ils sont favorables à l'utilisation de ces techniques compensatoires (93%) dans les projets futurs. Seuls 2% des personnes sondés s'y opposent et environ 6% ne se prononcent pas.

En ce qui concerne l'hypothèse d'un emploi systématique de ces techniques, le pourcentage de personnes favorables dans la catégorie « décideurs et hommes d'études » diminue jusqu'à 86%, et demeure constant pour les citoyens (94%). Il subsiste 6% de l'ensemble des catégories qui s'y opposent.

- **Les objectifs d'un aménagement**

Contre toute attente, les décideurs et hommes d'études et les citoyens ont répondu d'une voix unanime. Pour eux, les aménagements, a fortiori les techniques alternatives, doivent avant tout être fonctionnels et doivent également intégrer la composante écologique, relative au développement durable, notion très en vogue ces dernières années. Le critère économique passe en second plan mais est toutefois à considérer. L'esthétique est le critère le moins important parmi les quatre critères proposés.

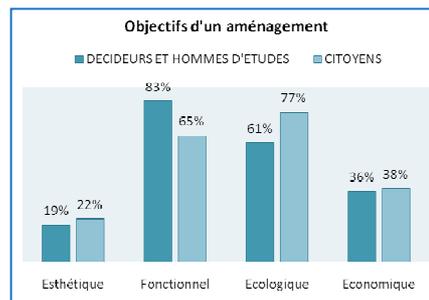


FIGURE 42 : OBJECTIFS D'UN AMENAGEMENT

- **Les caractéristiques des techniques alternatives requises**

Concernant la détermination des critères les plus importants selon que le site se trouve en milieu urbain ou rural, les décideurs et hommes d'études ont répondu de manière analogue (cf. Partie 4 - §7.2.2). Dans les deux milieux, ils considèrent que l'intégration paysagère, les coûts d'investissement et d'entretien, la durée de vie de l'ouvrage et l'efficacité en terme d'épuration des eaux sont les critères primordiaux. Ensuite arrivent les critères de plurifonctionnalité et de capacités de stockage qui sont également sensiblement égales dans les deux cas. Enfin, l'emprise au sol et surtout l'encombrement du sous-sol sont des critères qui sont plus importants en milieu urbain qu'en milieu rural (environ 2 fois plus important).

Les élus et hommes d'études pensent globalement (46%) que les techniques alternatives ont une efficacité suffisamment performante par rapport aux techniques classiques. Une grande partie (36%) ne se prononce pas, peut-être faute d'une connaissance pas assez précise sur ce sujet. 18% de cette population estiment qu'elles sont moins efficaces que les systèmes classiques, tels que les séparateurs d'hydrocarbures.

Lorsqu'on évoque les possibles désagréments résultants de l'emploi de certaines techniques alternatives, par exemple les odeurs, les moustiques... qui peuvent être engendrés par l'implantation de bassins dans un aménagement urbain, les ¼ des citoyens comprennent ou les laissent indifférents parce que non concernés par ces inconvénients, les autres trouvent qu'il s'agit d'une situation dérangeante et inacceptable. C'est donc un point de vigilance auquel il faudra faire attention à la fois lors de la conception des ouvrages que lors des informations au public.

3.2.4. COMMUNICATION ET INFORMATIONS

- **La mise en valeur des techniques alternatives dans les projets**

L'enquête permet de relever une insuffisance sur la mise en valeur des techniques alternatives, quelle que soit la forme : publicité sur les systèmes maîtrisés, lettre d'informations... En effet, 83% de l'ensemble des personnes sondées trouvent qu'ils ne sont pas assez valorisés, contre seulement 9% qui jugent une mise en valeur satisfaisante. Ce constat est reconnu autant par les citoyens que par les élus et les hommes d'études.

- **Les connaissances des possibilités de gestion des eaux**

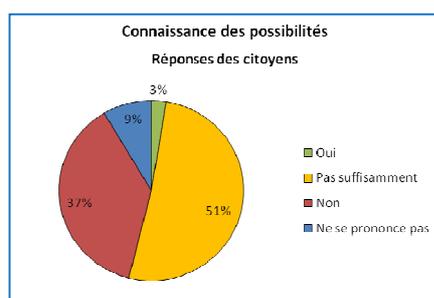


FIGURE 43 : CONNAISSANCE DES POSSIBILITES

Les citoyens affirment clairement (88%) un manque d'informations sur les éventuelles économies résultantes de la mise en œuvre de ces techniques et aussi un manque d'ambition de leur municipalité ou de leur gestionnaire de réseaux pour partager avec eux les principes des solutions alternatives. Les décideurs et professionnels jugent également que les citoyens n'ont pas connaissance, à l'heure actuelle, des réelles possibilités de gestion des eaux pluviales et usées et des gains éventuels escomptés sous forme de retour sur investissement en fonction des solutions choisies.

Par ailleurs, les décideurs et hommes d'études sont partagés sur la question de savoir s'il y a une certaine réticence de la part des futurs acquéreurs par rapport à l'utilisation de ces techniques : environ 40% jugent que oui, 40% que non, et 20% ne se prononcent pas.

Ces derniers indiquent également (46%) que le gestionnaire du réseau d'assainissement ne communique pas assez, selon eux, de statistiques sur le volume traité par les stations d'épuration ou sur l'efficacité et sur les économies résultant d'une intégration des techniques alternatives. Les élus pensent à hauteur de 50% que la communication est satisfaisante tandis que les autres catégories partagent ce point de vue à environ 20%.

- **L'amélioration de la communication**

Une grande majorité des élus et les hommes d'études (81%) attachent une importance particulière à l'idée d'une intégration, dans les cahiers des charges des futures opérations d'aménagement, d'une communication soutenue auprès des riverains du projet pour les informer, les sensibiliser sur les possibilités et les avantages de l'utilisation des techniques alternatives et pour leur démontrer l'intérêt de leurs mises en œuvre.

3.2.5. QUESTIONS GENERALES

- **La prise en compte du développement durable**

A la question de la qualification du degré de prise en compte de la notion de développement durable dans les opérations d'aménagement, les avis sont partagés. Les décideurs et hommes d'études considèrent une intégration satisfaisante, voire importante de cette notion, alors que les citoyens relèvent son insuffisance.

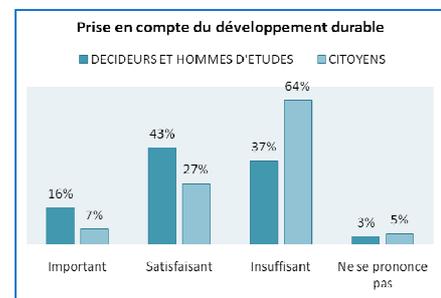


FIGURE 44 : PRISE EN COMPTE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

- **Les règlements d'urbanisme**

Lorsqu'on évoque aux décideurs et hommes d'études le degré de prise en compte de ces techniques alternatives dans les règlements d'urbanisme (SCOT, PLU, POS, carte communale...), les réponses sont mitigées : 60% disent que non, 23% considèrent que oui et 17% ne se prononcent pas.

- **Les envies des citoyens**

D'une manière générale, les citoyens plébiscitent ces techniques. En effet, plus de ¾ d'entre eux sont disposés à vivre dans un aménagement qui intègre des techniques alternatives. Seuls 7% y sont opposés. Ainsi, la réalisation de lotissement, ZAC, éco-quartier... ont une bonne image auprès des citoyens, suffisamment pour qu'ils soient aussi nombreux à vouloir y habiter.

3.2.6. VOLET COMMERCIAL ET FINANCIER

- **Les techniques alternatives : un argument de vente ?**

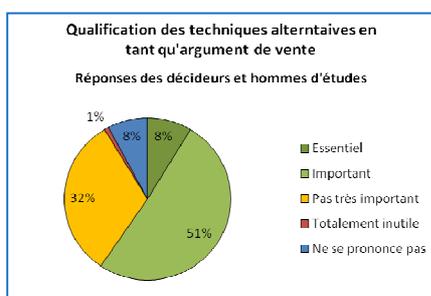


FIGURE 45 : LES TECHNIQUES ALTERNATIVES EN TANT QU'ARGUMENT DE VENTE

Près de 60% des professionnels voient au travers de ces techniques alternatives un argument de vente essentiel ou important. Ils y voient un pouvoir d'attraction considérable, qui, comme vu précédemment, est en corrélation avec la bonne image que dégagent ces techniques et l'envie des citoyens à résider dans ces aménagements « durables ». En outre, environ 30% considèrent que ces techniques ont certes de l'influence et de la valeur lors de la vente des terrains mais ne font pas partie des facteurs déterminants ou indispensables.

- **Les emprises dédiées aux techniques alternatives**

Les élus, les services techniques, les aménageurs, architectes et urbanistes, ainsi que les bailleurs sociaux et constructeurs privés sont tous plutôt disposés à réserver une certaine emprise foncière dédiée à la mise en œuvre de techniques alternatives plutôt que d'utiliser cette emprise pour augmenter la superficie des terrains commercialisables. En moyenne, 60% sont prêts à réaliser ce compromis, 10% sont contre et 30% s'abstiennent de répondre.

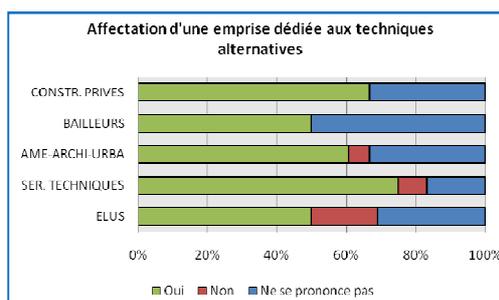


FIGURE 46 : EMPRISES DEDIEES AUX TECHNIQUES

- **Une majoration des coûts des terrains ?**

La question posée aux décideurs et hommes d'études sur leur prédisposition à fixer une majoration sur les coûts des terrains commercialisables, pour proposer à la population un aménagement intégrant des techniques alternatives plutôt qu'un aménagement dit classique, recueille 61% d'avis favorable.

Du côté des citoyens, cette idée serait plutôt bien perçue et acceptée. Plus de 50% d'entre eux s'accordent à dire qu'ils sont prêts à acquérir un terrain à un prix plus élevé alors que 30% y sont opposés.

- **L'investissement des citoyens dans les techniques adaptées à la parcelle**

78% des citoyens sondés sont prêts à investir financièrement dans une ou des techniques de gestion d'eaux pluviales ou usées privatives, bien évidemment, tout en exigeant un retour sur investissement.

3.2.7. QUELQUES REMARQUES LAISSEES PAR LES SONDES

Plusieurs personnes ont laissées des remarques sur des aspects divers afférents aux techniques alternatives. Voici une sélection de quelques extraits :

- Un élu rappelle que les techniques alternatives sont encore en « phase de découverte ». Il convient d'apprécier ces techniques « sur la durée ».
- Un urbaniste qualifié OPQU (Office Professionnel de Qualification des Urbanistes) mentionne qu'il lui semble « essentiel d'arriver à intégrer les techniques alternatives comme un élément du projet et surtout de démontrer qu'elles ne coûtent pas plus cher en définitive que d'autres solutions, voire moins. C'est la condition de leur succès. Les tentatives actuelles de fiscaliser plus ou moins directement les techniques de récupération/réemploi des eaux de pluies sont à ce titre mortifères pour ces techniques. Le recensement sous couvert d'écologie destiné en réalité à permettre à terme la taxation de ces techniques au titre de l'épuration est à ce titre politiquement prématuré et contre-productif. La collectivité (syndicat d'assainissement) oublie me semble-t-il d'intégrer à ses calculs la diminution de charge sur ses équipements d'élimination pluviale en période de précipitations... ».
- Un membre d'un service technique de collectivité indique que, « par expérience, les techniques alternatives se heurtent bien plus souvent à la réticence des services de l'Etat qu'aux documents d'urbanisme. Par ailleurs, ce n'est pas tant la technique alternative elle-même qui dérange mais l'inexpérience des entreprises qui les réalisent qui pose problème. »
- Un premier citoyen met en avant son consentement par rapport à une majoration des coûts pour habiter dans un aménagement intégrant des techniques alternatives à condition d'avoir « un retour sur investissement et si l'aménageur ne fait pas de bénéfice en prétextant que "c'est écologique". »
- Un second citoyen fait part « qu'il serait plus qu'utile de mettre en place des techniques de récupération des eaux de pluie et/ou de recyclage des eaux usées (par exemple les eaux de lave linge recyclés pour les WC...). Mais faire porter la charge de ces techniques alternatives aux citoyens n'est pas acceptable [...] parce qu'il est inadmissible que la distribution de l'eau, denrée la plus

indispensable à laquelle chaque humain devrait accéder au prix coûtant, ait été remis entre les mains de sociétés cotées en bourse qui ne cherchent qu'à faire du profit et prennent les consommateurs en otage. C'est un choix perfide et injuste. »

- Un troisième citoyen affirme que « c'est un problème très souvent mis en dernier au budget, c.-à-d. que c'est la première chose qui saute lorsqu'il s'agit de trouver des économies dans un programme d'investissement. Les lobbies architecturaux passent avant beaucoup de choses qui seraient nécessaire pour préserver l'environnement. »

4. COMMENTAIRES, AXES DE REFLEXION ET PISTES D'AMELIORATION

4.1. LA CONNAISSANCE DES TECHNIQUES ET PRATIQUES D'UTILISATION ACTUELLES

- **Une connaissance et une utilisation satisfaisante...**

L'enquête met en évidence la bonne connaissance des techniques alternatives de la part des élus et hommes d'études ainsi que des citoyens, avec bien évidemment une connaissance plus fine et plus étendue de la part des professionnels. Les résultats concernant les degrés actuels d'utilisation sont plus que satisfaisants : seulement 17% des élus et hommes d'études et 23% des citoyens avouent respectivement ne pas recourir à ces techniques dans les projets et ne pas disposer sur leur propriété de ces solutions compensatoires.

- **...mais à consolider**

Toutefois, il est plus qu'essentiel, d'apporter ou de renforcer ces connaissances pour garantir le développement de ces techniques en instaurant une démarche de concertation et de communication entre tous les acteurs : gestionnaires, aménageurs, citoyens... Trop peu de citoyens ont connaissance des solutions de gestion des eaux adaptées à la parcelle et des gains qu'ils pourraient réaliser, bien que ces derniers soient enclins à réaliser des gestes « éco-citoyens ». De plus, ces ouvrages alternatifs font souvent l'objet d'un mauvais usage par les citoyens, qui réalisent en général eux-mêmes l'entretien, en raison d'une mauvaise connaissance de leur fonctionnement. Citons par exemple l'entretien d'une noue qui nécessite un savoir-faire et une implication constante de la part du citoyen (tonte, ramassage des feuilles...), d'où une sensibilisation essentielle à effectuer.

4.2. L'AVENIR DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

- **Multiplier leur emploi pour garantir leur pérennité...**

Le fait qu'une grande majorité de l'ensemble du panel sondé ait répondu favorablement à une utilisation future fréquente voire systématique de ces techniques constitue une réelle promesse de leur pérennité. Ces résultats reflètent et justifient en quelque sorte cette nouvelle culture de développement durable. Mais les enjeux pour ces techniques compensatoires seront de s'inscrire véritablement dans la durée.

- **...et ainsi fournir des références à la population**

Par ailleurs, le jugement des citoyens sur le faible degré de prise en compte du développement durable dans les projets me semble très sévère. Ce constat plutôt négatif peut sans doute être expliqué par le fait que les citoyens n'ont peut être pas de références précises en mémoire (c.-à-d. les projets les plus récents) et n'ont pas connaissance de toutes les actions menées à cet effet.

4.3. LES CARACTERISTIQUES ET LES PERFORMANCES DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

- **Réaliser des ouvrages fonctionnels et écologiques**

Ces techniques alternatives doivent, selon les résultats, avant tout être fonctionnelles et écologiques, pour garantir leur succès. Mais qui dit écologie, dit aussi désagréments associés liés à un défaut de conception ou de réalisation (moustiques, odeurs... dues à la présence de végétaux, à la stagnation des eaux dans les bassins ou les noues par exemples). Je pense que l'on ne pourra pas éradiquer ces nuisances, d'où la nécessité d'informer les futurs acquéreurs, en toute transparence, des éventuels désagréments et ne pas se limiter à leur délivrer simplement des avantages attractifs et des arguments embellis communément employés par les commerciaux.

- **L'importance de retours d'expériences**

Des retours d'expériences de la part de tous les acteurs sur les coûts (investissement, entretien, retour sur investissement) et sur la tenue de l'ouvrage dans le temps seraient les bienvenus. Ce qui sous-entend que des études spécifiques doivent être entreprises par chacun des acteurs (maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises) et qu'elles soient si possible diffusées, voire centralisées par un organisme, pour bénéficier d'une base de données complète et représentative, servant de référence pour les futurs projets.

- **Les performances épuratoires à affiner**

De même, les opinions des élus et hommes d'études sur les performances en terme d'épuration, qu'elles soient fondées ou non, doivent être étayées par des données et des expérimentations pertinentes, notamment en ce qui concernent les techniques de gestion relatives aux eaux pluviales (les informations chiffrées relatives aux techniques de traitement des eaux usées, notamment celles associées aux STEP, étant davantage diffusées à l'heure actuelle). En effet, au cours de ce projet, je me suis heurté à un manque de données relatives aux abattements moyens des tranchées drainantes et des puits d'infiltration.

4.4. LA COMMUNICATION ET LES INFORMATIONS

- **Communiquer davantage avec les citoyens...**

Cette enquête a mis en évidence un manque indéniable d'informations de la population sur les techniques. Des campagnes d'informations pourraient être initiées pour sensibiliser et aider chaque citoyen, avant l'aménagement de sa parcelle, par exemple sur le choix des techniques de gestion des eaux et sur le choix des matériaux de surfaces à mettre en œuvre. Toute réduction du coefficient d'imperméabilisation de chaque propriété ou tout stockage des eaux à la parcelle permettra une meilleure gestion du cycle de l'eau. Ces informations sur les techniques alternatives pourraient être délivrées en mairie au moment du dépôt du permis de construire.

Une communication à destination des citoyens est incontournable pour les informer et les rassurer, et le cas échéant essayer de faire changer leurs préjugés. En effet, on peut citer comme exemple que dans l'esprit d'un citoyen, une distinction est faite entre les noues et les fossés, même si d'un point de vue technique, ces deux ouvrages ont exactement le même fonctionnement. Pour le citoyen, un fossé est très mal perçu (opinion fondée sur ses représentations relatives à son vécu : inesthétique, durée de vie très réduite...). Alors que la noue, grâce à une géométrie légèrement différente, est assimilée à un système « nouveau », donc bien vue car n'ayant connu pour l'heure, aucun dysfonctionnement relevé. Il en résulte qu'il faut changer ces perceptions en prenant le temps de bien expliquer à la population le rôle et le fonctionnement hydraulique de chaque technique alternative.

C'est par une multiplication des actions localisées que les résultats pourront être significatifs et concluants.

- **...et réciproquement**

Bien évidemment, les informations doivent circuler dans les deux sens. Il est primordial pour les élus, aménageurs, urbanistes, etc., de connaître les points de vue et les envies des citoyens. Ce feedback permettrait de mieux cerner leurs attentes et de prévoir leurs réactions et comportements pour ensuite mieux faire accepter ces techniques alternatives en mettant en œuvre une « stratégie » de communication plus adaptée.

- **Mettre en œuvre un plan d'action commun**

On peut également envisager la mise en place un groupe de travail (représentants de collectivité, aménageurs, gestionnaires de réseaux...), pour élaborer un plan d'action précis visant à améliorer la communication de manière générale ainsi que l'acceptabilité sociale de ces techniques.

Par ailleurs, il convient de manière anticipée d'accentuer cette communication pour retarder tout redimensionnement ou toute reconstruction de STEP ne répondant plus à la croissance démographique et atteignant une saturation d'exploitation.

4.5. LE VOLET COMMERCIAL ET FINANCIER

- **Prévoir et maîtriser les coûts afférents aux différentes techniques**

La maîtrise des coûts passe inévitablement par une juxtaposition des montants alloués aux techniques alternatives à ceux résultants de l'exploitation de stations d'épuration en tenant compte de la projection démographique de la collectivité sur le long terme. Plus le Maître d'ouvrage en charge des réseaux disposera de retours d'expérience et d'éléments financiers, plus il sera à même de constater ou pas de la pertinence de la mise en œuvre des techniques alternatives. Cette approche d'optimisation des techniques vaut la peine d'être testée. Toute la stratégie de gestion et de traitement des eaux quelles que soient leur provenance repose sur le croisement des tableaux financiers sans pour autant négliger l'aspect qualitatif des eaux rejetées dans le milieu récepteur.

En outre, il faudrait prévoir dans les projets d'aménagement un budget dédié à des informations concrètes (voir précédemment) sur les techniques alternatives existantes, voire innovantes, auprès des futurs résidents ou auprès des riverains, voire à une échelle plus grande ; quartiers, communes, etc.

- **Faire des compromis financiers**

Je pense que les acteurs, et notamment les bailleurs sociaux et les constructeurs privés, devraient systématiquement accepter d'intégrer ces techniques alternatives en faisant éventuellement quelques concessions financières (perte de surface commercialisable), et en contrepartie, ils pourraient jouir de l'attractivité présumée de ces techniques en se permettant une légère majoration des prix de vente pour compenser les pertes. Ces pratiques seraient respectivement bien acceptées à la fois par les citoyens et par les professionnels d'après les résultats de l'enquête.

- **Proposer des subventions**

Le maître d'ouvrage des réseaux doit également favoriser ces pratiques en proposant par exemple une contribution financière pour toutes les mesures initiées par les particuliers permettant de réduire les rejets vers les stations d'épuration. Cette subvention pourrait être octroyée à toute personne s'inscrivant dans cette démarche. L'enveloppe financière dédiée à cet effet pourrait provenir de différentes sources : agence de l'eau, gestionnaire du réseau d'assainissement, collectivités territoriales, etc. On peut même imaginer que dans un projet d'aménagement urbain, on réserve un pourcentage du montant investi pour l'affecter, sous forme de subventions, à la mise en œuvre à la parcelle des techniques alternatives.

4.6. REFLEXIONS DIVERSES

▪ Faire évoluer les documents d'urbanisme

Les documents d'urbanismes (SCOT, PLU...) ne prennent pas suffisamment en compte les techniques alternatives, même si certains d'entre eux commencent à les intégrer, par exemple le PLU et ses annexes.

Bien que le SAGE incite à recourir aux techniques alternatives, les communes semblent moins résolues à décider de la création et de la localisation des zones d'assainissement d'eaux pluviales. Il y a lieu d'engager une démarche volontariste de gestion des eaux pluviales en créant des emplacements réservés pour l'application de techniques alternatives sur la base d'une étude globale à l'échelle de la collectivité des systèmes d'assainissement existant. Il convient également lors des élaborations, révisions ou modifications de documents d'urbanisme de se fixer de réels objectifs de réduction des rejets vers les STEP sur le court, moyen et long terme.

▪ Favoriser les réseaux séparatifs aux réseaux unitaires

Il convient selon moi de recourir systématiquement, dans les projets d'aménagement et de réaménagement, à la mise en œuvre d'un réseau séparatif, et ce même si ces collectivités disposent pour l'heure uniquement d'un réseau unitaire acheminant le mélange eaux pluviales/eaux usées vers une station d'épuration dont le fonctionnement est très satisfaisant, et ne justifiant pas l'emploi de techniques alternatives. De ce fait, même si ces eaux seront à court terme mélangées dans un réseau unitaire, ils pourront à terme, une fois la saturation de la station d'épuration atteinte, être traités par une ou des techniques alternatives. Ainsi, si de prime abord, il paraît superflu d'investir un surcoût pour un système séparatif par rapport à un système unitaire, cette stratégie peut plus ou moins rapidement se rentabiliser.

5. CONCLUSIONS

Les résultats de l'enquête vont globalement dans le sens d'une utilisation grandissante des techniques alternatives qui sont bien perçues et acceptées par les citoyens. Même si les techniques alternatives ont connu des difficultés à se généraliser, le « phénomène de mode » mais aussi les coûts relatifs au développement durable ont permis d'inciter à leur emploi durant ces dernières années, et un développement futur considérable leur est promis, parallèlement à l'accumulation de retours d'expériences et du savoir-faire des entreprises pour leur réalisation.

Les aménagements intégrant la gestion alternative des eaux proposés par les élus et les hommes d'études répondent aux attentes et aux envies des citoyens. Ces citoyens disposent de quelques notions sur ces techniques mais il est nécessaire de les consolider et/ou de les faire évoluer, en instaurant ou en renforçant le dialogue avec eux. Ces derniers sont prêts à faire des efforts (coûts majorés) et sont prêts à investir, à l'échelle de la parcelle, en souhaitant un retour sur investissement.

Pour ce faire, engager une démarche pédagogique auprès des citoyens semble la meilleure des solutions pour y parvenir et garantir une bonne acceptabilité sociale de ces techniques compensatoires.

PARTIE 7 : ETUDE DE CAS – LES RIVES DU BOHRIE A OSTWALD

1. PRESENTATION DU PROJET

Commune de la première couronne sud de l'agglomération strasbourgeoise, la ville d'Ostwald se caractérise par le patrimoine naturel exceptionnel. Située à 6,5 km du centre de Strasbourg, les administrés bénéficient de tous les équipements de déplacements multimodaux (tramway avec réseau de bus, aménagements deux-roues, réseau routier et autoroutier, proximité d'un aéroport et bien évidemment de services de proximité). La commune s'étend sur 7,1 km² et compte environ 11 000 habitants soit une densité de 1 500 habitants par km².

L'opération d'aménagement de cet éco-quartier recouvre pour la ville d'Ostwald des enjeux importants liés à la poursuite et à la maîtrise de son développement ainsi qu'à la mise en valeur des éléments naturels de son territoire. La zone d'étude se trouve au nord-ouest de la commune. Le projet des Rives de Bohrie permettra l'accueil de près de mille logements (3 000 habitants) accompagnés d'équipements et de services. Il sera construit autour d'un étang, sur un site d'environ 50 ha.

Les surfaces construites s'étendront sur 7 ha. Le projet autorise un équilibre entre étalement et concentration afin de réaliser un habitat qui, sans être trop compact, laisse une place importante aux milieux naturels. En effet, l'urbain est structuré autour de l'eau, autour de l'étang du Borie, du fossé de l'Ostwaldergraben et des zones humides, ainsi qu'autour des risques d'inondation [30].



FIGURE 47 : PLAN D'AMENAGEMENT GENERAL DE LA ZAC [30]

2. ASSAINISSEMENT PLUVIAL DU PROJET

2.1. GESTION DES EAUX PLUVIALES DE VOIRIES

Les eaux de ruissellement des espaces publics imperméabilisés et circulés seront collectées au moyen d'avaloirs et stockées dans une structure réservoir étanche. Elles seront ensuite évacuées dans une noue puis dans un fossé de collecte (tous les deux parfaitement étanches) qui se rejette dans l'Ostwaldergraben à débit limité.

Les avaloirs alimentant les chaussées à structure réservoir (CSR) seront équipés d'un panier et d'une cloison siphonide assurant un prétraitement de la pollution (rétention des flottants, d'une partie des matières en suspension et des hydrocarbures) [31].

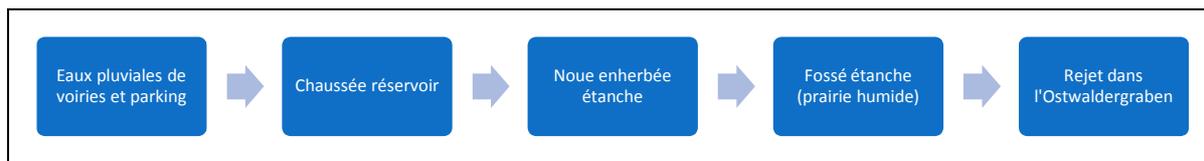


FIGURE 48 : GESTION DES EAUX DE VOIRIES

2.2. GESTION DES EAUX PLUVIALES DE TOITURES ET DES ESPACES VERTS

Les eaux de pluie des espaces non circulés (toitures, chemins piétonniers, espaces verts...) seront collectées par des noues paysagères pour être stockées dans une prairie humide drainant la nappe et rejoignant à l'aval l'Ostwaldergraben.

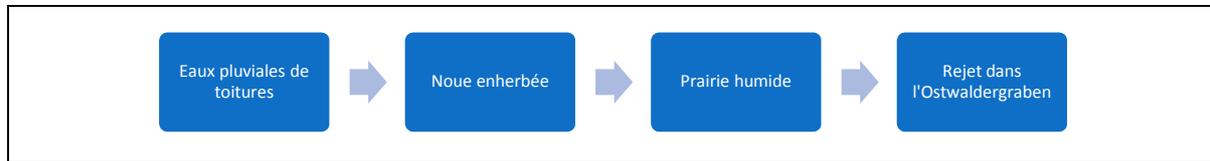


FIGURE 49 : GESTION DES EAUX DE TOITURES

2.3. JUSTIFICATION DES TECHNIQUES ALTERNATIVES

L'assainissement pluvial par une utilisation de techniques alternatives a été motivé par le caractère particulièrement sensible de la zone aux risques d'inondations et par l'état proche de la saturation par temps de pluie des réseaux situés à proximité. Ces techniques apportent, en complément de leur fonction de gestion des eaux pluviales, une véritable plus-value paysagère au projet.

Le site présente une pente très faible, de l'ordre de 0.3%, ce qui est tout à fait en adéquation avec les noues et les CSR préconisées. En effet, les pentes minimales de ces systèmes sont de l'ordre de 0.2% à 0.3%. Conformément aux tableaux établis au paragraphe 4.2 de la partie 4, les noues et la chaussée réservoir (étanches) sont également compatibles avec la nappe très proche de la surface du sol (voire affleurante dans les cuvettes présentes sur le site), ainsi qu'un sous-sol constitué d'alluvions rhénanes très perméable contenant la nappe alluviale de la plaine d'Alsace. Ces techniques sont communément employées sur le domaine public. Cependant, on pourra relever que l'emploi des noues est déconseillé dans un environnement urbain dense, mais dans ce projet, ces noues sont généralement implantées en bordures de voirie jouxtant la prairie. Donc leur utilisation est admissible dans ce projet particulier qui mêle des faibles surfaces urbanisées très denses et de grandes surfaces de milieux naturels.

3. VERIFICATION DE L'IMPACT SUR LE MILIEU NATUREL

3.1. DONNEES HYDROLOGIQUE DU SITE

3.1.1. DONNEES GENERALES

Les précipitations moyennes annuelles s'élèvent à 631.9 mm d'après les statistiques de la station climatique la plus proche (Entzheim) pour la période 1973-2008 [32].

L'intensité d'une pluie biennale vaut 0.27 mm/min. Le temps de concentration du terrain naturel est de 61.5 min. Ces valeurs ont été déterminées par la méthode rationnelle.

Le débit de fuite du projet a été estimé et fixé à 2.5 l/s/ha.

3.1.2. DONNEES RELATIFS A L'OSTWALDERGRABEN

Le débit moyen de l'Ostwaldergraben s'élève à 0.5 m³/s et le débit d'étiage quinquennal à 0.2 m³/s (QMNA5). Le débit moyen mensuel sec de récurrence 2 ans (QMNA2) est estimé à 0.3 m³/s.

Aucune analyse de la qualité de l'eau de l'Ostwaldergraben et de l'étang du Bohrie n'est disponible au moment de l'étude. Toutefois, la qualité de ce cours d'eau est certainement influencée par celle de l'Ill, mais elle est aussi tributaire de l'utilisation passée du fossé en tant qu'égout. En effet, ce fossé a notamment reçu les effluents de tanneries qui ont eu une activité soutenue de la fin du XIX^e siècle jusqu'à après la seconde guerre mondiale. Actuellement, ce fossé draine la nappe et reçoit également des eaux de plusieurs collecteurs d'eaux pluviales et de déversoirs d'orage [5].

3.2. IMPACT DE LA POLLUTION CHRONIQUE

La pollution des eaux de ruissellement de ce projet aura pour principale origine la circulation automobile, l'usure des pneumatiques, les gaz d'échappement, les fuites d'huile et le lessivage des voiries et parkings.

Les calculs d'impact effectués sont joints en annexes (Annexes D). Il confirme que le projet n'a pas d'impact en ce qui concerne la pollution chronique que ce soit par les effets cumulatifs ou par les effets de choc. Le système de traitement de la pollution est donc valide et respecte les objectifs de qualité fixé par la Directive Cadre sur l'Eau. Le tableau suivant récapitule les résultats :

	MES	DCO	DBO5	Hc	Pb
C _{aval} pour les effets cumulatifs [mg/l]	15,3	18,8	3,7	2,9	0,006
C _{aval} pour les effets de chocs [mg/l]	19,2	27,3	4,6	2,8	0,007
Concentration objectif bon état du milieu récepteur [mg/l]	25	30	6	-	-

TABLEAU 31 : IMPACT DE LA POLLUTION CHRONIQUE

Les calculs des eaux de toitures ne sont pas joints car elles sont considérées comme étant non polluées (MISE). Une vérification a toutefois été effectuée et a confirmé l'absence d'impact.

3.3. IMPACT DE LA POLLUTION ACCIDENTELLE

Le risque d'accident polluant est faible en raison de la vocation de l'aménagement. Les seuls déversements possibles sont liés à des accidents de voitures et vidanges sur voirie. Les déversements indésirables non repérés à la source pourront être détectés au niveau des noues ou de la prairie humide. Des mesures sont toutefois prévues pour limiter les impacts de pollutions accidentelles sur l'environnement (cloisons siphonée, vannes de sécurité qui permettent d'isoler les polluants en cas de pollution accidentelle) [31].

4. CONCLUSION

Cet exemple a permis d'illustrer et de mettre en pratique quelques enseignements, dont notamment la justification des choix des techniques employées en fonction des contraintes du site et la vérification de l'impact en terme de pollution par rapport au objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau (atteinte du bon état écologique des eaux d'ici 2015).

Ce projet prouve que l'emploi de systèmes classiques (séparateurs d'hydrocarbures) n'est pas systématique pour traiter les pollutions contenues dans les eaux de voirie, et que les techniques alternatives peuvent bien se substituer aux techniques classiques pour cette fonction.

CONCLUSION

Cette étude comparative approfondie des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées par rapport aux techniques de traitements classiques a particulièrement permis de juxtaposer le cadre réglementaire de leur application, l'efficacité, les coûts et les conditions d'emplois des différents systèmes ainsi que l'acceptabilité sociale de leur utilisation.

Il en résulte que les techniques alternatives peuvent donc aisément compenser les techniques classiques et ont le potentiel de se substituer à terme à ces dernières. En effet, ces techniques présentent des caractéristiques d'efficacité de dépollution des eaux de toutes natures très intéressantes et sont globalement moins onéreuses que les techniques classiques. D'autant plus que d'une part, le contexte législatif et réglementaire le permet et favorise leur emploi dans le futur, et d'autre part, ces techniques alternatives sont bien perçues par les acteurs et par la population. Même s'il transparait pour l'heure un réel manque d'informations concernant ces techniques et de leurs potentialités auprès des différents acteurs susceptibles de les proposer, de les prescrire ou de les utiliser, ces informations existent mais restent peu diffusées et peu disponibles. La protection de l'environnement dans les opérations d'aménagement passe inévitablement par une appropriation de ces techniques par tous les acteurs du développement urbain, que ce soit par les décideurs, les concepteurs, les exploitants que par les utilisateurs. Les retours d'expériences relatifs à ces techniques et l'analyse de leurs efficacités contribueront à leur développement et à leur pérennité. Par ailleurs, il n'est pas exclu que cette réglementation évolue pour donner plus d'importance aux techniques alternatives dans ses emplois futurs pour ancrer davantage les concepts écologiques prônés par la politique actuelle et future relative à la notion de développement durable.

Néanmoins, des points de vigilance doivent être pris en considération (coûts des techniques alternatives plus élevés dans certains cas, aptitude de leur emploi par rapport au site...). Ces contraintes pourront être levées par une étude détaillée, au cas par cas, pour chaque projet. Ainsi, il est prématuré de condamner la gestion actuelle des eaux pluviales et usées, il convient plutôt d'assimiler les techniques alternatives dans une forme de complémentarité à l'exploitation actuelle. C'est dans cette perspective, à terme, que les techniques alternatives pourront se substituer aux techniques classiques.

Les objectifs personnels ont été atteints. Ce projet m'a donné l'occasion de m'intéresser et de me consacrer pleinement à un sujet qui est dans l'air du temps et au cœur des préoccupations de tous les acteurs d'un projet (bureaux d'études, urbanistes, paysagistes, décideurs, citoyens...). J'ai pu approfondir certaines connaissances acquises lors de ma formation et j'ai pu acquérir un savoir supplémentaire dans le domaine de la gestion et du traitement de l'eau en général, et des techniques alternatives en particulier, bien sûr sans pour autant prétendre à une expertise.

Au cours de ce projet, j'ai eu quelques difficultés à obtenir toutes les informations souhaitées, notamment concernant les abattements de certains systèmes (tranchées drainantes, puits d'infiltration). Par ailleurs, les données chiffrées indiquées peuvent globalement être qualifiées de fiables car elles ont été tirées d'ouvrages et de catalogues de produits récents ou de thèses et d'articles reconnus.

En définitive, ce projet a permis de fournir un certain nombre de données et d'enseignements directement utilisables par les acteurs de l'eau en général et par les bureaux d'études en particulier dont la stratégie est clairement orientée vers la conception de projets intégrant la gestion durable des eaux. Cette étude représente, en ce qui me concerne, une référence qui me permettra éventuellement d'être placé dans un rôle de référent pour l'application et la mise en œuvre des techniques alternatives dès mon entrée dans le monde professionnel.

OUVRAGES, ARTICLES ET REVUES

1. M. Satin, B. Selmi, R. Bourrier, Guide technique de l'assainissement, Éd. du Moniteur, 726 pages, 2006.
2. Y. Azzout, S. Barraud, F.N. Cres, E. Alfakih, Les techniques alternatives en assainissement pluvial, Ed. Tech et Doc, Lavoisier, 372 pages, 1994.
3. Pour la gestion des eaux pluviales, Stratégie et solutions techniques, Région Rhône-Alpes, 32 pages, 2006.
4. B. Chocat, Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Éd. Tec et Doc, Lavoisier, 1124 pages, 1997.
5. L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement, Certu, Référence n°67, 195 pages, 2008.
6. Catalogue de produits Techneau, 2003.
7. H. Hache, Dépollution des eaux pluviales : Quels dispositifs pour une stratégie optimisée ?, Mémoire de Fin d'études, IUP 3, 113 pages, 2000.
8. P. Brelle, Synthèse des données sur l'efficacité réelle des séparateurs à hydrocarbures, Engref, 16 pages, 2005.
9. P. Blazy, E-A. Jdid, J-L. Bersillon, Décantation, Equipement et procédés, Référence J3451, Éd. Techniques de l'ingénieur.
10. L'eau et la route, volume 7 : Les dispositifs de traitement des eaux pluviales, SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes), 1997.
11. M. Legret, C. Pagotto, F. Stefanini. Qualité des eaux de ruissellement, Routes et pollution des eaux et des sols, LCPC, Nantes, 2001.
12. D. Esser, B. Ricard, T. Magnouloux, L. Daune, P. Tregoat, J-M. Barbier, Les filtres plantés de roseaux : application au traitement des eaux pluviales, Novatech, 8 pages, 2004.
13. G. Chebbo, Solides des rejets pluviaux urbains, caractérisation et traitabilité. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1992.
14. Fascicule III - Les solutions compensatoires en assainissement pluvial, Missions et délégation C.E.T.E. du Sud-Ouest inter-services de l'eau des départements 11-30-34-48-66, Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U, 66 pages, 2002.
15. Etude des métaux lourds transportés par les eaux de ruissellement, Rapport d'étude, Centre International de l'eau de Nancy, Agence de l'eau Rhin Meuse, LHRSP, 56 pages, 1994.
16. V. Mottier, Les eaux de ruissellement de toits : qualité et dynamique de la charge polluante. Thèse Ecole nationale des ponts et chaussées, 245 pages, 1994.
17. A. Saget, Base de données sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie : distribution de la pollution rejetée, dimensions des ouvrages d'interception, Thèse de l'école nationale des ponts et chaussées 227 pages, 1994.
18. Pollution d'origine routière, Conception des ouvrages de traitement des eaux, SETRA, 2007.

19. Les eaux pluviales dans les projets d'aménagement, Constitution des dossiers d'autorisation et de déclaration au titre de la loi sur l'eau, Régions Aquitaine et Poitou-Charentes, 45 pages, 2007.
20. Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales, STU, Agences de l'Eau, 304 pages, 1994.
21. Eau et aéroport, Conception et dimensionnement des réseaux de drainage des aérodromes, STBA, 57 pages, 2000.
22. Gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagements : Guide technique volume 2, Préfecture d'Indre-et-Loire, 116 pages, 2008.
23. Guide méthodologique pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement, Fascicule 1, Direction départementale des territoires et de la mer de la Loire-Atlantique, 74 pages, 2004.
24. M. Bénard, J. Da Silva, J. Chaïb, P. Reysset, B. Ricard, Conditions de réalisation et de suivi d'ouvrages intégrés de gestion des eaux pluviales, 1998.
25. J-F. Felt, Note concernant l'évaluation de l'impact des rejets d'eaux pluviales, Direction Départementale des Territoires du Bas-Rhin, 2010.
26. D. Butler, E. Friedler, K. Gatt, Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows, Water Science and Technology, 1995.
27. A. Durand, A. Golicheff, Etude des composants des eaux usées domestiques, La Technique de l'Eau et de l'Assainissement, 1978.
28. M-C. Gromaire-Mertz, La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire - Caractéristiques et origines, Thèse de l'Ecole des Ponts et chaussées, Spécialité : Sciences et Techniques de l'Environnement, 500 pages, 1998.
29. A. Iwema, D. Raby, J. Lesavre, C. Boutin, P-H. Dodane, A. Lienard, P. Molle, C. Beck, A. Sadowski, G. Merlin, S. Dap, C. Ohresser, J-B. Poulet, G. Reeb, M. Werckmann, D. Esser, Épuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes. Recommandations techniques pour la conception et la réalisation, Cemagref, 44 pages, 2005.
30. Rapport de présentation, Dossier de création de ZAC du Quartier RIVES DU BOHRIE, Linder Paysage, Lollier Ingénierie, Oréade-Brèche, Sépia conseils, Toa archi, SBE ingénierie, 23 pages, 2009.
31. Dossier Loi sur l'eau, Aménagement du quartier du Bohrie à Ostwald, SEPIA Conseils, 96 pages, 2010.
32. Oréade-Brèche. Etude d'impact, Dossier de création de ZAC du Quartier RIVES DU BOHRIE, 121 pages, 2009.
33. Quartier des Rives du Bohrie : Habiter la nature, Comité de pilotage du 19 mai 2010, Linder Paysage, Lollier Ingénierie, Oréade-Brèche, Sépia conseils, Toa archi, SBE ingénierie, 2010.
34. Gestion des eaux pluviales issues d'une imperméabilisation nouvelle, MISE du Bas-Rhin, 16 pages, 2008.
35. Fascicule II - Guide méthodologique pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement, Missions et délégation C.E.T.E. du Sud-Ouest inter-services de l'eau des départements 11-30-34-48-66, Laboratoire de Bordeaux - Section R.T.U, 26 pages, 2002.

SITES INTERNET

36. Eaux pluviales et aménagement, Pays de Rennes.
<http://www.paysderennes.fr/guhd/dossiers/images/eaux.pdf>
37. Eaux usées : le traitement par les plantes.
<http://www.crit.archi.fr/produits%20innovants/FICHES/Eaux%20usees/presentation.html>
38. Légifrance, le service public de la diffusion du droit.
<http://www.legifrance.gouv.fr>
39. Pour une gestion intégrée des eaux pluviales à Cergy-Pontoise.
http://www.cergyponoise.fr/pdf/eaux_pluviales.pdf
40. Traitements des eaux, Techneau.
<http://www.techneau.fr/tep/index.html>
41. Séparateurs d'hydrocarbures, Sebico.
http://www.actu-environnement.com/ae/fournisseur/illustration_fiche/810_plaquette.pdf
42. Prétraitement des eaux, Franceaux. <http://www.franceaux.fr>
43. Séparateur à hydrocarbures, UCA 67.
http://serveuruca67.monwebpro.com/upload/sy_parateur_hydrocarbures.pdf
44. Décantation, Site d'informations scientifiques, techniques et écologiques sur l'eau.
<http://pravarini.free.fr/Decantation.htm>
45. Le concept des décanteurs lamellaires MESI[®], Hydroconcept.
http://www.hydroconcept.fr/Decanteurs-lamellaires/concept-mesi_21.htm
46. Traitement des eaux de ruissellement routières. Note d'information du SETRA.
<http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/dtrf/pdf/pj/Dtrf/0005/Dtrf-0005334/DT5334.pdf>
47. Organisation et fonctionnement d'une station d'épuration, ADEME.
<http://www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f14.htm>
48. Station d'épuration : Les différentes étapes du traitement.
http://www.step.lu/Acceuil/Station%20d%27epuration/station_fonctionnement.htm
49. Le fonctionnement d'une station d'épuration, Ecole de l'eau.
http://ecoledeleau.eau-artois-picardie.fr/spip.php?page=article-imprim&id_article=66
50. Fonctionnement d'une station d'épuration, La Carène.
http://www.agglo-carene.fr/84820188/0/fiche___pagelibre/&RH=PLANDACCES
51. Vidange des fosses septiques, Sani-curage. <http://sanicurage.com/vidange-fosses-septiques.php>
52. Décanteur digesteur horizontal, Assainissement non collectif, gamme polyester.
http://www.sebico.fr/upload/doc/assainissement_pu.pdf
53. Micro-station d'épuration, Avenir Eco. <http://www.avenireco.com/?menu=40>
54. Le WPL Diamond Micro Station d'épuration. <http://www.micro-station-france.fr/MicroStationsEpuraton120EH/tabid/1203/Default.aspx>
55. PureStation, principe de fonctionnement.
http://www.purestation.fr/rubrique.php?id_rubrique=1&id_sous_rubrique=7

56. Les bacs à graisses, dernière année de subvention, Parc Naturel Régional Oise - Pays de France.
<http://www.parc-oise-paysdefrance.fr/1-18299-Detail-d-un-rendez-vous-ou-d-un-dossier.php?id=45>
57. Les stations d'épuration doivent faire mieux, Enviro2b. <http://www.enviro2b.com/2010/01/22/les-stations-depuration-doivent-faire-mieux/>
58. Micropolluants : l'efficacité des stations d'épuration à la loupe, Actu-environnement. http://www.actu-environnement.com/ae/news/station_epuration_micropolluants_pollution_eau_9426.php4
59. Le système d'assainissement autonome.
<http://www.cieau.com/toutpubl/sommaire/texte/8/contenu/873.htm>
60. Pollution organique. Drire Nord-Pas-de-Calais.
http://www.nord-pas-de-calais.drire.gouv.fr/environnement/IRE2007/IREen2006_web/Images/3-Eau/PollutionOrganique.pdf
61. Vers une mise en pratique de la durabilité en assainissement pluvial.
http://www.eawag.ch/publications/eawagnews/www_en57/en57f_screen/en57f_boller_s.pdf
62. Eaux de toitures et eaux de voirie, Patrick Mouyon.
<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/duée/mouyon/mouyon.htm>
63. Les eaux pluviales, Ville d'Albi.
http://www.mairie-albi.fr/dev_durable/assainissement/pluvial.html
64. Etude de l'imperméabilisation en région Bruxelloise et les mesures envisageables en matière d'urbanisme pour améliorer la situation, IGEAT - ULB,
http://www.ulb.ac.be/igeat/igeat/ulb_igeat/upload/amen/r_imperm_122006bis.pdf
65. La ville et son assainissement, Site du Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer. http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Ville_assainissement_so.pdf
66. Gestion des eaux pluviales, Grand Lyon.
<http://www.grandlyon.com/Gestion-des-eaux-pluviales.3559.0.html>
67. Pollutant loadings for municipal storm outfalls and removal by associated bmps, Monocacy & Catoclin Watershed Alliance.
<http://www.watershed-alliance.com/publications/Annual%20Reports/AnnualReport2009/Ch9-2009.pdf>
68. Bassin de rétention, Travaux divers, SNPTP : Société Nouvelle de Travaux Publics.
http://www.snptp.com/travaux_divers
69. Les bassins, DLZlogic. http://www.dlzlogic.com/aides/Les_bassins.pdf
70. Pluies en ville, Agence de l'eau Seine-Normandie. http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Collectivite/Technologie/pluie_en_ville.pdf
71. Vendargues infos. http://vendargues.infos.free.fr/documents/f_zac2006_loi_sur_l_eau.htm
72. Adopta, la gestion durable des eaux pluviales. <http://www.adopta.fr>
73. Toiture végétalisée et toiture végétale Optigreen.
<http://www.optigreen.fr/?gclid=CJbs97346qECFVVo4wodo3JFIg>
74. Toitures vertes : évacuation des eaux pluviales, CSTB.
<http://www.cstb.fr/fileadmin/documents/webzines/2007-12/pdf/toitures-vertes-evacuation-eaux-pluviales.pdf>
75. Les types de toitures végétales. <http://www.toit-vegetal.com/types.php>

76. Quelle est l'action des toitures végétalisées ?, Environnement-online.com.
<http://www.environnement-online.com/presse/environnement/actualites/918/eaux-pluviales/quelle-est-l-action-des-toitures-vegetalisees>
77. Cuve de récupération eau de pluie Aquamop.
<http://www.hellopro.fr/Cuve-de-recuperation-eau-de-pluie-aquamop-2001617-50381-produit.html>
78. Les cuves de récupération des eaux pluviales, Lares et penates.
<http://www.lares-et-penates.fr/les-cuves-de-recuperation-hors-sol/>
79. ENKI Tanks. <http://www.enkitanks.com/boutique/-c-47.html>
80. Le module d'épandage Graf.
http://www.o2pluie.fr/recuperation_eau_de_pluie_c02.php.
81. Ecovegetal. <http://www.ecovegetal.fr/>
82. Inondations et coulées de boue en Haute-Normandie, Agence Régionale de l'environnement de Haute Normandie (AREHN). <http://www.arehn.asso.fr/dossiers/inondation/solu05.php>
83. C. Carré, E. Chouli, J-F. Deroubaix. Les recompositions territoriales de l'action publique à l'aune de la proximité. Le cas de la gestion des eaux de pluie en ville. Développement durable et territoires.
<http://developpementdurable.revues.org/index2674.html>
84. SEQ - Eau douce. <http://www.ifremer.fr/delcc/cycleau/reglementation/seqeau.htm>
85. Doctrine MISE, Préfecture de la Haute-Saône.
http://www.haute-saone.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/404-2_TEP-090615_doctrine_rejets_eaux_pluviales_cle2a8f5f.pdf.
86. Banque de schémas – SVT, Académie de Dijon.
http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=1606
87. Les systèmes d'épuration des petites collectivités, Agence de l'eau Rhin Meuse. http://www.eau-rhin-meuse.fr/Docs_techniques/procedes_epuration/index.htm
88. Gommersdorf - Le Lagunage. <http://www.cc-porte-alsace.fr/territoire-intercommunal/gommersdorf.htm>
89. ISMA. http://pagesperso-orange.fr/isma/fr_aerateur-a-vis-helicoidale-wbl-documentation.html
90. Les solutions écologiques et naturelles à l'épuration conventionnelle des eaux usées.
http://spesge.free.fr/la_spe_sge/projets/exposes/exposes_2005/epuration_naturelle_eaux_usees_Tanegmart_REDJALA.pdf
91. Jardins filtrants Phytorestore®. <http://www.phytorestore.com/>
92. Le SPANC, Communauté des communes du Pays des Ecrins.
http://www.cc-paysdesecrins.com/article.php3?id_article=131
93. SDAGE Rhin Meuse (chapitre 4). <http://www.eau-rhin-meuse.fr/tlch/sdage/sdag4.pdf>
94. La réglementation au titre de la loi sur l'eau, Les services de l'Etat en Aquitaine et en Gironde.
<http://www.aquitaine.pref.gouv.fr/demarches/entreprises/reglenvironnement/eau/eau.shtml>
95. Le Système d'Evaluation de la Qualité des cours d'eau (SEQ).
<http://www.alsace.ecologie.gouv.fr/IMG/file/SEQ.pdf>
96. Qualité des eaux superficielles.
http://www.paca.ecologie.gouv.fr/docHTML/bilan-labo/accueil_lab0.htm