



IUP EGID

Environnement, Géo-Ingénierie et Développement
Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES
IUP 3 - Promotion EGID 2000

DÉPOLLUTION DES EAUX PLUVIALES :
Quels dispositifs pour une stratégie optimisée ?

Hélène HACHE

Tuteur de stage : Monsieur RUPERD

Stage effectué du 10 avril au 8 septembre 2000.

PRÉAMBULE

La maîtrise (I.U.P.) Génie de l'environnement de l'Institut EGID (Environnement, Géo - Ingénierie et Développement) de Bordeaux 3, s'est achevée par un stage en entreprise de cinq mois ; réalisé du 10 Avril au 8 Septembre 2000, ce stage a fait l'objet d'un rapport ainsi que d'une soutenance orale contribuant à l'obtention de la maîtrise (I.U.P.) et du Titre d'Ingénieur Maître.

J'ai effectué le stage de fin de maîtrise au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux, dans le service Réseaux et Techniques Urbaines (R.T.U.) sous la tutelle des deux chefs de section Monsieur RUPERD, mon Maître de stage, et Monsieur BALADÈS.

Ce stage d'étude concerne les dispositifs de traitement des eaux pluviales et vise à fournir une aide au choix pour les maîtres d'ouvrage et d'œuvre. Ce travail de recherche se traduit par un document autonome (sommaire, introduction, bibliographie...) intégré dans le présent rapport de stage (paragraphe IV).

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage, Monsieur RUPERD, responsable de la section RTU, pour m'avoir guidée au fil de ces cinq mois de stage et pour ses conseils indispensables à l'élaboration de cette étude. Je souhaite aussi remercier Monsieur BALADÈS, autre responsable de la section, qui m'a fait profiter de son expérience.

Merci à l'équipe de la section pour son accueil, sa gentillesse et sa sympathie. Merci pour leur contribution à l'élaboration de ce rapport. Je remercie Pierre BERGA, Xavier DUTHEIL, Jean Jacques DOUENCE pour les contacts qu'il m'ont permis de créer et Dominique DELARUE et Michel MOISSACQ-NOFÉRI pour leur aide en informatique.

Merci également à Madame DUPHIL et Blandine LAVEAU du CTIA de Bordeaux et à Madame BARRAUD de l'INSA de Lyon pour leur aide dans mes recherches de renseignements.

Enfin, mes remerciements vont à toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont permis d'obtenir des données sur les dispositifs de dépollution des eaux de ruissellement, notamment les agents des services assainissement des villes citées dans ce rapport et en particulier Monsieur BREUIL de la Lyonnaise des Eaux de Bordeaux.

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	2
REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
TABLES DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	9
LISTE DES PHOTOS	10
LISTE DES ABRÉVIATIONS	11
INTRODUCTION	12
I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	13
1. LE CETE DU SUD-OUEST.....	13
2. LE LRPCB.....	13
3. LA SECTION RTU.....	14
II. LES EAUX DE RUISSELLEMENT ET LEURS CARACTÉRISTIQUES	15
1. DÉFINITION.....	15
2. CARACTÉRISTIQUES / POLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT.....	15
<i>a. Les sources de pollution.....</i>	<i>15</i>
<i>b. Nature et origine des polluants.....</i>	<i>20</i>
3. IMPACTS DES EAUX DE RUISSELLEMENT SUR LE MILIEU RÉCEPTEUR.....	22
III. ÉTAPES NÉCESSAIRES À L'ÉLABORATION	23
DE L'AIDE AU CHOIX	23
IV. L'AIDE AU CHOIX	24
SOMMAIRE DE L'AIDE AU CHOIX	25
INTRODUCTION	27
I. LES DÉGRILLEURS	28

1. BUT / UTILISATION.....	28
2. PRINCIPE.....	28
3. EMLACEMENT.....	28
4. DIMENSIONNEMENT.....	29
5. LES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉGRILLEURS.....	30
<i>Les grilles manuelles.....</i>	30
<i>Les grilles mécaniques.....</i>	30
<i>Exemples de dégrilleurs "nouveaux" sur le marché.....</i>	30
6. AVANTAGES – INCONVÉNIENTS.....	33
7. ENTRETIEN.....	34
8. EFFICACITÉ.....	34
9. COÛTS.....	35
<i>Coûts du dispositif.....</i>	35
<i>Coûts d'entretien.....</i>	35
10. COMBINAISONS AVEC D'AUTRES DISPOSITIFS.....	35
II. LES DESSABLEURS	36
1. BUT / UTILISATION.....	36
2. PRINCIPE.....	36
3. EMLACEMENT.....	36
4. DIMENSIONNEMENT.....	37
5. LES DIFFÉRENTS TYPES DE DESSABLEURS.....	37
<i>Les dessableurs classiques.....</i>	37
<i>Les dessableurs canaux à vitesse constante.....</i>	37
<i>Autres dessableurs.....</i>	38
6. AVANTAGES – INCONVÉNIENTS.....	39
7. ENTRETIEN.....	39
8. EFFICACITÉ.....	39
9. COÛTS.....	41
<i>Coûts des dispositifs.....</i>	41
<i>Coûts d'entretien.....</i>	41
III. LES BASSINS DE STOCKAGE / DÉCANTATION	43
1. BUT / UTILISATION.....	43
2. PRINCIPE.....	43
3. EMLACEMENT.....	43
4. DIMENSIONNEMENT.....	44
5. LES DIFFÉRENTS TYPES DE BASSINS DE STOCKAGE / DÉCANTATION.....	45
<i>Les bassins à ciel ouvert.....</i>	45
<i>Les bassins enterrés.....</i>	46
6. AVANTAGES – INCONVÉNIENTS.....	47
7. ENTRETIEN.....	50
<i>Les bassins à ciel ouvert.....</i>	50
<i>Les bassins enterrés.....</i>	50
8. EFFICACITÉ.....	51
<i>Les bassins de décantation.....</i>	51
<i>Les bassins de stockage routiers.....</i>	53
9. COÛTS.....	55
<i>Coûts d'implantation.....</i>	55

Coûts d'entretien.....	56
IV. LES BASSINS D'INFILTRATION (OU D'ABSORPTION) ET DE FILTRATION	57
1. BUT / UTILISATION.....	57
2. PRINCIPE.....	57
3. EMPLACEMENT.....	58
4. DIMENSIONNEMENT.....	58
5. LES DIFFÉRENTS TYPES DE BASSINS D'INFILTRATION / FILTRATION.....	59
6. AVANTAGES – INCONVÉNIENTS.....	59
7. ENTRETIEN.....	60
8. EFFICACITÉ.....	61
9. COÛTS.....	63
V. LES SÉPARATEURS	64
1. BUT / UTILISATION.....	64
2. PRINCIPE.....	64
<i>Les séparateurs à hydrocarbures</i>	64
<i>Les séparateurs liquide / solide</i>	65
3. EMPLACEMENT.....	65
4. DIMENSIONNEMENT.....	65
<i>Dimensionnement des séparateurs à hydrocarbures</i>	65
<i>Dimensionnement des séparateurs liquide / solide</i>	66
5. LES DIFFÉRENTS TYPES DE SÉPARATEURS.....	68
<i>Les séparateurs à hydrocarbures</i>	68
<i>Les séparateurs liquide / solide</i>	68
6. AVANTAGES – INCONVÉNIENTS.....	71
7. ENTRETIEN.....	72
<i>Entretien des séparateurs à hydrocarbures</i>	72
<i>Entretien des décanteurs</i>	72
8. EFFICACITÉ.....	73
<i>Efficacité des séparateurs à hydrocarbures</i>	73
<i>Efficacité des séparateurs liquide / solide</i>	74
9. COÛTS.....	79
<i>Coûts des séparateurs à hydrocarbures</i>	79
<i>Coûts des décanteurs</i>	79
10. COMBINAISONS AVEC D'AUTRES DISPOSITIFS.....	79
<i>Les séparateurs à hydrocarbures</i>	79
<i>Les décanteurs</i>	80
VI. SYNTHÈSE	80
1. LES DISPOSITIFS DE DÉPOLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT.....	80
<i>Les dégrilleurs</i>	80
<i>Les dessableurs</i>	80
<i>Les bassins de décantation</i>	80
<i>Les bassins d'infiltration</i>	81
<i>Les séparateurs</i>	81
2. BILAN DES EFFICACITÉS ÉPURATOIRES SELON LES PARAMÈTRES.....	82

<i>Les Matières En Suspension (MES)</i>	82
<i>La Demande Chimique en Oxygène (DCO)</i>	83
<i>La Demande Biologique en Oxygène pour 5 jours (DBO5)</i>	84
<i>Le Plomb (Pb)</i>	85
<i>Le Zinc (Zn)</i>	86
<i>Le Cadmium (Cd)</i>	87
<i>Les Hydrocarbures</i>	88
<i>VII. Devenir et gestion des déchets</i>	89
1. LE STOCKAGE EN CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUES (C.E.T.).....	89
2. LE TRAITEMENT DES DÉCHETS.....	89
<i>Le lavage des sables</i>	89
<i>Le criblage à sec</i>	90
VIII. MISE AU POINT D'UNE STRATÉGIE DE DÉPOLLUTION DES EAUX DE	
RUISSELLEMENT	91
1. MÉTHODE EMPLOYÉE POUR LA MISE AU POINT DE LA STRATÉGIE.....	91
2. LES RÉGLEMENTATIONS PRISES EN COMPTE.....	93
<i>Les zones de pêche, de conchyliculture, d'ostréiculture, de pisciculture</i>	93
<i>Les zones de baignades</i>	94
<i>Normes de potabilité</i>	94
<i>Grille de qualité des eaux de surface</i>	94
3. STRATÉGIES DE DÉPOLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT.....	96
BASSIN DE DÉCANTATION	97
FILTRATION SUR SABLE	97
BASSIN DE DÉCANTATION	97
BASSIN DE DÉCANTATION	98
DESSABLEUR	100
DÉGRILLAGE	100
BASSIN DE DÉCANTATION	100
<i>Bibliographie</i>	101
OUVRAGES DE RÉFÉRENCE.....	101
BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES CITÉS.....	101
AUTRES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES UTILISÉES.....	104
CONCLUSION	106
BIBLIOGRAPHIE	108

TABLES DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme des différents services au sein du LRPCB.	9
Figure 2 : Le cycle de l'eau en milieu urbain (VALIRON-TABUCHI, 1992).	11
Figure 3 : Les différents modèles de dégrilleur ISD Romag.	26
Figure 4 : Fonctionnement du dégrilleur Hydroclean.	27
Figure 5 : Dessableur à canal double.	32
Figure 6 : Dessableur à canal double.	32
Figure 7 : Section hexagonale d'un dessableur à section parabolique.	32
Figure 8 : Dessableur à déversoir conjugué et exemple de déversoir « Tour Eiffel ».	33
Figure 9 : Bassin d'infiltration en creux.	53
Figure 10 : Bassin d'infiltration avec digue.	53
Figure 11 : La filtration.	53
Figure 12 : Décanteur à contre-courant.	62
Figure 13 : Décanteur à co-courant.	62
Figure 14 : Décanteur à courants croisés.	63
Figure 15 : Séparateur de boues et de liquides légers type soleil, PREFAEEST.	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Émissions polluantes vers l'atmosphère en France (1983-1984).	12
Tableau 2 : Contribution de l'atmosphère dans la pollution pluviale.	13
Tableau 3 : Bilan quantitatif des éléments polluants accumulés sur les voiries.	15
Tableau 4 : Provenance des pollutions trouvées dans les eaux de ruissellement.	16
Tableau 5 : Pollution des eaux de ruissellement en métaux lourds, origine et teneur.	17
Tableau 6 : Identification des impacts liés aux rejets liquides.	18
Tableau 7 : Les différents types de dégrillage.	23
Tableau 8 : Grille de prix du dégrilleur Hydroclean selon certains débits et longueurs de brosse.	30
Tableau 9 : Efficacité épuratoire d'un dessableur (RUPERD, 1987).	35
Tableau 10 : Efficacité épuratoire d'un dessableur (INSA, 1996).	35
Tableau 11 : Coûts d'évacuation des sables des chambres de dessablement de La Rochelle.	37
Tableau 12 : Comparaison des efficacités obtenues en interception des MES pour divers volumes de stockage (CHEBBO, 1992).	39
Tableau 13 : Réduction de la pollution par décantation dans un bassin.	45

Tableau 14 : Rendements épuratoires du bassin de décantation du Charbonnier (INSA, 1996).	46
Tableau 15 : Efficacité de décantation sur divers sites (CHEBBO, 1992).	46
Tableau 16 : Efficacité épuratoire d'un bassin sec de Bordeaux (CHEBBO, 1992).	47
Tableau 17 : Rappel bibliographique (MERLE, 1999).	47
Tableau 18 : Résultats des rendements de décantation sur deux sites (MERLE, 1999).	48
Tableau 19 : Synthèse finale des rendements épuratoires des bassins de stockage autoroutiers.	48
Tableau 20 : Rendements épuratoires (%) selon le type de filtre.	55
Tableau 21 : Rendements épuratoires des bassins autoroutiers d'infiltration (MERLE, 1999).	56
Tableau 22 : Rendement du bassin d'infiltration de Charbonnier (INSA, 1996).	56
Tableau 23 : Variations du rendement théorique en fonction des vitesses de séparation.	60
Tableau 24 : Taux d'abattement des MES selon la vitesse de chute (SETRA, 1997).	61
Tableau 25 : Vitesse de chute de référence à utiliser pour le dimensionnement d'un décanteur selon le type de voirie considérée (SETRA, 1997).	61
Tableau 26 : Rendements du séparateur à hydrocarbures du bassin de Charbonnier.	67
Tableau 27 : La rétention dans un séparateur de boues et de liquides légers.	69
Tableau 28 : Rendements épuratoires des décanteurs déshuileurs industriels (MERLE, 1999).	70
Tableau 29 : Rendements de deux décanteurs lamellaires (MERLE, 1999).	70
Tableau 30 : Efficacité des décanteurs lamellaires (AIRES, 1998).	71
Tableau 31 : Caractéristiques des eaux de ruissellement à Brunoy et Vigneux.	72
Tableau 32 : Rendements épuratoires annuels des décanteurs de Brunoy et Vigneux.	72
Tableau 33 : Coûts d'un décanteur particulière selon le débit à traiter.	73

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Dégrilleur à nettoyage par l'amont.	25
Photo 2 : Brosse rotative du dégrilleur Hydroclean.	27
Photo 3 : Dessableur à deux canaux.	36
Photo 4 : Bassin permanent.	40
Photo 5 : Bassin à sec.	41
Photo 6 : Bassin enterré.	41
Photo 7 : Bassin enterré de Périnot (33).	44

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ASFA	Association des Sociétés Françaises des Autoroutes
CETE	Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CUB	Communauté Urbaine de Bordeaux
CTIA	Centre Technique International de l'Assainissement (Suez – Lyonnaise des Eaux)
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LRPCB	Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux
RTU	Réseaux et Techniques Urbaines
CET	Centre d'Enfouissement Technique
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène en cinq jours
DCO	Demande chimique en oxygène
MES	Matières en suspension
MO	Matières organiques
HC	Hydrocarbures totaux
Hg	Mercure
Cd	Cadmium
CN	Cyanures
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
Fe	Fer
N	Azote
Ni	Nickel
NO ₂	Nitrites
NO ₃ ⁻	Nitrates
NTK	Azote kjeldhal (total)
P	Phosphore
Pb	Plomb
Zn	Zinc

INTRODUCTION

Devant le développement de l'urbanisation, il paraît de plus en plus indispensable de dépolluer les eaux pluviales recueillies en réseau séparatif avant leur rejet dans le milieu récepteur (rivière, ruisseau...). En effet, en lessivant les surfaces imperméabilisées (chaussées, trottoirs et autres surfaces en zone urbanisée), ces eaux se chargent en éléments polluants altérant la qualité des milieux naturels. Le traitement de ces eaux n'est pas une obligation légale en système séparatif, toutefois l'application de la loi sur l'eau du 03/01/1992 peut amener à exiger le traitement de ces rejets si leurs impacts sur le milieu récepteur ou les usages de l'eau le nécessitent.

Le but de l'étude qui m'a été confiée était de réaliser une analyse **des différents dispositifs de traitement des eaux de ruissellement** (recueillies en réseau séparatif) afin de mettre au point des **stratégies de dépollution** de ces eaux. Ce document devrait constituer une aide au choix directement utilisable par les maîtres d'ouvrage et d'œuvre.

Différentes étapes ont été nécessaires afin d'atteindre cet objectif :

- dans un premier temps, il a fallu définir les différentes sources d'eaux de ruissellement, leurs caractéristiques ainsi que les exutoires et leurs exigences en matière de qualité ;
- dans un second temps, il a été nécessaire de capitaliser les différents documents relatifs aux dispositifs classiques de dépollution, puis de les synthétiser ;
- puis, un travail d'enquête a été effectué auprès des différents acteurs impliqués dans la dépollution des eaux de ruissellement (utilisateurs et gestionnaires de ces dispositifs) ;
- ce n'est qu'une fois toutes les informations recueillies que la mise au point des stratégies a pu débuter.

Après avoir présenté la structure qui m'a accueillie en stage, nous traiterons de la pollution des eaux de ruissellement : leurs caractéristiques justifiant l'élaboration du document de synthèse. Puis, nous présenterons les différentes étapes nécessaires à l'élaboration de ce document. Enfin, l'aide au choix sur les dispositifs de traitement des eaux de ruissellement et les stratégies de dépollution qui en découlent feront l'objet d'une quatrième partie.

I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

J'ai effectué mon stage de fin de maîtrise à l'unité Réseaux et Techniques Urbaines (RTU), service du LRPC de Bordeaux, département du CETE du sud ouest.

1. Le CETE du sud-ouest

Le CETE, Centre d'Études Techniques de l'Équipement, est un organisme d'études, de recherches et de conseils regroupant cinq cents personnes. Il est rattaché au Ministère de l'équipement, du transport et du logement. Il intervient dans les domaines de l'aménagement, de l'environnement ainsi que dans les infrastructures de transport.

Le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux, LRPCB, est un département du CETE.

2. Le LRPCB

Il fait partie du réseau des dix-sept laboratoires placés sous la tutelle technique du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, LCPC.

Le LRPC de Bordeaux intervient dans différents domaines d'activités : la route, le génie urbain, les ouvrages d'art, les équipements sportifs, les matériaux, l'environnement, les sols et la formation. Sa zone d'action s'étend principalement sur l'Aquitaine et les deux Charentes.

Le LRPCB regroupe 107 agents et comprend différents services (organigramme, figure 1) dont le service Réseaux et Techniques Urbaines, RTU.

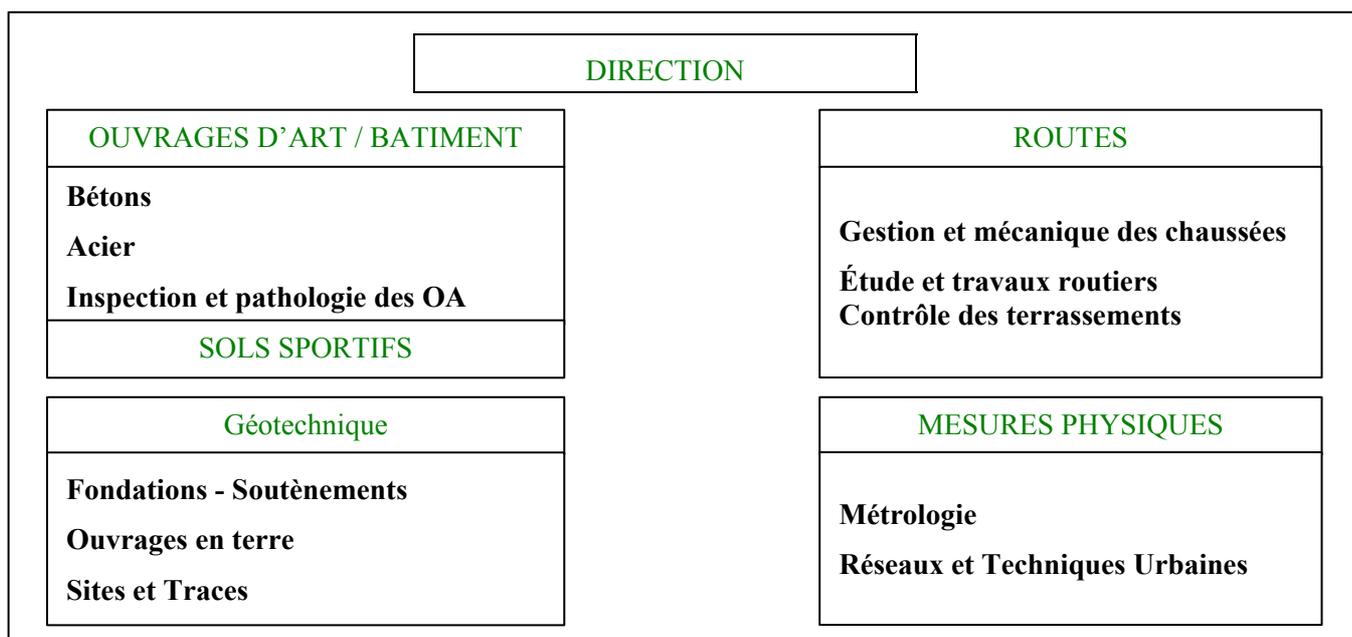


Figure 1 : Organigramme des différents services au sein du LRPCB.

3. La section RTU

Cette section traite les problèmes liés à l'hydrologie (eaux pluviales et eaux superficielles), à l'assainissement et plus généralement à l'aménagement urbain dans ses rapports avec l'eau : schéma directeur d'assainissement, réduction des impacts dus aux eaux de ruissellement, conservation / gestion du patrimoine assainissement, formation et assistance technique.

Ce service regroupe treize personnes, les deux chefs de section étant Messieurs BALADÈS et RUPERD.

II. LES EAUX DE RUISSELLEMENT ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

1. Définition

Les eaux pluviales sont [RODRIGUEZ-THEVENOT, 1988] les eaux qui par temps de pluie, rejoignent le milieu récepteur sans transiter par une station d'épuration : les eaux de pluie et les eaux de ruissellement.

Le terme d'eaux pluviales regroupe [FLORÈS-RODRIGUEZ, 1992] les eaux météoriques, les eaux de ruissellement des surfaces urbaines (toitures et voirie), les eaux rejetées par surverses de réseaux d'assainissement unitaire et les eaux évacuées par le réseau pluvial séparatif.

L'usage de la formule « **eaux de ruissellement** » est préférable [ENCYCLOPÉDIE DE L'HYDROLOGIE URBAINE ET DE L'ASSAINISSEMENT, 1997] pour éviter l'ambiguïté eau de pluie – eau pluviale.

2. Caractéristiques / pollution des eaux de ruissellement

a. Les sources de pollution

Le schéma du cycle de l'eau en milieu urbain (figure 2) met bien en évidence les différents facteurs impliqués dans la pollution des eaux.

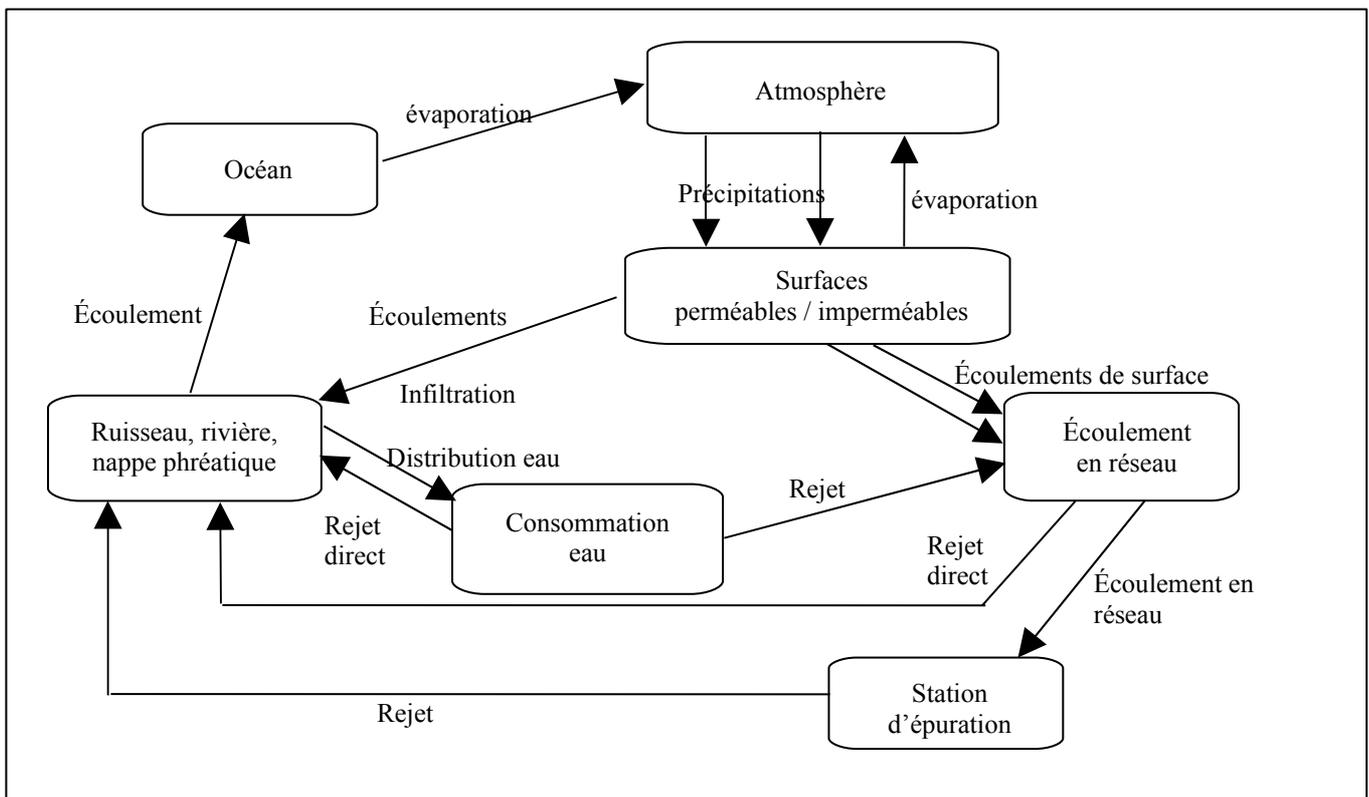


Figure 2 : Le cycle de l'eau en milieu urbain (VALIRON-TABUCHI, 1992).

α. La pollution atmosphérique

La première source de pollution est l'**atmosphère** : la pollution est mobilisée par la pluie elle-même lors de sa chute. Elle provient d'émissions de diverses provenances : industrie, chauffage, échappement des moteurs à combustion interne des véhicules automobiles... Les rejets sont constitués de gaz comme les oxydes de carbone (CO_x), le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NO_x), des poussières de produits divers, des vapeurs d'organohalogénés ou d'hydrocarbures.

Le tableau 1, tiré d'un document de l'Agence pour la qualité de l'air [« pluies acides : danger 1986 »], présente le volume des émissions polluantes en France, dues aux activités anthropiques, susceptibles d'être reprises par les eaux de pluie.

<p>Hydrocarbures (chiffres 1983)</p> <p>Solvants de l'industrie970.000 t (42 %)</p> <p>Transports880.000 t (38 %)</p> <p>Industrie et divers460.000 t (20 %)</p> <p>Masse totale des hydrocarbures émis en 1983 : 2.310.000 t</p>	<p>Oxydes d'azote (NO_x) (chiffre de 1984)</p> <p>Transports1.085.000t (44 %)</p> <p>Industrie225.000 t (9 %)</p> <p>Centrales thermiques565.000 t (30 %)</p> <p>Résidentiel et tertiaire.....142.000 t (6 %)</p> <p>Transformation de l'énergie.....18.000 t (1 %)</p> <p>Autres (engrais et lisiers).....800.00 t (33 %)*</p>
<p>Dioxyde de soufre (SO₂) (chiffre de 1984)</p> <p>Industrie et agriculture740.000 t (39 %)</p> <p>Centrales thermiques565.000 t (30 %)</p> <p>Raffineries de pétrole255.000 t (12 %)</p> <p>Transports100.000t (5 %)</p> <p>Masse totale évaluée des émissions en 1984 : 1.980.000 t</p>	<p>* : estimation</p> <p>Masse totale émises : 2.448.000 t</p>

Tableau 1 : Émissions polluantes vers l'atmosphère en France (1983-1984).

Nous pouvons remarquer que sur les quelques 6,5 millions de tonnes de produits divers, plus de 2,1 millions (soit plus d'un tiers) proviennent de l'activité transport ; pour les oxydes d'azote et les hydrocarbures, cette proportion atteint la moitié. Parmi ces activités de transport, la circulation automobile joue un rôle essentiel. En plus des émissions gazeuses, s'ajoutent les

perdes de carburants sur la chaussée, les fractions de produits antidétonnant (comme le plomb) évacués avec les gaz ainsi que des fragments de pneus dus à l'usure et au freinage.

Les oxydes de carbone, de soufre et d'azote, qui constituent une fraction importante des gaz émis, se transforment partiellement en acide sulfurique (H_2SO_4) et en acide nitrique (HNO_3) par oxydation et abaissent le pH de la vapeur d'eau dans l'atmosphère : c'est le phénomène des **pluies acides**. Ces dernières peuvent dissoudre partiellement les poussières atmosphériques qui se chargent en éléments minéraux. La totalité des éléments constitutifs de la pollution atmosphérique finit par retomber sur le sol ou sur la végétation, soit en même temps que les précipitations atmosphériques, soit par dépôt direct.

Le tableau 2 [d'après DESBORDES, 1985], tiré de « Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie » montre le pourcentage de contribution de l'atmosphère dans la pollution pluviale.

polluants	MES	DCO	SO_4^{2-}	Total P	$NO_3 - N$	Pb	Zn
% de contribution pollution pluviale	10 - 25	15 - 30	31 -100	17 - 140	30 - 94	15 - 54	20 -62

Tableau 2 : Contribution de l'atmosphère dans la pollution pluviale.

β. Les apports terrestres et le ruissellement

Si la pluie recueille des impuretés de l'atmosphère, c'est surtout lors du ruissellement au sol qu'elle entraîne la majeure partie des polluants accumulés sur les surfaces.

L'action des précipitations commence par le mouillage en surface correspondant à environ 0,5 millimètre de pluie qui ne donne pas lieu à un écoulement. Dans cette phase, il y a début de dissolution des éléments solubles en dépôt sur le sol qui vient s'ajouter aux apports atmosphériques. Dès que la quantité de pluie tombée dépasse le seuil de mouillage, le ruissellement commence. L'entraînement et le transport des particules déposées associés à ce ruissellement sont essentiellement fonction des facteurs caractéristiques de la pluie (intrinsèques aux précipitations) :

- la hauteur d'eau tombée, son intensité et sa progressivité ;
- la granulométrie de la pluie : les plus grosses gouttes auront une énergie cinétique plus importante permettant de détacher facilement les éléments déposés.

Ces paramètres pluviaux interfèrent avec ceux liés au sol, comme par exemple : la pente, la nature et l'érodabilité du sol.

Effet sur la végétation et sur le sol

Après avoir lessivé la végétation des dépôts qui se sont formés sur elle, la pluie tombée se partage entre : **ruissellement**, **infiltration** (puis percolation) et **évaporation**. Une part non négligeable de la fraction infiltrée retourne vers l'atmosphère par l'**évapotranspiration** des végétaux.

Les éléments emportés par ruissellement sont essentiellement des débris végétaux, des résidus d'engrais ou de pesticides. Leur nature et leur quantité varient en fonction des activités voisines : agricoles, pratiques culturelles, etc.

Action sur les sols imperméabilisés et les toitures

Les **sols imperméabilisés** sont constitués pour l'essentiel des voiries, trottoirs et parking.

On y trouve :

- lubrifiants – essence, dépôts d'échappement,
- particules de pneus, terre et boue apportées par les roues des véhicules,
- fraction de produits transportés ou provenant des chantiers,
- déchets divers notamment lors des marchés,
- déjections d'animaux domestiques.

Tous les produits solubles sont drainés par la chaussée et se retrouvent dans les eaux de ruissellement. Cela représente plusieurs millions de tonnes par an.

La circulation contribue également, par action mécanique, à user et à dégrader les chaussées et ainsi à mobiliser de nouveaux produits susceptibles d'être entraînés par ruissellement : éléments minéraux (ciment, etc.), produits carbonés (goudron), éléments fins et sables. Les produits de sablage (sable) et de salage (NaCl, CaCl₂, KCl et additifs à base de chromates, de cyanure, etc.) des chaussées sont aussi repris par les eaux de ruissellement.

Le tableau 3 [d'après BALADES J.-D., 1999], donne des ordres de grandeur de la pollution accumulée sur les voiries et reprise par le ruissellement.

Réseau séparatif	Autoroutes	Zones	Zones
------------------	------------	-------	-------

				résidentielles	commerciales
MES (mg/l)	mini	21	28	112	230
	maxi	582	1178	1204	1894
DCO (mg/l O ₂)	mini	33	128	37	74
	maxi	265	171	120	160
Pb (mg/l)	mini	0,03	0,15	0,09	0,1
	maxi	3,1	2,9	0,44	0,4

Tableau 3 : Bilan quantitatif des éléments polluants accumulés sur les voiries.

Ajoutons, que 30 à 40 % de la masse totale des particules ayant un diamètre inférieur à 250 μ m, représentent 75 % du pouvoir polluant des voiries. Ceci, explique que le nettoyage des rues par balayage soit peu efficace, car il n'intéresse que les éléments les plus gros.

La contribution des toitures à la pollution globale est estimée entre 15 et 30 % pour les matières en suspension. La quantité et la qualité des apports en métaux (notamment zinc) dépendent de la nature de la couverture et des gouttières.

b. Nature et origine des polluants

La provenance des principaux éléments présents dans les eaux de ruissellement a été récapitulée dans le tableau 4 [d'après WHIPPLE, 1983], tiré de « Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie ».

	Érosion	Circulation		Industrie et/ou ses produits	Jardins et zones non urbanisées	Oiseaux et animaux domestiques
		Usure	Échappement			
M.E.S.*	M	M				
M.O.**	M	M	m			M
Azote	m		M		M	M
Phosphore	M		m		M	M
Bactéries, virus						M
Métaux lourds :						
Zinc (Zn)	m	M		m		
Plomb (Pb)			M	M		
Cuivre (Cu)		M		M		
Chrome (Cr)		M		M		
Cadmium (Cd)		m	M	M		
Résidus pétroliers		M	M	M		
Pesticides					M	
Légende :						
		* : Matière en suspension		M : source majeure		
		** : Matière organique		m : source moindre		

Tableau 4 : Provenance des pollutions trouvées dans les eaux de ruissellement.

Les activités anthropiques, par dépôt d'éléments polluants lessivés par les eaux de ruissellement, induisent une « sur – pollution » de ces eaux.

Les teneurs et origines des métaux lourds présents dans les eaux de ruissellement sont présentées dans le tableau 5 [d'après BALMER, 1984] tiré de « Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie ».

Éléments	Teneur moyenne dans les eaux de	Origine	Phase	Remarques
----------	------------------------------------	---------	-------	-----------

	ruissellement (mg/l)			
Plomb (Pb)	0,1 à 0,8	Essence Industrie = 35 % Pluies = 50 %	Solide en suspension	L'essence contient 0,15 g/l de Pb. Régression de l'essence plombée
Cadmium (Cd)		Industrie = 45 % (combustion) Pluies = 20 % Usure des pneus	Dissoute	
Zinc (Zn)	0,3 à 0,8	Industrie = 35 % (incinération d'ordures) Pluies = 30 % Usure des pneus Corrosion d'objets métalliques	Dissoute (à la limite de la phase particulaire pour le Zn issus des pneus	
Cuivre (Cu)	0,02 à 0,2	Dégradation des toîts et gouttières Usure des pneus		

Tableau 5 : Pollution des eaux de ruissellement en métaux lourds, origine et teneur.

Ces tableaux mettent bien en évidence les liens existants entre les activités anthropiques, le niveau de vie des populations et la pollution apportée par les eaux pluviales. Ils montrent aussi l'influence et donc l'importance d'une gestion économe protégeant l'environnement notamment sur les points suivants :

- entretien correct et bon réglage des véhicules,
- enlèvement soigné et élimination satisfaisante des ordures,
- réduction des déchets et des risques industriels.

Les eaux de ruissellement, recueillies en milieu urbanisé et qui transitent dans un réseau séparatif, présentent des MES (et polluants associés) et des DCO élevées, tout comme les teneurs en métaux lourds et hydrocarbures, la part de particules minérales est importante. Ces eaux sont caractérisées par une faible biodégradabilité et une décantabilité importante, caractéristique que l'on utilisera pour les dépolluer.

3. Impacts des eaux de ruissellement sur le milieu récepteur

Les pluies fréquentes et les eaux de ruissellement associées, à l'origine de pollutions chroniques, dégradent la qualité permanente du milieu. L'impact des eaux de ruissellement n'est pas négligeable même s'il varie suivant leurs caractéristiques physico-chimiques. En effet, selon l'élément dominant dans un rejet, on peut constater différents impacts sur les écosystèmes : effets sur le biotope (physiques), sur la biocénose (écologiques), ainsi que sur l'homme (tableau 6, synthèse de plusieurs tableaux).

Rejet	Impact physique	Impact écologique	Impact humain
Débit	Inondation Entraînement des substrats Érosion ⇒ M.E.S. Déversement de bassin versant	Dérive des invertébrés Stock alimentaire moindre pour les poissons Asphyxie	Atteinte aux biens et usages récréatifs
M.E.S.	Turbidité ⇒ diminution de la lumière Colmatage des substrats	Ralentissement de la photosynthèse avec répercussion sur l'ensemble des chaînes alimentaires. Effet sur la reproduction des poissons (disparition des frayères). Diminution de la teneur en oxygène	Atteinte à la consommation (eau de surface) et usages récréatifs (pêche, etc.)
DCO, DBO ₅	Réduction de l'oxygène dissous	Conséquences sur la respiration des poissons et autres organismes	
Na ⁺ , Cl ⁻	Augmentation de la salinité (résistivité)	Selon le cours d'eau : faible Éventuellement choc osmotique	
HC	Moindre luminosité et réduction de l'oxygène	Perturbation du processus respiratoire des poissons et de la photosynthèse	Atteinte à la qualité des eaux de consommation, de surface et souterraines
Pb, Zn	Accumulation dans les sédiments Formation de composés organo-métalliques	Concentration possible dans la chaîne biologique ⇒ bioaccumulation et bioamplification	

Tableau 6 : Identification des impacts liés aux rejets liquides.

III. ÉTAPES NÉCESSAIRES À L'ÉLABORATION DE L'AIDE AU CHOIX

Afin de réaliser le document de synthèse sur les dispositifs de traitement des eaux de ruissellement en vue d'élaborer des stratégies de dépollution des eaux pluviales, différentes étapes ont du être franchies afin de mener à bien ce projet.

D'une part il a fallu capitaliser l'ensemble des documents nécessaires. La majeure partie était disponible au LRPC de Bordeaux, au sein même de la section RTU. La bibliographie a pu être complétée notamment grâce au centre de documentation du CTIA (Centre Technique International de l'Assainissement) de Bordeaux (filiale de la Lyonnaise des eaux), aux agences des eaux (en particulier l'Agence de l'eau Seine – Normandie), à l'ASFA (Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes) et à l'INSA de Lyon.

Dans un second temps, j'ai réalisé un support d'enquête destiné aux gestionnaires des réseaux séparatifs d'eaux pluviales, afin de compléter la bibliographie parfois désuète. Une fois conçu, j'ai pu entrer en contact téléphonique avec les gestionnaires de l'assainissement de nombreuses villes (Toulouse, La Rochelle, Lille, Limoges, Grenoble, Strasbourg, etc.) afin d'obtenir des retours d'expérience. Malheureusement, très peu de villes recueillent les eaux pluviales en réseau séparatif et encore moins les traitent avant rejet dans le milieu naturel. De plus, le support d'enquête s'est avéré inutile. En effet, les données sur la gestion, l'entretien, etc. n'ont pu être fournies par la même personne, de plus le questionnaire donnant lieu à des recherches assez longues et contraignantes n'a pu être que très partiellement complété.

Une fois les fiches techniques réalisées, et ayant mis en évidence les points forts et les points faibles de chaque ouvrage, il a fallu faire l'inventaire :

- des différentes sources d'eaux de ruissellement afin de connaître leurs caractéristiques d'un point qualitatif ;
- les différents usages des milieux récepteurs soumis à différentes contraintes réglementaires.

Ainsi, en tenant compte des différentes éléments cités précédemment, j'ai pu proposer des stratégies de dépollution des eaux de ruissellement, et par là même réaliser une aide au choix (voir chapitre suivant). Cette étude s'inscrit dans le cadre de recherches financées par le Ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement, sous l'égide du LCPC.

IV. L'AIDE AU CHOIX

SOMMAIRE DE L'AIDE AU CHOIX

PRÉAMBULE	2
REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
TABLES DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	9
LISTE DES PHOTOS	10
LISTE DES ABRÉVIATIONS	11
INTRODUCTION	12
I. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	13
II. LES EAUX DE RUISSELLEMENT ET LEURS CARACTÉRISTIQUES	15
III. ÉTAPES NÉCESSAIRES À L'ÉLABORATION	23
DE L'AIDE AU CHOIX	23
IV. L'AIDE AU CHOIX	24
SOMMAIRE DE L'AIDE AU CHOIX	25
INTRODUCTION	27
I. LES DÉGRILLEURS	28
II. LES DESSABLEURS	36
III. LES BASSINS DE STOCKAGE / DÉCANTATION	43

IV. LES BASSINS D'INFILTRATION (OU D'ABSORPTION) ET DE FILTRATION	57
V. LES SÉPARATEURS	64
VI. SYNTHÈSE	80
VIII. MISE AU POINT D'UNE STRATÉGIE DE DÉPOLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT	91
BASSIN DE DÉCANTATION	97
FILTRATION SUR SABLE	97
BASSIN DE DÉCANTATION	97
BASSIN DE DÉCANTATION	98
DESSABLEUR	100
DÉGRILLAGE	100
BASSIN DE DÉCANTATION	100
CONCLUSION	106
BIBLIOGRAPHIE	108

INTRODUCTION

Ce document est une synthèse des dispositifs utilisables pour dépolluer les eaux de ruissellement. Il a été conçu afin de protéger les milieux récepteurs des polluants contenus dans ces eaux.

Destiné à guider les maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage dans le choix des dispositifs à planter sur leur réseau séparatif pluvial, il récapitule différents éléments sur chaque ouvrage : les fonctions, l'emplacement, le dimensionnement, les différents types, les avantages et inconvénients, l'entretien, l'efficacité, les coûts et les éventuelles combinaisons possibles. Sont concernés : les dégrilleurs, les dessableurs, les bassins de stockage / décantation, les bassins d'infiltration et de filtration ainsi que les séparateurs d'hydrocarbures et les séparateurs-décanteurs. Les efficacités des différents ouvrages ont été ensuite reprises afin de faciliter le choix du dispositif à mettre en place selon le ou les éléments à éliminer en priorité avant rejet dans le milieu naturel.

La dépollution des eaux de ruissellement générant des résidus ou sous-produits d'assainissement, il paraissait indispensable de s'intéresser à la gestion et au traitement de ceux-ci, ainsi que des coûts engendrés.

Le choix des ouvrages de traitement sera fonction des objectifs de qualité sur le milieu naturel et devra prendre en compte les caractéristiques des eaux de ruissellement à traiter.

I. LES DÉGRILLEURS

1. But / utilisation

Le but du dégrilleur est de supprimer la majeure partie de la pollution visuelle de l'eau avant son arrivée dans des ouvrages tels que les bassins de retenue. En arrêtant les objets volumineux, il protège les ouvrages en aval des dysfonctionnements (colmatage, blocage) induits par leur intrusion. Il permet donc une concentration des déchets à un endroit où leur évacuation sera facile.

En aucun cas le dégrillage ne réduit la pollution (chronique, dissoute ou particulaire) de l'eau.

2. Principe

[1]

Le dégrilleur est un dispositif qui permet l'arrêt de déchets solides flottants de grandes dimensions (branches, bouteilles...) au moyen de grilles à barreaux.

Différents types de dégrillage sont définis selon l'espacement des barreaux.

Type de dégrillage	Espacement des barreaux
Dégrillage fin	< 10 mm
Dégrillage moyen	10 – 30 mm
Pré - dégrillage	30 – 100 mm

Tableau 7 : Les différents types de dégrillage.

Plusieurs dégrillages peuvent être associés en série. Pour les eaux de ruissellement, il s'agira en pratique dans la grande majorité des cas de pré-dégrillage suivi parfois de dégrillage moyen.

3. Emplacement

Les dégrilleurs sont généralement installés :

- en amont des bassins de retenue ; en effet, les riverains de ces bassins sont très sensibles à leur esthétique, paramètre essentiel à leur intégration, leur acceptation et à leur effet « valorisation » du site ;
- en amont des ouvrages de traitement au fil de l'eau (dessableurs, déshuileurs...) notamment en zone urbanisée où les déchets sont en abondance dans les eaux recueillies.

4. Dimensionnement

[2]

Lors de fortes pluies le colmatage accéléré peut provoquer un débordement. Le dégrilleur devra être situé en amont du dispositif à protéger et devra aussi permettre le passage de l'eau par débordement en cas de colmatage.

Une grille génère une perte de charge hydraulique $i(m)$, telle que :

$$i (m) = D_s \times (e / E)^{4/3} \times V^2 / 2g \quad (1)$$

avec :

D_s : coefficient de forme des barreaux circulaire = 1,8
 oblongue = 1,7

e : épaisseur des barreaux (m)

E : espace libre entre les barreaux (m), (écartement)

V : vitesse moyenne d'arrivée de l'eau

La vitesse de traversée de la grille ne doit pas être inférieure à 0,6 m/s afin d'obtenir l'application des matières sur la grille et d'éviter les dépôts de sables. La vitesse doit osciller entre 0,8 et 0,9 m/s et rester inférieure à 1,2 m/s en débit de pointe.

Calcul de la largeur de la grille :

$$\text{Surface immergée : } S = \frac{Q \text{ de pointe}}{(V \times \theta \times C)} \quad (2)$$

avec :

V : vitesse admise pour le débit Q considéré

C : coefficient de colmatage

θ : coefficient de passage libre = $E / [E + e]$ (voir (1))

La quantité de refus de dégrillage peut être variable selon la période de l'année et le secteur considéré au sein d'une même commune.

5. Les différents types de dégrilleurs

[1] [2]

Le classement des dégrilleurs peut s'effectuer selon leur système d'évacuation des déchets :

- les grilles manuelles qui doivent être nettoyées à la main très régulièrement ;
- les grilles mécaniques qui sont équipées d'appareils assurant leur nettoyage automatique.

Les grilles manuelles

Elles sont réservées aux très petites installations. Les barreaux pisciformes (en forme de poisson) présentent un net intérêt dans le cas de dégrilleurs manuels réduisant le colmatage et ainsi la fréquence de nettoyage. Le nettoyage est effectué à l'aide d'un râteau et les débris sont recueillis dans un bac récepteur percé : goulotte d'égouttage ou panier perforé.

Les grilles mécaniques

De nombreux types existent :

- les dégrilleurs droits à nettoyage par l'amont :
ce sont les plus employés (photo 1) mais ils sont toutefois réservés à des profondeurs d'eaux moyennes d'environ 2 mètres ;
- les dégrilleurs droits à nettoyage par l'aval :
ils sont utilisables pour les grandes profondeurs et pour des débits pouvant aller jusqu'à 30 000 l/s ;

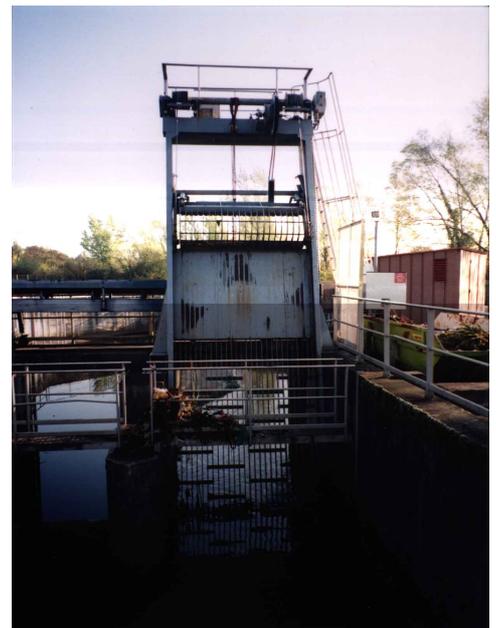


Photo 1 : Dégrilleur à nettoyage par l'amont.

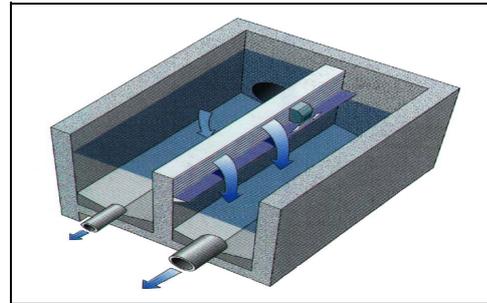
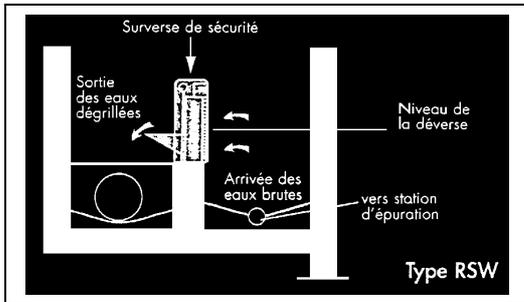
- les dégrilleurs oscillants (ou à tête oscillante) : ils sont très fiables et utilisables pour des débits atteignant 30 000 l/s (Débit jamais atteint pour les eaux pluviales).

Exemples de dégrilleurs "nouveaux" sur le marché

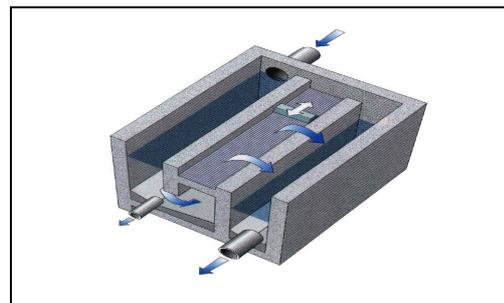
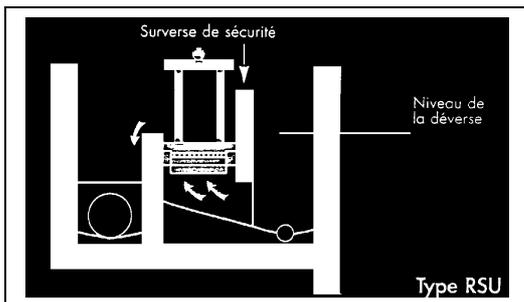
1. La société ISD propose un dégrilleur de grands débits (200 l/s à 5 000 l/s) IDS Romag dont le nettoyage est automatisé. Les solides retenus sont de taille supérieure à 4 mm et le refus de dégrillage est chassé grâce à la forme particulière du peigne. L'efficacité annoncée est de 98 %

(en masse) pour des éléments de taille supérieure à 6 mm. L'ouvrage dispose d'une sécurité au blocage lorsque de gros éléments s'introduisent dans le réseau.

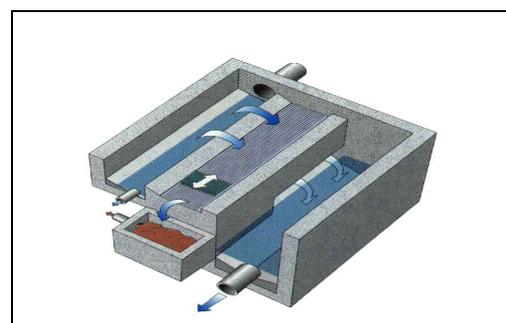
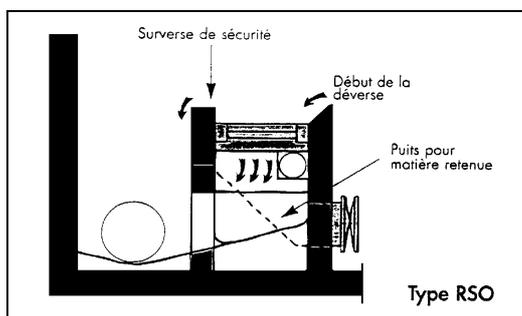
Le dégrilleur ISD Romag est conçu suivant 3 modèles (figure 3) : un à système de grille verticale type RSW et deux autres à système de grille horizontale types RSU et RSO, tous peuvent être utilisés en réseau séparatif pluvial.



Ce type à grille verticale permet l'utilisation de la surface totale de la grille même pour de faibles débits. Une surverse de sécurité peut être implantée des deux côtés du dégrilleur.



Ce type à grille horizontale permet une faible perte de charge et l'accès au dégrilleur est facile.



Cet autre dégrilleur à grille horizontale est approprié pour une installation déjà en place. Le refus de dégrillage est repoussé par des peignes vers un puits et éliminé lors de l'abaissement du plan d'eau.

Figure 3 : Les différents modèles de dégrilleur ISD Romag.

2. Certains fabricants proposent des modèles de dégrilleurs autonettoyants sans apport d'énergie extérieure. C'est le cas de la société Hydroconcept qui présente un dégrilleur Hydroclean, autonettoyant à brosse (photo 2) qui fonctionne sans apport d'énergie, l'entraînement de la brosse rotative du dégrilleur se fait selon le principe technique du moulin à eau.



Photo 2 : Brosse rotative du dégrilleur Hydroclean.

Ce dégrilleur permet de retenir des solides de taille supérieure à 5 mm. La flexibilité des fibres de la brosse permet, contrairement aux dégrilleurs classiques (à barreaux métalliques), le nettoyage permanent, même lorsque des objets volumineux se sont introduits dans le réseau (exemple un tronc d'arbre).

Fonctionnement (figure 4) :

- hors périodes pluvieuses, les eaux de temps sec sont dirigées par une cunette vers le réseau d'eaux usées ;
- lors d'épisodes pluvieux, le niveau s'élève dans l'ouvrage puis dépasse le seuil de la surverse. Les eaux sont alors déversées dans le milieu naturel après dégrillage.

Avantages annoncés :

- pas d'apport d'énergie,
- intervention et frais d'exploitation limités,
- autonettoyage continu,

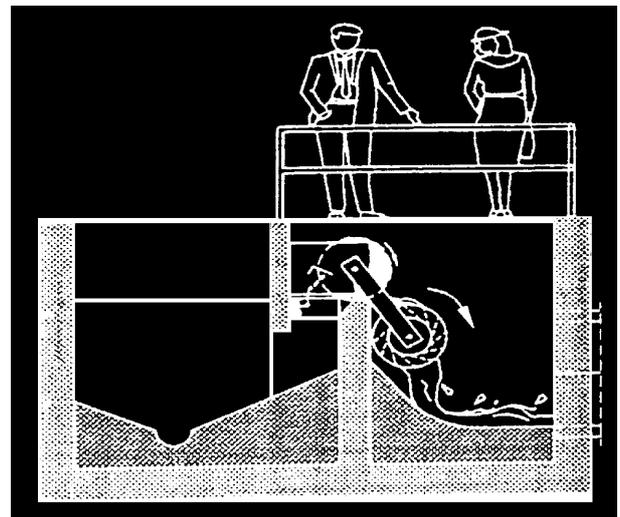


Figure 4 : Fonctionnement du dégrilleur Hydroclean..

- faible perte de charge.

6. Avantages – inconvénients

	Avantages	Inconvénients
Dégrilleurs à grille manuelle	<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût - Pas d'apport d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien pénible et fréquent
Dégrilleurs à grille automatique	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité - Peu d'entretien 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle régulier du fonctionnement (sinon pannes assurées)
dégrilleur à nettoyage par l'amont	<ul style="list-style-type: none"> - Pression du peigne réglable nettoyant les grilles ⇒ optimisation du nettoyage 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité au bourrage par les dépôts au pied de la grille
dégrilleur à nettoyage par l'aval	<ul style="list-style-type: none"> - Adapté à de forts débits et à de grandes profondeurs - Reprise d'importantes quantités de matières solides - Nettoyage des râteaux par un éjecteur qui déverse les détritiques dans une goulotte - Incolmatable 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus cher à l'achat et à l'entretien car changement fréquent des barreaux - Fragiles
dégrilleur oscillant	<ul style="list-style-type: none"> - Adapté à de forts débits 	<ul style="list-style-type: none"> - Fiable et performant

7. Entretien

Il dépendra du type de dégrilleur choisi :

- le dégrilleur à grille manuelle nécessite un entretien (enlèvement des détritiques) fréquent et régulier, donc très contraignant ;
- le dégrilleur à grille mécanique, lui, nécessite un entretien moins fréquent mais toujours régulier qui consiste à l'enlèvement des déchets et à un contrôle de fonctionnement (fréquence estimée à une fois par mois).

Il est difficile de fixer une fréquence d'enlèvement des déchets car elle dépend de la quantité de détritiques recueillis donc du bassin d'apport. Le lieu d'implantation du dégrilleur devra être accessible à des véhicules de chargement et d'évacuation des déchets (vers un C.E.T.) dont le volume peut être conséquent en zone fortement urbanisée.

Les témoignages concordent quant à la fréquence d'entretien des dégrilleurs : une intervention après de fortes pluies (ex : $I > 14$ mm/h et $H > 5$ mm à Vigneux en Essonne [3]) semble plus adaptée qu'un entretien à intervalle de temps régulier.

À Lormont (33), sur le site de l'Archevêque par exemple où est implanté un dégrilleur mécanique à nettoyage par l'amont réalisant un pré - dégrillage, le container de 5 m³ de déchets est vidé après chaque forte pluie d'eaux, environ 8 à 10 fois par an.

Le devenir des déchets recueillis fait l'objet d'un chapitre : le chapitre VII.

8. Efficacité

L'efficacité du dégrillage dépend de 3 facteurs :

- la position du dispositif par rapport au reste du réseau,
- la vitesse de passage de l'eau dans l'ouvrage (qui conditionne le colmatage),
- la fréquence d'entretien.

L'efficacité est aussi fonction du débit d'entrée dans le dégrilleur [1]. En effet, l'installation d'un chenal d'approche rectiligne en amont de l'ouvrage permettra une bonne répartition du débit et de la vitesse des eaux et améliorera ainsi les performances du dispositif (en évitant le colmatage).

Un piège à cailloux diminuera la détérioration des barreaux du dégrilleur.

Même si le dégrillage n'a aucun effet sur les concentrations en polluants de l'eau, ce pré-traitement paraît indispensable pour le bon fonctionnement des dispositifs localisés en aval et notamment en zones urbanisées.

9. Coûts

Coûts du dispositif

La Société Hydroconcept nous a fourni une grille de prix pour la fourniture et la pose du dégrilleur autonettoyant Hydroclean (tableau 8), selon différentes longueurs de brosses (donc diamètres) et différents débits.

Longueur de la brosse (mm)	Diamètre de la brosse (mm)	Débit (l/s)	Coût H.T. du dégrilleur (Francs)	Frais H.T. du montage (Francs)
3 000	600	300	175 000	15 000
3 000	1 000	1 200	210 000	15 000
5 000	800	1 700	325 000	20 000
9 000	600	1 200	485 000	30 000
9 000	1 000	5 000	580 000	30 000

Tableau 8 : Grille de prix du dégrilleur Hydroclean selon certains débits et longueurs de brosse.

Coûts d'entretien

Les coûts d'évacuation des refus de dégrillage (pré-dégrillage de 5 cm et dégrillage moyen de 2 cm) et de criblage (de 5 mm permettant éliminer les mégots de cigarettes, les feuilles, etc.) de la station d'épuration d'Achères (78) sont :

- 45 F/t pour le transport,
- 90 F/t pour le stockage en C.E.T. de classe II.

10. Combinaisons avec d'autres dispositifs

L'ajout en amont d'un chenal rectiligne et d'un piège à cailloux s'avère indispensable afin de réguler le débit et d'éviter la détérioration des grilles.

Remarque : le dégrilleur est souvent directement intégré à un ouvrage de traitement au fil de l'eau comme, par exemple, à un dessableur ou à un décanteur-déshuileur.

II. LES DESSABLEURS

1. But / utilisation

[1]

Le but de ce dispositif est de piéger les particules solides charriées par les eaux et les matières en suspension de granulométrie comprise entre 200 et 500 μm : sables, graviers, etc.

En retenant les sables qui sont associés aux polluants, le dessableur participe à la protection du milieu récepteur ; il permet également :

- d'éviter la détérioration des ouvrages situés en aval (usure des pièces mécaniques),
- de limiter la réduction de la débitance des collecteurs.

Ainsi, l'implantation d'un dessableur diminuera les difficultés d'exploitation des réseaux et la quantité de sables rejetée dans le milieu.

2. Principe

Ouvrage constitué d'une chambre profonde, ce dispositif a été conçu pour arrêter les particules minérales les plus denses, essentiellement les sables et graviers mais aussi les débris de verres et de métaux.

Cette séparation gravitaire s'effectue par limitation de la vitesse horizontale des fluides qui doit être inférieure à la vitesse de chute des particules minérales.

Le dessableur assure donc le tri des particules denses et légères :

- en retenant au fond de la chambre de dessablement les particules minérales de densité sèche $\approx 1,8$;
- en laissant en suspension les matières organiques de densité $\approx 1,2$.

3. Emplacement

L'implantation d'un dessableur en réseau séparatif eaux pluviales est recommandée :

- en aval lorsque le réseau est long et à faible pente (contre sédimentation et obturation),
- à l'exutoire,
- en amont de certains ouvrages de traitement dont le fonctionnement pourrait être perturbé.

4. Dimensionnement

Le dessableur doit être conçu pour que la vitesse de l'eau à l'intérieur de l'ouvrage soit comprise entre 0,2 et 0,4 m/s.

La conception du dessableur se fait en fonction du choix de la taille des particules à éliminer (0,2 mm) et de leur pourcentage à éliminer (80 à 95 %).

L'élargissement de la section du collecteur permet une réduction de la vitesse de l'eau et également une régulation (utile pour les autres ouvrages en aval).

5. Les différents types de dessableurs

Il existe plusieurs types de dessableurs.

Les dessableurs classiques

La vitesse à l'intérieur de ces ouvrages varie selon le débit. Ces ouvrages canaux (ou couloirs) simples sont les plus élémentaires. L'installation de deux canaux en parallèle (figure 5) permet la mise en service du deuxième canal lorsqu'on extrait les sables du premier.

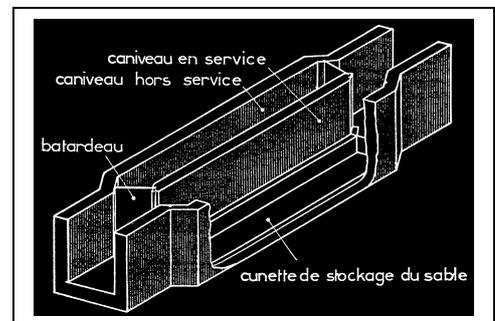


Figure 5 : Dessableur à canal double.

Les dessableurs canaux à vitesse constante

Afin d'obtenir une vitesse constante dans les dessableurs, la section immergée doit varier de la même façon que le débit.

Parmi les dessableurs à vitesse constante on compte :

- les dessableurs à section parabolique (fig. 6 & 7).

Cette solution consiste à adapter la section du dessableur aux variations de débit : rétrécissement du canal par une fenêtre verticale.

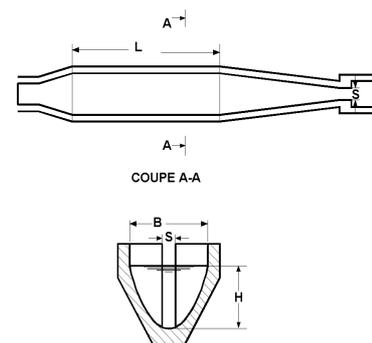


Figure 6 : Dessableur à section parabolique.

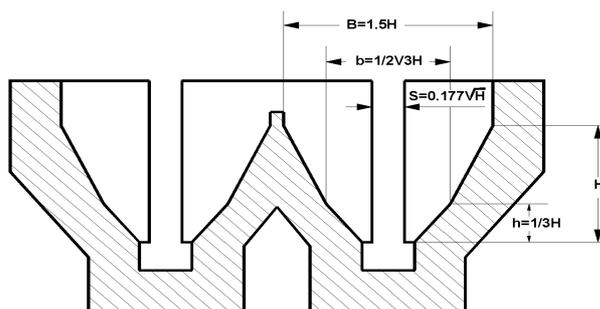


Figure 7 : Section hexagonale d'un dessableur à section parabolique

- les dessableurs à section et déversoirs conjugués (figure 8).

Cette solution permet de conserver une section rectangulaire, forme idéale pour assurer une bonne décantation des sables. Le dessableur à déversoir « Tour Eiffel » est le plus utilisé des dessableurs à vitesse constante. La sortie du dessableur étant un déversoir, il faut une différence de niveau non négligeable entre le dispositif et le canal aval (quelques dizaines de centimètres).

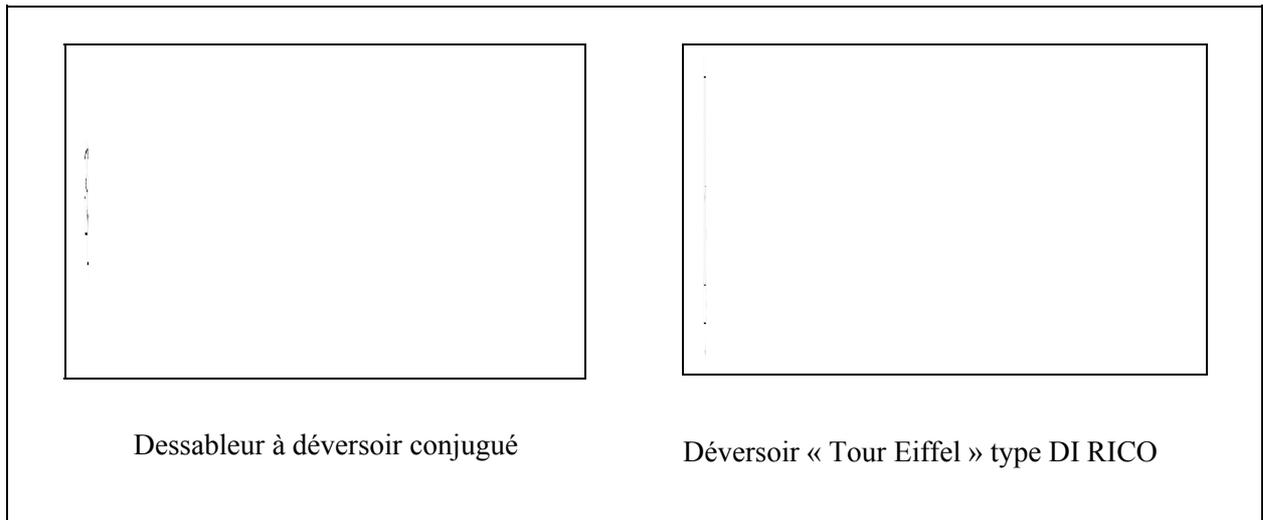


Figure 8 : Dessableur à déversoir conjugué et exemple de déversoir « Tour Eiffel ».

Autres dessableurs

Il existe d'autres types de dessableurs mais qui sont essentiellement utilisés pour le traitement des eaux usées comme : les dessableurs tangentiels, les dessableurs aérés (séparation des sables et des matières organiques), les dessableurs carrés à fond plat

6. Avantages – inconvénients

	Avantages	Inconvénients
Dessableurs classiques	- Peu coûteux car ouvrage simple	- Sables sales (faible différenciation sable / MO)
Dessableurs à vitesse constante		
dessableur Venturi à section parabolique (1)	- Faible perte de charge	- Onéreux à cause de la difficulté de conception de la section parabolique
dessableur à section rectangulaire et déversoirs conjugués (2)	- Bonne décantation des sables grâce à la section rectangulaire - Moins onéreux que (1)	- Fente du déversoir étroite donc grands risques d'obturation-colmatage

7. Entretien

Il consiste en un curage de l'ouvrage, l'enlèvement des sables et leur acheminement vers un C.E.T. de classe II. L'enlèvement des sables est indispensable au maintien des performances de l'ouvrage. En effet, il peut rapidement perdre son efficacité et relarguer une quantité importante de sables pouvant détériorer les ouvrages en aval.

Il est difficile de fixer une fréquence d'enlèvement des sables car elle dépend de l'origine des eaux recueillies et de la situation géographique des dispositifs de dépollution.

Une étude de l'INSA de Lyon [4] a suggéré une fréquence d'entretien : tous les 3 ou 4 mois pour des eaux de ruissellement de plusieurs zones industrielles dont la surface de bassin versant drainée est de 380 ha.

Le devenir des déchets recueillis fait l'objet d'un chapitre : le chapitre VII.

8. Efficacité

Dans « Efficacité des ouvrages de traitement des eaux de ruissellement » [B] l'efficacité d'un dessableur (tableau 9), implanté à l'exutoire d'un réseau pluvial en site urbanisé à Vélizy dans les Yvelines, a été estimée. Le dessableur est précédé d'un dégrilleur automatique et suivi d'un séparateur, l'ensemble des ouvrages étant destiné à protéger un bassin de retenue.

Paramètres	DBO ₅	DCO	MEST	Pb	Zn	Cd
Efficacité globale (%)	35	43	62	58	42	29
Variations	0 – 82	0 – 82	23 – 82	0 – 93	0 – 84	0 – 78

Tableau 9 : Efficacité épuratoire d'un dessableur (RUPERD, 1987).

L'INSA de Lyon dans « Impact de l'infiltration des eaux pluviales sur les nappes » [4], a assuré le suivi des performances d'un dessableur sur 5 ans, entre 1990 et 1995. Ce dessableur reçoit les eaux de ruissellement de trois zones industrielles conduites ensuite vers le bassin de "Charbonnier", bassin d'infiltration précédé d'un bassin de décantation. Les rendements intrinsèques du dessableur vis-à-vis de différents paramètres sont donnés dans le tableau 10.

Paramètres	MES	Pb	Zn	Cu
Rendement intrinsèque (%)	38	15,8	4	24,2

Tableau 10 : Efficacité épuratoire d'un dessableur (INSA, 1996).

Il ressort aussi de cette étude [4] que les dessableurs jouent un double rôle :

- de décanteur par temps sec car les eaux ont un faible débit ;
- de dessableur pour les eaux de temps de pluie où seules les grosses particules sont retenues par décantation.

L'efficacité du dispositif dépend du débit d'entrée et de la constance de la vitesse d'écoulement à l'intérieur. En effet, une vitesse constante permettra un meilleur rendement et limitera le dépôt de particules fines responsables d'odeurs de fermentation.

L'efficacité est également liée à la fréquence de maintenance (curage régulier et évacuation des déchets).

9. Coûts

Coûts des dispositifs

Les coûts de construction [5], variables selon la capacité des dessableurs, sont décroissants avec la taille et vont de 10 000 à 5 000 F/m³ pour le génie civil avec une majoration de 50 % pour les équipements fixes éventuels.



Photo 3 : Dessableur à deux canaux.

Coûts d'entretien

Le coût de curage de ces ouvrages [5] est d'environ 600 F/h. (H.T.) Les dimensions étant variables d'un site à l'autre, on peut estimer que le curage des chambres à sable revient à 100 F/m³. Ensuite, il faut ajouter le coût de la mise en C.E.T. ($\approx 265\text{F/t}$), le coût de location de la benne (variable selon la taille) et le coût de transport jusqu'au centre de stockage :

- soit directement un C.E.T. de classe II,
- soit vers une plate-forme de traitement des sables où ils seront lavés et seuls les encombrants (résidus de criblage) seront acheminés vers le C.E.T. de classe 2.

Le coût du transport va évidemment dépendre de la localisation du centre de stockage.

La C.U.B. par exemple a établi un contrat dont peuvent bénéficier les communes. Le coût de location de bennes et de transport revient à environ 175 F/t.

Une alternative a été adoptée par certaines villes dont Toulouse et La Rochelle. Sous les bouches d'égouts sont implantés des chambres de dessablement / décantation qui sont très régulièrement vidées à l'aide d'une aspiratrice.

La ville de La Rochelle (qui dispose, sur 300 kilomètres de réseau séparatif recueillant les eaux pluviales de 2 900 ha urbanisés, d'une chambre de dessablement tous les trois regards de visites) a communiqué le coût d'évacuation des sables extraits par le service assainissement de la ville (tableau 11).

	Taxe ADEME	Stockage dans C.E.T. de classe II	Transport : benne de 15 m ³ ≈ 30 t
Coûts	60 F/T	350 F/t	1200 F

Tableau 11 : Coûts d'évacuation des sables des chambres de dessablement de La Rochelle.

Le prix d'évacuation de la tonne de sables revient à 450 F.

La ville de Toulouse collecte environ 1 tonne de sables chaque jour et la ville de La Rochelle 400 tonnes par an, soit un peu plus d'une tonne par jour.

III. LES BASSINS DE STOCKAGE / DÉCANTATION

[6] [7] [8] [9] [10]

1. But / utilisation

[11]

Les **bassins de retenue** ont été conçus afin d'assurer une fonction de régulation hydraulique : ils permettent une régulation du débit par stockage évitant ainsi les inondations. Ces bassins ont en plus une fonction épuratoire (effet induit) : ils améliorent la qualité des eaux, par décantation des éléments présents dans l'eau et par une épuration biologique (lorsque le bassin est peuplé par des organismes vivants), avant leur rejet dans le milieu naturel.

Ces bassins stockent les eaux par temps de pluie et les restituent lentement dans le milieu.

Les **bassins de décantation**, comme leur nom l'indique, ne sont destinés qu'à la dépollution des eaux. Ces bassins, généralement à sec, reçoivent les eaux de ruissellement jusqu'à leur remplissage ; l'excédent est dévié vers l'aval du bassin soit directement à l'exutoire soit à la sortie du bassin.

Nous nous intéresserons essentiellement aux bassins de décantation qui ont pour but de dépolluer les eaux de ruissellement. Néanmoins, nous citerons des rendements épuratoires des bassins de retenue (paragraphe 8).

2. Principe

L'épuration des eaux se fait par décantation des particules les plus facilement décantables ($d > 100 \mu\text{m}$) qui entraîne l'immobilisation en profondeur, grâce à un temps de séjour suffisant, des polluants adsorbés à leur surface.

Les bassins ont un rôle épuratoire non négligeable, notamment vis-à-vis des MES, DCO et DBO₅. Aux matières en suspension (représentant 80 % des particules accumulées sur les chaussées) sont associés de l'ordre de 30 % de la DCO et 70 % des métaux lourds [12], la décantation des particules entraîne donc la décantation des éléments polluants.

La présence d'organismes vivants dans des bassins en eau, assimilés à des étangs, assure une épuration naturelle de l'eau améliorant ainsi l'effet épuratoire du bassin.

3. Emplacement

La localisation et le choix des bassins dépendront du contexte dans lequel ils s'inscrivent. En effet, selon le secteur où il faudra implanter un bassin, on privilégiera un type parmi les autres.

Les bassins sont enterrés ou à ciel ouvert eux-mêmes peuvent être permanents ou temporaires.

Les contraintes guidant le choix du type de bassin sont essentiellement foncières. En effet, en milieu urbain du fait du manque de place et du prix des terrains, le choix s'orientera vers un bassin enterré dont la surface sera exploitée (parking, stade, jardin).

En milieu périurbain, un bassin à ciel ouvert pourra être intégré à l'environnement et valoriser ainsi l'espace.

4. Dimensionnement

Nous n'indiquerons pas les différentes méthodes de dimensionnement des bassins de retenue "hydrauliques" étant donné que divers ouvrages de référence les décrivent [A], [C].

Quelques éléments à prendre en compte dans le dimensionnement des bassins de stockage – décantation ont été fournis par Chebbo [14]. Il signale que pour une profondeur de sédimentation de 1 mètre et pour tous les événements étudiés la plus grosse part de décantation (80 à 90 % en masse de MES) est constatée dans les 30 premières minutes. Elle s'améliore de quelques pour cent dans les heures qui suivent. Il ressort aussi de son étude que l'augmentation de la profondeur du bassin génère une augmentation proportionnelle du temps de décantation. Le choix du volume de stockage est très important car il conditionnera l'efficacité d'interception des MES (tableau 12).

Volume de stockage (m ³ /ha imperméabilisé)	% intercepté de la masse M produite annuellement	% intercepté de la masse M produite à l'occasion des événements critiques	Fréquence des rejets résiduels (nb/an)	
			rejets moyens ($M \times 1\% <$ $< M \times 5\%$)	gros rejets ($\geq M \times 5\%$)
20	36 – 56 %	5 – 10 %	4 – 14	2 – 4
50	57 – 77 %	13 – 29 %	2 – 10	1 – 3
100	74 – 92 %	26 – 74 %	2 – 4	1 – 2
200	88 – 100 %	68 – 100 %	1 – 3	0 – 1

Tableau 12 : Comparaison des efficacités obtenues en interception des MES pour divers volumes de stockage (CHEBBO, 1992).

5. Les différents types de bassins de stockage / décantation

Les bassins de décantation sont généralement des bassins à sec afin d'accueillir les plus grands volumes d'eau possibles. Les bassins de retenue, eux, sont le plus souvent enterrés, ou à ciel ouvert permanent.

Les bassins à ciel ouvert

Quelle que soit leur taille, ils font l'objet d'études d'impact et selon leur taille ils seront soumis à déclaration (surface comprise entre 1 et 20 ha) ou à autorisation (surface supérieure à 20 ha).

↳ permanents

Ils sont implantés dans des lieux où il est possible de réserver une emprise suffisante comme dans les villes nouvelles par exemple. Ce type de bassin s'apparente aux étangs et connaît donc un niveau d'eau permanent (photo 4).



Photo 4 : Bassin permanent.

Une étude hydrogéologique s'avère indispensable afin de connaître la vulnérabilité de la nappe et de savoir si elle peut ou non alimenter le plan d'eau (par temps sec). Ainsi le type de revêtement de fond pourra être déterminé.

↳ temporaires

Ces ouvrages ne se remplissent que lors d'orages ou de fortes précipitations. Le volume de stockage disponible correspond à la capacité totale du bassin (photo 5).

Le fond pourra être étanche, enherbé ou seulement recouvert d'une couche de sable. Ce choix sera fonction de la nature du terrain et de la destination du bassin. Ainsi que du type de revêtement de fond.



Photo 5 : Bassin à sec.

Les bassins enterrés

Ils sont implantés en zone urbaine, et leur surface est utilisée comme parking, stade ou jardin. Leur taille et leur forme dépendent principalement de l'encombrement du sous-sol.



Photo 6 : Bassin enterré.

6. Avantages – inconvénients

Type de bassin	Avantages	Inconvénients
<p>Bassins en eau (permanents)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Valorisation pour les loisirs - Valorisation des opérations immobilières adjacentes - Bonne intégration dans le paysage - Protection contre les périodes de retour importantes - Fonction hydraulique : restitution lente des eaux dans le milieu - Dépollution par auto-épuration (naturelle) grâce à la présence de faune et flore - Dispositif performant grâce à un long temps de séjour - Faible rapport coûts / enjeux 	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien régulier nécessaire - Importance de l’emprise au sol - Coût foncier - Prévoir une protection de la nappe (s’il y a lieu) - Si la nappe n’alimente pas le bassin : prévoir une alimentation en eau en cas de sécheresse - Sensibilité aux déversements de pollution : implanter des dispositifs de pré-traitement (au fil de l’eau) ⇒ entretien supplémentaire

<p>Bassins à sec (temporaires)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Double utilisation de l'espace (espaces publics, aires de jeux...) - Utilisation toute l'année sauf jours de pluies exceptionnelles - Surface nécessaire minimale - Réduction des frais d'entretien si dispositifs de pré-traitement en amont 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction moindre de l'impact : pas de dilution, pas d'auto-épurant, décantation limitée - Pour maintenir le bassin à sec un drainage est souvent nécessaire - Intégration variable selon la présence ou non de revêtement <p>↳ si enherbé : entretien type espace vert</p> <p>↳ si revêtu : intégration urbaine très difficile, risque d'appropriation par les jeunes en terrain d'aventure, si revêtement en béton clôture nécessaire ⇒ inesthétique</p>
---	--	--

Type de bassin	Avantages	Inconvénients
<p>Bassins enterrés</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Valorisation de la surface surtout en zone urbaine : parking, jardins 	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage fréquent sinon dégagement d'odeurs - Coût très élevé, rapport coûts / enjeux très fort - Implantation selon l'encombrement du sous-sol et de l'hydrogéologie - Problèmes d'entretien : accessibilité réduite - Besoin d'énergie

<p>Vidange gravitaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fiabilité de fonctionnement optimale (car vidange non tributaire d'une station de pompage) - Dépenses d'entretien courant faibles car pas d'équipement électromécanique important à entretenir 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin de place car stockage sur faible hauteur (grand rapport surface/volume) - Nettoyage du fond du bassin difficile
<p>Vidange par pompage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Volume important stockage sur une petite surface car c'est la profondeur du bassin qui conditionne le volume à stocker - Nettoyage du fond du bassin sans engins spéciaux (car bonne décantation des boues & nettoyage manuel par lances à incendie) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fiabilité du fonctionnement de la vidange - Coûts d'entretien (maintenance d'une station de pompage) - Besoin d'énergie

7. Entretien

Les bassins de décantation doivent être entretenus afin de maintenir la pérennité de leur fonction [C]. C'est une condition très importante de leur efficacité ainsi que de leur acceptation par le public. L'entretien doit être prévu dès la conception de l'ouvrage, adapté au type de bassin et surtout il doit être régulier.

Les bassins à ciel ouvert

Quel que soit le type de bassin à ciel ouvert, l'entretien comprend :

- l'enlèvement des flottants (bouteilles, papiers, etc.),
- le nettoyage des berges,
- la vérification de la stabilité des berges ou de leur étanchéité,
- éventuellement une lutte contre les rongeurs,
- le curage de la fosse de décantation (surprofondeur près de l'exutoire),
- l'entretien de la végétation (surtout pour bassins à sec),
- le nettoyage des grilles,
- la vérification du régulateur de débit (au moins 4 fois /an) et des vannes s'il y a lieu (au moins 2 fois /an).

Il faut prévoir une tonte régulière et le fauchage du bassin à sec enherbé.

Lorsque les bassins permanents sont munis en amont d'un régulateur de débit, de modules de déshuilage et dessablage, ils nécessitent peu d'entretien. Un suivi écologique est nécessaire lorsque le bassin est peuplé d'organismes vivants (faune et flore).

En zone urbaine, la fréquence de nettoyage du bassin à ciel ouvert permanent étanche recommandée est de 1 fois par an [4].

Les bassins enterrés

Ils doivent impérativement demeurer propres afin d'éviter les dégagements d'odeurs.



Photo 7 : Bassin enterré de Périnot (33).

L'entretien (photo 7) et l'exploitation d'un bassin enterré sont beaucoup plus contraignants que ceux des bassins à ciel ouvert, à cause de plusieurs facteurs :

- l'accessibilité réduite,
- le confinement,
- les dépôts de boue au fond du bassin.

Le curage peut être manuel ou automatique ; la vidange, peut être gravitaire ou s'effectuer par pompage.

Donc le mode d'entretien et sa fréquence dépendent du type d'ouvrage, du degré d'automatisation ainsi que de son alimentation. De façon générale, les bassins devraient être nettoyés après chaque pluie importante.

Le devenir des déchets recueillis fait l'objet d'un chapitre : le chapitre VII.

8. Efficacité

L'épuration de l'eau dépendra de l'efficacité de décantation qui varie selon :

- l'origine des eaux de ruissellement recueillies : les rendements de décantation seront d'autant meilleurs que les eaux seront chargées ;
- la présence ou non de dispositifs de pré-traitement en amont et leur type.

Les bassins de décantation

L'efficacité épuratoire des bassins de décantation est très variable d'un site à l'autre. Il apparaît néanmoins [13] que les rendements mesurés sont élevés voire très élevés vis-à-vis des différents paramètres (tableau 13).

Paramètres	MES	DCO	DBO ₅	NTK	Hydrocarbures	Pb
Réduction de la pollution (%)	80 à 90	60 à 90	75 à 90	40 à 70	35 à 90	65 à 80

Tableau 13 : Réduction de la pollution par décantation dans un bassin.
(BACHOC, CHEBBO, 1992)

L'étude de l'INSA de Lyon sur le bassin de Charbonnier [4], bassin de décantation à ciel ouvert étanche précédé d'un dessableur, rapporte les rendements intrinsèques (avec pondération des volumes) du bassin (tableau 14) sur 5 ans.

	Paramètres	MES	Hydrocarbures	Pb	Zn	Cu
Rendement épuratoire (%)	Entre 1990 et 1995	45,5	/	60,5	19,3	30,2

Tableau 14 : Rendements épuratoires du bassin de décantation du Charbonnier (INSA, 1996).

Les rendements de décantation peuvent paraître faibles mais sans la présence du dessableur en amont dont l'action n'est pas négligeable (voir tableaux 9 & 10), ils seraient certainement meilleurs.

La thèse de Chebbo [14] présente une synthèse bibliographique des divers résultats obtenus lors de plusieurs études (tableau 15) sur les bassins en eau bénéficiant donc en plus de la décantation, d'une épuration biologique (bassins de retenue, avec un temps de séjour pouvant être important).

	Paramètres de pollution							
	MES	DCO	DBO ₅	NTK	hydroc	Pb	Zn	Cd
Retenues d'eaux pluviales bassin en eau								
Ulis Nord – France (moyenne sur 1 an)	74 %	40 %	56 %	52 %	90 %	93 %	68 %	-
Ulis Sud – France (moyenne sur 1 an)	90 %	80 %	87 %	52 %	94 %	94 %	87 %	-
Viborg – Danemark (printemps / été)	82 %	-	-	-	-	90 %	44 %	59 %
Viborg – Danemark (hiver)	61 %	-	-	-	-	53 %	43 %	56 %
Orlando (2 ans, 11 événements pluvieux)	88 %	17 %	-	-	-	85 %	76 %	-

Tableau 15 : Efficacité de décantation sur divers sites (CHEBBO, 1992).
(en pourcentage des masses polluantes entrant dans les bassins)

Enfin, les données sur les efficacités épuratoires d'un bassin à ciel ouvert sec revêtu à Bordeaux (réseau séparatif pluvial) sont données par Chebbo [14] et présentent de très bons rendements épuratoires (tableau 16).

Paramètres	MES	Pb	Zn	Cd
Rendement (%)	87	77	86	87

Tableau 16 : Efficacité épuratoire d'un bassin sec de Bordeaux (CHEBBO, 1992).

Les efficacités épuratoires des bassins de décantation en eau s'avèrent donc bonnes voire très bonnes selon les paramètres considérés.

Les bassins de stockage routiers

Une étude menée par l'ASFA (Association des Sociétés Françaises des Autoroutes) [12], fait dans un premier temps une synthèse bibliographique (tableau 17) sur les rendements épuratoires des bassins de retenue à ciel ouvert recueillant les eaux de ruissellement routières. Des analyses en entrée et en sortie des bassins ont permis d'obtenir les efficacités épuratoires ci –après :

Sites / Paramètres	Rendements en %					Nombre d'événements
	MES	DCO	Pb	Zn	Hydrocarbures	
A. 26 St Quentin	34	35	41	45	/	?
A. 26 Lille	80	45	65	53	/	?
A. 10 Bordeaux	33	17	44	26	/	?
A. 31 Crezilles	83	40	/	Négatif	/	6
Bois Robert global	21	32	10	12	53	15
Bois Robert gamme	0 → 73	0 → 75	0 → 67	0 → 41	7 → 76	15
Moyenne	50,2	33,8	40	34	53	

Tableau 17 : Rappel bibliographique (MERLE, 1999).

Les résultats obtenus par l'ASFA sur deux sites où sont implantés des bassins de décantation précédés de déshuileurs industriels figurent dans le tableau 18.

Paramètres	Efficacité à long terme (%)				
	MES	DCO	Pb	Zn	Hydrocarbures
A. 26 Arcis-sur-Aube	56	28	/	40	/
A. 43 Le Neyret	54	24	55	31	50

Tableau 18 : Résultats des rendements de décantation sur deux sites (MERLE, 1999).

Il ressort de cette étude que les résultats obtenus sur les bassins de décantation croisés avec les données bibliographiques sur l'efficacité épuratoire à long terme, sont relativement dispersés (tableau 19).

Paramètres	Efficacité épuratoire à long terme %				
	MES	DCO	Pb	Zn	HC
Médiane	55	32	50	40	50
Fourchette	33 → 83	17 → 45	41 → 63	26 → 53	/

Tableau 19 : Synthèse finale des rendements épuratoires des bassins de stockage autoroutiers (MERLE, 1999).

Même si le rôle premier de ces bassins de stockage est d'écrêter les débits afin d'éviter les inondations, il découle des différentes études que ces bassins ont une efficacité épuratoire non négligeable.

9. Coûts

Coûts d'implantation

[5]

Les coûts indiqués sont des estimations approximatives car ils sont très variables selon les conditions topographiques, la nature du terrain, etc. Ils dépendent également de la possibilité de laisser les bassins enherbés ou de l'obligation de les revêtir.

Les données recueillies permettent de donner les gammes de prix suivantes pour les bassins à ciel ouvert :

- permanent : 100 à 200 F /m³ stocké,
- temporaire : 200 à 600 F /m³ stocké.

Le coût d'un bassin enterré dépend de la taille de l'ouvrage, de sa profondeur et de la présence éventuelle d'aquifères. Le prix du mètre cube stocké sera généralement compris entre 1 000 et 3 000 francs.

Exemples de coûts

Le bassin en eau (de retenue) de Fontaudin [11] à Pessac (Gironde) stockant un volume de 48 000 m³ a généré un coût total de 12,5 millions de francs (HT, 1993). Ce bassin, recevant les eaux de ruissellement de trois sous bassins (300 ha), est doté de dispositifs de pré-traitement en amont (dégrilleur, déshuileur, dessableur) et d'une vanne télécommandée.

Le bassin à sec de Leysotte [11] à Villenave d'Ornon (33) aménagé en terrain de football stocke un volume d'eaux pluviales de 7 200 m³ et a coûté 2,7 millions de francs (HT, 1993) à la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB).

La CUB a fait implanter un bassin (27 mois de construction) de rétention en béton enterré : le bassin de la Grenouillère drainant un bassin versant de 167 ha urbanisés. Le bassin d'une capacité de 65 000 m³, d'une profondeur de 25 mètres et de 64 mètres de diamètre a coûté 70 millions de francs (2000). La construction du bassin a bénéficié de subventions de l'Agence de l'eau Adour-Garonne. Ce bassin ,qui possède en son centre un bassin de décantation à effet vortex, est prévu pour retenir 80 % de la pollution.

Coûts d'entretien

[5]

Les coûts de fonctionnement des bassins dépendent du type de bassin, de leur fréquence de remplissage ainsi que du degré d'équipement (organes de commandes, automatisme et régulation). Les frais annuels liés à l'entretien et à la maintenance des équipements sont compris entre 0,5 et 4 francs par mètre cube stocké.

Le coût d'entretien des bassins à sec correspond à celui d'un espace vert.

Le montant d'entretien annuel des bassins permanents à ciel ouvert oscille entre 20 000 et 50 000 francs /ha de plan d'eau. Le suivi écologique revient entre 1 500 et 4 000 francs par hectare.

Pour l'entretien courant d'un bassin enterré, de volume compris entre 1 500 m³ et 65 000 m³, le coût varie de 6 000 à 500 francs /m³ stocké (tarif dégressif).

IV. LES BASSINS D'INFILTRATION (OU D'ABSORPTION) ET DE FILTRATION

1. But / utilisation

[C] [6] [7]

Le rôle des bassins de stockage infiltration est de réduire les volumes d'eau disponibles au ruissellement et de les restituer au milieu naturel par infiltration, permettant une dépollution des eaux par rétention des particules les plus fines.

L'infiltration vise l'évacuation des eaux dans le sol « naturel », la filtration est un traitement des eaux dans un matériau filtrant (sable généralement) avant évacuation dans le sol, un fossé, un ruisseau...

2. Principe

[C] [7]

L'épuration des eaux se fait dans un premier temps par décantation, puis par traversée du substrat perméable qui retient les matières en suspension et les particules polluantes associées. Ainsi, des eaux de qualité très peu altérée, s'infiltrent dans la nappe ou rejoignent l'exutoire (selon la technique utilisée).

L'infiltration utilise les propriétés du sol en place, dont la perméabilité doit être comprise entre 10^{-3} et 10^{-4} m/s. Après percolation dans le sol, les eaux épurées rejoignent la nappe phréatique qui doit se situer à au moins 1,2 mètre sous la couche d'infiltration (1,20 m de zone non saturée).

La filtration est basée sur la traversée d'une couche de sable posée sur un géotextile. Le choix du matériau filtrant est primordial, sa perméabilité doit être comprise entre 10^{-3} et 10^{-4} m/s (graviers : 10^{-3} à 10^{-1} m/s ; sables : 10^{-5} à 10^{-4} m/s).

3. Emplacement

[7]

Ces bassins peuvent être intégrés dans différents lieux :

- dans les espaces verts (dépressions naturelles ou artificielles),
- dans la voirie (places et parkings légèrement décaissés),
- dans un équipement collectif (stade, aire de jeux).

Leur création se conçoit de préférence sur un substrat très absorbant (pour éviter les eaux stagnantes). Si nécessaire, la perméabilité naturelle peut être améliorée par ajout de matériaux à forte granulométrie (sables et graviers).

On privilégiera l'infiltration pour des eaux peu polluées comme les eaux de toitures ou les eaux provenant des voiries de dessertes de lotissement ou de zones d'activités tertiaires (TABUCHI, 1999).

4. Dimensionnement

Pour le dimensionnement il faudra prendre en compte la perméabilité et la surface d'infiltration afin de déterminer le débit de fuite. Si ce débit est insuffisant par rapport aux apports, il faudra prévoir un volume de stockage dont la capacité est déterminée comme celle d'un bassin de retenue (TABUCHI, 1999).

On peut se servir de la méthode des pluies (ou des volumes, etc.) pour calculer le volume du bassin de stockage – infiltration, et l'adapter avec la loi de Darcy. En effet, il faudra remplacer le débit de vidange Q_v par le débit d'infiltration Q_i tel que :

$$Q_i = k \times i \times A.$$

avec :

Q_i = débit d'infiltration en m^3/s

k = perméabilité en m/s

i = gradient hydraulique = $1m/m$ en milieu non saturé

A = surface d'infiltration m^2

5. Les différents types de bassins d'infiltration / filtration

Deux types de conceptions de bassins d'infiltration [10] en creux (fig. 9) et avec digue (fig. 10).

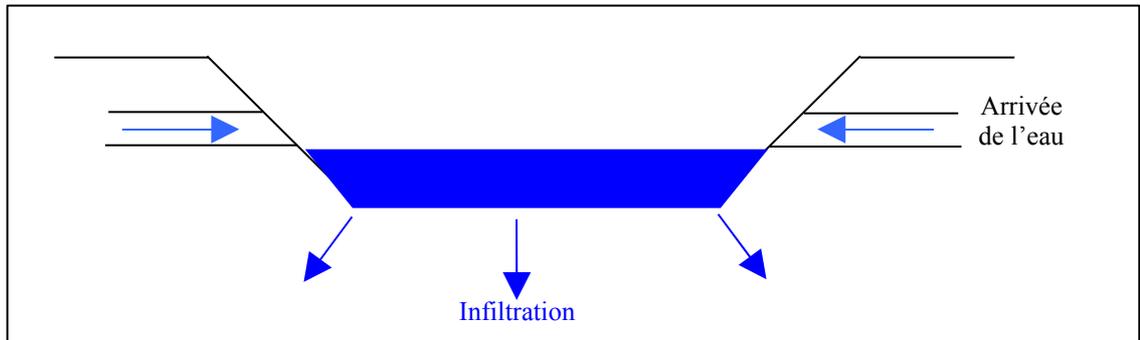


Figure 9 : Bassin d'infiltration en creux.

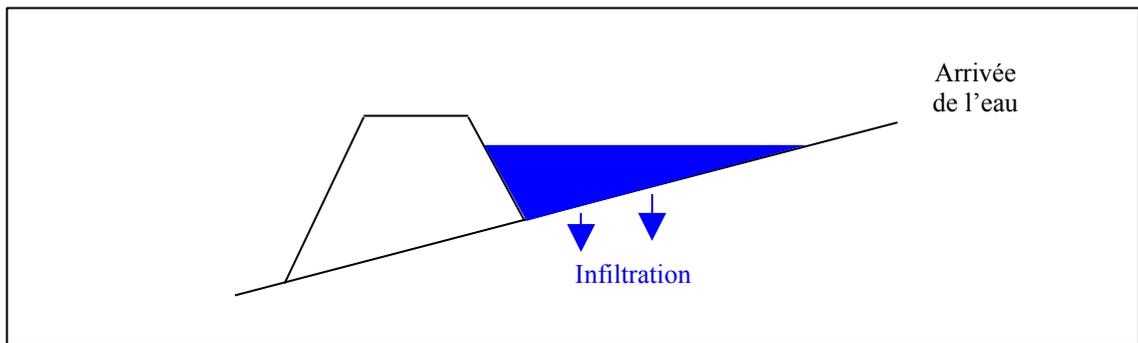


Figure 10 : Bassin d'infiltration avec digue.

La filtration s'effectue selon le schéma ci-dessous (figure 11).

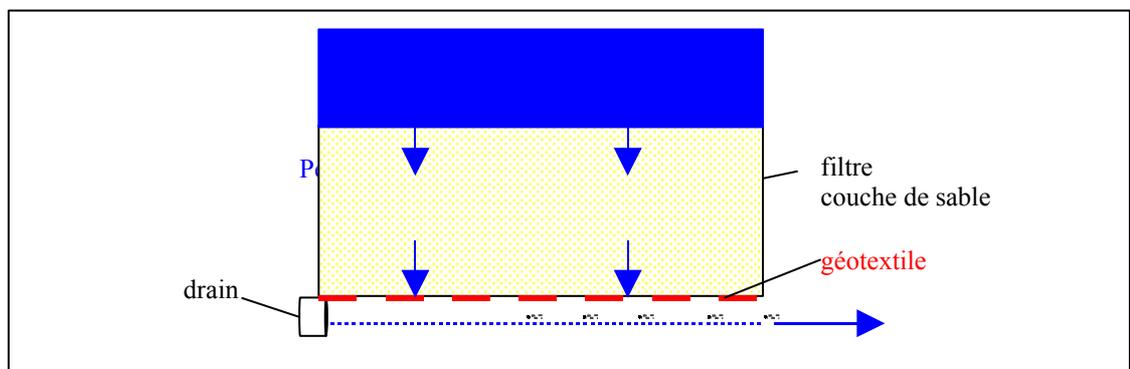


Figure 11 : La filtration.

6. Avantages – inconvénients

[8]

Avantages	Inconvénients
<p>INFILTRATION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation du substrat d'origine - L'évacuation des eaux par infiltration dans le sol permet de recharger la nappe sans la polluer - L'évacuation des eaux par infiltration ne nécessite pas de collecteur à l'aval et peut être utilisée dans les zones n'ayant pas d'exutoire possible - Respect du cycle naturel de l'eau et reconstitution des réserves utilisables dans les zones semi-arides - Conservation d'espaces verts en ville 	<ul style="list-style-type: none"> - Risques de contamination de la nappe en cas de déversements accidentels de polluants - Conception soignée nécessaire ainsi qu'un entretien régulier afin d'éviter les risques pour les riverains - La nappe doit se trouver à au moins 1,20 m du fond du bassin - Consommation d'espace foncier - Pas de protection de la nappe lors de pollutions accidentelles
<p>LA FILTRATION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bonne efficacité y compris vis-à-vis des germes - Non évacuation de l'eau directement dans la nappe donc avantage lorsque pollution accidentelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Rajout de matériau pour constituer le filtre (sable et géotextile) - Pose de drains

7. Entretien

[C]

Souvent les bassins dits d'infiltration combinent le principe de l'infiltration ainsi que celui de la filtration. En effet, un fond sableux ainsi qu'un géotextile sont ajoutés au fond du bassin ; les eaux, après les avoir traversés, rejoignent la nappe phréatique sous-jacente. Donc, l'entretien d'un bassin conçu comme indiqué précédemment se fait de la même manière que celui d'un filtre.

L'entretien ne doit pas intervenir trop tardivement par rapport à la capacité hydraulique nominale car le colmatage peut se produire très rapidement. L'entretien d'un filtre est fonction du colmatage sur la partie supérieure que l'on détecte par une modification du temps de vidange. Il faut, pour les filtres granulaires, racler le matériau (sur une épaisseur de 10 à 15 cm) ayant joué

le rôle de filtre et en remettre une épaisseur identique, et pour les filtres minces, changer le géotextile.

Le changement total du filtre a lieu avec une périodicité d'une dizaine d'années.

Il faut nettoyer le bassin régulièrement : ôter les déchets volumineux et faucher, ceci afin que le lieu ne soit pas marginalisé.

Il est aussi indispensable, lorsqu'il n'y a pas de revêtement, d'assurer un suivi régulier de la perméabilité de la couche superficielle du sol et de prévoir de la renouveler dès qu'elle sera colmatée.

Si le trajet de ruissellement est long (donc si l'infiltration n'est pas directe) alors des ouvrages de pré – traitement devront être implantés en amont car l'eau sera plus chargée en polluants. Ces derniers nécessitent un entretien régulier.

Le devenir des déchets recueillis fait l'objet d'un chapitre : le chapitre VII.

8. Efficacité

L'efficacité épuratoire des bassins d'infiltration dépend de la nature du filtre [C] (tableau 20). L'inconvénient est un colmatage rapide du massif réduisant fortement la perméabilité de l'ouvrage.

Type de filtre	MES	DCO	DBO ₅	Azote total	Métaux
Sable	80 – 90	50 – 60	60 – 70	30 – 40	35 – 45
Géotextile	75 – 85	40 – 50	45 – 55	25 – 35	30 – 40

Tableau 20 : Rendements épuratoires (%) selon le type de filtre.

Il ressort d'une étude menée par l'ASFA sur des bassins d'infiltration (seuls) recueillant des eaux autoroutières [12] une excellente efficacité épuratoire (tableau 21) à long terme.

Paramètres	Rendements d'épuration (%)				
	MES	DCO	Pb	Zn	HC
Médiane	90	73	78	82	80
Fourchette	80 → 96	68 → 84	53 → 95	80 → 89	72 → 98

Tableau 21 : Rendements épuratoires des bassins autoroutiers d'infiltration (MERLE, 1999).

Les travaux réalisés par l'INSA de Lyon sur le bassin d'infiltration de Charbonnier [4] précédé d'un dessableur, d'un bassin de décantation et d'un séparateur à hydrocarbures, ont mis en évidence de très bons rendements de dépollution des eaux de ruissellement recueillies en réseau séparatif dans une zone industrielle.

En effet, pour une masse de 100 à l'entrée de la chaîne de dépollution, il reste sous le géotextile (fraction susceptible de contaminer la nappe) : 0 à 0,6 % de MES – 0 % de Plomb – plus de la moitié du Zinc (51,6 à 64,5 %) – de 3,6 à 20,9 % du cuivre.

Les rendements intrinsèques de chaque dispositif ont été déterminés, en particulier ceux du bassin d'infiltration (tableau 22).

Paramètres	MES	Pb	Zn	Cu
Rendement (%)	95 – 100	26 – 100	15 – 32	25 – 85

Tableau 22 : Rendement du bassin d'infiltration de Charbonnier (INSA, 1996).

Les rendements de dépollution ne sont pas négligeables notamment en ce qui concerne les MES et le Plomb qui sont presque totalement retenus.

Le fond du bassin est couvert d'une couche de géotextile, ayant un rôle de filtre, complétée par la présence d'une couche de galets qui permet d'empêcher :

- les polluants de constituer une couche en surface trop imperméable ;
- la végétation de prendre racine ;
- le soulèvement du géotextile sous l'effet de la remontée de la nappe ;
- la fragilisation du géotextile.

Cette étude [4] a permis de proposer une configuration optimale de la couche de galets située au-dessus du géotextile :

- la couche supérieure : 20 cm de galets de dimensions 30 – 80,
- la couche inférieure : 20 cm de tout-venant de granulométrie minimale de 2 à 4 mm.

9. Coûts

Ils sont très variables d'une région à l'autre pour les bassins [5] car ils dépendent de la topographie ainsi que de la nature du terrain. Le montant de la conception varie de 200 F à 600 F /m³ stocké.

Le coût global d'infiltration [C] est dans la gamme de prix $\leq 600\ 000$ francs, comprenant les fournitures et leur mise en œuvre.

Un exemple de coût de réalisation d'un bassin d'infiltration tiré de l'estimation faite pour un lotissement de 100 habitations dont la densité est de 18,4 logements /ha et le coefficient d'imperméabilisation de 0,4. Le montant du bassin d'un volume de 53 m³ est estimé à 35 000 francs, soit 660 F/m³ (TABUCHI, 1999).

V. LES SÉPARATEURS

1. But / utilisation

Le terme de séparateur regroupe deux types de dispositifs dont le rôle est totalement différent l'un effectue une séparation liquide / liquide et l'autre une séparation liquide / solide. Ils isolent par conséquent deux types de pollutions différentes :

- l'un sépare les liquides légers (de densité inférieure à celle de l'eau) de la phase eau : c'est le séparateur à "hydrocarbures" ;
- l'autre sépare les matières en suspension ou charriés par l'eau (de densité supérieure à celle de l'eau) de la phase eau.

Un troisième type de séparateur, combinaison des deux premiers, dissocie la phase huile / graisse, la phase eau et la phase solide (MES).

Les séparateurs à hydrocarbures (encore appelés déshuileurs) sont des dispositifs destinés à intercepter les huiles, les graisses et autres flottants. Les particules graisseuses présentent un réel danger pour le milieu naturel ; en effet, en flottant, elles forment un film hydrofuge à la surface de l'eau et bloquent ainsi les échanges gazeux et atténuent le passage de la lumière nécessaire à la vie aquatique. Ces ouvrages permettent aussi de réduire la pollution visuelle en retenant les flottants.

La séparation liquide / solide se fait soit par décantation, soit par effet hydraulique (par mouvement vortex par exemple). Les séparateurs appelés décanteurs, débourbeurs interceptent par décantation les matières en suspension donc les éléments polluants qui leur sont associés.

2. Principe

Les séparateurs sont des chambres préfabriquées et compactes.

Les séparateurs à hydrocarbures

La séparation est induite uniquement par réduction de la vitesse horizontale. Afin de favoriser la flottation et ainsi de séparer les éléments en suspension, la vitesse (horizontale) des eaux à traiter doit être de l'ordre de quelques centimètres par seconde dans une chambre de volume suffisant.

Les séparateurs liquide / solide

La dépollution s'effectue par séparation gravitaire solides en suspension / liquide et permet la rétention des particules minérales ou organiques les plus fines ($\varnothing > 50 \mu\text{m}$).

Dans le cas des décanteurs, cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute ou de décantation) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège. Les décanteurs comportent souvent une série de lamelles (dans ce cas ils sont dits lamellaires) qui permet 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 autres séparateurs liquide / solide utilisent des propriétés particulières d'écoulement (exemple : l'effet Vortex) ; la séparation se fait par effet hydraulique : on parle de séparateurs dynamiques.

3. Emplacement

Les séparateurs à hydrocarbures peuvent être implantés en amont d'un bassin de retenue peuplé d'organismes vivants ; ils sont particulièrement recommandés en assainissement routier, autoroutier et urbain (parcs de stationnement, chaussées, aires aéroportuaires) où les risques de pollution par les hydrocarbures sont les plus importants.

L'utilisation des séparateurs liquide / solide, comme les décanteurs, s'avère intéressante en complément d'un bassin écrêteur temporaire où les temps de séjour sont relativement courts.

4. Dimensionnement

Dimensionnement des séparateurs à hydrocarbures

L'ouvrage est conçu de façon à obtenir une limitation efficace du débit et une tranquillisation du flot améliorant la séparation des phases hydrophile (eau) et hydrophobe (huiles, graisses).

La séparation liquide / liquide requiert une vitesse ascendante d'environ 8 m/h (AIRES, TABUCHI, TSM n°11, 1995).

Cas d'un séparateur préfabriqué :

La surface devra être telle que :

$$\text{Surface (m}^2\text{)} > Q / V_s$$

avec : Q = débit traversier (m³/s)

V_s = vitesse ascensionnelle fixée (m/s), soit 0,0022 m/s.

Lame de déshuilage :

La profondeur de la lame de déshuilage devra être telle que :

$$\text{Profondeur (m)} \geq [V_h / S] + 0,25$$

avec : V_h = volume d'hydrocarbures (m³)

S = surface disponible (m²)

0,25 = marge de sécurité

Le rapport $\frac{\text{Longueur}}{\text{Largeur}}$ doit être supérieur à 3.

Dimensionnement des séparateurs liquide / solide

Dimensionnement des décanteurs

Le rendement de décantation des MES dépendra de la vitesse de séparation choisie. Les rendements théoriques sur les MES en fonction des vitesses de séparation (AIRES, TABUCHI, TSM n°11, 1995), dans un réseau séparatif pluvial, sont donnés dans le tableau 23.

Vitesse de séparation (m/h)	1	3	4	5 à 6	8
Rendement théorique (%)	80	70	60	50	40

Tableau 23 : Variations du rendement théorique en fonction des vitesses de séparation.
(AIRES, TABUCHI, TSM n°11, 1995)

Connaissant le débit nominal Q (ou débit maximum admis) du dispositif ainsi que sa surface de séparation S , il est facile de connaître la vitesse de séparation V et donc le rendement épuratoire espéré, grâce à la formule :

$$V \text{ (m/h)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)} \times 3\,600}{S \text{ (m}^2\text{)}}$$

Le taux d'abattement des MES avec un débit d'entrée régulé est directement fonction de la vitesse de chute [C] retenue pour le dimensionnement (tableau 24).

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 24 : Taux d'abattement des MES selon la vitesse de chute (SETRA, 1997).

Des vitesses de chute de référence pour le dimensionnement de déshuileurs selon le type de voirie considéré données par le SETRA dans [C] sont présentées dans le tableau 25.

Type de voirie	Rase campagne	Péri-urbain	Lavage tunnel
Vitesse de référence (cm/s)	0,03 à 0,14	0,02 à 0,08	0,01 à 0,05

Tableau 25 : Vitesse de chute de référence à utiliser pour le dimensionnement d'un décanteur selon le type de voirie considérée (SETRA, 1997).

Dimensionnement des autres séparateurs dynamiques

Chacun de ces dispositifs fait l'objet d'un dimensionnement particulier ; il faudra donc se reporter aux fiches techniques réalisées par les fabricants pour dimensionner l'ouvrage.

5. Les différents types de séparateurs

Les séparateurs à hydrocarbures

Le dispositif de déshuilage peut être une simple lame siphonide ou un séparateur à hydrocarbures préfabriqué qui peut être combiné avec un débourbeur. Les déshuileurs industriels sont le plus souvent en acier et comportent souvent une série de lamelles (dans ce cas ils sont dits lamellaires) destinée à augmenter la surface de déshuilage. Certains modèles comportent en amont une cellule permettant de recueillir les éléments les plus grossiers au fond tout en accomplissant son rôle d'intercepteur de flottants (dont une partie des hydrocarbures).

Les séparateurs liquide / solide

Il existe différents types de décanteurs : des décanteurs simples constitués d'une chambre où les matières en suspension décantent, mais les plus utilisés sont les décanteurs lamellaires augmentant la surface de décantation donc le pouvoir séparateur du dispositif.

Les décanteurs lamellaires

- Les décanteurs lamellaires à contre-courant sont alimentés par le bas, l'eau et les solides décantés circulent en sens inverse.

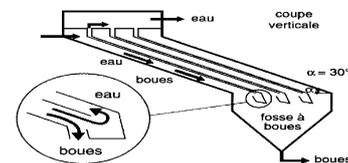


Figure 12 : Décanteur à contre-courant.

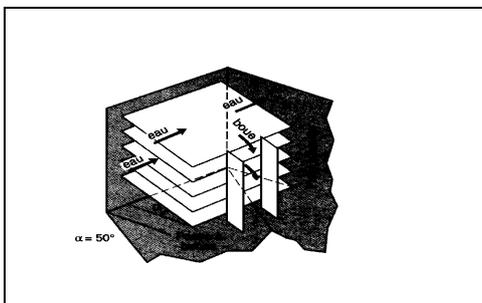
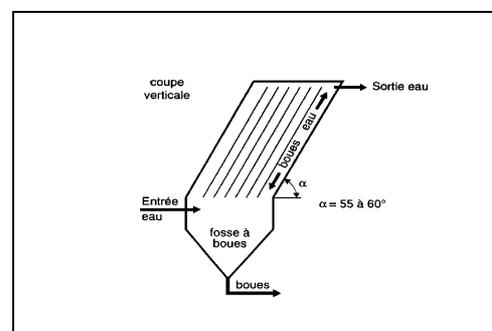


Figure 13 : Décanteur à co-courant.

- Les décanteurs à courants croisés sont alimentés latéralement, l'eau et les solides décantés circulent selon des directions perpendiculaires, parallèles aux lamelles.



- Les décanteurs à co-courant, sont alimentés par le haut, l'eau et les solides décantés circulent dans le même sens.

Figure 14 : Décanteur à courants croisés.

Les coagulateurs

Cette technique, par ajout de coagulants dans les eaux, vise à améliorer la sédimentation des particules les plus fines. Ces décanteurs sont utilisés pour des eaux très chargées, donc plutôt en réseau séparatif d'eaux usées ou en réseau unitaire.

Les séparateurs de boues et de liquides légers

Dérivés des décanteurs lamellaires, ils permettent le recueil des fines ainsi que le piégeage des hydrocarbures. Ce type de séparateur aussi appelé débourbeur – coalesceur agit à la fois comme décanteur et comme déshuileur.

Nous pouvons citer l'exemple du séparateur de boues et de liquides légers en béton, proposé par la Société PREFEAEST, conçu selon la norme P 16 440. L'ouvrage est constitué de deux compartiments : le premier de débourbage et le second muni d'un dispositif coalesceur (figure 15).

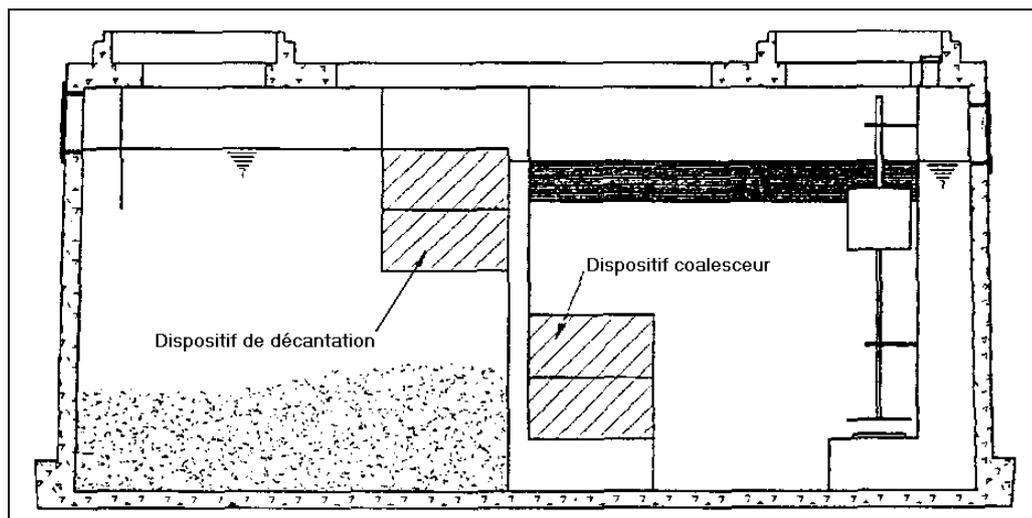


Figure 15 : Séparateur de boues et de liquides légers type soleil, PREFEAEST.

Ces séparateurs, combinant la décantation et le déshuilage, sont intéressants car ils peuvent autant traiter la pollution chronique qu'une pollution accidentelle par hydrocarbures. En effet,

lors d'une pollution chronique, les hydrocarbures sont en majorité adsorbés aux matières en suspension, ils seront donc piégés par des séparateurs liquide / solide comme les décanteurs. Au contraire, lors d'une pollution accidentelle, les hydrocarbures sont en suspension dans l'eau et seul un séparateur à hydrocarbures (ou déshuileur) pourra les intercepter.

Autres séparateurs liquides / solide (les séparateurs dynamiques)

Les séparateurs vortex [16] utilisent les propriétés particulières d'écoulement vortex contrôlé (mouvement giratoire et rotationnel), pour éliminer les particules susceptibles de se déposer, ainsi que les corps flottants contenus dans les eaux recueillies. « La séparation vortex peut aussi bien réaliser l'ensemble du traitement pluvial sur un site, que n'être qu'un maillon dans la chaîne de traitement. Une telle alternative au traitement pluvial classique (bassin de rétention ou décanteur) permet, à efficacité comparable, des coûts d'investissement plus faibles, et gradués dans le temps. » [16].

Un prototype de décanteur lamellaire cyclonique (D.L.C.) a été mis au point par le Professeur Milisic de l'ENSCP (École Nationale Supérieure de Chimie Physique de Bordeaux), spécialiste de mécanique des fluides. Le D.L.C. [18] utilise la force centrifuge afin d'améliorer la séparation ainsi que l'évacuation des boues. Même si l'appareil fonctionne très correctement pour des débits 2 à 3 fois supérieurs au débit nominal, certains points devront être améliorés avant sa mise en place sur le marché.

Le séparateur statique tourbillonnaire (S.S.T.), ouvrage compact destiné à traiter les eaux pluviales au fil du débit testé à Saint-Denis (93), s'est révélé être un ouvrage de traitement très médiocre [17], en revanche il pourra être utilisé sur réseau unitaire où les eaux sont plus chargées.

D'autres séparateurs existent comme le Storm Dynamic Separator (S.D.S.) ainsi que l'hydrocyclone mais ils sont plus destinés au traitement d'eaux très chargées, donc plutôt en réseau séparatif d'eaux usées ou en réseau unitaire.

Les décanteurs lamellaires et les séparateurs de boues et de liquides légers étant les plus appropriés pour la dépollution des eaux de ruissellement par séparation liquide / solide, nous ne nous intéresserons qu'à ces deux types de matériel pour les résultats d'abattement.

6. Avantages – inconvénients

		Avantages	Inconvénients
Séparateurs à hydrocarbures	Lame de déshuilage	<ul style="list-style-type: none"> - Coût négligeable par rapport à celui du bassin en amont - Entretien en même temps que celui du bassin 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité épuratoire moindre
	Module lamellaire	<ul style="list-style-type: none"> - Compacité 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'une régulation très précise du débit ⇒ contrôles réguliers et fréquents - Coût
Séparateurs liquides / solides	Décanteurs (en général)	<ul style="list-style-type: none"> - Compacité par rapport aux bassins 	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien : ôter les boues régulièrement - Dimensionnement de l'ouvrage
	décanteur lamellaire	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne efficacité grâce aux lamelles qui augmentent la surface de décantation - Coût par rapport aux bassins 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité plus faible qu'avec coagulation
	coagulateur + décanteur	<ul style="list-style-type: none"> - 10 à 30 % de rétention supplémentaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajouter coagulant - Coût - Gestion difficile
	Séparateurs de boues et de liquides légers	<ul style="list-style-type: none"> - Piégeage des MES et des hydrocarbures : un dispositif pour deux fonctions épuratoires - Bonne efficacité - Compacité 	<ul style="list-style-type: none"> - Bons rendements épuratoires mais dans des conditions optimales d'entretien et de maîtrise du débit
	Autres séparateurs	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleure séparation - Entretien automatique 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût important

7. Entretien

Entretien des séparateurs à hydrocarbures

Lame de déshuilage

L'entretien est réduit, il faut néanmoins pratiquer :

- l'aspiration des liquides légers à la surface de l'eau,
- l'enlèvement des flottants (bouteilles, papiers, etc.),
- le nettoyage de la lame.

Séparateurs à hydrocarbures préfabriqués

L'entretien de ce dispositif doit être effectué par une société spécialisée et consiste :

- soit en l'évacuation (par aspiration) de la totalité du contenu ;
- soit en l'évacuation (par aspiration) des boues et des surnageants, les eaux seront réinjectées en tête de filière de traitement.

La direction de l'eau du Grand Lyon (Communauté Urbaine de Lyon ou COURLY) fournit des recommandations [4] quant à la fréquence de nettoyage du séparateur : écrémage tous les 2 mois et curage complet tous les 4 mois.

Les liquides légers devront être aspirés un première fois puis, il faudra re-séparer les hydrocarbures de l'eau avant de les envoyer vers un centre de traitement spécialisé pour déchets industriels.

Entretien des décanteurs

L'idéal serait d'évacuer les boues 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 déclenché sur intervention d'une hydrocureuse, mais les boues peuvent être aussi évacuées directement dans le réseau d'eaux usées s'il n'est pas trop éloigné et si la station de traitement aval (usine de traitement spécialisé) le permet.

Dans tous les cas l'entretien des décanteurs doit être réalisé 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.

8. Efficacité

Efficacité des séparateurs à hydrocarbures

L'abattement des concentrations en hydrocarbures est de l'ordre de 40 – 50 %.

De tels ouvrages, à condition de respecter les conditions de dimensionnement et d'entretien, éliminent en moyenne [C] :

- 15 à 20 % des MES,
- 10 % des métaux lourds et nutriments,
- 30 à 40 % des hydrocarbures totaux.

Du fait de la faible concentration des eaux en hydrocarbures (< 10 mg/l), il paraît plus réaliste d'estimer l'efficacité à 15 – 20 %.

L'étude menée par l'INSA de Lyon sur le bassin de Charbonnier [4] a testé l'efficacité d'un séparateur à hydrocarbures de l'entreprise Saint-Dizier dont le débit de vidange est présumé constant (130 l/s). Les résultats du rendement intrinsèque au séparateur entre 1990 et 1995 sont présentés dans le tableau 26.

	MES	Pb	Zn	Cu
Rendement (%)	69	> 100	2,1	47,5

Tableau 26 : Rendements du séparateur à hydrocarbures du bassin de Charbonnier.
[Le Grand Lyon, INSA, 1996].

Le séparateur est précédé d'un dessableur et d'un bassin de décantation. Là encore, les chiffres obtenus sont influencés par les traitements de l'étape précédente.

Il ressort de cette étude que : « le séparateur remplit probablement bien son rôle vis-à-vis des pollutions de type accidentel produites par le fonctionnement de la bêche de relevage » située entre le dessableur et séparateur à hydrocarbures.

Interceptant les particules en suspension, les déshuileurs industriels ou séparateurs à hydrocarbures sont intéressants pour prévenir les pollutions accidentelles et non les pollutions

chroniques dont les hydrocarbures sont associés aux MES. Les résultats annoncés (normes AFNOR) par les brochures commerciales pour ces ouvrages préfabriqués sont très impressionnants : « séparation de 99,5 % d'hydrocarbures (densité 0,85) et des particules de taille supérieure à 50/60 µm (densité 1,2) ». Attention, ces chiffres, issus d'essais réalisés sur des effluents synthétiques très chargés en hydrocarbures, sont bien loin des concentrations réelles des eaux de ruissellement, même autoroutières. De plus, ces résultats ont été obtenus dans des conditions idéales de fonctionnement, d'entretien et avec des débits parfaitement régulés.

Des résultats de rétention d'hydrocarbures par un débourbeur séparateur, dispositif jouant à la fois le rôle de déshuileur et de décanteur, sont donnés dans le paragraphe suivant (« Efficacité des décanteurs »)

Efficacité des séparateurs liquide / solide

Elle est très variable selon :

- le type d'épisode pluvieux (durée, intensité),
- le débit instantané,
- la qualité et la température de l'eau,
- la forme et le type de dispositif,
- l'entretien du matériel.

Elle reste faible pour les particules de taille inférieure à 50 µm.

Différents dispositifs ont été testés par le LRPC de Bordeaux [18] sur des eaux de ruissellement artificielles (eaux de forage, produits de balayage de chaussées de Bordeaux ou de dépôts dans un bassin de retenue) sur une plate-forme expérimentale.

Un séparateur de boues et de liquides légers en béton de la Société PREFEAEST a été expérimenté après rajout d'un module lamellaire dans le premier compartiment (de débourbage). Une fois les matériaux injectés, les rendements de rétention des deux compartiments : le premier compartiment de débourbage et le second compartiment étant doté d'un dispositif coalesceur. Environ 90 % de la masse des matériaux injectés est bloquée dans le séparateur (87 – 92 %). De plus, il ressort de cet essai que la quasi-totalité de la rétention ($\approx 86\%$) se produit dans le premier compartiment, le second ne servant quasiment à rien (0,5 à 0,6 % de matériaux récupérés). L'efficacité globale du dispositif = $[(\text{entrée séparateur} - \text{sortie séparateur}) / \text{entrée séparateur}] \times 100$, a été mesurée pour 4 paramètres sur 3 échantillons (tableau 27).

Paramètres (mg/l)	MES			DCO			Pb			Zn			Hydrocarbures totaux		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Efficacité globale (%)	90	61	77	44	18	61	/	61	> 44	63	62	70	/	73	99

Tableau 27 : La rétention dans un séparateur de boues et de liquides légers.

Ce dispositif se révèle être performant tant pour la rétention des MES que pour celle des hydrocarbures totaux, dans les conditions de tests (débit nominal bien régulé, appareil nettoyé après chaque essai...).

Le décanteur à assiettes de type lamellaire collecte les matières décantables au centre des cônes et les hydrocarbures en périphéries. Le rendement annoncé par le constructeur (Société ITERA, reprise dans le groupe ISD) est supérieur à 80 %, paramètres de pollution non précisés. Il ressort des essais réalisés que 66 à 85 % des matériaux injectés sont retenus dans le séparateur. Le bilan de l'étude révèle que : « les résultats sont bons, voire très bons quant à la rétention des matériaux (≈ 50 % matières organiques) et hydrocarbures (≈ 70 %) dans le séparateur ». Ce type de dispositif n'est plus commercialisé.

La gamme d'abattement indiquée dans « L'eau et la route, volume 7 » [C] pour un décanteur lamellaire est : 0 – 85 % et 0 – 90 % pour un décanteur à coalescence. La variation considérable montre l'importance du dimensionnement du dispositif ainsi que de son entretien.

Le rapport de l'ASFA [12] fait état de l'efficacité des décanteurs sur des eaux routières. La synthèse bibliographique rappelle les valeurs de rendements épuratoires de ces dispositifs (tableau 28).

Sites	Rendements en %			Nombre d'événements mesurés
	MES	DCO	Hydrocarbures	
Séparateur de Vélizy (200 l/s) (181 ha urbanisés)	13* 0 → 84	13* 0 → 72	47,2* 0 → 90	14
Guide "l'eau et la route"	/	/	0 → 85	Donnée théorique globale
* : rendements à long terme				

Tableau 28 : Rendements épuratoires des décanteurs déshuileurs industriels (MERLE, 1999).

Le séparateur de Vélizy, dans les Yvelines, (décanteur lamellaire) est un ouvrage équipant un réseau d'assainissement pluvial d'une zone urbanisée de 181 ha comportant des commerces et des industries.

L'étude [12] a été menée sur 2 sites comportant un décanteur lamellaire précédé d'un bassin de régulation des débits. Les rendements ci-après (tableau 29) sont les rendements à long terme de chacun des décanteurs lamellaires.

Sites	Rendements en %					Nombre d'événements mesurés
	MES	DCO	Pb	Zn	Hydrocarbures	
A. 26 Arcis-sur-Aube	3	8	/	Non significatif	/	10
A. 43 Le Neyret	# 1	E	0	# 1	# 1	24

Tableau 29 : Rendements de deux décanteurs lamellaires (MERLE, 1999).

La mauvaise efficacité des dispositifs a deux origines :

- présence de bassins tampons en amont (afin de réguler les débits des apports pluviaux) et la décantation dans ces bassins suffit au traitement ;
- les eaux sont très faiblement chargées par rapport aux effluents utilisés par le constructeur qui annonce des rendements beaucoup plus élevés ($\approx 95\%$).

L'étude menée par N. AIRES [19] a permis d'évaluer les performances de décanteurs lamellaires à contre-courant sur des effluents de type pluvial strict, sur trois sites : Bordeaux, Massy et Toulouse (tableau 30).

		Bordeaux		Massy 1a		Massy 1b		Toulouse	
Caractéristiques des dispositifs	Durée du suivi	3 mois		4 mois		6 mois		?	
	Débit admis (m ³ /h)	Maximum : 47		90 à 190		42 à 162		6	
	Vitesse de séparation (m/h)	1,4 à 5,6		1,8 à 3,8		0,8 à 3,2		Maximum : 2,6	
	Gestion des boues	Extraction automatique		1 à 2 nettoyages sur la durée du suivi		Reprise automatique par pompage		Boues décantées raclées en permanence puis extraites	
	Pompage amont	oui		oui		oui		non	
Efficacité	Paramètres	MES	DCO	MES	DCO	MES	DCO	MES	DCO
	Rendements (%)	22 - 64	50 - 65	15 - 50	2 - 59	18 - 74	26 - 29	32 - 86	26 - 54

Tableau 30 : Efficacité des décanteurs lamellaires (AIRES, 1998).

Une étude [3] réalisée par le Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien (LROP) a déterminé l'efficacité épuratoire, sur les eaux de ruissellement, de deux types de décanteurs : un décanteur lamellaire à Brunoy et un décanteur particulaire à Vigneux.

À Brunoy, le séparateur lamellaire de SEPAREPUR (DLRS 210) reçoit les eaux de ruissellement d'un bassin versant de 2,7 ha ; l'objectif de qualité de l'Yerres (exutoire final, affluent de la Seine) est de 2.

À Vigneux, le séparateur particulaire de Saint-Dizier (DP3DL 560) reçoit les eaux d'un bassin versant urbanisé de 108 ha. Les eaux sont rejetées dans une darse (bassin d'un port) communiquant avec la Seine, dont l'objectif de qualité à cet endroit est de 1 B.

Les eaux de ruissellement entrant dans les séparateurs ont les caractéristiques suivantes (tableau 31).

Paramètres	MES mg/l	DCO mg/l	DBO ₅ mg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l
Brunoy	10-460	20-300	3-30	2-210	210-2900	0,4-1,1	0,8-3,5	7-59
Vigneux	25-960	26-560	4-170	4-400	30-640	0,1-3,2	0,5-8,7	6-52

Tableau 31 : Caractéristiques des eaux de ruissellement à Brunoy et Vigneux.

Les rendements épuratoires des décanteurs ont été déterminés ainsi : [(concentration amont – concentration aval) / concentration amont] × 100 ; ils ont été reportés dans le tableau 32.

Paramètres	MES	DCO	DBO ₅	Pb	Zn	Cd	Cu	Hydrocarbures
Brunoy Décanteur lamellaire	54 %	30 %	31 %	44 %	-38 %	24 %	40 %	26 %
Vigneux Décanteur particulaire	28 %	30 %	28 %	28 %	4 %	26 %	5 %	37 %

Tableau 32 : Rendements épuratoires annuels des décanteurs de Brunoy et Vigneux.

La différence de comportement des deux décanteurs est expliquée par la différence entre les caractéristiques des eaux à traiter.

9. Coûts

Coûts des séparateurs à hydrocarbures

[C]

Le prix moyen d'un déshuileur (préfabriqué) à cellule lamellaire varie selon le débit de moins de 100 000 francs pour un débit $Q = 20$ l/s à 600 000 francs pour $Q = 150$ l/s (fournitures et pose comprises).

Coûts des décanteurs

Les coûts d'un décanteur particulaire [C] selon le débit d'entrée sont donnés dans le tableau 33 (fournitures et pose comprises).

Q (l/s)	20	80	150	300
Prix moyen (francs)	100 000	≤ 600 000	≤ 600 000	≤ 1 000 000

Tableau 33 : Coûts d'un décanteur particulaire selon le débit à traiter.

10. Combinaisons avec d'autres dispositifs

Les séparateurs à hydrocarbures

Quel que soit le dispositif de déshuilage adopté, il faut arriver à tranquilliser les flots afin d'optimiser la séparation des phases. L'ouvrage doit donc être précédé d'un bassin écrêteur et, pour uniformiser le débit d'entrée qui doit être compris entre 10 et 100 l/s, un régulateur de débit s'avère indispensable. Si le choix s'est porté sur un séparateur lamellaire, un débourbeur (lorsqu'il n'est pas intégré à l'ouvrage) doit être implanté en amont afin de limiter l'encrassement des lamelles. En effet, celui-ci retient la majorité des particules solides les plus décantables.

Afin d'optimiser le fonctionnement du séparateur préfabriqué, un dégrillage est nécessaire ; ainsi le colmatage par les flottants sera limité.

Les décanteurs

L'implantation d'un régulateur de débit en amont du décanteur s'avère indispensable ; on minimisera ainsi les risques de remise en suspension des fractions les plus fines. Un dispositif de dérivation (by-pass) évitera les débordements en cas de trop fortes précipitations.

VI. SYNTHÈSE

1. Les dispositifs de dépollution des eaux de ruissellement

Les dégrilleurs

Il est fortement recommandé d'implanter un (ou plusieurs) dégrilleur(s) lorsque les eaux de ruissellement sont issues d'un milieu à forte fréquentation humaine comme les milieux urbains ainsi que les routes et autoroutes. En effet, on retrouve de nombreux déchets de grandes dimensions dans les réseaux séparatifs urbains (ordures diverses, bouteilles, branchages,...) qui peuvent perturber, par leur intrusion, le fonctionnement des ouvrages en aval et qui peuvent aussi poser des problèmes de pollution visuelle de l'eau avant son arrivée dans des ouvrages tels que les bassins permanents.

Les dessableurs

Les dessableurs jouent un double rôle [Le Grand Lyon, INSA, 1996] :

- de décanteur par temps sec car les eaux ont un faible débit ;
- de dessableur pour les eaux de temps de pluie où seules les grosses particules sont retenues par décantation.

Bien que les estimations de l'efficacité soient variables d'une étude à l'autre, on peut, malgré tout, reconnaître l'action de dépollution des eaux non négligeable du dessableur notamment sur les concentrations en MES (38 à 62 %) et en métaux associés (Cd : 24,2 à 29 %).

Ils paraissent indispensables lorsque les milieux émetteurs des eaux de ruissellement sont relativement fréquentés (Zones Industrielles, Routes et Autoroutes, Zones Urbaines ou Lotissements) et qu'il n'y a pas de bassin en aval.

Les bassins de décantation

Les bassins de décantation possèdent une très bonne efficacité épuratoire et représentent, lorsqu'ils sont bien entretenus, un réel atout. En effet, lorsqu'ils sont permanents, ils peuvent

faire office d'étang et ainsi bien s'intégrer dans le paysage et même valoriser les opérations immobilières adjacentes.

Les bassins temporaires permettent une double rentabilité de l'espace car ils remplissent le rôle de bassin par temps de pluie et celui d'espace public ou d'aire de jeux par temps sec.

Enfin, les bassins enterrés en zone urbaine, bien que coûteux, ont l'avantage de laisser en surface un espace disponible aménageable (construction, parking, etc.).

On préférera les bassins, lorsque la place disponible le permet, aux dessableurs qui présentent des efficacités épuratoires moindres car :

- le temps de séjour de l'eau au sein du dispositif est beaucoup plus important dans un bassin de décantation ;
- contrairement à ce qu'il peut se passer dans les dessableurs plus compacts, il y ne peut pas y avoir de phénomènes de relargage.

Les bassins d'infiltration

Les bassins d'infiltration ont une excellente efficacité épuratoire à long terme. En effet, les rendements de dépollution sont très importants notamment en ce qui concerne les MES et le Plomb qui peuvent être totalement éliminés.

L'infiltration des eaux de ruissellement après traitement par décantation paraît être une bonne solution lorsque le milieu récepteur ne peut accueillir ces eaux notamment à cause de la quantité de germes (zone de baignade, de pisciculture, de conchyliculture et ostréiculture).

Les séparateurs

Les séparateurs à hydrocarbures

Ils ne paraissent pas nécessaires pour dépolluer les eaux de ruissellement recueillies en réseau séparatif, y compris les eaux routières, car elles sont très peu chargées. Un bassin de décantation assure à lui seul la rétention des hydrocarbures.

En revanche, ces appareils peuvent présenter un intérêt dans deux cas :

- pour arrêter une pollution accidentelle par des hydrocarbures (routes et autoroutes) ;
- lorsque la teneur en hydrocarbures des eaux de ruissellement est largement supérieure à 10 mg/l et quand ils sont présents sous forme de phase huile (ex : aires de services).

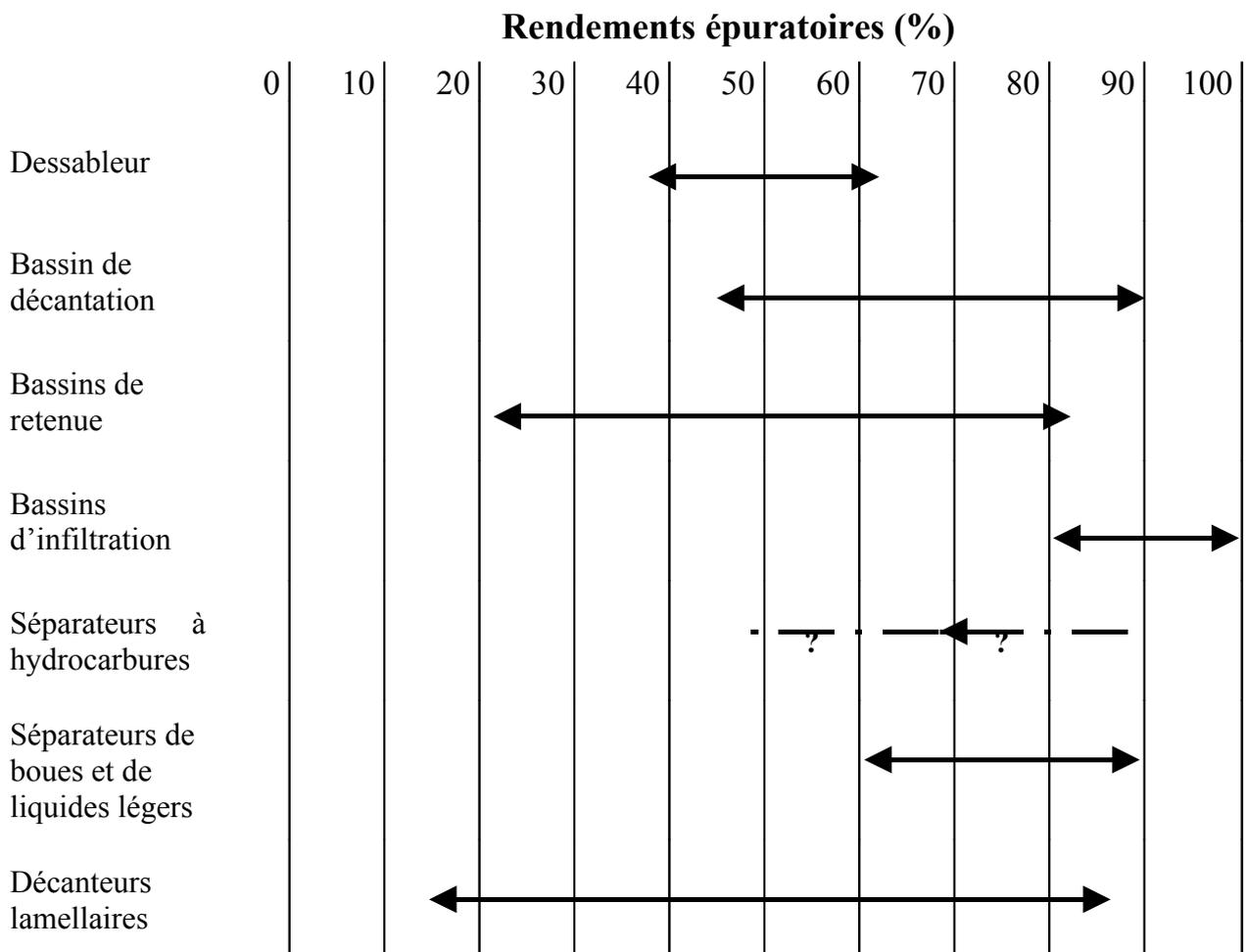
Les décanteurs

Ouvrages plus compacts que les bassins de décantation, les décanteurs permettent l'élimination par décantation des MES et des polluants associés.

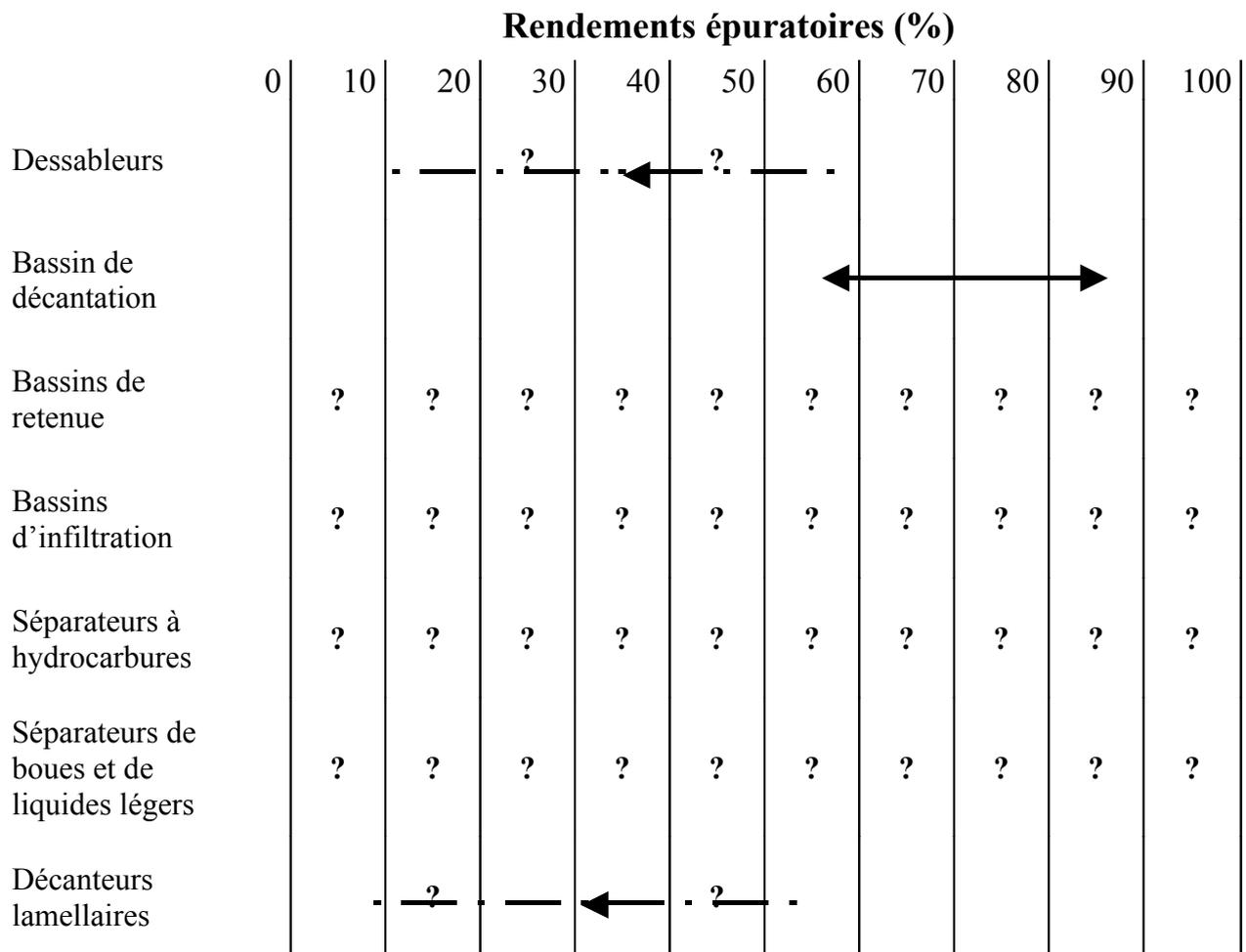
Des séparateurs de boues et de liquides légers ont été créés afin de pouvoir protéger le milieu récepteur de la pollution chronique et les pollutions accidentelles par les hydrocarbures. Ils peuvent donc se révéler utiles dans des zones à hauts risques (certaines zones industrielles, milieu urbain).

2. Bilan des efficacités épuratoires selon les paramètres

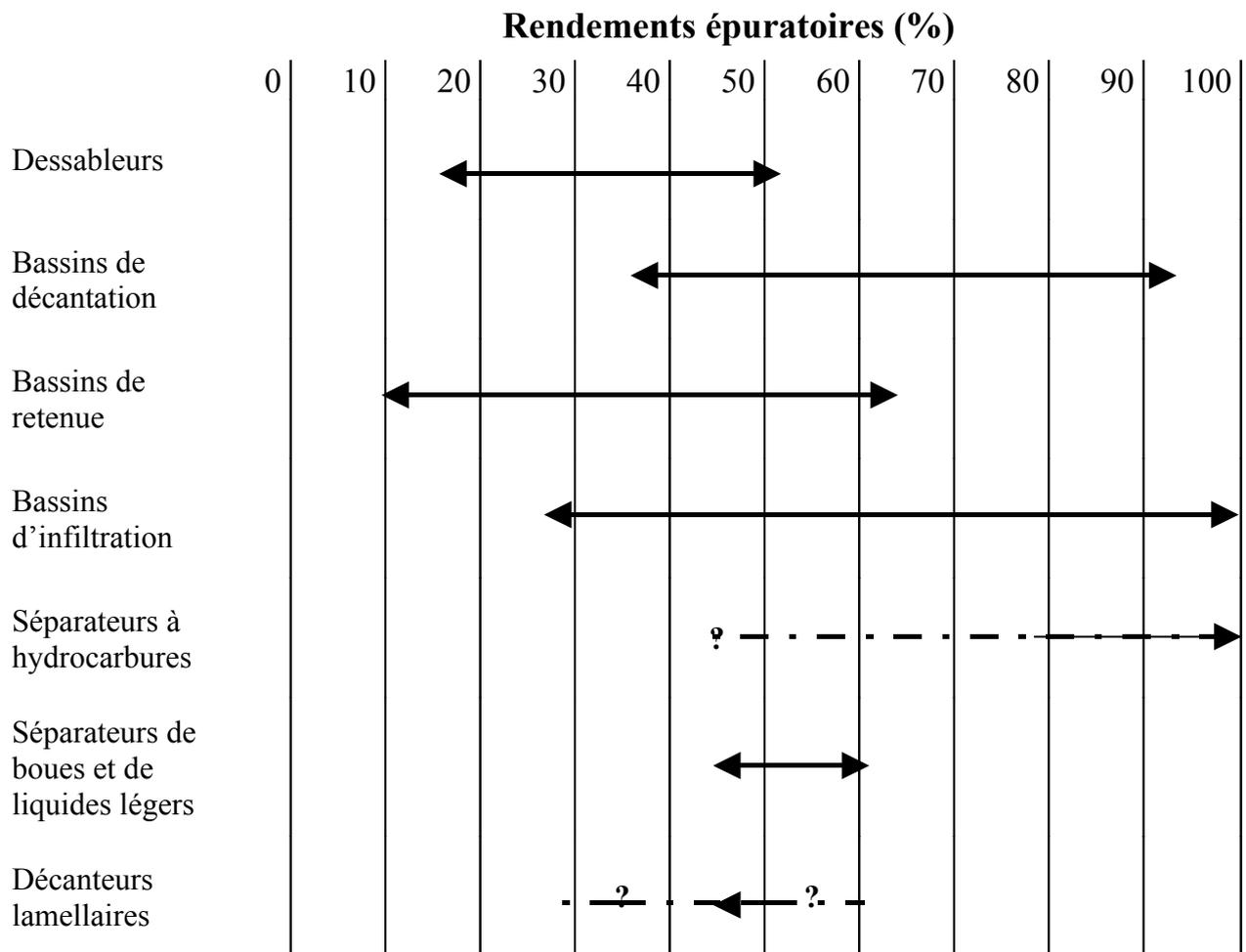
Les Matières En Suspension (MES)



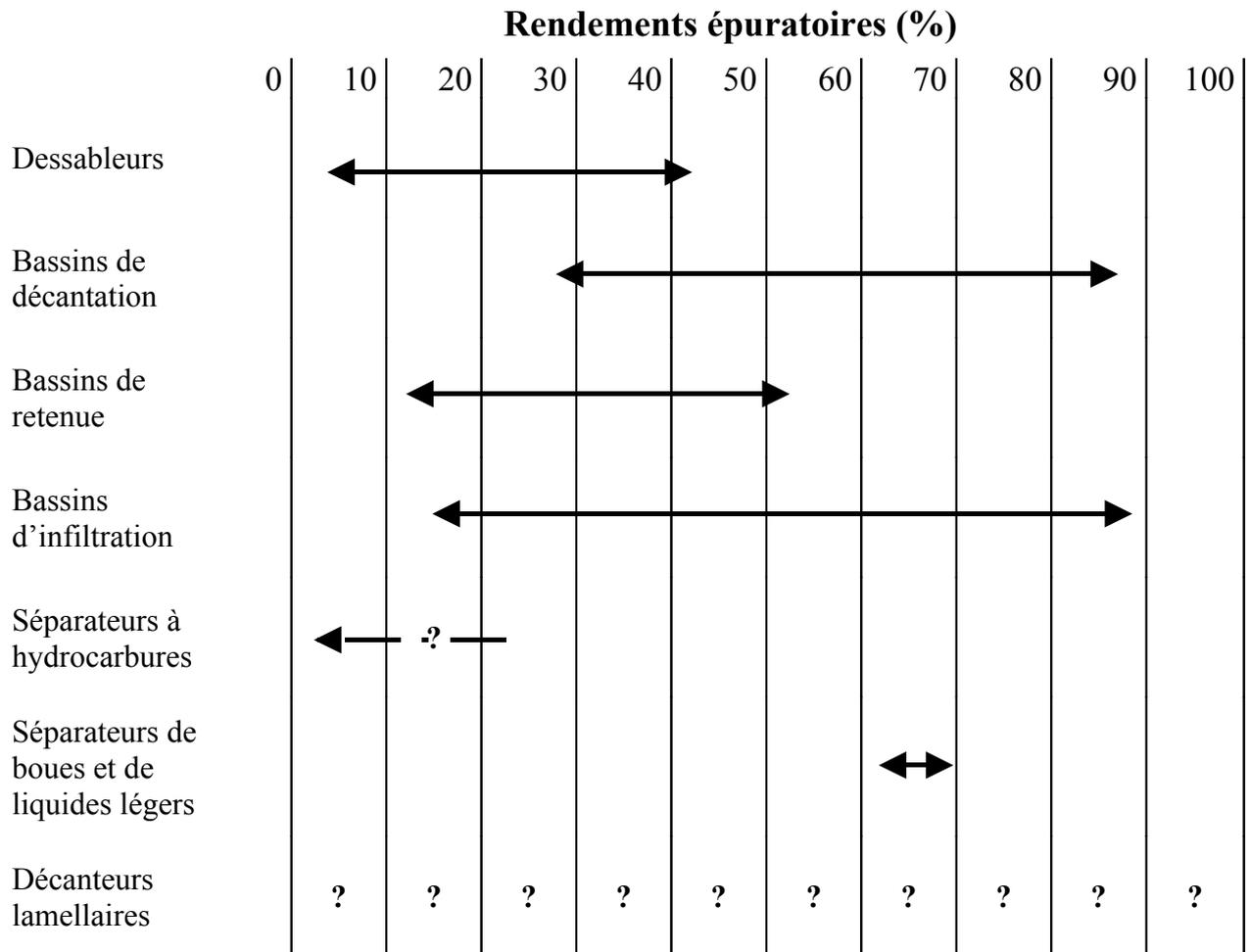
La Demande Biologique en Oxygène pour 5 jours (DBO₅)



Le Plomb (Pb)



Le Zinc (Zn)



Le Cadmium (Cd)

	Rendements épuratoires (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Dessableurs			- ? -	- -	← ?	-					
Bassins de décantation							←	→			
Bassins de retenue		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Bassins d'infiltration		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Séparateurs à hydrocarbures											
Séparateurs de boues et de liquides légers		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Décanteurs lamellaires		-	- ? -	- -	- ? -	-					

VII. DEVENIR ET GESTION DES DÉCHETS

Les sous-produits d'assainissement interceptés par les différents dispositifs de traitement doivent faire l'objet d'une gestion ainsi que d'un traitement. Leur devenir dépendra de leur nature.

1. Le stockage en Centre d'Enfouissement Techniques (C.E.T.)

Les C.E.T. constituent l'exutoire final et obligatoire de toute filière de traitement, des déchets ménagers ou industriels.

Tous les sous-produits d'assainissement – les objets volumineux interceptés par les dégrilleurs, les sables et les boues – pourront tous être évacués vers les C.E.T. de classe II. Ces centres assurent l'entreposage des déchets industriels banals et assimilables aux ordures ménagères.

Un nouveau problème s'est posé lorsque la loi sur les déchets du 15 juillet 1975 et modifiée le 13 juillet 1992 a paru. En effet, une échéance a été fixée : à compter du 1^{er} juillet 2002, il sera interdit de stocker dans les installations de stockage les déchets non-ultimes.

L'acceptation des sous-produits de l'assainissement appartenant aux « produits issus des activités d'entretien urbain » en C.E.T. de classe II ne semble pas être compromise, même au-delà de 2002.

Le coût de la mise en centre de stockage des sous-produits de l'assainissement comprend : la taxe ADEME (instituée depuis le 01/01/1999, de 40 à 60 F/t), le coût de transport, la location de la benne et le coût de la mise en C.E.T.

2. Le traitement des déchets

Le lavage des sables

Le lavage à l'eau est une pratique de plus en plus répandue en France ; plusieurs villes comme Lyon et Nantes ont adopté ce procédé qui permet de récupérer un sable lavé qui pour l'instant est acheminé vers des CET de classe II. Comme il est de qualité constante, des expérimentations sont en cours afin de voir si le sable pourra être utilisable comme remblai après 2002, date à partir de laquelle il sera interdit de stocker des déchets non-ultimes. Ces installations de traitement, comprenant habituellement 4 étapes (criblage, lavage, classification et essorage), sont généralement implantées sur le site d'une station d'épuration afin de ré-injecter les eaux de lavage en tête de station.

Des résidus de lavage demeurent :

- les sables lavés utilisés comme remblai ;
- les encombrants (refus de criblage) qui rejoignent le C.E.T. de classe II ;
- le petit fumier (refus de tamisage) riche en matières organiques qui partira au compostage ;
- les eaux de lavage ré-injectées en tête de station.

Les coûts, donnés par la Lyonnaise des eaux, ont été évalués à 285 F/t.

Le criblage à sec

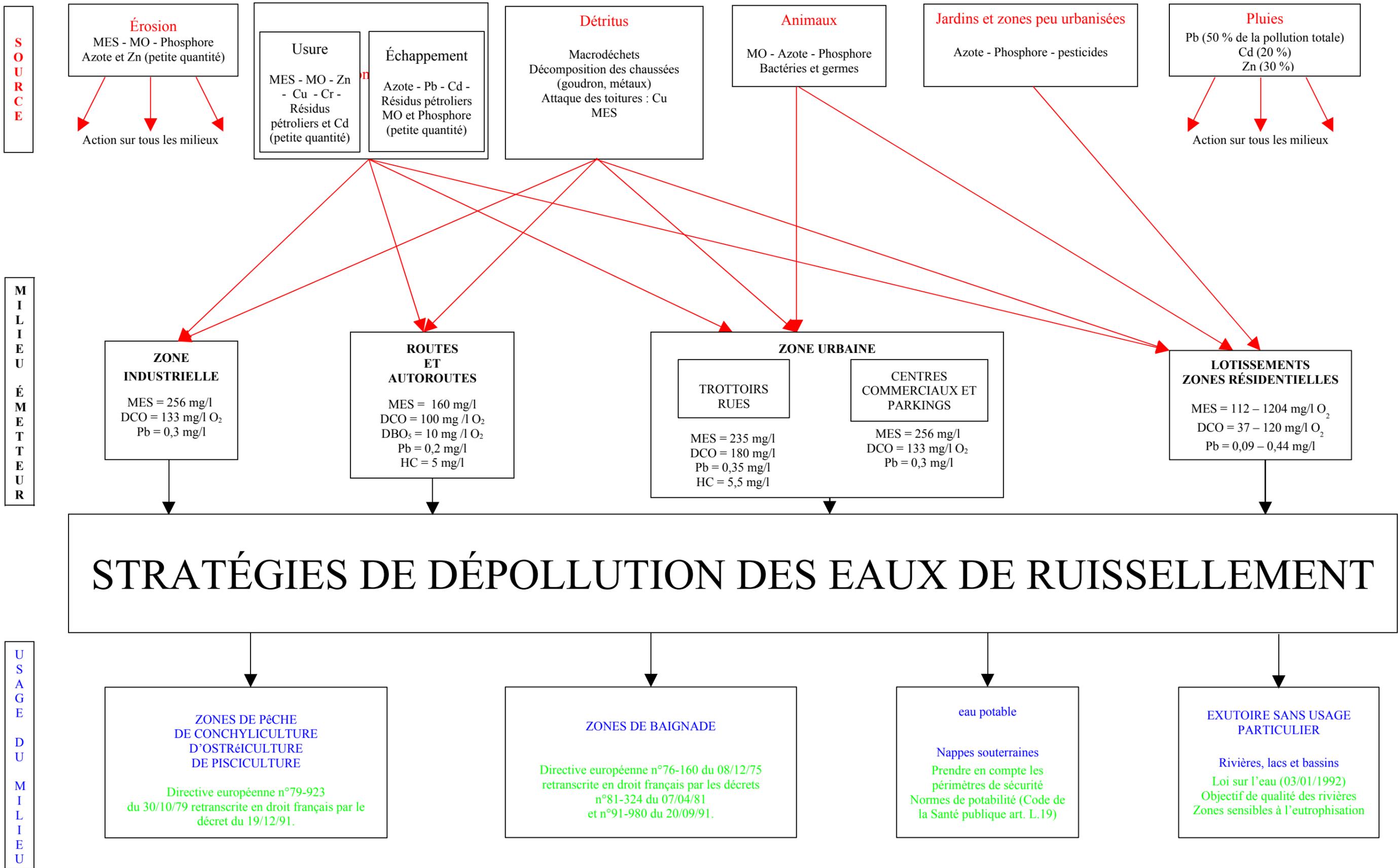
Cette technique a pour objectif de réaliser un tri sélectif permettant de séparer la partie sableuse de la partie non minérale, c'est-à-dire séparer le sable des encombrants (feuilles, carton, etc.). Pour des produits comme ceux issus des eaux de ruissellement de réseaux séparatifs dont la charge polluante est moins importante que celle des eaux usées, le criblage à sec, permettant un abattement important en matière organique, s'avère être un bon procédé.

Ce procédé présente un double avantage par rapport à la filière de lavage : d'une part il n'y a pas d'eau de lavage à renvoyer vers une station d'épuration et d'autre part il est moins onéreux. En effet, le coût total comprenant le coût de traitement brut (investissement + fonctionnement) ainsi que le coût d'élimination des déchets grossiers s'élève à environ 165 F/t.

VIII. MISE AU POINT D'UNE STRATÉGIE DE DÉPOLLUTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

1. Méthode employée pour la mise au point de la stratégie

Grâce à la synthèse faite précédemment récapitulant les caractéristiques et l'efficacité de différents dispositifs de traitement des eaux de ruissellement, nous avons pu établir une stratégie de dépollution de ces eaux. En effet, en prenant en compte le milieu émetteur donc les propriétés des eaux [20] [21] qui en sont issues ainsi que le milieu récepteur et ses exigences d'un point de vue réglementaire, nous avons pu établir le schéma ci-joint guidant l'élaboration de la stratégie.



2. Les réglementations prises en compte

Les zones de pêche, de conchyliculture, d'ostréiculture, de pisciculture

Directive européenne n°79-923 du 30/10/79 retranscrite en droit français par le décret n°91-1283 du 19/12/91.

Les annexes I et II du décret n°91-1283 indiquent des valeurs guides (qu'il est préférable de ne pas dépasser) ainsi que des valeurs limites pour certains paramètres concernant les qualités des eaux conchylicoles, des eaux salmonicoles (rivières/cours d'eau) et des eaux cyprinicoles (rivières / cours d'eau, lacs / étangs).

	Annexe I	Annexe II			
	eaux conchylicoles	eaux salmonicoles		eaux cyprinicoles	
	valeur guide	valeur guide	valeur impérative	valeur guide	valeur impérative
MES (mg/l)		≤ 25		≤ 25	
DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)		≤ 3		≤ 6	
Cu soluble (mg/l)		≤ 0,04		≤ 0,04	
Zn (mg/l)			< 0,3		< 1
Coliformes fécaux	≤ 300 col. dans le coquillage ou le liquide intervalvaire				

Les zones de baignades

Directive européenne n°76-160 du 08/12/75, retranscrite en droit français par les décrets n°81-324 du 07/04/81 et n°91-980 du 20/09/91.

La directive européenne du 8 décembre 1975 a fixé des concentrations guides et impératives en coliformes et streptocoques pour les eaux de baignade.

coliformes totaux		coliformes fécaux		streptocoques fécaux	
valeur guide	valeur impérative	valeur guide	valeur impérative	valeur guide	valeur impérative
< 500 /100 ml	< 10.000 /100 ml	< 100 /100 ml	< 2.000 /100 ml	< 100 /100ml	-

Normes de potabilité

Code de la santé publique, article L.19.

Quelques paramètres concernant des substances indésirables								
Paramètres	NO ₃ ⁻	NO ₂	Hydrocarbures dissous ou émulsionnés	Fe	Mn	Cu	Zn	P
Unités	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Valeurs limites	50	0,1	0,01	0,2	0,05	1	5	5

Quelques paramètres concernant des substances toxiques						
Paramètres	Cd	CN	Cr total	Hg	Ni	Pb
Unités	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Valeurs limites	5	50	50	1	50	50

D'un point de vue microbiologie, aucun streptocoque fécal, ni coliforme, ni staphylocoque pathogène n'est toléré dans 100 ml d'eau.

Grille de qualité des eaux de surface

Décret n°68335 du 5 avril 1968, publié par l'Agence Adour/Garonne en 1989.

		Classes de qualité				
paramètres	unités	1A excellente	1B bonne	2 passable	3 médiocre	4 pollution excessive
conductivité	μS/cm	≤ 400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000	> 3000
chlorures	mg/l	≤ 100	100 à 200	200 à 400	400 à 1000	> 1000
pH		6.5 à 8.5	-	6 à 6.5 ou 8.5 à 9	5.5 à 6 ou 9 à 9.5	< 5.5 ou > 9.5
DBO ₅	mg/l	≤ 3	3 à 5	5 à 10	10 à 25	> 25
DCO	mg/l	≤ 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80	> 80
MES	mg/l	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30 à 70	> 70
NH ₄ ⁺	mg/l	≤ 0.1	0.1 à 0.5	1 à 1.5	> 1.5	-
Fe	mg/l	≤ 0.5	0.5 à 1	1 à 1.5	> 1	-
Mn	mg/l	≤ 0.1	0.1 à 0.25	0.25 à 0.5	> 0.5	-
Pb	μg/l	≤ 50	≤ 50	≤ 50	> 50	-
Cd	μg/l	≤ 1	≤ 1	≤ 1	> 1	-
Hg	μg/l	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	> 0.5	-

3. Stratégies de dépollution des eaux de ruissellement.

En tenant compte des réglementations sur la qualité des eaux de baignade, de conchyliculture, d'ostréiculture...., mais aussi de la classe la plus stricte (classe 1A) de la grille de qualité des eaux, nous avons pu proposer différents scénarios.

Le tableau ci-dessous, extrait de « Désinfection par ultraviolets des rejets urbains de temps de pluie » [BALADÈS A., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., 1996], indique les ordres de grandeur de la pollution bactériologique des eaux de ruissellement en réseau séparatif.

	Coliformes totaux (nombre / 100 ml)	Coliformes totaux (nombre / 100 ml)	Streptocoques fécaux (nombre / 100 ml)
Réseau séparatif	10^4 à 10^7	10^3 à 10^6	10^2 à 10^5

Les organismes aquatiques tels que les moules ou les huîtres filtrent entre 50 et 100 litres d'eau chaque jour et retiennent dans leurs organes et tissus les particules et micro-organismes présents dans l'eau : c'est la bioaccumulation.

Connaissant les quantités moyennes de micro-organismes véhiculées par les eaux de ruissellement ainsi que les textes fixant les concentrations, il paraît inconcevable de rejeter ces eaux dans des milieux tels que les zones de baignade, de conchyliculture et de loisirs nautiques sans traitement.

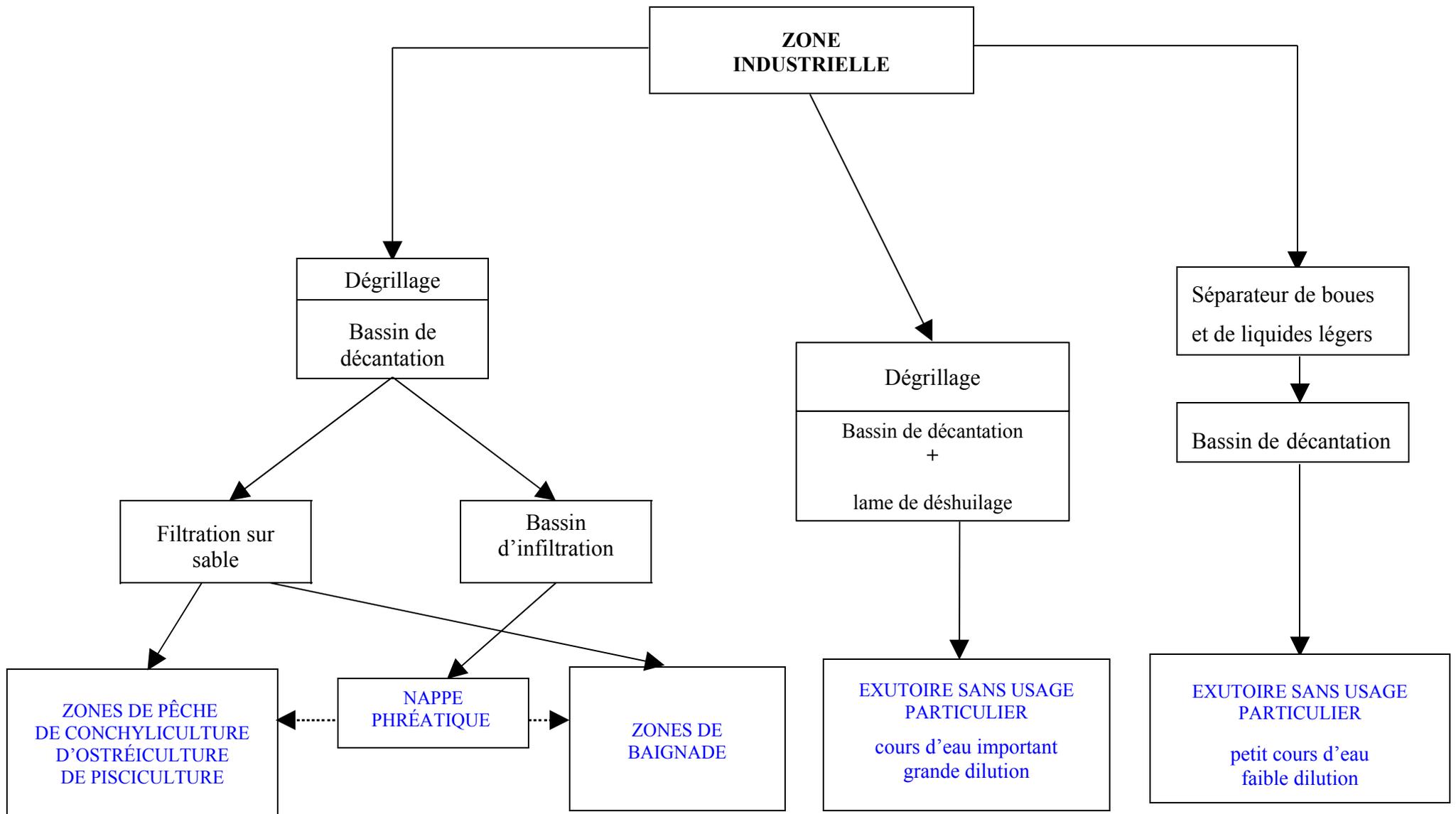
Quelle que soit la source des eaux de ruissellement recueillies, lorsque l'exutoire est : une zone de pêche, de conchyliculture, d'ostréiculture, de pisciculture ou de baignade, il faudra :

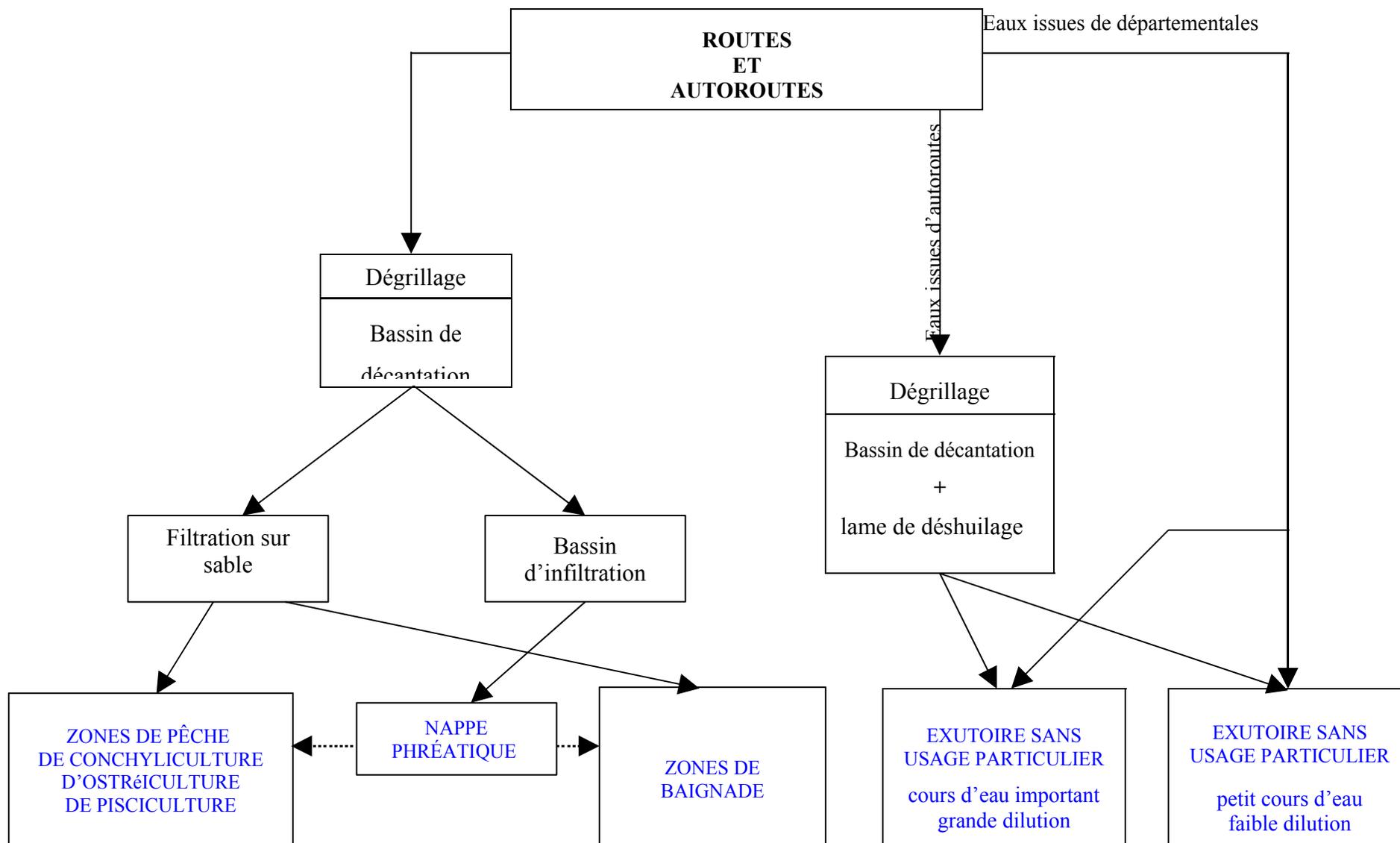
- soit envisager une déviation de l'exutoire vers la nappe phréatique après infiltration;
- soit faire de la filtration sur sable afin de restituer une eau de qualité adaptée au milieu récepteur.

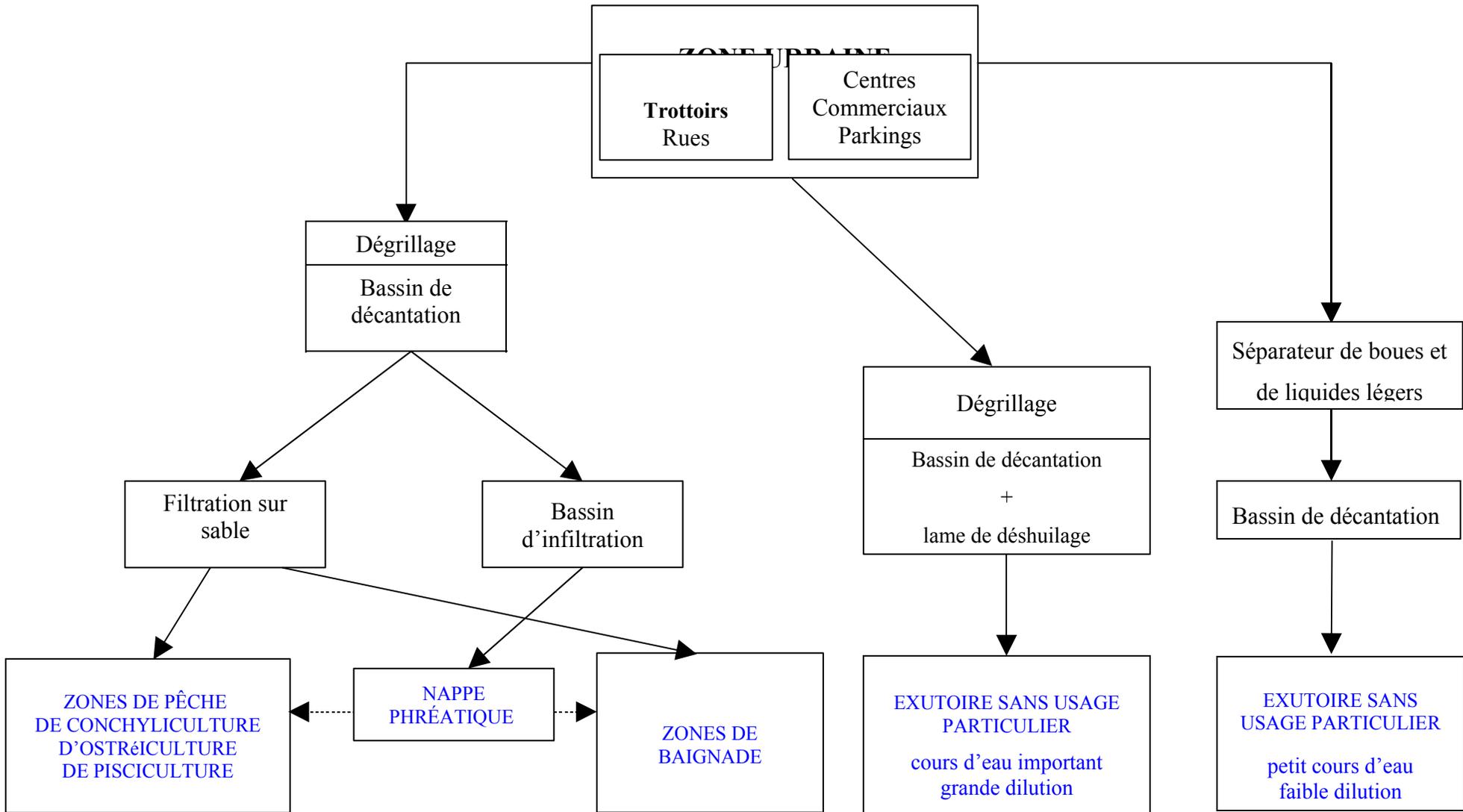
Pour les exutoires sans usage particulier, il faudra adapter au cas par cas les modes de dépollution des eaux de ruissellement selon le milieu émetteur, sachant que les normes les plus draconiennes ont été prises en compte pour élaborer cette stratégie.

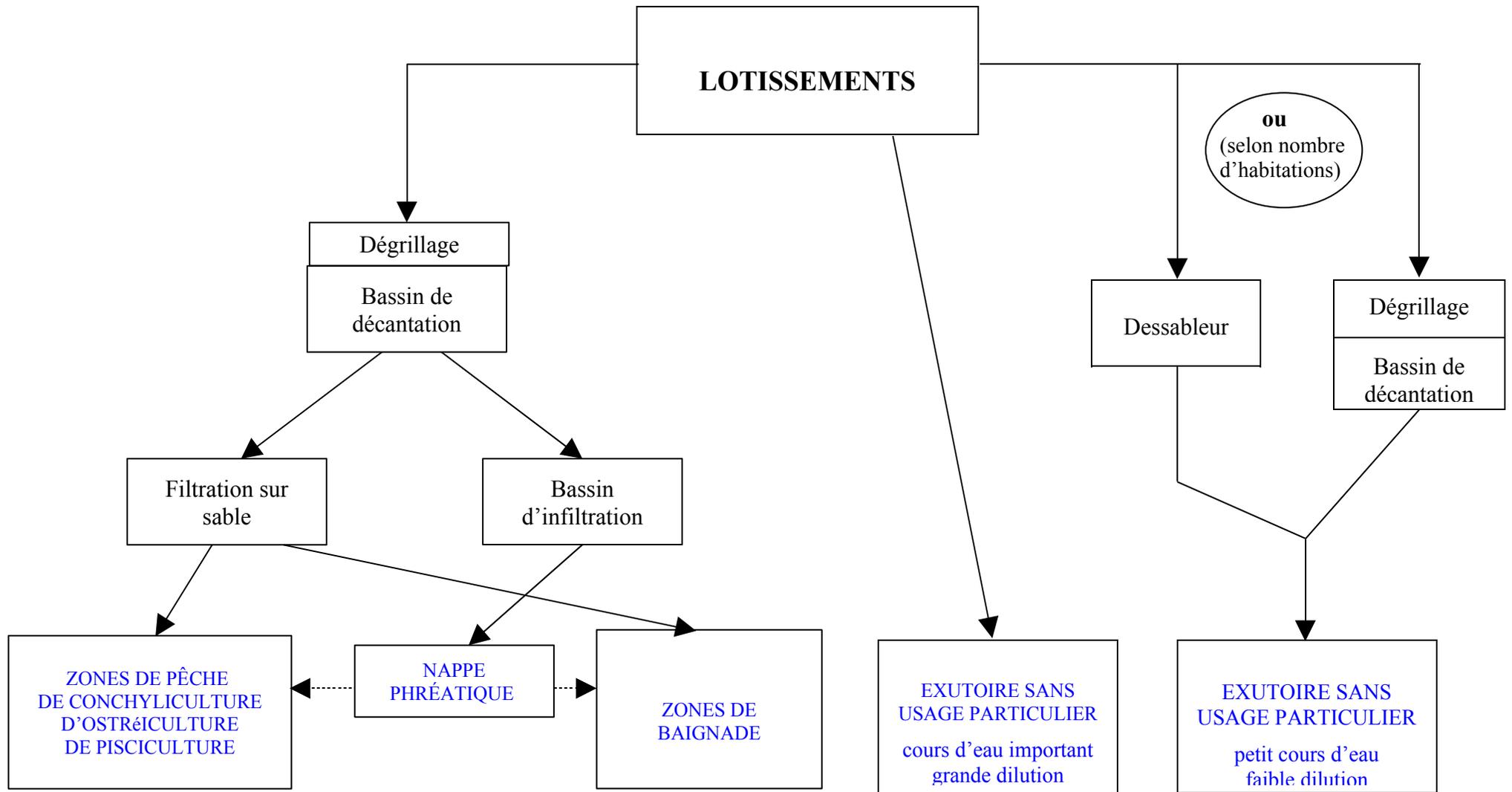
Deux cas sont proposés pour les exutoires sans usages particuliers :

- le cas d'un cours d'eau tel un fleuve ou une grande rivière où la dilution permet le rejet d'effluents peu traités ;
- le cas d'un petit cours d'eau très sensible.









BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages de référence

Les ouvrages cités ci-dessous ont été utilisés pour l'ensemble des dispositifs.

- [A] *Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine et de l'Assainissement*. Coordonnateur : CHOCAT B. 1^{re} édition. Paris : Technique & Documentation - Lavoisier, 1997. ISBN : 2-7430-0126-7.
- [B] RUPERD Y. *Efficacité des ouvrages de traitement des eaux de ruissellement*. Éditions du STU, 1987. ISBN : 2-11-081981-2.
- [C] SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes). *L'eau et la route, volume 7 : Les dispositifs de traitement des eaux pluviales*. 1997. ISBN : 2-11-085815 X.
- [D] VALIRON F., TABUCHI J.-P. *Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie*. Technique & Documentation - Lavoisier, 1992. ISBN : 2-85206-863-X.
- [E] NOVATECH 98. *Les nouvelles technologies en assainissement pluvial*. vol. 1 et 2. 3^e conférence internationale. 4 – 6 mai 1998. Lyon, France. Eurydice 92. GRAIE. Le Grand Lyon. ISBN : 2-9509337-1-8.
- [F] TSM spécial eaux pluviales. n° 11. Aghtm, 1995. ISSN : 0299-7298.

Bibliographie des ouvrages cités

- [1] RUPERD Y. *Moyens d'action contre les effets du ruissellement : Synthèse bibliographique – Protection du captage de la ville de Bernay*. Rapport LROP. 1985.
- [2] AFBSN (Agence Française de Bassin Seine Normandie). *Cahier technique n°1. Technique et économie du traitement des eaux résiduaires*. AFBSN, 1974.
- [3] DALIGAULT A., MEAUDRE D. *Efficacité d'ouvrages de dépollution des eaux pluviales*. LROP, rapport d'études, 1998.

- [4] INSA. *Impact de l'infiltration des eaux pluviales sur les nappes : Contrôle de l'efficacité du bassin d'infiltration d'eau pluviale du Charbonnier*. Rapport final. Villeurbanne : INSA, SPACE, 1996.
- [5] PETITNICOLAS F. *Étude technico-économique sur les stratégies de réduction des flux polluants par temps de pluie*. Rapport LRPC de Bordeaux, 1999.
- [6] *Dépolluer les eaux pluviales : contribution à l'élaboration d'une stratégie*. Ouvrage collectif sous la coordination de J.-C. Lavigne Delville. Collection OTV. Aubin imprimeur, 1994. 349 p.
- [7] CHAÏB J. *Les eaux pluviales, gestion intégrée*. Collection : écologie urbaine, les guides pratiques. Co-édité par Foncier Conseil et les éditions Sang de la terre, 1997. 173 p.
- [8] BALADES J.-D., TRINCAT A.-M., OUSTRIQ A. *Techniques alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial*. Coordination : VIGNERON S. Collections du Certu, 1998. 63 p.
- [9] BALADES J.-D., LEROUX J. *La maîtrise des eaux pluviales*. Éditions du STU, 1993. 63 p.
- [10] TOMACHOT M. *Les bassins de retenue*. Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 1980. 104 p.
- [11] BERGUE J.-M., RUPERD Y. *et al. Guide technique des bassins de retenues d'eaux pluviales*. STU, Agences de l'eau. Paris : Technique & Documentation – Lavoisier, 1994. 275p.
- [12] MERLE J.-P. *Synthèse de l'efficacité des ouvrages de traitement des eaux pluviales routières*. Rapport d'études, ASFA, 1999.
- [13] BACHOC A., CHEBBO G. *Caractérisation des solides en suspension dans les rejets pluviaux urbains*. Actes de 3^e journée du DEA, Sciences et Techniques de l'Environnement, Paris, 1992.

- [14] CHEBBO G. *Solides des rejets pluviaux urbains, caractérisation et traitabilité*. Rapport de thèse ENPC. Paris, 1992.
- [15] DEGUIN A. Le décanteur lamellaire. *La tribune du CEBEDEAU*, n° 414, Mai 1978. p 231-240.
- [16] DECK F. *Une alternative au traitement pluvial classique : Le séparateur à effet Vortex*. Mémoire de troisième année de l'ENGEES. Bureau d'études BEREST : Colmar, 1993.
- [17] DDE 93. *Le Séparateur Statique Tourbillonnaire : courbe hauteur – débit, rendement de l'ouvrage*. Département de la Seine-Saint-Denis, Agence financière de bassin Seine Normandie, Service Technique de l'Urbanisme, 1984
- [18] RUPERD Y., BLANLOEIL C. *Pollution et traitement des eaux de ruissellement : Tests de dispositifs compacts de traitement des eaux de ruissellement sur plate-forme expérimentale*. Rapport CETE du sud-ouest, LRPCB. Bordeaux, Septembre 1999.
- [19] AIRES N. *Les technologies spécifiques nouvelles (décanteurs, flocculateurs, séparateurs, débourbeurs, etc.) : éléments sur les coûts et l'efficacité*. Agence de l'eau Seine Normandie. Paris, 1998.
- [20] BALADES J.-D. *La pollution et le traitement des eaux pluviales, interventions en amont des réseaux – solutions compensatoires*. Support de cours INP formation continue. Toulouse 18-19 novembre 1997.
- [21] BALADES J.-D. *Caractéristiques des eaux pluviales, les impacts, les schémas directeurs E.P*. Support de cours destiné à la DIREN et la DDE de La Réunion, 1999.

Autres références bibliographiques utilisées

- Notice commerciale de la Société Hydroconcept, mise à jour du 14/01/99.
- Notice commerciale de la Société ISD (Itéra, Saint-Dizier environnement).
- Notice commerciale de la Société PREFAEST.
- Normes AFNOR P 16 440, Les séparateurs de boues et de liquides légers préfabriqués en béton. Décembre 1994, 36 p.
- Normes AFNOR WPP 16 441, Les séparateurs de boues et de liquides légers préfabriqués métalliques. Mai 1998, 23 p.
- *Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la Communauté Urbaine de Bordeaux*. Guide de réalisation, 1999.
- *Techniques alternatives*. Session de formation - action sur les techniques alternatives au ruissellement pluvial urbain. Sépia conseil. À l'initiative de l'agence de l'eau Artois Picardie. Février 1995.
- *La pluie : source de vie, choc de pollution*. Bulletin spécial de la Section Hydrologie Urbaine. Extraits des actes, colloque du 17 & 18 mars 1993. Octobre 1994.
- *Les eaux pluviales urbaines, élaborer une stratégie de gestion, prévenir les risques*. Maison des collectivités locales. Dossier documentaire sur les journées du 1^{er} et 2 décembre 1999.
- AIRES N., TABUCHI J.-P. *Les séparateurs à hydrocarbures et la dépollution des eaux pluviales*. TSM, 11, p862-864. 1995.
- AZZOUT Y., BARRAUD S., CRES F.N., ALFAKIH E. *Techniques alternatives en assainissement pluvial : choix, conception, réalisation et entretien*. INSA de Lyon. Technique & Documentation - Lavoisier, 1994. ISBN : 2-85206-998-9.

- DELATTRE C., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. *Caractérisation des sous-produits solides de l'assainissement*. Rapport intermédiaire GARIH. 1996.
- DESBORDES I. *Caractérisation et gestion des produits de curage des réseaux d'assainissement*. Mémoire de Mastère spécialisé en eau potable et assainissement. Lyonnaise des eaux de Bordeaux, ENGEES. 1994.
- RUPERD Y. « Un séparateur lamellaire pour traiter les eaux de ruissellement urbaines », p 85-90. *Bulletin liaison du laboratoire des Ponts et Chaussées* n°183, janv. - févr. 1993.
- RUPERD Y. *Les filières de traitement des rejets urbains de temps de pluie*. INP Toulouse. Session formation continue. 11/ 1998.
- RUSCASSIER G., CHEBBO G., LUCAS E. et al. *Efficacité d'un décanteur particulière dans le traitement des rejets urbains de temps de pluie*. CERGRENE, Conseil général de Seine Saint-Denis. 1996.
- SERMANSON A. *Définition et optimisation des filières de traitement et de valorisation des sous-produits de l'assainissement au sein de la Communauté Urbaine de Bordeaux*. Rapport de DES « Sciences Naturelles ». Université Bordeaux 1, 1998.
- TABUCHI J.-P. *SYSTÈMES D'ASSAINISSEMENT : QUELLE FILIÈRE CHOISIR ?*. *Le cas des "eaux pluviales" : comment traiter le problème le plus en amont possible*. Agence de l'eau Seine – Normandie, 1999.
- VERNIER G., WÉRY B., FLAMME P. et al. *Recommandations provisoires pour la construction des nouveaux bassins d'orage routiers et l'adaptation des bassins existants*. Groupe Interuniversitaire de Recherches en Écologie Appliquée, Ministère des travaux publics de Belgique, Administration des Routes. Extrait des Annales des travaux publics de Belgique. 1988.

CONCLUSION

Le but de cette étude était de réaliser une analyse des différents dispositifs de traitement des eaux de ruissellement en réseau séparatif afin de mettre au point des stratégies de dépollution de ces eaux. Ce document doit constituer une aide au choix directement utilisable par les maîtres d'ouvrage et d'œuvre.

Cette analyse a permis de mettre en évidence les points forts et points faibles des dégrilleurs, dessableurs, bassins de stockage / décantation, bassins d'infiltration et de filtration ainsi que séparateurs d'hydrocarbures et séparateurs-décanteurs. Il en ressort que l'efficacité épuratoire dépend directement de la fréquence et de la régularité de l'entretien quel que soit le dispositif considéré. On constate aussi que les dispositifs peuvent avoir des rendements de dépollution très variables et parfois très importants : les bassins d'infiltration, par exemple, peuvent retenir la totalité des MES et du plomb, les bassins de décantation réduisent de 87 % les concentrations en zinc et en cadmium et de 94 % celle en plomb. En revanche, certains procédés semblent inadaptés au traitement des eaux de ruissellement très peu chargées c'est le cas des séparateurs à hydrocarbures.

De nombreux facteurs conditionnent le choix du dispositif à employer : le type de pollution à traiter, les possibilités financières et foncières du maître d'ouvrage, la localisation géographique du lieu d'implantation, etc. Néanmoins, il a été possible de mettre en œuvre un schéma type de combinaisons de procédés pour différents milieux récepteurs.

Les stratégies proposées ont été établies en fonction de l'origine et donc des caractéristiques des eaux de ruissellement et de l'usage des milieux récepteurs. Le traitement adapté est d'autant plus sophistiqué que les réglementations relatives aux usages des milieux récepteurs sont exigeantes.

L'ensemble des procédés décrits et proposés permettent la rétention des polluants, les eaux sont ainsi épurées mais la pollution n'est pas pour autant éliminée. Les éléments polluants ont été concentrés sous forme de dépôts qui sont généralement acheminés actuellement vers les CET de classe II. Reste le problème du devenir des déchets qui à leur tour sont contaminés.

La qualité de eaux de ruissellement peut aussi être aussi améliorée en diminuant le temps de ruissellement sur les surfaces imperméables ainsi qu'en réduisant les flux de polluants en amont et notamment par le balayage des voiries.

Peut-être faudrait-il également favoriser la dépollution sur place en intégrant par exemple les solutions compensatoires au cours de la rénovation des structures urbaines ?

BIBLIOGRAPHIE

- CODE PERMANENT DE L'ENVIRONNEMENT, Éditions législatives et administratives.
- *Dépolluer les eaux pluviales : contribution à l'élaboration d'une stratégie*. Ouvrage collectif sous la coordination de J.-C. Lavigne Delville. Collection OTV. Aubin imprimeur, 1994. 349 p. ISBN : 2-87777-417-1.
- Dossier Envirhonalpes : *Mieux gérer les eaux pluviales - Les techniques alternatives d'assainissement*. 1994, 21 pages.
- *Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine et de l'Assainissement*. Coordonnateur : CHOCAT B. 1^{ère} édition. Paris : Technique & Documentation - Lavoisier, 1997. ISBN : 2-7430-0126-7.
- *La pluie : source de vie, choc de pollution*. Bulletin spécial de la Section Hydrologie Urbaine. Extraits des actes, colloque du 17 & 18 mars 1993. Octobre 1994.
- *Les eaux pluviales urbaines, élaborer une stratégie de gestion, prévenir les risques*. Maison des collectivités locales. Dossier documentaire sur les journées du 1^{er} et 2 décembre 1999.
- *Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la Communauté Urbaine de Bordeaux*. Guide de réalisation, 1999 (année de la dernière mise à jour).
- Notice commerciale de la Société Hydroconcept, mise à jour du 14/01/99.
- Notice commerciale de la Société ISD (Itéra, Saint-Dizier environnement).
- Notice commerciale de la Société PREFAEST.
- Normes AFNOR P 16 440, Les séparateurs de boues et de liquides légers préfabriqués en béton. Décembre 1994, 36 p.

- Normes AFNOR WPP 16 441, Les séparateurs de boues et de liquides légers préfabriqués métalliques. Mai 1998, 23 p.
- NOVATECH 1995. Les nouvelles technologies en assainissement pluvial. 2^{ème} conférence internationale 30, 31 et 1^{er} juin 1995, Lyon, France.
- NOVATECH 1998. *Les nouvelles technologies en assainissement pluvial*. vol. 1 et 2. 3^{ème} conférence internationale. 4 – 6 mai 1998. Lyon, France. Eurydice 92. GRAIE. Le Grand Lyon. ISBN : 2-9509337-1-8.
- *Techniques alternatives*. Cession de formation – action sur les techniques alternatives au ruissellement pluvial urbain. Sépia conseil. À l’initiative de l’agence de l’eau Arois Picardie. Février 1995.
- Techniques Sciences Méthodes (TSM) spécial eaux pluviales. n° 11. Aghtm, Novembre 1995.
- Techniques Sciences Méthodes (TSM), n° 4. Aghtm, Avril 1998. Dossier : Eau pluviale et Aménagement urbain, p 30 à 96.

=== 0 0 0 ===

- AIRES N. *Les technologies spécifiques nouvelles (décanteurs, flocculateurs, séparateurs, débourbeurs, etc.) : éléments sur les coûts et l’efficacité*. Agence de l’eau Seine Normandie. Paris, 1998.
- AIRES N., TABUCHI J.-P. *Les séparateurs à hydrocarbures et la dépollution des eaux pluviales*. TSM, 11, p862-864. 1995.
- AFBSN (Agence Française de Bassin Seine Normandie). Cahier technique n°1. *Technique et économie du traitement des eaux résiduaires*. AFBSN, 1974.

- AZZOUT Y., BARRAUD S., CRES F.N., ALFAKIH E. *Techniques alternatives en assainissement pluvial : choix, conception, réalisation et entretien*. INSA de Lyon. Technique & Documentation - Lavoisier, 1994. ISBN : 2-85206-998-9.
- BACHOC A., CHEBBO G. *Caractérisation des solides en suspension dans les rejets pluviaux urbains*. Actes de 3es journées du DEA, Sciences et Techniques de l'Environnement, Paris, 1992.
- BALADES J.-D. *Caractéristiques des eaux pluviales, les impacts, les schémas directeurs E.P.* Support de cours destiné à la DIREN et la DDE de La Réunion, 1999.
- BALADES J.-D. *La pollution et le traitement des eaux pluviales, interventions en amont des réseaux – solutions compensatoires*. Support de cours INP formation continue. Toulouse 18-19 novembre 1997.
- BALADES J.-D., TRINCAT A.-M., OUSTIR A. *Techniques alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial*. Coordination : VIGNERON S. Collections du Certu, 1998. 63 p. ISBN : 1263-3313.
- BALADES J.-D., LEROUX J. *La maîtrise des eaux pluviales*. Éditions du STU, 1993. 63 p. ISBN : 2-11-082080-2.
- BERGUE J.-M., RUPERD Y. *et al. Guide technique des bassins de retenues d'eaux pluviales*. STU, Agences de l'eau. 1ère édition. Paris : Technique & Documentation – Lavoisier, 1994. 275p. ISBN : 2-85206-934-2.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.L., *Pollution des rejets urbains par temps de pluie, synthèse générale*. Rapport Lyonnaise des eaux, n°ER.ABE.94.03, Le Pecq, 1993, 137 pages + annexes.
- BRELOT E. *Les impacts des rejets urbains sur les milieux récepteurs, maîtriser la qualité des rejets urbains par temps de pluie*. Support de cours dispensés à l'ENPC à Paris du 26 au 28 mai 1998

- CETE du Sud-Ouest. *Bilan critique des solutions compensatoires*. A.R 1.50.40.0.
- CETE du Sud-Ouest. *Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Quelques exemples*.
- CHAÏB J. *Les eaux pluviales, gestion intégrée*. Collection : écologie urbaine, les guides pratiques. Co-édité par Foncier Conseil et les éditions Sang de la terre, 1997. 173 p. ISBN : 2-86985-091-3.
- CHEBBO G. *Solides des rejets pluviaux urbains, caractérisation et traitabilité*. Rapport de thèse ENPC. Paris, 1992.
- DALIGAULT A., MEAUDRE D. *Efficacité d'ouvrages de dépollution des eaux pluviales*. LROP, rapport d'études, 1998.
- DDE 93. *Le Séparateur Statique Tourbillonnaire : courbe hauteur – débit, rendement de l'ouvrage*. Département de la Seine-Saint-Denis, Agence financière de bassin Seine Normandie, Service Technique de l'Urbanisme, 1984
- DECK F. *Une alternative au traitement pluvial classique : Le séparateur à effet Vortex*. Mémoire de troisième année de l'ENGEES. Bureau d'études BEREST : Colmar, 1993.
- DEGUIN A. Le décanteur lamellaire. *La tribune du CEBEDEAU*, n° 414, Mai 1978. p 231-240.
- DELATTRE C., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. *Caractérisation des sous-produits solides de l'assainissement*. Rapport intermédiaire GARIH. 1996.
- DESBORDES I. *Caractérisation et gestion des produits de curage des réseaux d'assainissement*. Mémoire de Mastère spécialisé en eau potable et assainissement. Lyonnaise des eaux de Bordeaux, ENGEES. 1994.
- FLORES - RODRIGUEZ J. *Les métaux toxiques dans les eaux pluviales en milieu urbain : caractéristiques physico-chimiques*. Thèse de doctorat : Université de Paris XII, Val de Marne, 216 pages + annexes.

- GAUTHIER A. *Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urbain*. Thèse de doctorat : I.N.S.A. - Lyon, 1998, 187 pages + annexes.
- INSA. *Impact de l'infiltration des eaux pluviales sur les nappes : Contrôle de l'efficacité du bassin d'infiltration d'eau pluviale du Charbonnier*. Rapport final. Villeurbanne : INSA, SPACE, 1996.
- LAVEAU B., Bassins de retenue de l'autoroute A10 : migration des métaux lourds et des hydrocarbures de la plate-forme autoroutière jusqu'au milieu récepteur - DUETI, Université de Bordeaux I, 1999, 29 pages + annexes.
- MERLE J.-P. *Synthèse de l'efficacité des ouvrages de traitement des eaux pluviales routières*. Rapport d'études, ASFA, 1999.
- PETITNICOLAS F. *Étude technico-économique sur les stratégies de réduction des flux polluants par temps de pluie*. Rapport de stage de DESS (Institut EGID). Bordeaux : CETE du sud-ouest, LRPC de Bordeaux, 1999.
- RIVARD G. *Gestion des eaux pluviales et milieux urbains - Concepts et applications* - Éditions Atlas, 1998, 287 pages.
- RUPERD Y. *Efficacité des ouvrages de traitement des eaux de ruissellement*. Éditions du STU, 1987. ISBN : 2-11-081981-2.
- RUPERD Y. *Les filières de traitement des rejets urbains de temps de pluie*. INP Toulouse. Session formation continue. 11/ 1998.
- RUPERD Y. *Moyens d'action contre les effets du ruissellement : Synthèse bibliographique – Protection du captage de la ville de Bernay*. 1985.
- RUPERD Y. « Un séparateur lamellaire pour traiter les eaux de ruissellement urbaines », p 85-90. *Bulletin liaison du laboratoire des Ponts et Chaussées* n°183, janv. - févr. 1993.

- RUPERD Y., BLANLOEIL C. *Pollution et traitement des eaux de ruissellement : Tests de dispositifs compacts de traitement des eaux de ruissellement sur plate-forme expérimentale*. Rapport CETE du sud-ouest, LRPCB. Bordeaux, Septembre 1999.
- RUSCASSIER G., CHEBBO G., LUCAS E. et al. *Efficacité d'un décanteur particulière dans le traitement des rejets urbains de temps de pluie*. CERGRENE, Conseil général de Seine Saint-Denis. 1996.
- SATIN M., SELMI B. *Guide technique de l'assainissement* – Éditions Le Moniteur, 1995. 628 pages.
- SERMANSON A. *Définition et optimisation des filières de traitement et de valorisation des sous-produits de l'assainissement au sein de la Communauté Urbaine de Bordeaux*. Rapport de DES « Sciences Naturelles ». Université Bordeaux 1, 1998.
- SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes). *L'eau et la route, volume 7 : Les dispositifs de traitement des eaux pluviales*. 1997. ISBN : 2-11-085815 X.
- TABUCHI J.-P. *SYSTÈMES D'ASSAINISSEMENT : QUELLE FILIÈRE CHOISIR ?*. Le cas des "eaux pluviales" : comment traiter le problème le plus en amont possible. Agence de l'eau Seine – Normandie, 1999.
- TOMACHOT M. *Les bassins de retenue*. Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 1980. 104 p.
- VALIRON F., TABUCHI J.-P. *Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie*. Technique & Documentation - Lavoisier, 1992. ISBN : 2-85206-863-X.
- VERNIER G., WÉRY B., FLAMME P. et al. *Recommandations provisoires pour la construction des nouveaux bassins d'orage routiers et l'adaptation des bassins existants*. Groupe Interuniversitaire de Recherches en Écologie Appliquée, Ministère des travaux publics de Belgique, Administration des Routes. Extrait des Annales des travaux publics de Belgique. 1988.