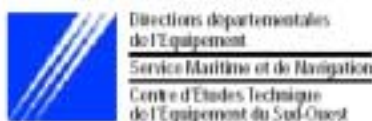




MISSIONS INTER-SERVICES DE L'EAU
LOIRE-ATLANTIQUE • MAINE-ET-LOIRE
MAYENNE • SARTHE • VENDEE

GUIDE METHODOLOGIQUE POUR LA PRISE EN COMPTE DES EAUX PLUVIALES DANS LES PROJETS D'AMENAGEMENT

FASCICULE I



Ce fascicule fait partie d'un ensemble de deux documents destinés aux maîtres d'ouvrage, services instructeurs de l'administration, aménageurs et cabinets d'études d'incidences (publics et privés).

L'objectif poursuivi est de disposer d'un référentiel partagé, afin que les spécificités régionales soient mieux prises en compte.

Le présent document décrit la réflexion à mettre en œuvre pour la conception d'un aménagement qui prenne en compte les eaux pluviales de façon bien adaptée.

Il s'agit d'un document de **recommandations**, non opposable, qui a été élaboré par le CETE du Sud-Ouest ; il s'inspire et reprend pour une bonne part des informations issues d'une démarche analogue menée par le CETE en région Languedoc-Roussillon sous l'égide de la DIREN [1].

Un second document traite du contenu et de l'instruction des dossiers d'autorisation et de déclaration et fournit des préconisations techniques (outils de calculs,...).

Cette démarche, lancée à l'initiative de la DDE du Maine et Loire, a reçu l'appui de la DIREN Pays de la Loire, et a été suivie par les MISE des 5 départements de la Région.

Un groupe de travail comprenant des représentants de ces différents services a participé activement au suivi ainsi qu'à l'élaboration du fascicule II.

SOMMAIRE

PREAMBULE

I LES INONDATIONS ET LA POLLUTION DES EAUX PLUVIALES

I.1 – GENERALITES

I.2 – LES EFFETS DE L'URBANISATION

II LA DEMARCHE PROPOSEE : LES GRANDS PRINCIPES

III LE DIAGNOSTIC DE SITE

III.1 -PRINCIPE

III.2 -LES CONTRAINTES REGLEMENTAIRES

III.3 -LES ATOUTS ET CONTRAINTES DU SITE

III.4 -UN PROJET D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL DE QUALITE

IV LES SOLUTIONS COMPENSATOIRES

IV.1 –CONCEPTION DU PLAN MASSE

IV.11 Utilisation des espaces verts, publics,...

IV.12 Utilisation de la voirie

IV.2 –CONCEPTION DE L'AMENAGEMENT

IV.21 Esquisse de l'organisation de l'espace

IV.22 Optimisation des solutions d'aménagement

IV.23 Disposition fine du bâti

IV.24 Traitement paysager

IV.25 Pérennité et entretien

IV.3 –CHOIX D'UNE SOLUTION COMPENSATOIRE

V LE TRAITEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT

V.1 - ACTIONS PREVENTIVES

V.2 - ACTIONS CURATIVES

VI LES FICHES DE CAS

LES TOITS STOCKANTS

LES CHAUSSEES A STRUCTURE RESERVOIR

LES PUITES

LES NOUES

LES BASSINS SECS ET EN EAU

LES TRANCHEES D'INFILTRATION

VII EXEMPLES D'OUVRAGES ANNEXES

GLOSSAIRE

DOCUMENTS DE REFERENCE

NOTES PERSONNELLES

PREAMBULE

Depuis les années 50, la France a connu une forte croissance de l'urbanisation qui a généré des impacts très sensibles sur le cycle de l'eau, les principaux étant [Cf. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine] :

- L'imperméabilisation des sols (la surface imperméabilisée a décuplée entre 1955 et 1965), d'où une nette augmentation des volumes ruisselés et a contrario une réalimentation des nappes souterraines plus faible.
- L'accélération des écoulements : le réseau hydrographique naturel, souvent peu pentu, encombré, sinueux,... est remplacé par des conduites rectilignes, plus courtes, avec une bonne pente, d'où une nette augmentation des vitesses d'écoulement et par suite des débits de pointe, donc des risques d'inondation. Le temps de réponse des bassins versants se trouve réduit, d'où une augmentation du débit de pointe pour une même pluie et un bassin versant sensible à des épisodes pluvieux plus courts donc plus intenses. Cette réduction du temps de réponse peut conduire à une multiplication du débit de pointe spécifique par un facteur allant de 5 à 50.
- La création d'obstacles à l'écoulement : certaines infrastructures (routes, voies ferrées,...) notamment peuvent modifier considérablement l'écoulement des eaux superficielles. Souvent construites en remblai par rapport au terrain naturel, elles peuvent constituer de véritables digues ; en tranchée, au contraire, elles peuvent devenir de véritables canaux.
- L'artificialisation des rivières urbaines : la croissance urbaine s'est souvent faite au détriment des cours d'eau, busés, canalisés, enterrés et donc oubliés avec des conséquences très néfastes : perte des possibilités naturelles d'expansion en cas de crue d'où des dommages pouvant être catastrophiques lors d'événement importants, dégradation écologique forte par suppression d'un milieu vivant, perte de la culture de l'eau des citoyens,...
- La pollution des milieux récepteurs : les rejets urbains par temps de pluie véhiculent une pollution non négligeable qui peut contribuer à la dégradation des milieux récepteurs sensibles. Cette pollution est relativement spécifique (toxiques métalliques, hydrocarbures,...), concentrée en un nombre relativement limité de points et affecte

généralement des secteurs proches des agglomérations donc avec une forte valeur d'usages des milieux aquatiques.

Ces impacts expliquent que l'approche traditionnelle, purement technicienne de l'assainissement, est devenue insuffisante pour résoudre ces problèmes posés par la gestion des écoulements pluviaux (protection contre les inondations, protection sanitaire, protection de l'environnement,...).

Une nouvelle approche, de type plus environnementaliste, a donc été développée en France depuis le début des années 80.

C'est une approche intégrée pour prendre en compte tous les aspects évoqués précédemment, et globale, c'est à dire qui doit se faire au niveau du bassin versant. Elle a donné naissance aux solutions alternatives (encore appelées compensatoires) en assainissement pluvial et a été confortée, préconisée par la loi sur l'eau de 1992 et ses textes d'application.

Le principe généralement adopté, d'un point de vue hydraulique, est que tous les nouveaux aménagements sur un bassin versant donné ne doivent pas aggraver la situation préexistante en matière d'écoulements pluviaux.

De nombreuses collectivités françaises, à l'image des « pionnières » qu'ont été la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) et le Syndicat Intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA) mettent aujourd'hui en pratique cette approche.

Il est par ailleurs intéressant de noter que sur la CUB l'objectif premier était la lutte contre les inondations alors que pour le SIBA il s'agissait d'abord de protéger la qualité d'un milieu récepteur particulièrement sensible (zones de baignade, conchyliculture, pêche, loisirs nautiques,...). Dans ces deux collectivités, le recours aux techniques compensatoires a été, de fait, rendu obligatoire pour tous les aménagements depuis une vingtaine d'années et a fait la preuve de son efficacité.

La présente démarche des services police de l'eau de la région Pays de la Loire s'inscrit dans ce contexte général d'évolution indispensable des pratiques pour contribuer à une meilleure maîtrise du risque inondation, dans un souci de protection des biens et des personnes, mais aussi de préservation de l'intégrité des milieux aquatiques, sous l'angle physique, qualitatif et biologique.

Elle vise à assurer la pertinence des préconisations et aussi une plus grande cohérence entre services, sur un même bassin versant.

I LES INONDATIONS ET LA POLLUTION DES EAUX PLUVIALES

I.1 GENERALITES

On distingue généralement trois types principaux d'inondation :

-LES INONDATIONS LENTES apparaissent une dizaine d'heures ou plus après la pluie (par débordement de cours d'eau) et sont caractéristiques des régions de plaine.

-LES INONDATIONS RAPIDES OU CRUES TORRENTIELLES surviennent très rapidement après la pluie et concernent plus particulièrement les bassins versants accidentés en montagne ou situés sur les bords de plateaux.

-LES INONDATIONS PAR RUISSELLEMENT URBAIN, lorsque les réseaux d'évacuation ne suffisent plus, résultent d'orages intenses sur des surfaces péri-urbaines ou urbaines, souvent largement imperméabilisées ; elles sont de plus en plus fréquentes.

D'autres types d'inondations existent, tels que **remontées de nappe, coulées de boues torrentielles, submersion marine,...**

I.2 LES EFFETS DE L'URBANISATION

L'urbanisation massive et mal maîtrisée est un facteur essentiel de la genèse des crues :

- l'assainissement , en réorganisant les écoulements, modifie la propagation des eaux ;
- l'imperméabilisation des sols réduit l'infiltration.

Par ailleurs l'imperméabilisation génère des apports polluants non négligeables véhiculés par les eaux de ruissellement.

Effets de l'assainissement

L'assainissement a pour objectif d'organiser, pour un événement de période de retour (T) donnée, la collecte et l'évacuation des eaux de ruissellement vers un exutoire.

Les ouvrages sont le plus souvent des canalisations souterraines ou des fossés à ciel ouvert, quelquefois associés à des régulations permettant de réduire les débits maximums évacués afin d'assurer leur compatibilité avec la capacité des exutoires.

Les événements généralement retenus actuellement pour le dimensionnement des ouvrages d'assainissement sont décennaux (T = 10 ans) voire vingtennaux (T = 20 ans).

Pour les événements de période de retour inférieure ou égale, l'assainissement a pour effet :

- de supprimer les débordements, ce qui tend à augmenter le débit de pointe,
- d'accroître la vitesse des écoulements, d'où une tendance à la réduction du temps de concentration du bassin versant et l'augmentation du débit de pointe pour une période de retour donnée,
- de modifier les cheminements hydrauliques, souvent en les allongeant, la logique de la collecte s'imposant à celle de l'écoulement le long de la plus grande pente ; ceci contribue à augmenter le temps de concentration et donc à réduire, pour une période de retour donnée, le débit de pointe correspondant, effet inverse du précédent.

L'assainissement peut donc avoir, selon sa conception, des **effets contraires sur la genèse des crues**. On peut très bien, par des choix techniques appropriés, ne pas favoriser l'apparition de ces dernières, en :

- **limitant le débit de dimensionnement** à la capacité du réseau hydrographique avant urbanisation,
- **compensant l'augmentation des vitesses** par un allongement des cheminements et par le maintien ou le renforcement de la rugosité,
- **provoquant des débordements contrôlés** dans les différentes zones cloisonnées par le tissu urbain.

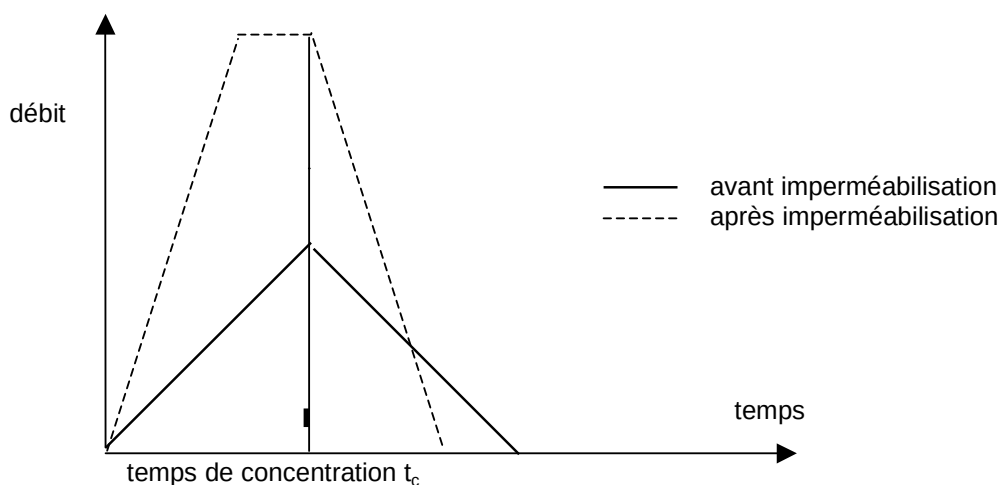
Pour les événements de période de retour supérieure à celle de l'événement de dimensionnement, les effets sont souvent inverses :

- extension des zones de débordement en constituant des goulots d'étranglement au droit des ouvrages d'engouffrement dans les réseaux ou sous les ouvrages routiers,
- allongement du cheminement des eaux superficielles par le cloisonnement des surfaces de ruissellement (clôtures, murs, remblais).

Effets de l'imperméabilisation

L'imperméabilisation se traduit par une suppression presque complète de l'infiltration de l'eau dans le sol, provoquant par conséquent un ruissellement quasi immédiat après le début de la pluie, d'où :

- réduction du temps de réponse du bassin versant, en supprimant la temporisation que génère l'infiltration des premières pluies (c'est-à-dire lorsque le sol dispose de sa capacité maximale de rétention) ; la montée des eaux est plus rapide, ce qui constitue un facteur aggravant en termes de risque ;
- augmentation manifeste du débit de pointe lorsque la pluie est de courte durée, par rapport à un sol naturel qui aurait assuré l'infiltration de la totalité de la pluie ;
- net accroissement des volumes ruisselés au cours de l'événement ; pour les grands bassins versants, ceci conduit à aggraver la combinaison des apports des sous-bassins et à accroître les hauteurs de submersion dans les zones inondables, les volumes à stocker étant plus importants.



**Fig.1 – Impact de l'imperméabilisation sur un hydrogramme de crue
(pour une pluie saturante)**

L'impact de l'imperméabilisation est, bien évidemment, variable selon la capacité initiale du sol naturel à l'infiltration et son comportement de surface.

Les effets négatifs de l'imperméabilisation sur l'aléa hydraulique sont aujourd'hui identifiés et **la nécessité d'y remédier est reconnue, sur le plan réglementaire**, par le code de l'environnement et le code général des collectivités territoriales, qui imposent deux types de mesures :

- à l'échelle communale, les collectivités doivent procéder à la délimitation des secteurs où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et maîtriser le débit et l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement (Article L. 2224-10 du code général des collectivités locales + Article L. 123-1 – 11° du code de l'urbanisme + circulaire du 12 mai 1995 Art. 1.2) ;
- à l'échelle d'un projet d'aménagement soumis aux procédures prévues aux articles L. 214-1 à 214-6 du code de l'environnement, le projet devant s'accompagner de mesures compensatoires des impacts qu'il occasionne.

Impacts polluants

On sait aujourd'hui que les eaux de ruissellement peuvent se charger assez fortement en éléments polluants : pollution organique (DCO, DBO₅), toxiques métalliques (Zn, Pb, Cd, Ni,...), hydrocarbures...

Ces rejets ont, dans certains cas des impacts polluants très négatifs : zones de baignade, secteurs conchylicoles,... notamment sont des secteurs particulièrement vulnérables à préserver.

L'eau d'origine pluviale véhicule une pollution comparable à celle des eaux usées après traitement sur les paramètres DBO₅ et DCO et bien supérieure sur les paramètres MES, métaux lourds et hydrocarbures.

La pollution transportée a plusieurs sources :

- ♦ atmosphérique (non négligeable pour les hydrocarbures et les métaux lourds),
- ♦ accumulation sur les surfaces revêtues (de 1 à 3 g/l/m²),
- ♦ accumulation dans les réseaux d'assainissement.

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

Caractéristiques des eaux de ruissellement pluvial séparatif	Charges polluantes annuelles (kg/ha imperméabilisé)	Concentrations moyennes annuelles (mg/l)
DBO ₅	90	25
DCO	630	180
MES totales	665	235
Hydrocarbures	15	5,5
Pb	1	0,35

Charges et concentrations des eaux de ruissellement pluvial (J.P. PHILIPPE)

Ces apports annuels représentent environ 1 500 habitants supplémentaires par ha en DBO₅ en système séparatif et 2 500 habitants en mode unitaire.

L'effet de choc peut être extrêmement important puisqu'un événement pluvieux de période de retour semestrielle à annuelle peut entraîner le rejet, par ha imperméabilisé, de :

6,5 kg de DBO₅
40 kg de DCO
65 kg de MES
0,7 kg de HC
0,04 kg de Pb.

AGGLOMERATION
10 000 HABITANTS

En zone littorale, la pollution bactérienne mérite une attention particulière. Ainsi, dans le cas d'une ville de 10 000 habitants, on peut dresser le bilan suivant.

Rejet permanent
de la station d'épuration

Rejet de temps de pluie

lux annuel de germes	Flux journalier de germes
$1,5 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{14}$

Flux annuel de germes	Flux par jour de surverse de réseau
$4 \cdot 10^{15}$ à $2 \cdot 10^{16}$	10^{14} à 10^{15}

Cette pollution des eaux de ruissellement a des caractéristiques spécifiques liées à :

- ♦ une forte proportion de pollution fixée par rapport à la fraction dissoute ;
- ♦ la très faible taille des particules qui sont réellement les vecteurs de la pollution ;
- ♦ une très bonne décantabilité.

Les tableaux ci-dessous illustrent ces propriétés :

PARAMETRES DE POLLUTION	POURCENTAGE DE LA POLLUTION TOTALE FIXEE SUR LES PARTICULES
DCO	83 à 90
DBO ₅	77 à 95
N _{TK}	67 à 82
HYDROCARBURES TOTAUX	86 à 87
P _b	93 à 95

Pollution particulaire en pourcentage de la pollution totale

SITE EXPERIMENTAL	DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE (μ m)		
	D10	D50	D90
BEQUIGNEAUX	7,4 – 8,6	29 – 38	265 – 1375
LE BROUILLARDS	5,7	29	400

Distribution granulométrique en μ m

	PARAMETRES DE POLLUTION					
	MES	DCO	DBO5	NTK	HC	Pb
Moyenne	86	82	80	60	69	74
Ecart type	4,7	7,2	5,5	11,5	24,3	4,3

Abattement en % après une dizaine d'heures de décantation

II LA DEMARCHE PROPOSEE : LES GRANDS PRINCIPES

Dans un contexte de développement de l'urbanisation et des infrastructures, il est indispensable d'adopter une nouvelle stratégie qui repose sur trois principes fondamentaux :

- ♦ Une approche globale et pluridisciplinaire des problèmes liés à l'eau.
- ♦ Une organisation multifonctionnelle et rationnelle des espaces publics sollicités pour mieux gérer les eaux pluviales.
- ♦ Une organisation de l'espace qui maîtrise l'écoulement des eaux résultant des épisodes pluvieux, même exceptionnels, qui provoquent, à l'heure actuelle, des inondations.

Cette approche permet d'assurer la continuité de gestion des eaux pluviales, des événements courants (par les réseaux et les techniques compensatoires : système mineur) aux événements exceptionnels (en sollicitant les espaces publics : système majeur). Les solutions compensatoires peuvent, dans certains cas, largement participer au système majeur avec la possibilité de stocker des volumes très importants (terrains de sport, aires naturelles inondables...).

Rappelons que les techniques compensatoires ont pour objectif de neutraliser les effets de l'imperméabilisation vis-à-vis des phénomènes pluvieux dans des limites définies (période de retour prise en compte).

Il est nécessaire d'insister ici sur l'importance de l'échelle d'analyse : c'est au niveau du bassin versant que doivent être prises en compte, outre les apports du projet lui-même, les eaux venant de l'amont du projet et transitant par celui-ci, ainsi que l'impact de l'ensemble de ces apports sur l'aval, pour évaluer les mesures supplémentaires qui peuvent s'avérer nécessaires. Il y a donc nécessité d'une **approche globale au niveau bassin versant**.

Par ailleurs les préoccupations de maîtrise des eaux pluviales doivent intervenir dès le stade de la conception des projets (et non plus quand le plan masse est figé) car de nombreuses solutions nécessitent une organisation de l'espace adaptée : ouvrages de stockage en point bas, noues à intégrer aux espaces verts,....

La contrainte eaux pluviales peut alors devenir un atout pour l'aménagement (création d'une coulée verte,...).

III DIAGNOSTIC DE SITE

III.1 PRINCIPE

Tout projet d'aménagement nécessite le repérage d'un site approprié et la vérification de sa constructibilité au regard des documents d'urbanisme. Avant d'entreprendre des études financières ou de marché, l'aménageur doit effectuer un diagnostic « objectif » du site qui lui permettra d'en cerner les potentialités et contraintes, notamment par rapport à la gestion des eaux pluviales.

L'aménageur souvent, ne s'en préoccupe que trop tardivement, au moment de l'instruction administrative, donc avec un projet déjà figé.

C'est pourtant dès l'initiation du projet qu'il faut confronter les contraintes hydrauliques et réglementaires afin de trouver ensuite plus facilement des solutions intégrées dans l'aménagement.

Suite à ce diagnostic l'aménageur pourra juger de l'intérêt du projet, de son impact sur l'environnement et de sa viabilité.

III.2 LES CONTRAINTES REGLEMENTAIRES

Il faut notamment, (Cf. synoptique ci-après), considérer les textes spécifiques à l'eau (SDAGE, SAGE s'il en existe) et ceux qui sont relatifs à l'urbanisme (SCOT, POS/PLU, règlement de ZAC).

-Le SDAGE et le SAGE

Les programmes ou décisions administratives prises dans le domaine de l'eau doivent être compatibles ou rendus compatibles avec les dispositions du SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux), outil de planification issu de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

Le SDAGE Loire-Bretagne définit 7 objectifs vitaux pour le bassin dont « savoir mieux vivre avec les crues », d'où la nécessité de :

- « d'abord et en urgence mettre un terme à l'urbanisation des zones inondables,
- améliorer la protection des zones déjà urbanisées,
- sauvegarder ou retrouver le caractère naturel, la qualité écologique et paysagère des champs d'expansion de crue. »

Dans les préconisations du SDAGE figurent notamment le souci de mieux maîtriser les rejets urbains de temps de pluie (contrôler l'imperméabilisation, limiter les débits ruisselés, s'équiper de bassins de retenue,...), de réduire la vulnérabilité face aux inondations (stopper l'urbanisation dans les zones inondables,...), d'améliorer la protection des zones exposées déjà urbanisées, de sauvegarder ou de retrouver le caractère naturel et la qualité écologique des champs d'expansion de crue.

Le SAGE, de périmètre plus restreint, peut compléter ces dispositions au plan local. C'est le cas, par exemple, des SAGE OUDON, VILAINE, ...

-Le SCOT

Le Schéma de Cohérence Territoriale permet aux élus de définir en commun la priorité d'urbanisme et les orientations à mettre en œuvre pour limiter les impacts sur le milieu naturel ainsi que le risque d'inondation.

-Le Zonage Pluvial

En application de l'article L. 2224-10 du code général des collectivités territoriales, **les communes doivent délimiter les zones :**

- où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise du débit et de l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement
- où il est nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte, le stockage éventuel et, en tant que de besoin, le traitement des eaux pluviales et de ruissellement...

Ces délimitations peuvent se faire dans le cadre des **Plans Locaux d'Urbanisme**. (Article L. 123-1 – 11° du code de l'urbanisme + circulaire du 12 mai 1995 Art. 1.2).

Remarque : la mise en place d'un zonage pluvial peut ainsi participer à la maîtrise des flux ruisselés ; cependant, des exigences plus fortes que celles définies par le zonage, peuvent résulter d'un document d'incidence en lien avec une procédure loi sur l'eau.

-Le P.L.U. (POS)

L'approche globale du SCOT est transcrite par les communes dans les Plans Locaux d'Urbanisme qui, dans le cadre d'une politique de développement durable, fixent des prescriptions.

De façon générale, les PLU fixent les règles et les servitudes d'utilisation des sols permettant d'atteindre les objectifs mentionnés à l'article L.121-1 du code de l'urbanisme, qui peuvent notamment comporter l'interdiction de construire, délimitent les zones urbaines ou à urbaniser et les zones naturelles ou agricoles et forestières à protéger.

Dans les zones urbaines, ils peuvent instituer des servitudes consistant à indiquer la localisation prévue et les caractéristiques des voies et ouvrages publics, ainsi que les installations d'intérêt général et les espaces verts à créer ou à modifier, en délimitant les terrains qui peuvent être concernés par ces équipements (Article L. 123-2 – c du code de l'urbanisme).

Le règlement du PLU doit, en fonction des circonstances locales et si nécessaire, comporter des mesures liées à la maîtrise du ruissellement et, plus généralement, du risque d'inondation :

- une obligation de mise à la cote des constructions par rapport à la voirie,
- des profils en travers type,
- un débit de pointe à ne pas dépasser,
- l'exigence de mesures compensatoires avec, éventuellement, « le mode d'emploi »,
- l'exigence d'un recul par rapport aux ruisseaux,
- la limitation de l'emprise au sol des bâtiments,
- ...

L'aménagement urbain doit, en outre, respecter un certain nombre de principes fondamentaux, rappelés par les circulaires ministérielles du 21/01/94 et du 24/04/96 relatives au risque d'inondation. On peut citer :

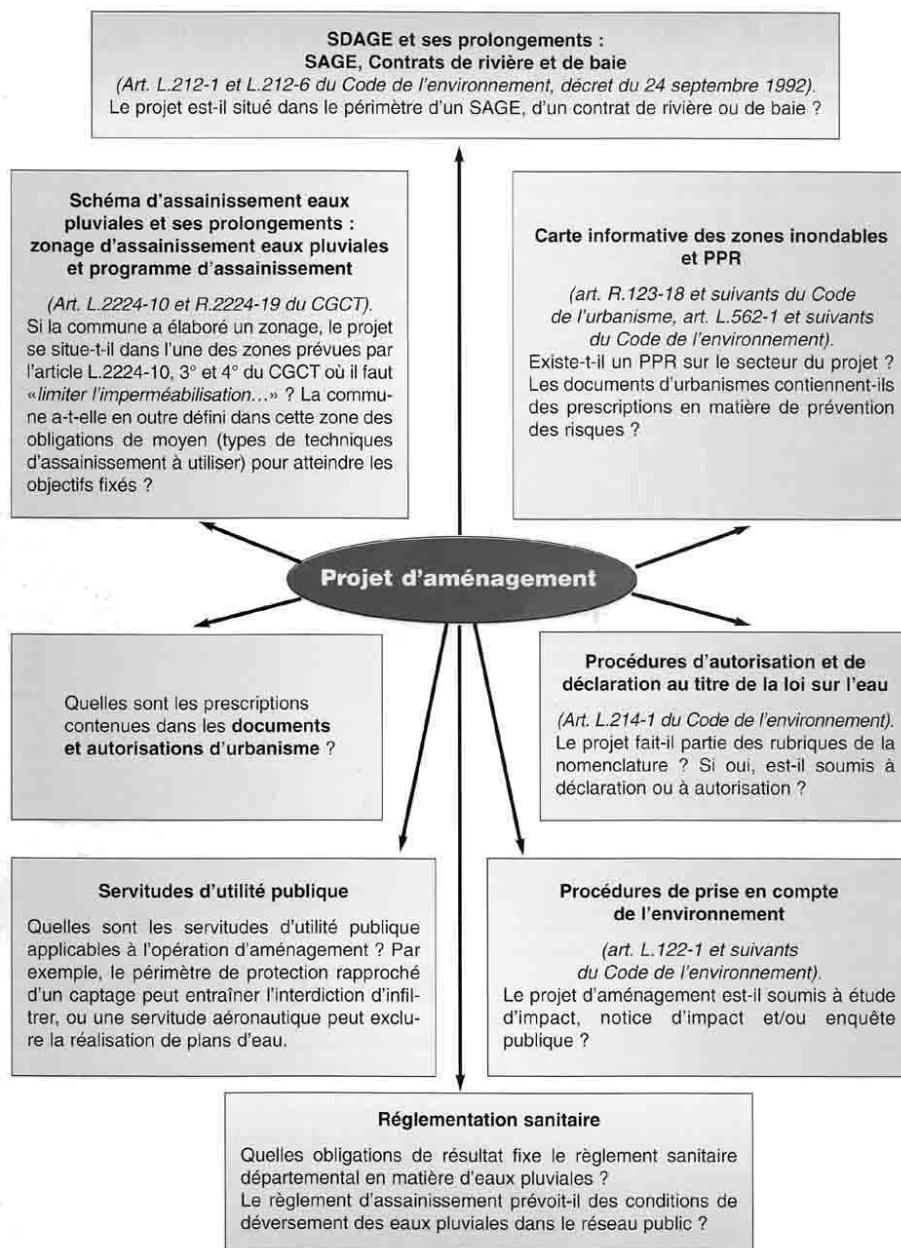
- l'interdiction de toute construction nouvelle et la réduction du nombre des constructions déjà exposées en zone d'aléa fort,
- la réduction de la vulnérabilité des constructions dans les zones d'aléa plus faible,
- le contrôle strict de l'extension de l'urbanisation dans les zones d'expansion des crues,
- l'évitement de tout endiguement ou remblaiement qui ne serait pas justifié par la protection de lieux fortement urbanisés.

-Le règlement de ZAC

Les ZAC (Zones d'Aménagement Concerté) sont les zones à l'intérieur desquelles une collectivité publique ou un établissement public décide d'intervenir pour réaliser ou faire réaliser l'aménagement et l'équipement des terrains. Dévolues à l'habitation, au commerce, à l'industrie, aux activités, elles peuvent disposer d'un règlement spécifique.

Des contraintes plus fortes peuvent émaner des services en charge de la police de l'eau et des milieux aquatiques, à l'échelle de projets assujettis à la mise en œuvre d'une procédure au titre de la loi sur l'eau (superficie totale desservie > 1 ha).

**Questions juridiques (relatives à l'eau)
à se poser au niveau de l'opération d'aménagement**



III.3 LES ATOUTS ET CONTRAINTES DU SITE

Des données relatives au territoire à aménager et, de façon plus globale, à son bassin versant, sont essentielles pour apprécier les conditions initiales de ruissellement, les potentialités et contraintes offertes par le site.

Sans mener d'étude très approfondie, il est possible, grâce à quelques recherches ciblées, d'apprécier les principaux facteurs intervenant sur les phénomènes d'inondations. Les sources d'information sont nombreuses et, pour la plupart, relativement accessibles. L'importance des investigations dépend fortement du contexte local.

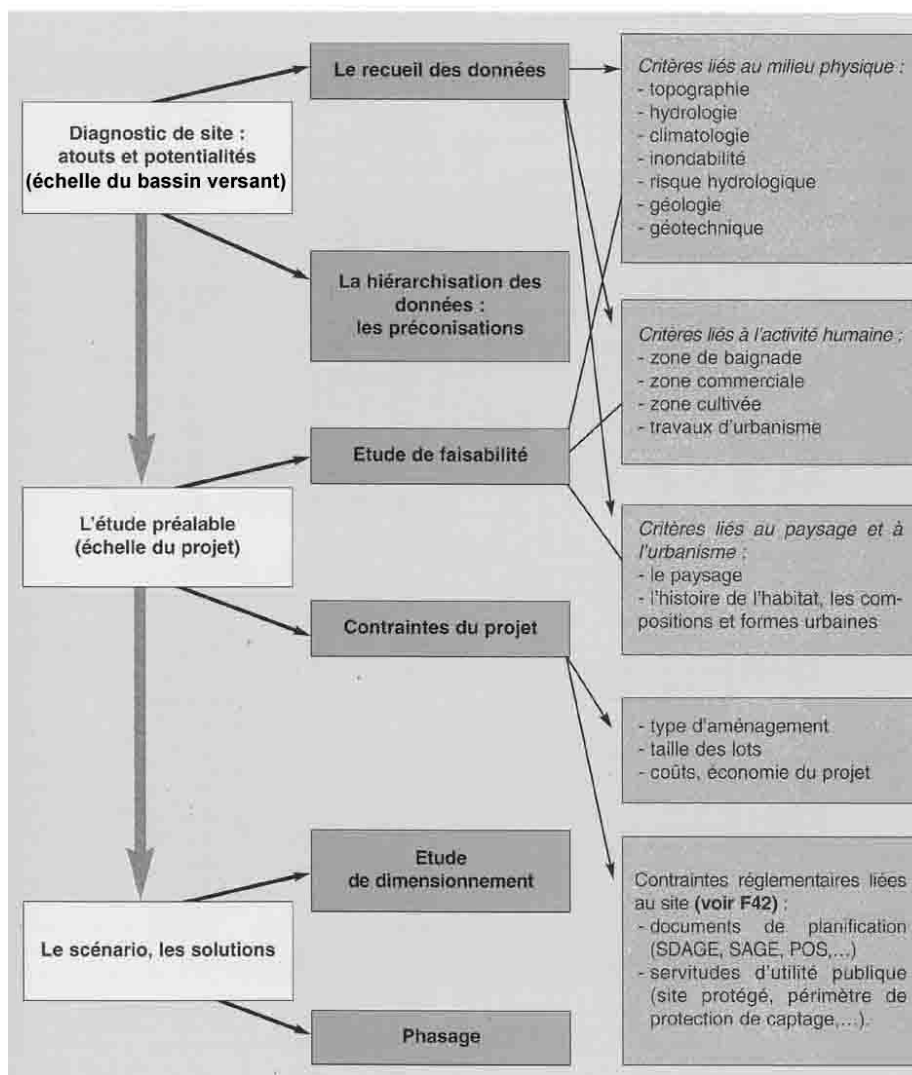
Il s'agit de bien posséder les éléments nécessaires à l'appréhension du fonctionnement hydrologique du bassin versant face à la problématique eau, d'évaluer la vulnérabilité du site par rapport aux risques d'inondation et ses potentialités.

III.4 UN PROJET D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL DE QUALITE

Le synoptique ci-après, extrait du Mémento pour la gestion des projets d'assainissement [CERTU- 2001], présente l'ensemble d'une démarche fondée sur un diagnostic de site puis des études préalables à l'aménagement et des scénarios d'assainissement pluvial.

Cette démarche doit permettre une nette amélioration (globale) des projets d'assainissement pluvial par une prise en compte, dès l'amont des projets, de la problématique eau pluviale, avec la totalité de ses composantes.

Démarche générale pour un projet d'assainissement pluvial de qualité



MEMENTO POUR LA GESTION DES PROJETS D'ASSAINISSEMENT [doc. CERTU 2001]

IV. LES SOLUTIONS COMPENSATOIRES

Ce chapitre a trait principalement à la maîtrise de l'imperméabilisation des sols liée au développement urbain.

Le traitement des voiries structurantes urbaines ou de rase campagne nécessitera en général de recourir à des techniques « non intégrées », type bassin tampon.

Les techniques compensatoires sont « toutes les techniques qui permettent de compenser les effets que le ruissellement ferait subir à l'environnement existant ».

Ces solutions –parfois encore appelées « techniques alternatives »- ont en commun trois fonctions hydrauliques essentielles :

- ➔ Un rôle de collecte et d'introduction de l'eau dans le dispositif ;
- ➔ Un stockage temporaire in situ ;
- ➔ Une vidange par infiltration ou à débit régulé vers l'aval.

Il n'existe donc pas un catalogue de solutions, au sens habituel du terme, puisque la solution technique fera l'objet d'une conception « sur mesure » pour le projet.

Ce chapitre vise à apporter les éléments techniques permettant de choisir la solution compensatoire la mieux adaptée au projet d'aménagement. Ces solutions offrent une réponse, en particulier pour des épisodes pluvieux « courants », c'est à dire des périodes de retour de l'ordre du décennal.

Au-delà, on est conduit à solliciter davantage les espaces publics.

IV.1 CONCEPTION DU PLAN MASSE

L'aménageur, dans sa phase de conception, doit prendre en compte toutes les contraintes précédentes, évaluer les modifications que les différentes variantes de son projet engendreraient sur le système pluvial.

Principe général :

- **Prévoir, au minimum, une compensation par rapport aux écoulements existants préalablement au projet, quel que soit le type d'événement pluvieux, jusqu'à une période de retour donnée (décennale, centennale,...).**
- **Améliorer, si la capacité des exutoires et les enjeux le nécessitent, les écoulements à l'aval par des rétentions complémentaires.**

La voirie, les espaces collectifs, par leur localisation spatiale, leur orientation, leur fonction même et leur équipement de surface, peuvent contribuer à acheminer l'eau via des zones prévues à cet effet, et peu vulnérables. En les rationalisant, en s'assurant qu'aucun obstacle ne vienne entraver leur fonctionnement – ou alors en prévoyant des solutions d'évacuation telles que collecteur, fossé, ... - ces espaces urbains peuvent jouer un rôle déterminant dans les mécanismes de cantonnement des débordements.

Il faut donc inonder là où c'est possible et acceptable, pour réduire les inondations là où leurs effets ne sont pas souhaitables.

Deux exemples en sont fournis ci-après.

IV.11 UTILISATION DES ESPACES VERTS, PUBLICS

Certains types d'espaces collectifs peuvent être sollicités de par leur capacité à supporter des submersions à moindre dommage, à constituer un frein à l'écoulement,...

Une circulaire du 8 février 1973 préconise un minimum de 10 m² d'espaces verts par habitant. Chaque commune ou communauté peut définir une superficie réservée aux espaces libres et plantations : à Bordeaux par exemple, : 10 % d'espaces verts, en continuité, groupés dans une même zone, communs à tous les lots (zones UA, UB, UC) pour tout lotissement ou ensemble d'habitations d'une surface ≥ 1 ha.

A Lyon, 15 % de la surface totale du terrain doit être aménagé en espaces verts pouvant inclure des aménagements piétons. On retrouve ce même pourcentage à Lille, pour les espaces verts comportant notamment des pelouses et des arbres de haute tige.

SEUILS DE SUBMERSION ADMISSIBLES POUR LES ESPACES PUBLICS

Plans d'eau

Les bassins en eau peuvent être sollicités et dimensionnés pour des périodes de retour importantes allant au-delà de l'événement décennal fréquemment retenu par les aménageurs.

Les ordres de grandeur de hauteurs d'eau admissibles à retenir sont :

- ♦ un marnage de l'ordre de 0,50 à 0,70 m en occurrence décennale, associé à une profondeur moyenne de 2 m, qui permet un bon effet de dilution du volume ruisselé dans la masse d'eau quasi-permanente du bassin avant la pluie, un traitement facile des berges, une variation du niveau de l'eau imperceptible lors des petites pluies fréquentes ;
- ♦ ce marnage décennal peut correspondre approximativement à un marnage d'environ 1 à 1,20 m en occurrence centennale, selon la configuration des berges du bassin et son environnement.

Espaces verts « secs »

Un bassin en eau d'utilisation quotidienne (pour les loisirs,...) peut être sollicité souvent sans que cela provoque une gêne; un bassin à sec, tel un parc de promenade, terrain de sport enherbé,... ne doit pas être sollicité tous les mois, principalement pour des raisons d'usage, d'esthétique et d'entretien.

0,50 m paraît être une hauteur limite admissible, surtout si cet espace est relativement petit.

Au-delà, le caractère public de cet espace est à reconsidérer ainsi que sa sécurité. Dans ce cas, une pente des talus de 1 sur 3 (hauteur sur longueur) est une valeur acceptable et une clôture est à envisager.

Les **espaces d'alignement** peuvent être sollicités avant les bassins exutoires de taille plus grande. Ces espaces, traités sous forme de noues ou de fossés, peuvent difficilement admettre des hauteurs d'eau supérieures à environ 0,30 m. Il en est de même pour les petits espaces de détente que l'on trouve dans un lotissement, généralement appelés « espaces de voisinage ».

Espaces revêtus

Ce sont les espaces publics en béton ou en enrobés et, principalement, les terrains de sport en dur (courts de tennis, terrains de basket ou équivalents...) et les parkings. Pour ces derniers, on peut envisager des hauteurs d'eau n'excédant pas le bas de caisse d'une voiture, soit environ 0,30 m. De plus, à l'instar des bassins en eau, on trouve maintenant fréquemment des parkings

munis de structures-réservoirs pour y stocker les eaux du réseau pluvial, aménagés en surface pour stocker le surplus engendré par une pluie exceptionnelle.

A titre d'exemple, pour un parking relativement plat, le stockage en surface de ce surplus, pour une pluie centennale, n'apporterait qu'une lame d'eau de 0,05 à 0,08 m.

Quant aux terrains de sport en dur, à condition qu'ils soient aménagés en ouvrages de rétention (avec éventuellement des murets périphériques), des hauteurs de 0,50 m, voire 1 m, peuvent être envisagées. L'entretien peu contraignant de ces espaces n'induit pas de limite en hauteur comme dans le cas des espaces verts. Ils pourront être sollicités à partir d'une période de retour de 2 à 5 ans.

IV.12 - UTILISATION DE LA VOIRIE

Avant l'apparition des réseaux, les rues étaient conçues pour évacuer au mieux les eaux pluviales (et les eaux usées par la même occasion) vers des points bas souvent situés à l'extérieur de la ville ; les écoulements transitaient généralement par l'intermédiaire de caniveaux centraux et les seuils d'habitation étaient protégés par une ou plusieurs marches ; nos voies actuelles ne sont ni conçues ni orientées par rapport aux capacités hydrauliques qu'elles pourraient offrir.

Les possibilités d'utilisation de ces infrastructures pour la collecte et le stockage des EP dépendent du classement des voies en fonction du trafic (Cf.: guide général de la voirie urbaine) :

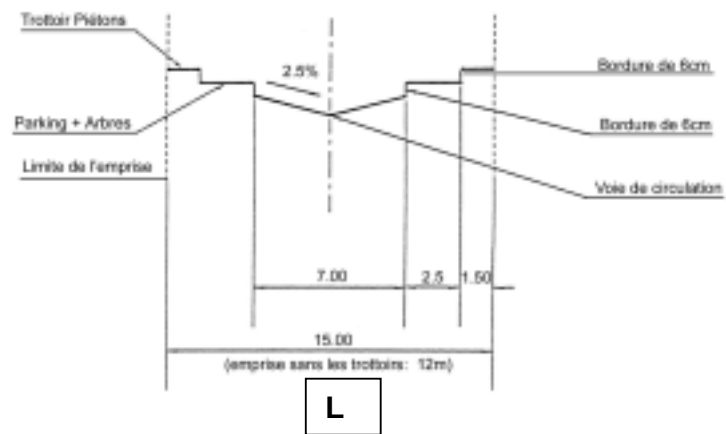
↳ **Les voies de transit et artérielles**, relient les villes entre elles ou les quartiers entre eux, et peuvent donc difficilement admettre un ruissellement autre que celui qui leur est propre.

↳ **Les voies de distribution**, internes aux quartiers, peuvent recevoir des hauteurs d'eau (de l'ordre de 20 cm au centre de la chaussée), du moins momentanément, mais il est important de vérifier les vitesses atteintes (2 m/s maximum). Ce type de voie doit être sollicitable dès l'événement décennal, mais leur conception doit être prévue pour que la circulation soit rétablie dès la fin de l'événement.

↳ **Les voies de desserte**, permettent l'accès aux habitations, et peuvent être totalement inondées avec une hauteur limitée à celle de la bordure de trottoir (en général 0,14 m) afin de préserver la circulation des piétons (cette hauteur pourra atteindre 0,25 m au centre d'une chaussée de 8 m de large).

Ainsi certaines voies pourraient être sollicitées dès l'événement décennal et jusqu'au centennal. Au-delà (épisodes plus rares), on peut admettre que l'eau puisse atteindre le seuil des maisons (situé à un niveau supérieur à celui du point le plus haut de la voirie pour disposer d'une sécurité supplémentaire).

A titre d'exemple, le profil ci-dessous permet d'évacuer une capacité C de près de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ avec un remplissage au niveau de la 2^{ème} bordure de trottoir et une pente de 1 %.



IV.2 CONCEPTION DE L'AMENAGEMENT

IV.21 ESQUISSE DE L'ORGANISATION DE L'ESPACE

L'organisation de l'espace pourrait s'appuyer sur les principes suivants :

- orienter la voirie secondaire de l'opération (ou voirie de desserte) plutôt parallèlement aux courbes de niveau, de manière à favoriser le stockage temporaire des eaux pluviales,
- orienter la voirie primaire (ou voirie structurante) plutôt perpendiculairement aux courbes de niveau pour faciliter l'écoulement des eaux. Ces voies pourront ainsi être rapidement mises en service après l'épisode pluvieux exceptionnel,
- à l'exutoire de cette voirie primaire, positionner des espaces publics suffisamment grands pour pouvoir recevoir les eaux ruisselant sur cette voirie. En fonction de la topographie du terrain, il faudra peut-être prévoir plusieurs espaces, y compris des espaces de délestage qui permettront de diminuer la vitesse de l'eau si celle-ci risque de devenir excessive.

IV.22 OPTIMISATION DES SOLUTIONS D'AMENAGEMENT

Une fois les ouvrages dimensionnés, l'aménageur peut entreprendre l'optimisation de son aménagement. Il doit donc tester des scénarios mettant en balance les coûts, l'efficacité, la fonctionnalité en terme d'urbanisme. C'est là également qu'il affinera les profils, calera les pentes, réduira les vitesses d'écoulement... Ces solutions techniques engendreront des prescriptions qui devront être reprises dans le règlement de la zone (cotes de seuil, surbaissés, etc.).

Il faut, en particulier, finaliser la disposition du bâti en fonction des conclusions précédentes, effectuer un traitement paysager des espaces prévus pour le stockage des eaux en tenant compte des capacités de stockage calculées, du type de bassin choisi (en eau, sec ou mixte), et de la fonction complémentaire choisie par l'aménageur, sans oublier la contrainte financière.

IV.23 DISPOSITION FINE DU BÂTI

La forme urbaine peut être organisée de manière à gérer correctement une pluie de période de retour centennale. Néanmoins, il faut encore se projeter plus loin que le centennal et prévoir ce qui se passerait pour une période de retour supérieure. C'est pour cela que la répartition du bâti doit être réfléchie.

La première préoccupation est de fixer un seuil d'habitation. En effet, exiger que celui-ci soit à 0,30 m au-dessus du point haut de la voirie, par exemple, permet d'avoir une marge de sécurité supplémentaire par rapport à un événement d'occurrence exceptionnelle. Lorsque la construction est autorisée en zone inondable, la valeur pourra être supérieure en fonction du risque d'inondation.

Pour la répartition du bâti proprement dite, il faut tenir compte des contraintes d'ordre sociologique. On retiendra que les bâtiments publics à risques devront être placés aux endroits du lotissement qui seront les derniers atteints par une inondation. Dans cette catégorie, on peut citer les équipements liés aux secours, les hôpitaux, les écoles, les maisons de retraite...

L'habitat collectif ne semble pas trop vulnérable car il faut souvent monter quelques marches avant d'accéder au seuil du hall d'entrée. Pour plus de sécurité, il suffirait de n'autoriser les logements qu'à partir du premier étage.

IV.24 TRAITEMENT PAYSAGER

Il s'agit ici du traitement paysager des espaces publics destinés au stockage du ruissellement pluvial. Ce travail est du ressort des architectes urbanistes qui disposent de solutions diverses

pour les intégrer au mieux à l'habitat. C'est la garantie pour que la multi-fonctionnalité de ces espaces soit assurée. La contrainte financière de l'aménageur a, bien sûr, une grande importance à ce niveau.

IV.25 PERENNITE ET ENTRETIEN

L'aménageur doit s'assurer que **toutes les installations prévues pour la gestion du ruissellement pluvial conserveront leur rôle initial.**

Un espace vert prévu pour recueillir les eaux de ruissellement pluvial (que ce soit pour une période de retour de 10 ans ou 100 ans) devrait toujours garder les capacités de stockage et le fonctionnement hydraulique calculés lors de sa conception. Le problème essentiel est l'entretien de ces espaces, en grande partie garant de leur bon fonctionnement hydraulique. Un entretien régulier relève plus d'un problème de culture et de mentalité que d'un problème financier. Il faut souligner à ce sujet que **la double fonction d'un espace** (hydraulique + sports ou loisirs par exemple) **est l'assurance d'un bon entretien**, alors qu'un espace dévolu à un simple stockage peut vite devenir une verrue urbaine par manque d'intérêt de la part des citoyens et, à la longue, de la part du personnel chargé de l'entretien.

IV. 3 CHOIX D'UNE SOLUTION COMPENSATOIRE

A priori, et par principe, il n'existe pas une solution compensatoire donnée pour un type d'opération d'urbanisme.

Sa définition doit prendre en compte les contraintes liées au projet ainsi que celles liées aux différentes solutions compensatoires dont on pourra noter l'interdépendance, à savoir :

- les contraintes techniques : hydraulique, topographique, etc.
- les contraintes sociologiques : insertion dans le site, usage, gestion, etc.
- les contraintes économiques : coût de la solution en investissement et entretien.

Dans le but d'aider à la décision pour le choix de la solution compensatoire la mieux adaptée, un tableau synoptique est proposé, établi en fonction des trois variables (chacune pouvant servir de base de départ pour le choix) :

- les différents types d'urbanisation
- les différentes solutions compensatoires
- les contraintes techniques.

Le coût des solutions à mettre en œuvre pouvant varier suivant le niveau de prestation envisagée, cette contrainte ne sera pas prise en compte ici, mais il est bien évident qu'elle pourra être l'ultime critère de choix entre les différentes techniques répondant aux objectifs de l'opération.

En préalable, il est nécessaire de bien définir chacun des termes utilisés dans le tableau ci-après.

DEFINITION DES TYPES D'OPERATION

➤ **MAISON INDIVIDUELLE** = Bâtiment à usage d'habitation construit sur une parcelle, isolée ou issue d'un morcellement.

➤ **RESIDENCE VERTICALE** = Immeuble à étages comprenant plusieurs appartements.

➤ **HABITATION LOCATION H.L.M.** = Groupement de maisons individuelles réalisées en même temps et conservées pour location par un seul maître d'ouvrage (ex. H.L.M.).

➤ **HABITATION ACCESSION** = Groupement de maisons individuelles réalisées en même temps mais destinées à la vente.

➤ **LOTISSEMENT D'HABITATIONS** = Morcellement d'une parcelle pour la construction de maisons individuelles, celles-ci étant étalées dans le temps. Dans le tableau de choix, il s'agit, pour les systèmes préconisés, de solutions globales à l'échelle du lotissement pour les eaux pluviales « internes » à chacun des lots créés et pour celles issues des voiries. Il est toutefois possible de les dissocier.

➤ **BATIMENT INDUSTRIEL** = Bâtiment à usage industriel, artisanal ou commercial construit sur une parcelle.

➤ **LOTISSEMENT INDUSTRIEL** = Morcellement d'une parcelle pour la construction de bâtiments à usage industriel, artisanal ou commercial.

➤ **DOMAINE PUBLIC VOIRIE** = Création ou élargissement de voirie, parking, etc. sur domaine public.

AIDE AU CHOIX D'UNE SOLUTION COMPENSATOIRE

TYPES DE SOLUTION	TYPES D'OPERATION						
	Maison individuelle	Résidence verticale	Habitation location HLM	Lotissement habitation	Bâtiment industriel	Lotissement industriel	Domaine public voirie
Tranchées d'infiltration (1)	++	++	+ (2)	+++	+ (3)	+ (3)	++ (2)
Chaussées à structure réservoir	+	+++	++	+++	- (4)	- (4)	++ (4)
Bassins secs	- (5)	- (5)	+ (5)	+++	++	++	+
Bassins en eau	- (5)	- (5)	+ (5)	+++	++	++	++
Puits d'infiltration (1)	++	+	+	++	-	-	-
Toits stockants	++	+++	+++	+++	+++ (3)	+++ (3)	-
Noues	-	-	+	+++	-	-	+ (6)

(1): suivant la géologie, la topographie et les textes réglementaires de zonage

(2): en soignant l'entretien et en évitant des pratiques pouvant endommager la structure

(3): uniquement pour les eaux non susceptibles d'être polluées (toit stockant)

(4): problèmes liés aux poids lourds

(5): problèmes liés aux coûts fonciers

(6): concerne les zones à faible circulation.

DEFINITION DES CONTRAINTES PREALABLES

➤ LA HAUTEUR DE LA NAPPE

C'est le paramètre le plus important pour toutes les solutions dont le débit de fuite est assuré par infiltration.

Le niveau le plus haut de la nappe peut être déterminé, soit directement par piézométrie au printemps, soit par observation des signes de stagnation de l'eau dans le sol dans une tranchée d'observation pédologique.

Pour bien fonctionner, les dispositifs d'infiltration doivent se situer en milieu non saturé, dans le cas contraire, les forces de succion deviennent nulles, entraînant la stagnation de l'eau.

➤ LA PERMEABILITE DU SOL

Pour les solutions qui privilégient l'infiltration, une partie ou la totalité du débit de fuite est liée à la perméabilité du sol support (exprimée généralement en m/s). Son évaluation repose sur un test réalisé sur le terrain, à partir duquel on détermine la conductivité hydraulique en milieu saturé. Le test le plus simple et le plus rapide est la méthode de Porchet qui tend à se généraliser : il consiste à creuser des trous, à les remplir d'eau afin d'imbiber parfaitement le sol

puis à mesurer la vitesse de descente de l'eau.

➤ **LA TOPOGRAPHIE DU TERRAIN**

L'incidence de la topographie peut être particulièrement grande lorsqu'on envisage la réalisation de chaussées à structure réservoir. C'est vrai également dans le cas des tranchées ou fossés drainants ou même encore dans le cas des noues.

Pour les fortes pentes, le projet peut ne pas être remis en cause, mais il faudra mettre en place des dispositions constructives permettant d'obtenir de véritables bassins indépendants fonctionnant en cascade.

➤ **POSSIBILITE D'EXUTOIRE SUR LE RESEAU**

Si cette dernière n'existe pas, le choix sera obligatoirement orienté vers une technique d'infiltration. Souvent le rejet s'avère possible mais avec un débit limité, ce qui nécessite des solutions permettant de stocker temporairement l'eau.

➤ **LE FONCIER**

C'est un critère prépondérant en zone urbaine ou péri-urbaine. C'est pour cela d'ailleurs que les techniques classiques de retenue par bassins ouverts disparaissent au profit de solutions permettant une deuxième utilisation de l'espace (parking, voie de circulation, aire de jeu, etc.).

➤ **TRAFFIC : FONCTION DE LA VOIE** (à considérer pour les chaussées réservoirs)

Dans ce cas, la structure est directement liée au trafic..

➤ **CONTRAINTE ESTHETIQUE** (pour les solutions qui comportent des stockages visibles) :

Bassins en eau, Bassins secs, Toitures-terrasses, Noues Fossés drainants.

Le choix sera directement orienté par l'environnement que l'on veut créer.

➤ **ENVIRONNEMENT ET QUALITE DES EAUX**

Pour les solutions compensatoires avec rejet par infiltration dans le sous-sol, il faudra être très vigilant sur ce point et considérer :

- La position et la qualité actuelle de la nappe
- Les usages éventuels
- Les risques liés à la présence d'activités polluantes sur le bassin versant considéré
- Le type de desserte (zone industrielle par exemple) si le projet concerne une voie de circulation.

Dans le cas où le risque de pollution serait mis en évidence, il serait indispensable de prévoir un dispositif de sécurité en tête du système d'infiltration.

➤ **GESTION ET ENTRETIEN**

Il n'existe pas de solution qui ne comporte aucun entretien. On sous-estime trop souvent ce paramètre et de nombreux projets ont été des échecs soit :

- Par le dysfonctionnement des systèmes
- Par un perçu très négatif des riverains ou usagers.

On peut citer le cas des petits bassins de retenue mis en place dans les lotissements et qui, non entretenus, ont leur dispositif de sortie obstrué ou bien encore le cas des noues qui deviennent des zones insalubres avec, en fond, de l'eau stagnante.

➤ **VEGETATION**

Ce paramètre est à considérer sous deux aspects, puisque certaines solutions compensatoires peuvent favoriser la pousse des végétaux (infiltration) mais que ces derniers risquent, par exemple, d'entraîner le colmatage d'un revêtement poreux.

Si le couvert végétal est trop important, on évitera tous les systèmes où l'injection de l'eau se fait par le revêtement au profit des techniques par avaloirs ou caniveaux qui seront équipés de grilles.

Le problème de la chute de feuilles sera à considérer également au moment du choix des dispositifs de régulation des débits qui, pour certains, peuvent s'obstruer trop facilement (orifices

calibrés par exemple).

➤ **ENCOMBREMENT DU SOUS-SOL**

En site urbain ou péri-urbain, l'ensemble des réseaux est souvent enterré et mettre en place un aménagement sous la voirie risque de poser des problèmes importants avec un ou plusieurs des concessionnaires.

Dans tous les cas, il faudra prévoir un accès facile, non seulement aux réseaux principaux, mais également aux raccordements vers les particuliers.

Pour les chaussées-réservoirs avec des matériaux très poreux, il sera nécessaire d'être très vigilant à chaque ouverture de la chaussée pour que, lors de la réfection, la continuité de l'écoulement soit toujours assurée.

➤ **REUTILISATION DE L'ESPACE**

Beaucoup de solutions compensatoires permettent aux surfaces considérées d'assurer une autre fonction, que ce soit de loisir (plan d'eau, aire de jeux...) ou pour la circulation ou le stationnement. Cette autre fonction suppose des contraintes au niveau de l'aménagement, que ce soit d'ordre structurel (chaussée sur matériau alvéolaire par exemple) ou paysager (plantation...).

➤ **SENSIBILITE A L'EAU DU SOL SUPPORT** (paramètre spécifique à la solution chaussée-réservoir)

Si le matériau est susceptible de subir des déformations sous contrainte en présence d'eau, dans la plupart des cas le projeteur sera amené à ne pas retenir une solution parinfiltration sur toute la surface.

Pour une voirie faiblement circulée (lotissement) et une structure sur-dimensionnée pour augmenter la capacité du stockage, l'infiltration reste possible et la mise en place d'un géotextile peut être une bonne réponse à ce type de problème. Le sur-dimensionnement du corps de chaussée impose un surcoût dont le montant sera souvent inférieur aux investissements nécessaires pour une collecte en traditionnel des eaux pluviales.

➤ **LES COUTS**

L'un des intérêts des systèmes compensatoires d'assainissement pluvial réside dans les économies possibles, en particulier à l'aval d'un secteur à urbaniser. Au niveau même d'une opération, assainir sans tuyau ou avec le moins de tuyaux possible sera généralement plus économique pour le Maître d'œuvre. Il est pourtant difficile de généraliser et de comparer telle ou telle solution sans étudier le contexte local de l'aménagement.

En ce qui concerne les lotissements, les expériences montrent que les solutions rustiques sont les plus économiques, parfois délicates à mettre en œuvre, mais qu'elles imposent aussi des coûts d'entretien qui peuvent être assez élevés.

V TRAITEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT

V.1 LES ACTIONS PREVENTIVES

Il s'agit :

↳ d'une part **des mesures qui permettent de réduire la pollution à la source** :

- ☞ les modifications des pratiques locales de nettoyage des rues ;
- ☞ les modifications des pratiques de stockage et ramassage des ordures ;
- ☞ le contrôle de l'utilisation des herbicides et autres produits phytosanitaires ;
- ☞ la promotion des transports en commun ;
- ☞

↳ d'autre part, **des techniques compensatoires à l'imperméabilisation** qui, par le stockage d'un grand volume d'eau au regard de la surface imperméabilisée, permettent, par décantation essentiellement ainsi que par absorption et filtration, de réduire la concentration de la pollution au point de rejet et peuvent éviter, de ce fait, la mise en place d'ouvrages spécifiques de dépollution.

Les différentes mesures réalisées sur sites expérimentaux, que ce soit sur les chaussées réservoirs, sur les tranchées drainantes ou sur les puits d'infiltration, montrent des taux de rétention de pollution très importants compris, suivant les paramètres, entre 80 et 95 %.

Pour les chaussées à structure réservoir, il est difficile de calculer l'abattement par type d'horizon traversé, car les épisodes pluvieux influencent le rendement. Cependant, les valeurs finales au niveau du sol support sont relativement homogènes et tendent respectivement pour le plomb, le zinc, le chrome, le fer, le cuivre, l'aluminium et le métal vers 10 µg/l, 35 µg/l, 0,4 µg/l, 100 µg/l, 15 µg/l, 70 µg/l et 1 µg/l. Ces valeurs sont inférieures aux limites acceptables pour des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.

Pour les tranchées drainantes, on obtient le même type de résultats avec des flux annuels par hectare de 16 kg pour les MES, 34 kg pour la DCO et 0,008 kg de Pb (tranchée drainante Gustave Eiffel à PESSAC – C.E.T.E. Sud-Ouest 1999).

V.2 LES ACTIONS CURATIVES

Si la **décantation** constitue une solution efficace, sa mise en œuvre est difficile car les volumes d'eau à traiter sont considérables.

Pour estimer les volumes de stockage nécessaires à la décantation, il est indispensable de faire référence aux trois types d'effets sur le milieu :

- ❖ effets cumulatifs (il faut limiter la masse annuelle) ;
- ❖ effets de choc (il faut limiter la masse sur les gros événements) ;
- ❖ effets de stress (il faut limiter la fréquence des déversements).

Le tableau ci-dessous (A. BACHOC 1992) permet d'estimer l'efficacité de l'interception des MES pour différents volumes de stockage et de constater qu'il faut disposer d'un stockage compris entre 100 et 200 m³/ha imperméabilisé pour obtenir une bonne efficacité.

VOLUME DE STOCKAGE (m³/ha imper.)	MES % intercepté de la masse produite annuellement	MES % intercepté de la masse produite à l'occasion des événements critiques	Fréquence des rejets résiduels (nombre / an)	
			Rejet moyen	Gros rejet
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

Les autres actions curatives sur lesquelles nous ne reviendrons pas ici consistent à utiliser :

- ♦ le réseau, (stockage en collecteur) à condition qu'il s'y prête sur le plan topographique et qu'il dispose de déversoirs d'orage.
- ♦ pour les réseaux unitaires les stations d'épuration, sous réserve d'un dimensionnement adapté du système épuratoire global (bassin d'orage + station) pouvant aller jusqu'à 5 fois le débit moyen de temps sec.

Les dispositifs « au fil de l'eau » spécifiques à la dépollution

Le système le plus répandu consiste en l'application du principe de la décantation lamellaire : de nombreux appareils préfabriqués basés sur ce principe existent sur le marché : décanteurs, décanteurs lamellaires, débourbeur-déshuileurs, séparateurs à hydrocarbures,....

Ils obéissent généralement à une norme (appareils métalliques, ouvrages en béton) qui est en fait inappropriée aux eaux de ruissellement dont les propriétés sont très différentes de celles fixées pour les essais.

Ces normes fixent 2 classes de séparateurs suivant la teneur résiduelle maximale autorisée en liquide léger : 5 ou 100 mg/l ; il faut bien évidemment retenir la valeur la plus faible (5 mg/l) en cas de mise en place d'un tel dispositif en assainissement pluvial.

De nombreux suivis d'ouvrages ou essais de traitement par décantation lamellaire à contre-courant ont été réalisés sur des effluents de type pluvial strict. Les résultats de quatre expérimentations sont indiqués ci-dessous.

CONDITIONS EXPERIMENTALES

Les principales conditions expérimentales sont décrites dans le tableau suivant :

	BORDEAUX	MASSY 1a	MASSY 1b	TOULOUSE
Durée du suivi	3 mois	4 mois	6 mois	?
Débit admis	Jusqu'à 47 m ³ /h	90 à 190 m ³ /h*	42 à 162 m ³ /h*	6 m ³ /h
Vitesse ascensionnelle	Jusqu'à 47 m/h	46 à 98 m/h	22 à 83 m/h	Jusqu'à 20 m/h
Surface de séparation	8,4 m ²	50 m ²	50 m ²	2,5 m ²
Mode d'alimentation des lamelles	Contre-courant	Contre-courant	Contre-courant	Contre-courant
Gestion des boues	Extraction automatique des boues en excès	Une à deux opérations de nettoyage sur la durée du suivi	Reprise automatique par pompage des boues en excès (pompe péristatique à variateur de vitesse)	Boues décantées raclées en permanence, puis extraites
Pompage amont	Oui (pompe à débit variable)**	Oui (pompe à débit variable – débit max. 70 l/s)	Oui (pompe à débit variable – débit max. 70 l/s)	Non

* Débit moyen pondéré sur la durée de l'échantillonnage

** Débit de pompage constant pour un même événement pluvieux

LES RENDEMENTS OBSERVES

Les rendements observés sur le site de TOULOUSE sont compris entre 32 et 86 % pour les MES et entre 26 et 54 % pour la DCO. Ces résultats ont été obtenus pour une vitesse de séparation au maximum égale à 2,6 m/h.

Sur MASSY 1a, pour des vitesses de séparation moyennes de 1,8 à 3,8 m/h, les rendements ont varié de 15 à 50 % pour les MES et de 2 à 59 % pour la DCO.

En ce qui concerne MASSY 1b, les rendements ont été respectivement compris entre 18 et 74 % pour les MES et entre 26 et 69 % pour la DCO pour des vitesses de 0,8 à 3,2 m/h.

Dans le cas de BORDEAUX, des rendements compris entre 22 et 64 % sur les MES ont été observés.

Pour les hydrocarbures totaux, les rendements observés restent de l'ordre de 50% (en moyenne annuelle) ; lors de certains épisodes pluvieux, ils peuvent être négatifs du fait du ré-entraînement de particules précédemment déposées.

La décantation lamellaire simple, si elle n'est pas adaptée au traitement d'effluents peu pollués, n'en reste pas moins un procédé intéressant pour réduire la pollution d'origine pluviale, lorsqu'elle atteint un niveau significatif. Cette dernière observation montrant le peu d'intérêt qu'il y a de prévoir un décanteur lamellaire en sortie d'un bassin de retenue. En effet, compte tenu du mode de dimensionnement des bassins, leur efficacité sera toujours plus grande que celle du lamellaire en terme de taille des particules piégées. Le lamellaire est alors inutile.

Remarque : il existe, aussi depuis quelques années, des systèmes complémentaires physico-chimiques par coagulation – floculation ; ces derniers restant réservés à des cas très particuliers (apports très pollués et milieux récepteurs très sensibles) ne sont pas abordés ici.

VI SOLUTIONS COMPENSATOIRES : FICHES DE CAS

(voir pages suivantes)

LES TOITS STOCKANTS

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES

Cette technique est utilisée pour ralentir le plus tôt possible le ruissellement, grâce à un stockage temporaire de quelques centimètres d'eau de pluie sur les toits le plus souvent plats, mais éventuellement en pente de 0,1 à 5 %. Le principe consiste à retenir, grâce à un parapet en pourtour de toiture, une certaine hauteur d'eau, puis à la relâcher à faible débit. Sur toits plats, le dispositif d'évacuation est constitué d'une ogive centrale avec filtre, raccordée au tuyau d'évacuation et d'un anneau extérieur, percé de rangées de trous dont le nombre et la répartition conditionnent le débit de décharge ; sur toits en pente, le stockage est également possible, en utilisant des caissons cloisonnant la surface.

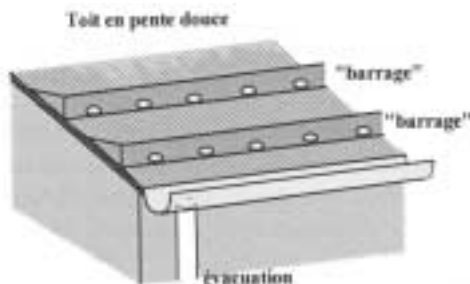
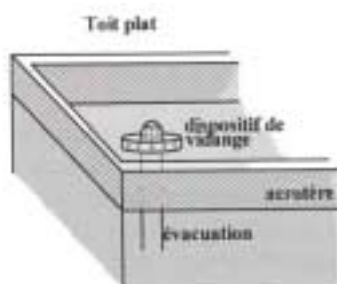
Stockage temporaire et vidanges sont assurés par un ou plusieurs organes de régulation ; Ils peuvent être améliorés par la présence d'une protection d'étanchéité en gravillon généralement d'une épaisseur de 5 cm pour une porosité d'environ 30 %, ou par la présence de terre végétale dans le cas des toits jardins.



Toiture – terrasse
Source CERTU



Aménagement en décroché de toiture-terrasse
sur site hospitalier
Source CETE du Sud-Ouest

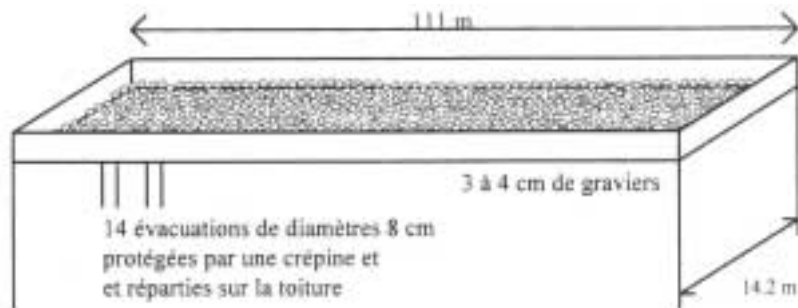


Principe de stockage d'eau en toiture d'après (STU, 1982b)

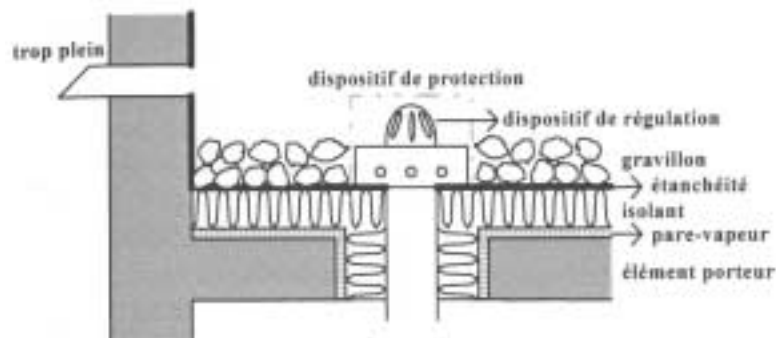
Les avantages spécifiques à cette technique concernent principalement :

- ♦ l'intégration de façon esthétique à tous types d'habitats
- ♦ un procédé de stockage immédiat et temporaire à la parcelle
- ♦ pas d'emprise foncière
- ♦ sa mise en œuvre ne demande pas de technicité particulière par rapport aux toitures traditionnelles, mais sa réalisation doit être soignée
- ♦ la diversité de traitements : en herbe, avec un matériau (bois), ...

Il faut noter que cette technique n'entraîne généralement pas de surcoût par rapport à une toiture traditionnelle mais elle nécessite une réalisation très soignée, compte tenu des problèmes d'étanchéité et un entretien régulier. En effet, la surcharge due au stockage de l'eau n'est pas supérieure à celle qui doit être prise en compte au titre de la « surcharge neige ».



Exemple d'une toiture terrasse du bassin versant d'Aix en Provence



Exemple de constitution d'une toiture terrasse stockante

POUR UNE BONNE RÉALISATION

Compte tenu notamment des problèmes d'étanchéité pouvant être provoqués par la présence d'eau sur le toit, il est impératif de respecter plusieurs conditions nécessaires à l'utilisation de cette technique :

CRITÈRES À VÉRIFIER	
LA PENTE	Le toit doit être en faible pente, inférieure à 5 %, pour une plus grande efficacité.
LA STABILITÉ	Sur construction existante, la vérification de la stabilité est incontournable compte tenu de la surcharge d'eau.
L'ÉTANCHÉITÉ	- La mise en œuvre de l'étanchéité doit être particulièrement soignée ; le revêtement doit être rigoureusement conforme aux prescriptions de la chambre syndicale nationale de l'étanchéité et du D.T.U. 43.1 pour les toitures-terrasses : - pas de revêtement mono couche - revêtement par gravillons préconisé.
LE CLIMAT	Une grande prudence s'impose en raison du climat très variable entraînant des problèmes de gel et de surcharge notamment. En zone soumise à un climat de montagne, c'est-à-dire selon le DTU 43.1, les zones situées à plus de 900 m d'altitude, il faudra choisir une autre technique pour retenir les eaux pluviales. Notons également que « certaines toitures-terrasses de bâtiments implantés à une altitude inférieure ou égale à 900 m peuvent être considérées comme toitures sous climat de montagne en fonction des conditions micro climatiques particulières. Les documents particuliers du marché en font la mention » (DTU 43.1, chapitre 1.511).
L'ACCÈS	La toiture doit être inaccessible aux piétons et aux véhicules.
L'USAGE	Les toitures-terrasses techniques telles que définies dans l'article 1.533 du DTU 43.1 ne peuvent pas être utilisées pour la rétention des eaux pluviales.*

* Les toitures-terrasses pouvant comporter des installations techniques telles que chaufferies, dispositifs de ventilation mécanique contrôlée, aéroréfrigérants (conditionnement d'air), dispositifs permettant le nettoyage des façades, locaux de machineries d'ascenseurs, de monte-charge, capteurs solaires.

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

Si les conditions d'application vues dans la fiche précédente sont réunies, alors, le dimensionnement se fera en suivant les étapes successives présentées dans la figure ci-dessous :

1 - Choisir les éléments constitutants de la toiture Les dimensionner sur le plan mécanique



2 - Réaliser l'étude hydraulique

- Evaluer le nombre de descentes en se référant au DTU 60.11
- Evaluer la hauteur d'eau à stocker pour permettre une bonne régulation tout en assurant la résistance mécanique de l'ouvrage.



3 - Dimensionner les dispositifs de vidange

Les fournisseurs de ces dispositifs donnent les débits pouvant être évacués; sinon, appliquer les formules classiques d'hydraulique.

- *Peut-on équiper une maison individuelle d'une toiture-terrasse ?*

Cette couverture est plutôt préconisée pour les bâtiments industriels, parfois pour les immeubles, mais il est possible de l'appliquer isolément, par exemple lorsque les règlements d'urbanisme imposent à une parcelle un débit de rejet limité. Un particulier peut hésiter à la réaliser car elle entraîne un léger surcoût (étanchéité soignée, structure pouvant supporter des surcharges), parce qu'il n'a pas l'habitude d'en voir dans son proche environnement, et peut-être aussi pour des questions d'assurance relatives aux dégâts des eaux (dus à la défaillance de l'étanchéité).

- *Pourquoi une technique alternative en hauteur ?*

Pourquoi pas ? Pour stocker l'eau le plus tôt possible et la réguler plus aisément. Parce qu'un facteur important d'imperméabilisation est l'implantation des bâtiments et que la toiture-terrasse est une possibilité supplémentaire. Aussi parce que les toitures traditionnelles, lors de fortes pluies, font souvent office de toits stockants en raison du mauvais entretien des dispositifs de descente d'eau, alors autant les concevoir initialement dans ce but, tout en se gardant la possibilité de réaliser un puits en descente de gouttière.

- *Quelles nuisances occasionnent-elles ?*

Si le stockage de l'eau est de longue durée, il faut craindre une prolifération d'insectes, et des odeurs. Les eaux reçues sont généralement peu polluées, néanmoins des risques de pollution existent soit à cause des produits chimiques utilisés pour le jardinage dans le cas de toit jardin, soit à cause du lessivage de la zone de stationnement dans le cas de toit parking.

QUESTION SUR L'ENTRETIEN

- *Quel entretien ?*

La Chambre Syndicale Nationale de l'Etanchéité recommande au minimum deux visites par an : en fin d'automne, pour vérifier que les feuilles des arbres n'ont pas obstrué les descentes, et en début d'été, afin de contrôler le bon fonctionnement des dispositifs de régulation.



Centre
d'Etudes Techniques
de l'Équipement
du Sud-Ouest

LES CHAUSSEES A STRUCTURE-RESERVOIR

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES SPECIFIQUES



**Parking réservoir et pavés drainants
de la zone d'activité du Phare (33)
Source CETE du Sud-Ouest**

Une chaussée à structure réservoir supporte, comme toute chaussée, la circulation ou le stationnement de véhicules ; elle est aussi un réservoir pour les eaux de ruissellement : la rétention d'eau se fait à l'intérieur du corps de la chaussée, dans les vides des matériaux.

L'eau est collectée, soit localement par un système d'avaloirs et de drains qui la conduisent dans le corps de chaussée, soit par infiltration répartie à travers un revêtement drainant en surface, enrobé drainant ou pavé poreux.

L'évacuation peut se faire vers :

- un exutoire prédéfini
- un réseau d'eau pluviale
- l'infiltration, sachant que cette solution ne peut pas être seule.



**Contraste entre une chaussée classique
et une chaussée drainante
Source INSA de Lyon**

Les avantages spécifiques à cette solution concernent principalement :

- l'insertion très facile en milieu urbain sans consommation d'espace
- diminution du bruit de roulement si le revêtement de surface est un enrobé drainant
- amélioration de l'adhérence
- piégeage de la pollution
- alimentation de la nappe.

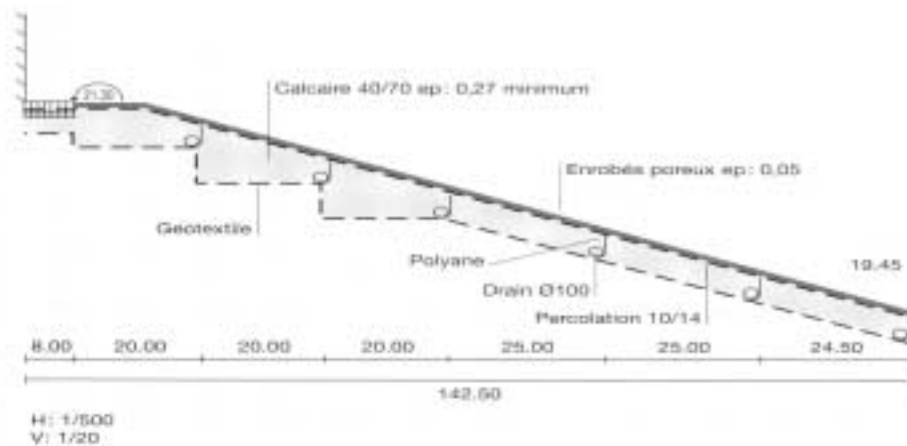
Les inconvénients sont éventuellement liés au risque de pollution de la nappe (pollution accidentelle) et au colmatage lorsque l'on utilise des enrobés drainants, sans autre solution de réception-injection.

POUR UNE BONNE RÉALISATION

PARTIES ET FONCTIONS DE LA CHAUSSEE	CRITÈRES À VÉRIFIER
LA STRUCTURE - RÉSERVOIR	• La pente du terrain : - Trop importante, elle peut provoquer une accumulation de l'eau dans les points bas et son débordement sur la chaussée ; elle réduit aussi la capacité de stockage dans le matériau poreux ; on peut mettre en place des cloisons ou augmenter l'épaisseur du matériau pour améliorer cette capacité de stockage. - La pente est dite « importante » à partir de 1 %. On retiendra qu'il est possible de réaliser des chaussées à structure réservoir jusqu'à des pentes de 10 % (ZAC de Verneuil-sur-Seine - 78). - Inversement, sur terrains plats, il n'y a pas de risque de débordement, mais la durée de vidange peut être trop longue ; il est souhaitable de donner de légères pentes (de l'ordre de 1 % en profil en travers et au minimum 0,3 % en profil en long) au fond de la structure poreuse pour éviter les stagnations locales d'eau.
LA COLLECTE Revêtement compact Revêtement drainant	- Il n'y a pas de contrainte particulière à la mise en place d'avaloirs et de drains. - Le trafic : les expériences : - rocade bordelaise, - boulevard périphérique parisien et autres rocades, montrent que l'enrobé drainant peut supporter un trafic lourd s'il est correctement dimensionné. A l'opposé, pour les faibles trafics, où la capacité d'autocurage est limitée, des compositions d'enrobé drainant très ouvertes permettront un entretien efficace. - L'enrobé drainant est à proscrire : . dans les virages serrés et giratoires à cause d'efforts de cisaillement trop importants, . pour les voies où il y a de gros apports d'eau en provenance de bassins versants ruraux.
L'ÉVACUATION	• La perméabilité du sol : de 10^{-5} à 10^{-3} m/s, elle permet la sortie de l'eau par infiltration dans le sol support. Avec des perméabilités plus faibles, la technique reste intéressante mais il faut y associer une évacuation régulée vers le réseau public ou le réseau hydrographique superficiel afin d'assurer une vidange en 2 jours maximum. • La sensibilité du sol support à l'eau : le sol peut perdre ses caractéristiques mécaniques en présence d'eau dans certains cas, le dimensionnement de la structure de la chaussée pourra pallier ce défaut (voir le chapitre « dimensionnement »). • La profondeur de la nappe : le sol situé entre le réservoir et la nappe jouant le rôle de filtre, une épaisseur minimale peut être fixée par les services d'hygiène locaux. Une infiltration avec une nappe affleurante nécessite des mesures de protection supplémentaires. • Lorsque le risque de pollution accidentelle ou diffuse existe, il faudra prévoir des dispositifs d'épuration en amont de l'infiltration dans le sol. Lorsque le risque de pollution est fort, l'infiltration est à proscrire ; la sous-couche sera protégée par une géomembrane et l'évacuation de l'eau se fera vers un autre exutoire. • Le règlement qui limite ou interdit l'infiltration : périmètre de protection des eaux pour baignade ou alimentation en eau potable.

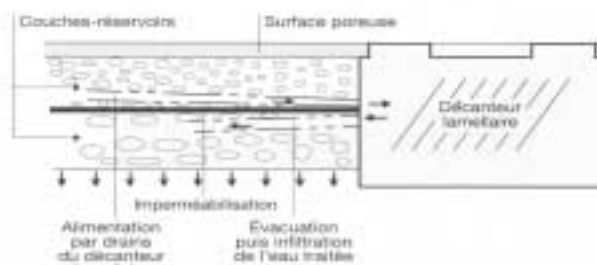
Enfin, pour en assurer la pérennité, il est important d'informer les usagers des principes de fonctionnement de la chaussée à structure réservoir et des règles minimales à respecter, telles que :

- ne pas rejeter d'eaux usées ni polluées dans des avaloirs assurant la diffusion des eaux de pluie dans ces structures,
- ne pas entreposer de terre ou de matériaux pulvérulents sur des revêtements drainants.



Pour augmenter la capacité de stockage dans le matériau poreux, on pourra mettre en œuvre une chaussée à structure réservoir en cascade à l'aide de cloisons et de surépaisseur.

Pour augmenter la capacité de stockage dans le matériau poreux, on pourra mettre en œuvre une chaussée à structure réservoir en cascade à l'aide de cloisons ou de surépaisseur



Face au risque de pollution accidentelle, des dispositifs d'épuration et de prétraitement doivent être installés. Par exemple, une géomembrane permet d'isoler la structure réservoir du sol : une série de drains collecte les eaux en fond de réservoir et les conduit vers des décanteurs, une autre série part de ces décanteurs pour amener l'eau sous la géomembrane, à débit régulé, afin qu'elle s'infiltre dans le sol.

Mise en place d'une structure réservoir avec membrane étanche pour protéger le sol.
Source Cete du Sud-Ouest.

Face au risque de pollution accidentelle, des dispositifs d'épuration et de prétraitement doivent être installés. Par exemple, une géomembrane permet d'isoler la structure réservoir du sol : une série de drains collecte les eaux en fond de réservoir et les conduit vers des décanteurs, une autre série part de ces décanteurs pour amener l'eau sous la géomembrane, à débit régulé, afin qu'elle s'infiltre dans le sol.

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

Calcul du volume de rétention nécessaire

Après avoir rassemblé les principaux éléments nécessaires à la conception du projet :

- topographie ,
- délimitation des bassins versants,
- caractéristiques mécaniques et hydrauliques des sols,
- caractéristiques de la nappe ...).

Il faut déterminer le volume de rétention nécessaire.

La structure réservoir de la chaussée se dimensionne selon deux aspects :

- hydraulique et mécanique.

Le dimensionnement mécanique des chaussées à structure réservoir est le même que celui des chaussées classiques. On peut appliquer les règles disponibles dans :

- Chaussées neuves à faible trafic. Manuel de conception (SETRA – LCPC – 1981).
 - Catalogue de structures types de chaussées neuves. (SETRA – LCPC – 1988).
- et surtout le Guide « Chaussées poreuses urbaines » (CERTU 1999).

L'épaisseur de la chaussée est fonction du trafic, du sol support et des propriétés mécaniques des matériaux utilisés. Le dimensionnement se conduit donc en :

- déterminant la classe de portance du sol : de 0 (sol très déformable) à 4 (sol très peu déformable) ; dans le cas de l'infiltration, il faut déclasser la portance d'un rang si le sol est sensible à l'eau ; lorsque le sol support est protégé de l'eau par une géomembrane ou que sa portance ne dépend pas de sa teneur en eau, les règles sont appliquées sans modification :
- choisissant les matériaux
- estimant l'agressivité du trafic lourd.

Le dimensionnement hydraulique aboutit à une épaisseur de matériau à mettre en place pouvant contenir un certain volume d'eau.

- 1 - Evaluer le volume d'eau à stocker en appliquant les règles définies dans le fascicule II.
- 2 - Calculer l'épaisseur de la chaussée à structure réservoir :

Epaisseur de matériau (m) =

$$\frac{\text{Volume d'eau à stocker (m}^3\text{)}}{\text{Porosité du matériau} \times \text{surface de stockage (m}^2\text{)}}$$



A l'issue de ces deux dimensionnements, on retient l'épaisseur du matériau la plus importante. C'est en général celle venant du dimensionnement mécanique.

Choix des matériaux de constitution des structures-réservoirs

En couche de surface, les matériaux utilisés peuvent être perméables ou non.

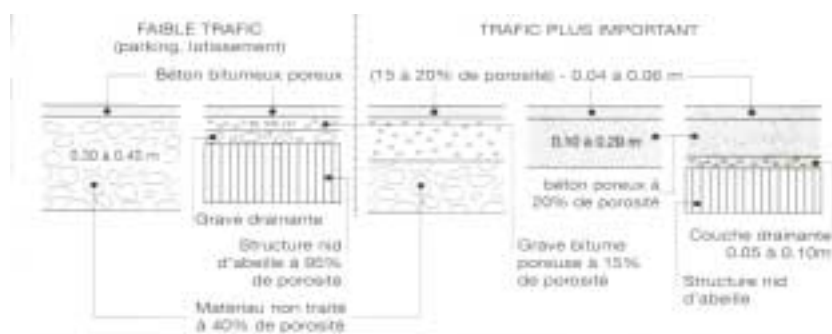
- ♦ Dans le premier cas (revêtement drainant), citons parmi les matériaux perméables, les enrobés drainants, les bétons poreux et les pavés poreux. Les enrobés drainants dont on dispose actuellement, ceux de la nouvelle génération, sont plus ouverts que les anciens enrobés, ce qui diminue la vitesse de colmatage ; l'atténuation sonore reste satisfaisante.

Les pavés poreux sont généralement constitués de béton. Ils sont posés sur une couche de sable grossier pour faciliter leur calage et pour limiter les risques d'infiltration des polluants. Un géotextile doit être placé sous le lit de sable. Leur absorption de surface est de l'ordre de 10^{-3} m/s voire 10^{-2} m/s et leur porosité varie de 20 à 25 %. Leur épaisseur varie de 6 à 12 cm.

- ♦ Dans le second cas (revêtement compact), des dispositifs d'injection des eaux dans la structure poreuse sont nécessaires. Le dimensionnement de l'enrobé étanche se fait de façon classique ; pour les drains, on se reportera aux prescriptions des normes ou des indications situées en début de fascicule.

En couche de base, des matériaux perméables ou non peuvent être utilisés. Les matériaux perméables ne sont nécessaires que si la couche de surface est elle-même perméable ; ce sont alors principalement des graves bitumes poreuses, des bétons poreux et des matériaux concassés sans sable.

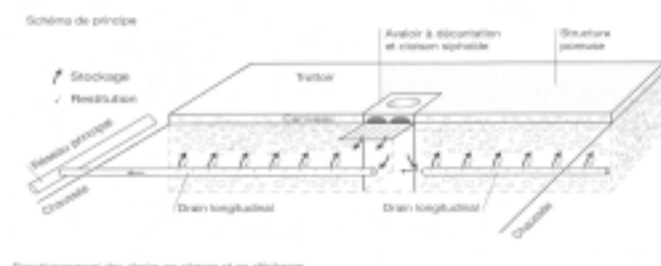
En couche de fondation et en couche de forme, les matériaux ayant les plus fortes porosités seront utilisés afin d'assurer le stockage temporaire des eaux de pluie. Les principaux matériaux disponibles sont les concassés sans sable et les plastiques alvéolaires.



Préparation de la structure-réservoir
à St Mathieu de Trévières (34)
Source DDE 34

Évacuation

Les drains classiques d'évacuation en fond de tranchée doivent fonctionner en charge et en décharge comme indiqué sur le schéma ci-dessous, pour éviter qu'ils ne se colmatent. Il faut réguler et limiter le débit d'évacuation vers le réseau par la capacité des drains, ou, à défaut, avec un système d'ajustage, d'orifice ou de vanne.



Fonctionnement des drains en charge et en décharge.

Source CETE du Sud-Ouest

**Vue de la structure de St Mathieu de Trévières (34)
avec les drains Ø 300 mm
Source DDE 34**



CHRONOLOGIE DE REALISATION

Pour les projets où, pendant la phase travaux, de gros apports de terre peuvent se faire sur les voies, il convient :

- de condamner les avaloirs pendant cette phase et de ne mettre en service la structure-réservoir qu'une fois tous les travaux susceptibles de salir les voies achevés,
- de protéger par une couche provisoire les enrobés poreux, si c'est cette solution qui est retenue pour l'alimentation de la structure réservoir.

ENTRETIEN

Entretien du revêtement

Revêtement perméable

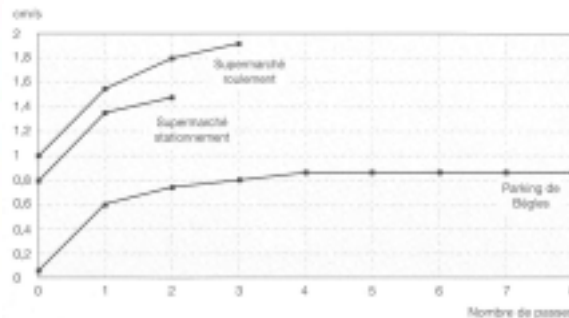
En préventif, on nettoiera la chaussée par une simple aspiration sur toute sa largeur. Ces matériels d'aspiration en grande largeur sont encore peu répandus, mais des adaptations de matériels existants sont possibles. L'usage du balayage est déconseillé, car il entraîne un colmatage plus rapide des vides du matériau.

En curatif, le lavage à l'eau sous haute pression combiné à l'aspiration donne des résultats satisfaisants : l'enrobé retrouve des niveaux d'absorption d'origine, 10^{-2} m/s. L'expérience bordelaise montre que deux passes suffisent et que la très haute pression ($P > 400$ bars) n'est pas nécessaire. Sur l'agglomération bordelaise, les coûts de cette technique ont été évalués entre 0,6 à 0,75 €/m².



Machine de décolmatage.
Source CETE du Sud-Ouest

Machine de décolmatage.
Source CETE du Sud-Ouest.



Evolution de la vitesse d'infiltration en fonction du nombre de passes (haute pression + aspiration)
Source CETE du Sud-Ouest

Revêtement imperméable

Les techniques classiques d'entretien de chaussées conviennent : balayage, aspiration. Nettoyer fréquemment la surface réduira les risques de pollution de la couche de stockage en matériaux poreux.

Entretien de la structure réservoir

Compte tenu de la nature des matériaux constituant la structure réservoir - matériaux concassés, quelques précautions doivent être prises en cas de travaux : notamment, les parois latérales des tranchées ne seront pas verticales et lors du remblayage, il faudra reconstituer la structure poreuse à l'identique ou au moins assurer les écoulements à sa base. D'autre part, afin d'éviter la migration d'éléments fins vers les matériaux poreux de la structure réservoir, il faut éviter de mettre celle-ci en contact avec des matériaux constitués de tels éléments ; pour cela, on peut éventuellement protéger les matériaux poreux par un géotextile.

Entretien des ouvrages hydrauliques

On utilisera les matériels classiques employés pour le curage des réseaux d'assainissement : hydrocureuses, aspiratrices.

LES PUITES

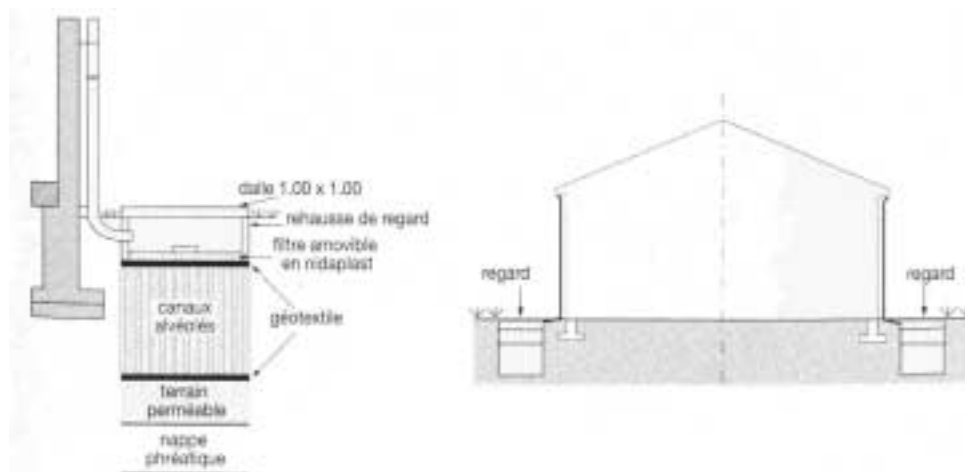
PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES SPÉCIFIQUES

Les puits sont des dispositifs qui permettent le transit du ruissellement vers un horizon perméable du sol pour assurer un débit de rejet compatible avec les surfaces drainées, après stockage et prétraitement éventuels. Dans la majorité des cas, les puits d'infiltration sont remplis d'un matériau très poreux qui assure la tenue des parois. Ce matériau est entouré d'un géotextile qui évite la migration des éléments les plus fins tant verticalement qu'horizontalement. Les puits sont souvent associés à des techniques de stockage de type chaussée-réservoir, tranchée drainante, fossé ou même bassin de retenue, dont ils assurent alors le débit de fuite.

Les avantages spécifiques à cette technique concernent principalement :

- sa simplicité de conception et son coût peu élevé,
- sa large utilisation, de la simple parcelle aux espaces collectifs,

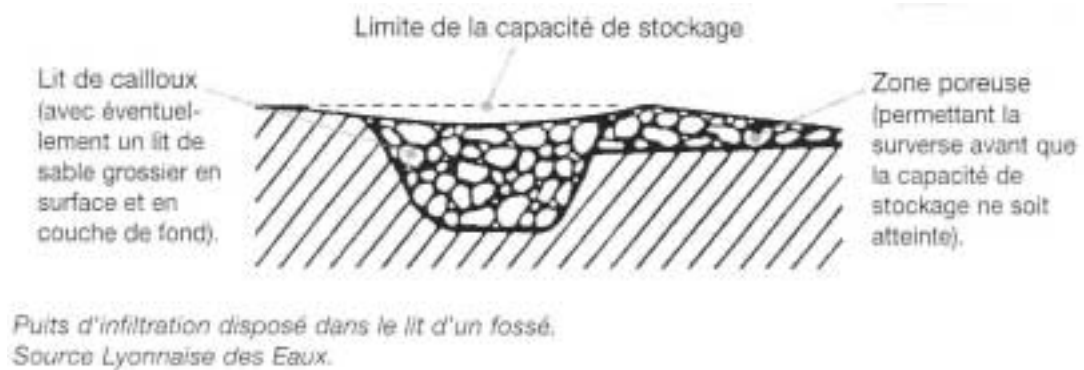
Exemple : Le stockage est adapté aux réalisations individuelles (hors lotissement) (dans ce cas, les puits sont généralement peu profonds). Ils sont souvent utilisés dans des zones pavillonnaires.



Exemple de puits d'infiltration de la Communauté Urbaine de BORDEAUX (CUB)
Source STU

- son entretien est relativement faible,
- il convient à tous types d'usages, sauf usages industriels ou présence de fines,
- il complète les autres techniques.

Exemple : dans le cas de fossés à ciel ouvert, il est possible d'accroître l'infiltration en jalonnant le parcours du fossé de puits filtrants.



Puits d'infiltration disposé dans le lit d'un fossé
Source Lyonnaise des Eaux

- son intégration dans le tissu urbain et la possibilité de réutiliser la surface en parking ou en aire de jeu par exemple
- elle est bien adaptée aux terrains plats où l'assainissement est difficile à mettre en œuvre.

Cette technique comporte 2 inconvénients majeurs :

- le risque de pollution de la nappe
- le colmatage.

POUR UNE BONNE RÉALISATION

CRITÈRES À VÉRIFIER ils concernent tous l'infiltration	COMMENTAIRES
LA COMPOSITION DES EAUX À INFILTRER, LES USAGES DE SURFACES DRAINÉES, LES USAGES DE LA NAPPE.	Ne pas implanter de puits sur des surfaces très polluées ou pouvant l'être par des pollutions accidentelles (parking poids lourds, station d'essence, certaines zones agricoles, aire de stockage de produits chimiques). Il est conseillé de conserver une épaisseur de 1 m à 1,50 m de matériaux non saturés au-dessus de la nappe. Les matières en suspension peuvent entraîner à long terme le colmatage et imposent alors le nettoyage voire le remplacement du massif poreux de surface. L'emploi d'un géotextile à faible profondeur permet de retenir ces matières. Dans le cas d'un puits comblé, même si le colmatage est plus « réparti », le matériau de remplissage lui-même peut être chargé en fines. Un prétraitement peut être mis en place ; on peut aussi profiter d'une mixité de solutions, chaussée réservoir par exemple, cette dernière jouant alors le rôle de filtre préalable.
LE NIVEAU DE LA NAPPE peut limiter l'utilisation des puits	Plusieurs puits sur un même site peuvent augmenter localement le niveau de la nappe et les transformer en puits d'injection.
LA PERMÉABILITÉ DU SOUS-SOL doit être suffisante (supérieure à 10^{-6} m/s), ou bien celui-ci ne doit pas être imperméable sur une trop grande profondeur, ce qui obligerait à implanter des puits trop profonds. Il faut disposer d'un HORIZON PERMÉABLE à une profondeur accessible par les engins de chantier.	En terrain karstique, les puits sont fortement déconseillés, voire dangereux : ils peuvent provoquer des effondrements, des fuites d'eau – donc des transferts de pollution – à travers les diaclases ; un risque de dissolution existe aussi par exemple en terrain gypseux.
Le projet ne doit pas être situé à l'intérieur d'une ZONE À INFILTRATION RÉGLEMENTÉE (périmètre de protection des zones de captage d'eau potable) OU SENSIBLE sur le plan de la qualité et des usages.	L'avis préalable des services d'hygiène (DDASS) ou de la police de l'eau est requis.

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

Conception

Il ne faut pas s'attacher à donner une forme précise au puits qui peut le plus souvent être assez quelconque ; il vaut mieux être attentif au respect des consignes précitées pour éviter les dysfonctionnements.

L'étude du projet doit analyser la nature et la perméabilité du sol et du sous-sol, le débit de rejet autorisé, les études des pluies de projet, ainsi que la qualité et la nature des matériaux utilisés.

Dimensionnement

Il dépend presque uniquement de la perméabilité du sol et du volume à stocker. L'optimisation sera souvent le résultat d'un stockage préalable avec un débit de fuite limité, on est alors ramené à un calcul classique.

L'étude hydraulique permet de déterminer les caractéristiques principales du puits. Un prédimensionnement permet d'étudier les dimensions acceptables, la capacité d'absorption suffisante et la profondeur. Le dimensionnement définitif déterminera son rayon et les dimensions des zones éventuelles de stockage. La démarche à suivre pour le dimensionnement des puits consiste à :

- ♦ déterminer le volume à stocker, en utilisant les prescriptions indiquées dans le fascicule II.
- ♦ calculer le volume géométrique en fonction des dimensions du puits (rayon et profondeur) et de la porosité du matériau dans le cas d'un puits comblé.
- ♦ comparer ces deux volumes :
 - . si le volume nécessaire de stockage est supérieur au volume géométrique, alors il faudra augmenter le rayon ou la profondeur du puits, ou la porosité du matériau, ou le nombre de puits, ou encore créer un stockage supplémentaire ;
 - . si le volume nécessaire de stockage est inférieur au volume géométrique, alors on peut diminuer le rayon ou la profondeur du puits, ou la porosité du matériau.
- *Comment augmenter la capacité de stockage des puits ?*

En associant au puits d'autres types de techniques alternatives (bassin de rétention, chaussée à structure réservoir, tranchée, noue ...). Cette association est intéressante dans le cas d'un sol superficiel imperméable au-dessus d'une couche plus profonde perméable.

QUESTIONS SUR L'ENTRETIEN

- *Quelle est la fréquence d'entretien ?*

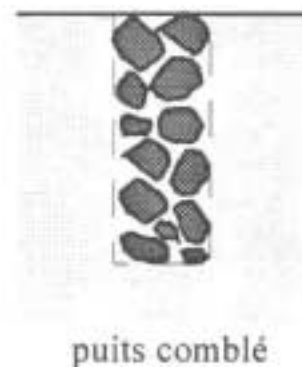
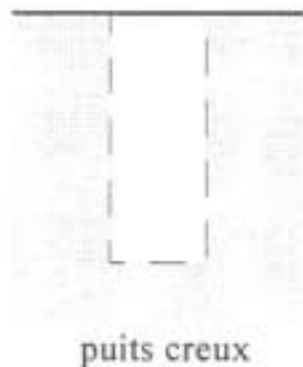
En préventif : environ tous les mois pour minimiser le colmatage :

- vider les chambres de décantation
- nettoyer les dispositifs filtrants
- vérifier le système de trop plein (puits creux) ou le tassement de la terre végétale (puits comblé)
- nettoyer les surfaces drainées.

En curatif : de deux fois par an à une fois tous les cinq ans lorsque le puits ne fonctionne plus et déborde fréquemment. Il consiste en un curage ou un pompage.

- *Que faire en cas de pollution accidentelle ?*

Un système de prétraitement à l'amont du puits peut limiter ce risque. Si une pollution survient, il faudra la pomper après avoir vidé le puits de ses matériaux.



LES NOUES

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES SPÉCIFIQUES



Noue le long d'une voirie desservant
un habitat aéré
Source CETE du Sud-Ouest

Une noue est un fossé large et peu profond, avec un profil présentant des rives en pente douce. Sa fonction essentielle est de stocker un épisode de pluie (décennal par exemple), mais elle peut servir aussi à écouler un épisode plus rare (centennal par exemple). Le stockage et l'écoulement de l'eau se font à l'air libre, à l'intérieur de la noue. L'eau est collectée, soit par l'intermédiaire de canalisations dans le cas, par exemple, de récupération des eaux de toiture et de chaussée, soit directement après ruissellement sur les surfaces adjacentes. L'eau est évacuée vers un exutoire - réseau, puits ou bassin de rétention - ou par infiltration dans le sol et évaporation. Ces différents modes d'évacuation se combinent selon leur propre capacité. En général, lorsque le rejet à l'exutoire est limité, l'infiltration est nécessaire, à condition **qu'elle soit possible.**

Parmi les principaux avantages liés à l'utilisation de cette technique, on peut citer :

- l'utilisation en un seul système des fonctions de drainage des terrains, de rétention, de régulation, d'écêtement qui limitent les débits de pointe à l'aval
- la création d'un paysage végétal et d'espaces verts pour une bonne intégration dans le site
- sa réalisation par phases, selon les besoins de stockage
- son coût peu élevé.

Cette technique comporte deux inconvénients majeurs :

- la nécessité d'entretenir régulièrement les noues
- les nuisances dues à la stagnation éventuelle de l'eau si le débit de fuite est très faible.

POUR UNE BONNE RÉALISATION

PARTIES ET FONCTIONS DE LA NOUE	CRITÈRES À VÉRIFIER
LA ZONE DE STOCKAGE	• La pente du terrain naturel, qui indique la variation de profondeur du fond de noue par rapport au terrain naturel et le nombre de biefs. A la conception, l'existence d'une pente n'est pas un facteur rédhibitoire. Dans le cas d'une pente forte, des cloisons peuvent être mises en place afin d'augmenter le volume de stockage et réduire les vitesses d'écoulement. Dans le cas d'une pente très faible, inférieure à 2 ou 3‰, une cunette en béton devra être réalisée au fond de la tranchée pour assurer un écoulement minimal. A la réalisation, il faut surveiller que la pente du projet soit correctement exécutée tout au long de la noue pour éviter la stagnation d'eau dans les points bas. Celle-ci, source de mauvaises odeurs et de moustiques, est mal perçue par les habitants et dévalorise ce système d'assainissement. • L'érosion des sols Elle dépend de la nature des sols et de la pente transversale de la noue. La conception et l'entretien peuvent limiter l'érosion afin d'assurer la pérennité de la noue et l'acceptation du système par les habitants.
LA COLLECTE	Il n'y a pas de contrainte particulière à la mise en place d'une canalisation ou au ruissellement. Pour le ruissellement, on devra cependant vérifier que les surfaces de ruissellement sont orientées vers la noue.
L'ÉVACUATION Solution classique Infiltration	Le critère déterminant pour rejeter dans un exutoire est la capacité de ce dernier. Les critères à vérifier pour l'infiltration sont les mêmes que pour une chaussée à structure réservoir.



Noue et cunette en béton à Villaboiss
Bruges (33)
Source CETE du Sud-Ouest

DIMENSIONNEMENT ET CONCEPTION

Dimensionnement

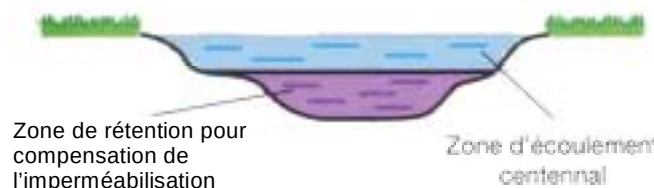
La première étape du dimensionnement consiste à découper le projet en sous-bassins versants, c'est-à-dire à diviser la longueur de la noue en biefs. Les biefs sont des tronçons de noue entre deux points singuliers qui peuvent être des accès à la parcelle, des busages, des croisements... Le dimensionnement des busages (accès à la parcelle...) réglera l'évacuation d'un bief dans un autre.

La méthode qui suit sera appliquée d'abord au bief amont. Celui-ci reprend les eaux de son sous-bassin versant. Il admet un débit de fuite vers le bief à l'aval.

On appliquera ensuite la méthode au bief à l'aval en prenant en compte les eaux de son sous-bassin versant mais aussi le débit de fuite du bief à l'amont. Tous les biefs de la noue sont ainsi dimensionnés les uns après les autres.

En général, le dimensionnement d'un bief se ramène à la définition de la section (profil en travers) lorsque la longueur est imposée par la taille du projet. Sa cote de fond est souvent imposée par le niveau de drainage des sols que l'on souhaite stocker et écouler.

Ce volume, tout comme le dimensionnement qui suit, se scinde en deux pour répondre à la double fonction hydraulique de la noue de stockage d'un événement pluvial retenu et d'écoulement d'un événement plus rare.



Découpage d'une noue en zone de stockage et d'écoulement

- **Dimensionnement d'un volume de stockage**

En assimilant le bief à un bassin de retenue.

- **Dimensionnement du volume d'écoulement**

Il s'agit d'écouler un épisode de pluie plus rare que celui pouvant être stocké dans la noue. Si le stockage est dimensionné pour la compensation de l'imperméabilisation correspondant à une pluie de période de retour décennale à vingtennale et que l'on souhaite pouvoir évacuer par la noue des pluies de période de retour centennale, le débit de pointe à prendre en compte (pour la surface de la « zone d'écoulement centennal », cf. schéma ci-dessus) correspond au débit de pointe centennal auquel on soustrait le débit de la zone de stockage (déjà compté dans la « zone de stockage pour compensation »).

Cela s'explique par le schéma :

Débit à prendre en compte pour dimensionner le volume d'écoulement



Conception

Une fois la noue dimensionnée, il est possible de mettre hors d'eau (pour le risque centennal) des aménagements souhaités en calant leur cote NGF au-dessus de la noue.

La section peut être triangulaire, trapézoïdale. Mais elle peut aussi prendre toute autre forme qui suit les lignes de niveaux, qui s'intègre davantage dans la nature. Sa section n'a pas forcément une forme fixe sur toute la longueur. Elle peut s'évaser par endroits pour inclure un espace vert ou se rétrécir ponctuellement par manque de place.



Noue engazonnée
Opération Belbeuf – 76
Source Foncier Conseil



Noue en construction à Alénia
Lotissement « les Vignes »
Source DDE 66

On peut également faire varier « l'habillage de surface », son environnement, pour créer tantôt un paysage à caractère végétal (pelouses, arbustes et arbres), tantôt à caractère minéral (revêtement de galets).

La forme de la section, les pentes transversales, l'environnement immédiat de la noue peuvent être conçus afin de la rendre accessible aux jeux d'enfants ou à tout autre usage de loisir.

Cette forme évolutive des noues fait qu'elles sont adaptées le long des routes, mais aussi dans un lotissement (exemple de Villaboix à Bruges - 33) où leur valeur esthétique est davantage exprimée. Si les accès aux parcelles sont trop distants, il faudra mettre en place d'autres systèmes en travers pour réduire les vitesses d'écoulement.

Interrogations et problèmes survenant à la conception

- *Comment éviter la stagnation de l'eau au fond de la noue ?*

Au niveau de la réalisation, il convient de vérifier que la pente de projet a correctement été mise en œuvre pour éviter les points bas. Aussi, dès la conception, on peut prévoir la réalisation d'une cunette en béton, qui accélérera la fin de la vidange.

- *Comment limiter les risques d'accidents en période de remplissage ?*

Il faut adapter la profondeur de la noue en fonction des usagers de la zone (enfants ...) et peut-être les avertir de la fonction hydraulique du système. Ainsi celui-ci sera mieux compris, ce qui limitera les accidents.

- *Peut-on planter des arbres dans les noues ?*

Oui, pour aménager la noue en espace vert. Les arbres permettront une meilleure infiltration de l'eau grâce à leurs racines qui aèrent la terre ; ils joueront aussi un rôle dans la régulation de l'eau par l'évapotranspiration. Dans le cas où le temps de séjour de l'eau dans la noue est important, il sera préférable de planter des espèces adaptées aux milieux humides.

- *Comment stabiliser les pentes transversales si elles sont trop fortes ?*

On pourra engazonner les berges en ayant pu au préalable disposer un géotextile, ou réaliser localement des enrochements qui contribueront à donner un caractère minéral à la noue, ou encore installer des dalles de béton-gazon.

- *Que faire en cas de risque de pollution ?*

Lorsque le risque de pollution est trop important, comme le long d'une autoroute, l'infiltration est prohibée. La noue ne sera utilisée que pour sa fonction de rétention. A la réalisation, on mettra en place une géomembrane qui isolera le sol et le protégera de toute pollution. Par-dessus, on placera du gazon pour conserver la valeur esthétique de la noue.

- *Une noue peut-elle se colmater ?*

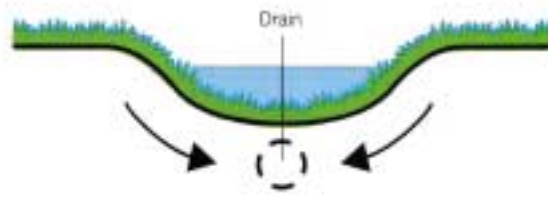
A long terme, la terre végétale constituant la partie superficielle des noues se tasse et diminue ainsi l'infiltration. Mais ce phénomène est très limité et l'infiltration reste toujours possible, comme le rejet dans l'exutoire naturel s'il a été prévu dès le début du projet, ou l'exutoire artificiel s'il a été créé.

QUESTIONS SUR L'ENTRETIEN

- *Comment entretenir une noue ?*

Une noue a besoin d'un entretien préventif régulier pour éviter qu'elle ne se transforme en mare ou en égout à ciel ouvert ; de la fréquence de cet entretien dépend fortement l'image d'environnement de qualité que constitue la noue. Il consiste à tondre la pelouse, assez souvent en été (sauf en zone méditerranéenne), à arroser quand les sols sont secs pour que la végétation ne dépérisse pas, à ramasser les feuilles à l'automne et les débris d'origine humaine, et à curer les orifices.

Pour pallier le risque de bouchage des orifices, un drain peut être mis en place sous la noue ; l'eau s'infiltre dans le fond de la noue puis atteint le drain et s'écoule vers l'exutoire.



Drain placé sous une noue

- *Que faire en cas de pollution accidentelle ?*

En cas d'accident, on limitera la zone polluée en isolant les biefs (fermeture des orifices) et en pompant la pollution déversée.

LES BASSINS SECS ET EN EAU

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES SPÉCIFIQUES

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

Parmi les bassins de retenue, on distingue les bassins en eau, qui conservent une lame d'eau en permanence, et les bassins secs qui sont vides la majeure partie du temps et dont la durée d'utilisation est très courte, de l'ordre de quelques heures seulement.

Les bassins sont situés soit en domaine public, où on leur attribue un autre usage valorisant les espaces utilisés, soit en lotissement, ou encore chez le particulier.



**Bassin en eau du parc technologique de Saint-Priest
Porte des Alpes
Source CERTU**



**Bassin sec de Vitrolles en vélodrome
Source CERTU**

Parmi les principaux avantages liés à l'utilisation de cette technique, on peut citer :

- la création de zones vertes en milieu urbain ou péri-urbain
- une bonne intégration dans le site : les bassins en eau sont des lieux de promenades et d'activités aquatiques ; les bassins secs peuvent être paysagés, aménagés en espaces verts inondables
- une mise en œuvre facile et bien maîtrisée.

Les principaux inconvénients sont :

- le risque lié à la sécurité des riverains pour les bassins en eau
- les éventuelles nuisances dues à la stagnation de l'eau
- la consommation d'espace
- la pollution de la nappe pour les bassins d'infiltration.

POUR UNE BONNE RÉALISATION

PARTIES ET FONCTIONS DU BASSIN	CRITÈRES À VÉRIFIER
BASSIN EN EAU	• Pour satisfaire à l'usage secondaire lié à l'eau (activités aquatiques, promenade), celle-ci doit être d'assez bonne qualité, sans flottants notamment, ni irisation par des produits pétroliers ou huileux ; un réseau séparatif est recommandé. • L'alimentation en eau du bassin doit être prévue pendant les périodes de sécheresse. • Ils sont sensibles aux déversements de pollution par les eaux pluviales (envasement, apport de métaux lourds et de matière organique) et usées (rejets, arrivées diffuses provenant des industriels ou de mauvais branchements de particuliers).
BASSIN SEC	• Leur fréquence d'utilisation doit être assez faible et les durées de submersion pas trop longues. • Les hauteurs d'eau atteintes doivent être faibles. • Pour maintenir le bassin à sec, un drainage général est souvent nécessaire ; il permet d'évacuer les eaux de la nappe, de conserver toute la capacité de l'ouvrage et d'assurer une portance minimale du fond du bassin.
TOUS TYPES DE BASSINS	• Il faut éviter tout rejet provenant de zones de proximité telles que zones d'activités commerciales ou industrielles générant des pollutions ; un compartimentage du bassin ou des protections spécifiques peuvent s'imposer. • La conception doit être soignée. • La gestion doit être rigoureuse pour la sécurité et le confort des riverains. • Le bassin doit avoir un usage secondaire pour que son entretien soit rendu obligatoire et donc que sa pérennité soit assurée, et pour rentabiliser le coût des acquisitions foncières. • Les bassins doivent être réservés aux cas où l'on peut respecter les conditions citées ci-dessus, notamment aux cas où l'on a obligatoirement les moyens et la structure pour une gestion efficace.
LA COLLECTE	Elle ne présente pas de contrainte particulière.
L'ÉVACUATION Bassins de retenue avec ouvrage d'évacuation Bassin d'infiltration	Le critère déterminant pour rejeter dans un exutoire est la capacité de ce dernier. • Le sol doit être suffisamment perméable. • Pour limiter les risques de pollution de la nappe par infiltration, on pourra disposer des systèmes de prétraitement à l'amont du bassin.

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

Conception

Hormis le particulier, qui peut avoir ses propres exigences en sus de celles de débit et de stockage imposées au moment du permis de construire, le concepteur du bassin est amené à des compromis dans le choix du volume de stockage, de la morphologie, d'éventuels équipements de surface et de la localisation.

Ces choix se font en fonction des contraintes physiques (topographie, hydrogéologie, occupation du sol), économiques (foncier, gestion, maintenance), techniques (niveaux de protection retenus, entretien) et environnementales (impacts sur le milieu récepteur, paysage et qualité de vie).

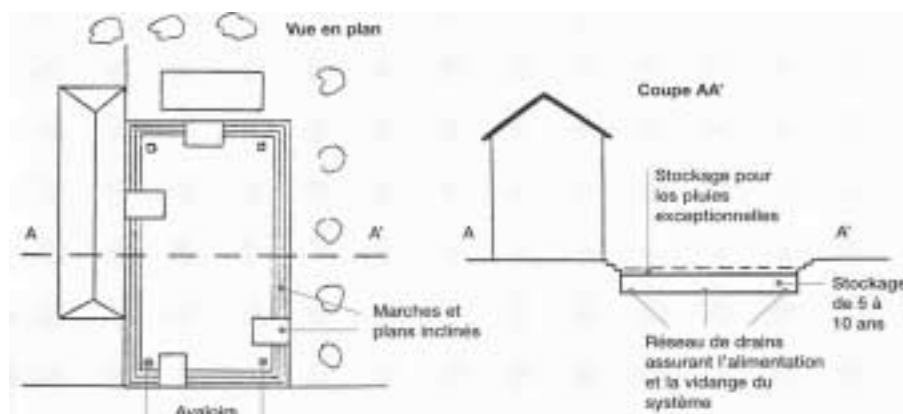
L'usage de surface dépend essentiellement du type d'effluent et de la fréquence d'utilisation.

En fonction de ces multiples critères, on choisira entre un bassin en eau ou un bassin sec, un bassin de retenue ou d'infiltration, un bassin accompagné d'un ouvrage de prétraitement ou non, un seul bassin ou plusieurs bassins en parallèle ou en série. On choisira par exemple :

- un bassin en eau si le sol est imperméable, la nappe pas vulnérable et l'évaporation peu importante
- un bassin revêtu si les eaux de ruissellement sont fortement polluées, à proximité d'une autoroute par exemple
- un bassin en eau si l'on souhaite agrémenter une zone urbanisée avec un plan d'eau
- un bassin sec avec installation de traitement des eaux à l'amont si ces eaux ont ruisselé sur des surfaces industrielles, commerciales ou de parkings
- un bassin sec aménagé en zone de loisirs pour enfants, si le bassin n'est pas sollicité trop souvent (pour des raisons d'hygiène).

- *Ces techniques sont-elles adaptées à un usage contraignant en surface en tissu urbain dense ?*

Au centre ville, la fréquentation et l'occupation du sol sont des contraintes fortes. Certains aménagements sont possibles avec des bassins secs, couplés à des structures-réservoirs. La place ci-dessous est pourvue d'un stockage enterré avec une faible hauteur d'eau pour les événements courants et n'est inondée que lors des pluies exceptionnelles.



**Stockage enterré sous bassin.
Source CETE du Sud-Ouest**

Dimensionnement

Une connaissance approfondie du site est nécessaire : bassin versant, sous-sol, événements pluvieux historiques, environnement.

Le principe du dimensionnement est le même pour un bassin sec ou en eau ; dans le premier cas, le volume disponible pour assurer la rétention souhaitée (compensation à l'imperméabilisation, stockage de crues) est égal à la capacité totale du bassin, alors que dans le second cas, le volume disponible dépend du marnage acceptable.

Pour le dimensionnement hydraulique, on se reportera à la règle indiquée dans le fascicule II.

Infiltration

Le tableau ci-dessous donne une idée des pertes par infiltration et des durées de vidange d'un plan d'eau en fonction de la perméabilité du sol.

NATURE DES TERRAINS	PERMÉABILITÉ VERTICALE m/s	DÉBIT DE FUITE D'INFILTRATION m ³ /jour/ha	DURÉE DE VIDANGE TOTALE D'UNE LAME D'EAU DE 1,50 m
Argiles	10 ⁻⁹	0,86	> 45 ans
Marnes	10 ⁻⁸	8,64	> 45 mois
	10 ⁻⁷	86,40	< 6 mois
Limons	10 ⁻⁶	864	> 20 jours
Sables fins	10 ⁻⁵	8640	> 2 jours
Sables grossiers	10 ⁻⁴	86400	> 4 heures
Roches fissurées	10 ⁻³	864000	< 20 minutes

QUESTIONS SUR L'ENTRETIEN

- *Un bassin temporaire a-t-il besoin d'un entretien régulier ?*

Un bassin sec peut très vite devenir inesthétique dans le paysage urbain, dès lors qu'il est laissé à l'abandon. La végétation de ses abords ou de ses parois en est souvent la cause. Une tonte régulière ainsi qu'un fauchage sont à prévoir pour le bassin enherbé ; un nettoyage type balayage pour racler la surface du bassin revêtu est recommandé.

L'entretien n'est donc pas quotidien mais en rapport direct avec la période de retour pour laquelle le bassin est sollicité, avec l'utilisation de sa surface, et enfin, avec l'efficacité des ouvrages de protection entrée/sortie. Dès lors que le bassin n'a d'autre utilité que de stocker l'eau, il se dégrade visuellement très vite. D'où **l'importance d'un usage secondaire**, en veillant toutefois à ce que celui-ci ne soit pas au détriment de l'usage premier de régulation des eaux pluviales. **Cet aspect doit faire l'objet d'une attention particulière des collectivités locales lors de l'instruction des permis de lotir ou de construire.**



Bassin sec à Ille sur Tet (66)
Source DDE 66



Bassin sec à Pollestres (66)
Source DDE 66

- *Comment entretenir un bassin en eau ?*

- En ramassant régulièrement les flottants et en entretenant les berges.
- En contrôlant la végétation :
 - . en favorisant l'ombrage,
 - . en limitant les arrivées de fertilisants dans le bassin,
 - . en réalisant chaque année un faucardage avec enlèvement des végétaux,
 - . en vidant périodiquement le bassin (tous les dix ans environ) pour entretenir les ouvrages habituellement noyés, pour éventuellement curer le bassin et pour le renouvellement de la masse d'eau.

- *Que faire des dépôts résiduels ?*

Une vérification de l'épaisseur des boues accumulées peut se faire après quelques années de mise en service, puis tous les cinq ans.

L'extraction des décantats est réalisée par voie hydraulique ou à sec. Leur évacuation peut se faire vers un dispositif de traitement pour une filière de valorisation ou, suivant leur composition, vers un dépôt définitif. Une analyse de la qualité des boues permettra de préciser la filière de valorisation.

LES TRANCHEES D'INFILTRATION

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES SPÉCIFIQUES



Tranchée sous enrobé poreux
Source CETE du Sud-Ouest



Tranchée sous terre végétale
Source CETE du Sud-Ouest

La tranchée est une excavation de profondeur et de largeur faibles, servant à retenir les eaux. Elle peut revêtir en surface divers matériaux tels qu'un enrobé drainant, une dalle de béton, des galets ou de la pelouse, selon son usage superficiel : parkings de centres commerciaux, trottoirs le long de la voirie, pistes cyclables ou jardins.

Par un système classique d'avaloirs et de drains qui la tranchée, soit par infiltration répartie à travers un enrobé drainant, pavé poreux, galets ou par des orifices de injection, après ruissellement sur les surfaces

L'évacuation se fait de façon classique vers un exutoire prédéfini : un réseau d'assainissement pluvial en général ou par infiltration dans le sol support.

Selon leur capacité, ces deux modes d'évacuation peuvent se combiner.

Parmi les principaux avantages liés à l'utilisation de cette technique, on peut citer :

- l'insertion facile en milieu urbain avec faible consommation de l'espace
- une bonne intégration au paysage, grâce aux diverses formes et revêtements de surface
- une mise en œuvre facile et bien maîtrisée.

Le principal inconvénient est lié strictement, comme pour toutes les techniques d'infiltration, au risque de pollution de la nappe suite à une pollution accidentelle.

POUR UNE BONNE RÉALISATION

Les principaux critères à vérifier concernent :

- la pente du terrain naturel pour bien positionner soit le cloisonnage, soit l'interception du ruissellement
- les réseaux des différents concessionnaires
- la capacité de l'exutoire
- les critères liés à l'infiltration (perméabilité, profondeur de la nappe, qualité des eaux à infiltrer, usages de la ressource).

CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

Les trois principaux types de tranchées



Tranchée sous-trottoir
Av de la Grande Lande - GRADIGNAN - 33
Source CETE du Sud-Ouest.

Les tranchées le long des voies circulées peuvent être placées sous le trottoir ou en limite de parking. Dans ce cas, même si l'infiltration dans le sol est possible, il faudra se donner la possibilité de rejeter l'eau retenue vers un exutoire, naturel ou artificiel, au moyen d'un drain. En effet, l'expérience a prouvé que l'infiltration en fond de tranchée diminue à cause du phénomène de colmatage. Pour éviter que le drain mis en place ne s'obstrue également, il fonctionnera successivement en charge et en décharge.



Tranchée drainante sous voirie
à Argelès-sur-mer
Source DDE 66



Tranchée autour d'un bâtiment
Source CETE du Sud-Ouest

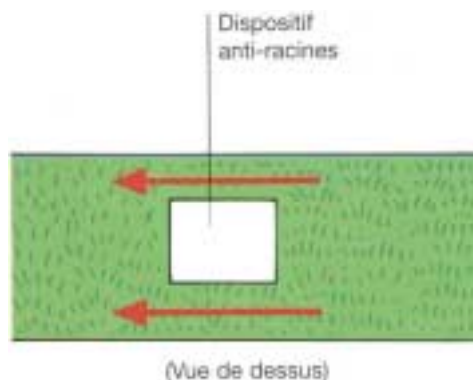
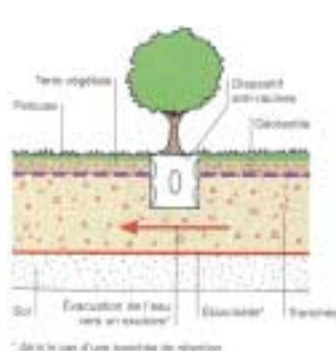
- **Les tranchées autour des bâtiments** : aucun colmatage n'est constaté sur les tranchées suivies par le CETE du Sud-Ouest ; il ne semble pas nécessaire de concevoir le rejet vers un exutoire, l'infiltration suffit.

- **Les tranchées permettant de réinfiltrer les eaux, de toitures** par exemple : la mise en place d'un drain permettra de répartir les eaux dans toute la tranchée et d'utiliser ainsi toute sa capacité de rétention et d'infiltration dans le sol ; ce drain est non débouchant.

CONCEPTION

• Matériau de surface

Les matériaux peuvent être variés selon l'usage destiné en surface, ce qui facilite l'intégration de la tranchée au site : elle peut être invisible sous un parking ou un trottoir en revêtement étanche ou drainant qui sert à la circulation des voitures ou des piétons. Recouverte de galets, elle délimite deux lignes de parkings, mais n'est pas circulée. Une ambiance plus végétale peut être créée avec un tapis de gazon sur un géotextile qui empêche la migration de la terre végétale dans la structure, avec des arbres insérés dans des dispositifs anti-racines.



Réalisation d'une tranchée
avec arbre et
dispositif anti-racines
Source CETE du Sud-Ouest

• Matériau de remplissage

Il est choisi en fonction du rôle mécanique et hydraulique qu'on souhaite lui faire jouer.

- Le rôle mécanique dépend des charges en surface et de leur transmission à travers le matériau de surface. Dans le cas d'un parking avec une tranchée sous la dalle de béton, celle-ci répartissant les efforts, le matériau de remplissage ne requiert pas de qualités mécaniques particulières.

- Le rôle hydraulique a pour but de retenir l'eau dans les vides du matériau. En fonction du volume d'eau à stocker, on pourra choisir un matériau de type grave à 30 % de porosité ou un matériau alvéolaire en plastique à plus de 90 % de porosité.

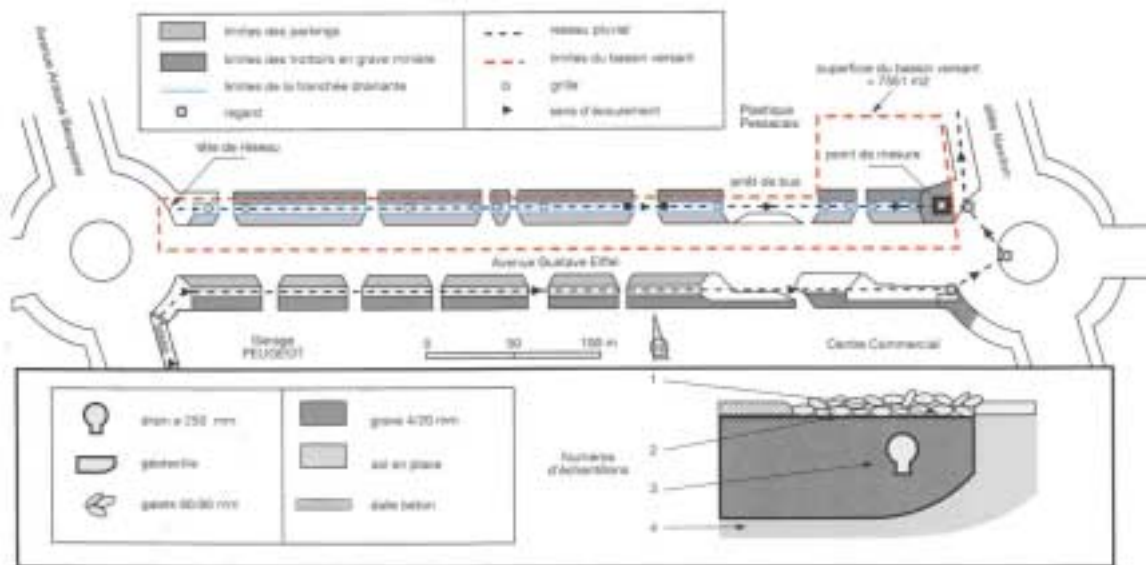
Si ce matériau est inutile pour supporter le matériau de surface remplacé par exemple par des grilles, l'intérieur de la tranchée pourra rester vide. Dans certains cas, le matériau de surface et le matériau de remplissage pourront être les mêmes.

Dimensionnement

La longueur de la tranchée est souvent imposée par le type de projet (tranchée autour d'un ensemble de bâtiments par exemple).

Le volume pourra être déterminé à partir des règles indiquées dans le fascicule II. La section sera définie à partir de ce volume, du matériau de remplissage et des contraintes d'espace. Si les contraintes d'espace sont prépondérantes et fixent les dimensions de la tranchée, le choix du matériau de remplissage permettra d'assurer le stockage du volume d'eau calculé.

Sur le site d'expérimentation Eiffel (Projet de Recherche de la Communauté Urbaine de BORDEAUX et du CETE du Sud-Ouest, Avenue EIFFEL à PESSAC – 33) a été réalisée la tranchée constituée comme suit :



Tranchée drainante.
Source CETE du Sud-Ouest.

- *Quelles pollutions, en quantité et en qualité, retient cette tranchée ?*

Les résultats des analyses chimiques réalisées sur le site Eiffel sont réunis dans le tableau ci-dessous.

Au regard de la norme NFU 44-041 qui indique la teneur maximale en polluants dans le sol après épandage de boues issues de station d'épuration, on constate que :

- les échantillons les plus pollués, notamment par le plomb, et dans une moindre mesure, par le cuivre, le zinc, les hydrocarbures totaux, sont ceux prélevés sous les galets, au-dessus de la première nappe de géotextile
- le matériau de remplissage est faiblement contaminé en métaux lourds
- le sol support sous la seconde nappe de géotextile ne présente pas de pollution notable.

Le rôle de filtre du géotextile est confirmé ainsi que l'absorption sur le matériau de remplissage.

Numéro d'échantillon	M.V. en %	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni	Zn	Fe	Al	Mn	Hc
1	8.7	459	76	1.28	39	16	298	14.2	23	189	-
2	5	420	63	0.78	37	17	232	12.2	17.5	178	284
3	2.6	80.4	20	0.34	36	23	93	15.7	46.8	220	-
4	2.6	34.8	5	0.03	26	9.2	18	4.5	46.7	21	< 0.7
Norme NFU44-041(2)	-	100	100	2	150	50	300	-	-	-	-

Valeurs données en mg/kg de matières sèches, sauf les matières volatiles en % et l'aluminium en g/kg.

L'arrêté du 29 août 1988, qui portait application obligatoire d'une partie de la norme NFU 44-041 sur les boues d'épuration considérées comme matières fertilisantes, a été abrogé par l'arrêté du 2 février 1998, suite à la parution de l'arrêté du 8 janvier 1998 qui fixe des valeurs limites deux fois plus sévères que la norme U 44-041 pour les éléments-traces dans les boues. Les valeurs limites en éléments-traces dans les sols restent inchangées.

QUESTION SUR L'ENTRETIEN

- *Une tranchée nécessite-t-elle un entretien ?*

Oui, pour préserver son bon fonctionnement. Le travail d'entretien consiste à ramasser régulièrement les déchets d'origine humaine ou les végétaux qui obstruent les dispositifs d'injection locale comme les orifices entre bordures ou les avaloirs et à entretenir le revêtement drainant de surface. Le géotextile de surface doit être changé après constatation visuelle de son colmatage.

Pour les questions concernant le nettoyage des avaloirs, des drains et des revêtements drainants, l'action du gel sur la zone de stockage et le revêtement drainant, on se reportera au modèle de la chaussée à structure-réservoir.

VII EXEMPLES D'OUVRAGES ANNEXES

Limiteurs de débit

EXEMPLE 1



Premier Tech
Water France

Limiteur de débit « Nautilo »

Descriptif et Guide d'installation

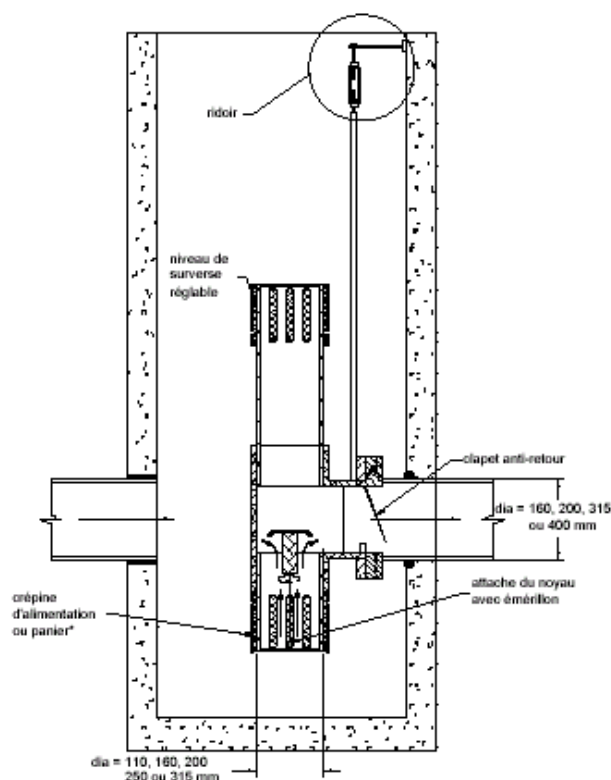
Principe de fonctionnement

Le limiteur de débit pluvial de Premier Tech effectue une régularisation par transit de l'eau évacuée dans une restriction de veine hydraulique, diaphragme circulaire associé à un noyau spécifique d'autocurage et d'ajustement des pertes de charge au marnage.

Description du système

Le Limiteur de débit « Nautilo » est constitué d'une platine de fixation pour regard ou réservoir avec clapet anti-retour et de composants de régulation hydraulique :

- Une alimentation basse protégée par une double crépine;
- Un diaphragme limiteur à noyau mobile;
- Une surverse haute ajustable au marnage d'un réservoir tampon amont, protégé également par une double crépine.



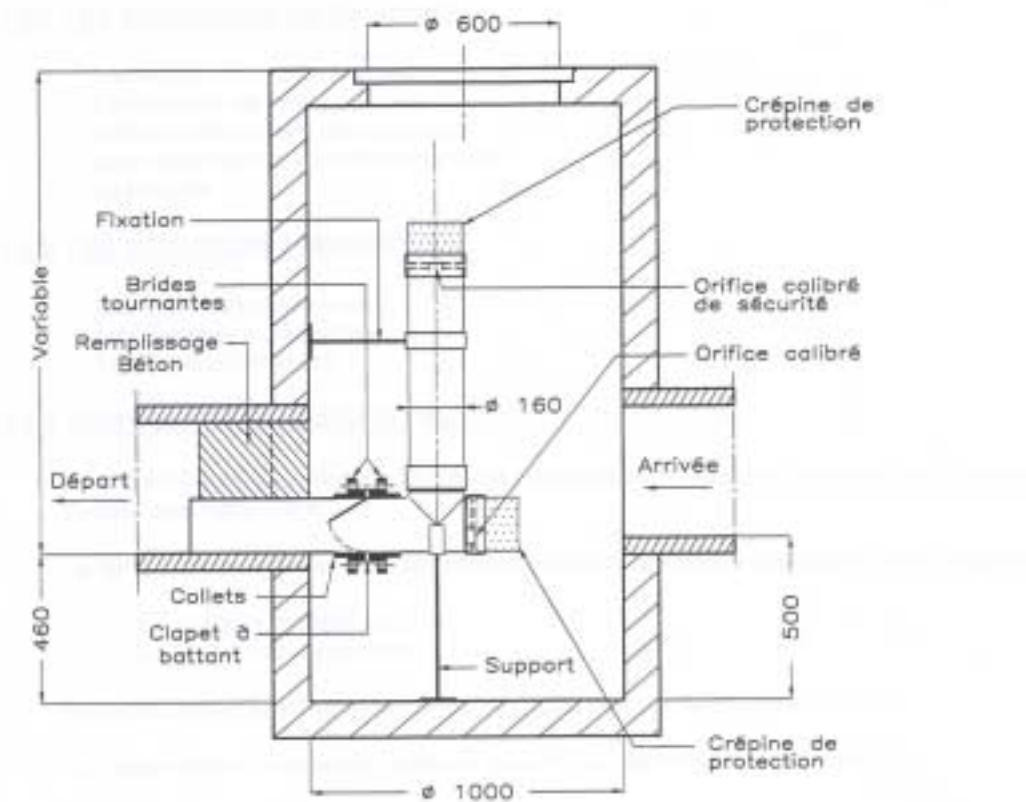
Modèles et caractéristiques

Modèle	Débit		Diamètres		Poids (kg)
	mi-hauteur d'eau à 0,25 m	mi-hauteur d'eau à 0,50 m	corps	sortie	
Type 1	0,4 L/s à 3,0 L/s	0,6 L/s à 4,2 L/s	110 mm	160 mm	10
Type 2	3,1 L/s à 8,9 L/s	4,3 L/s à 12,5 L/s	160 mm	200 mm	15
Type 3	9,0 L/s à 19,4 L/s	12,6 L/s à 27,3 L/s	200 mm	315 mm	22
Type 4	19,5 L/s à 33,2 L/s	27,4 L/s à 46,8 L/s	250 mm	315 mm	27
Type 5	33,3 L/s à 50,3 L/s	46,9 L/s à 71,2 L/s	315 mm	400 mm	32

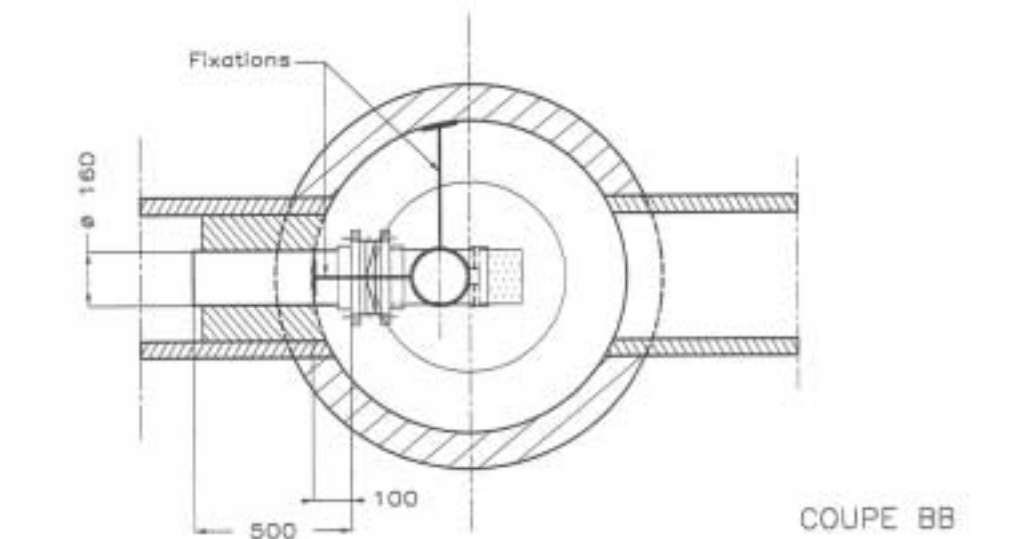
Modèles spéciaux et grands débits (>71,2 L/s) disponibles à la carte.

EXEMPLE 2

Communauté Urbaine de Bordeaux



COUPE AA



COUPE BB

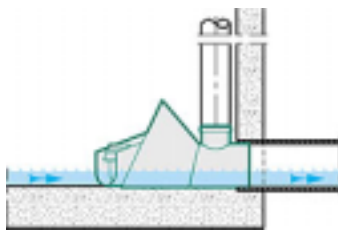
EXEMPLE 3



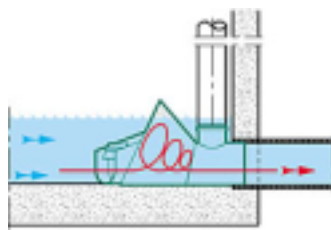
HydroVortex

Le contrôle du débit est assuré par la rotation de l'effluent dans la chambre du régulateur, à faible débit, l'eau s'écoule librement dans la chambre (**Phase 1**). Lorsque le débit augmente, la forme de la chambre imprime un mouvement de rotation à l'effluent, ce qui entraîne un effet de vortex dans la chambre (**Phase 2**). Cet effet de vortex augmente les pertes de charges et permet la maîtrise du débit (**Phase 3**).

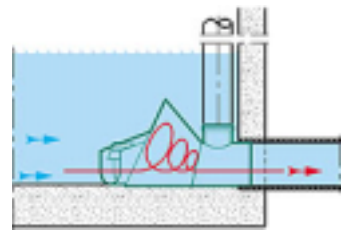
L'effet Vortex (inventé par Mosbaek en 1968) est basé sur une forme particulière du régulateur, qui en cas d'augmentation du débit, imprime un mouvement de rotation de l'effluent, accroît les pertes de charges et permet la maîtrise du débit. Avantages : aucune pièce en mouvement, auto-curage (utilisation EU), section de passage constante, installation rapide, et acier inoxydable.



Phase 1 : Débit par temps sec



Phase 2 : Déclenchement de l'effet Vortex



Phase 3

Réf.	Montage	Installation	Eaux usées	pluviales	Fonctionne	Hauteur d'eau
CY	Amont	Immergé	oui	oui	de 5 à 500 l/s	de 0,5 à 4 m.
CY/D	Aval	Fosse sèche	oui	oui	de 12 à 60 l/s	de 0,5 à 4 m.
CY/DX	Aval	Fosse sèche	oui	oui	de 75 à 350 l/s	de 0,5 à 4 m.
CE/V	Amont	Immergé	-	oui	de 0,5 à 15 l/s	de 0,5 à 3,5 m.
CE/H	Aval	Fosse sèche	oui	oui	de 0,5 à 15 l/s	de 0,5 à 3,5 m.

Régulateur de débit



HydroRégul

Régulateur de débit pour bassin d'orage

Appareil destiné à réguler le débit de fuite en sortie de bassin d'orage, il assure un débit constant quelque soit la hauteur d'eau dans le bassin. **HydroRégul** peut-être installé directement dans le bassin ou posé dans un regard.

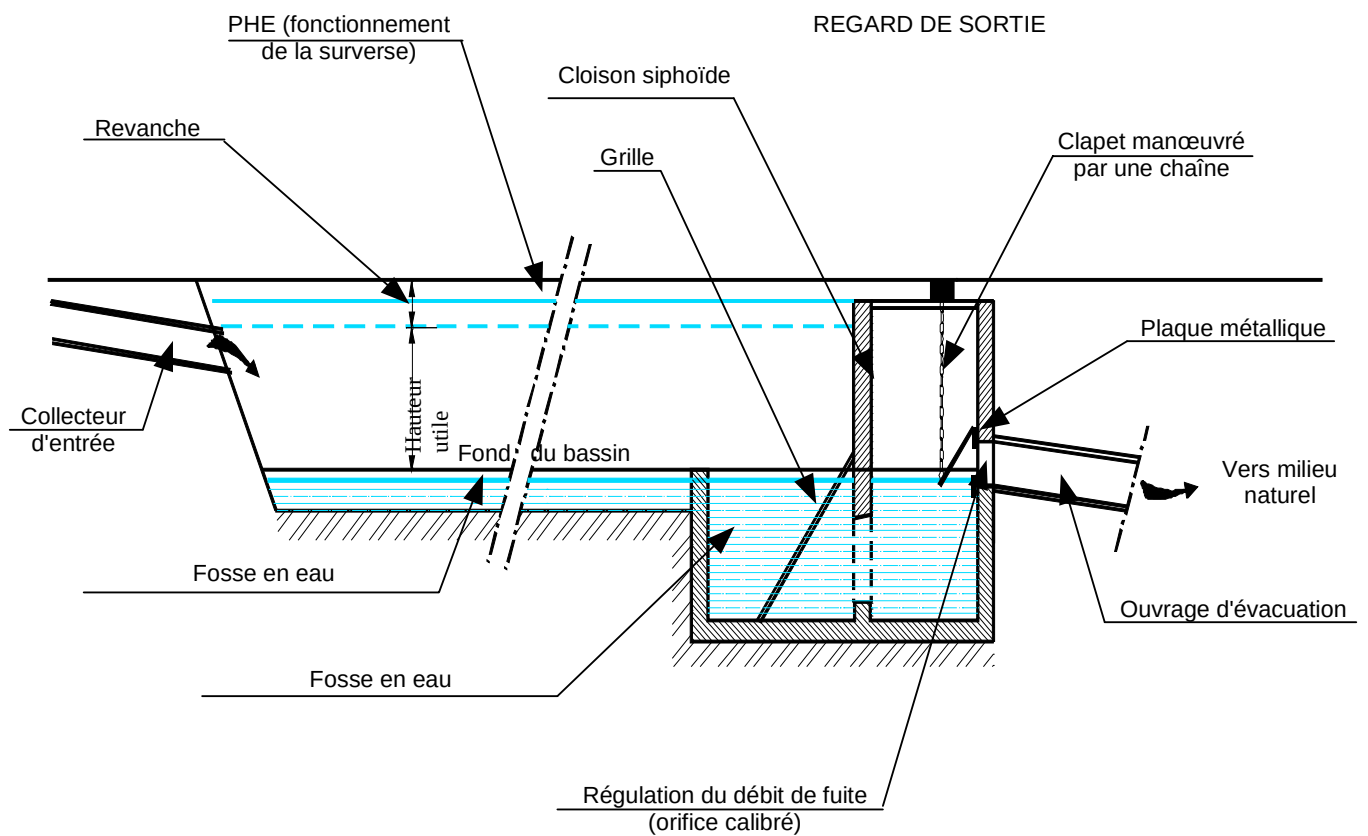
Il est constitué d'une guillotine mobile reliée à un flotteur, la guillotine obture plus ou moins l'orifice de passage en fonction de la hauteur d'eau.



Débit de fuite l/s	4 à 9	10 à 24	25 à 39	40 à 55	56 à 90	91 à 140	141 à 200
Plus hautes eaux	Dn 100	Dn 150	Dn 200	Dn 250	Dn 300	Dn 350	Dn 400
1 m.	RD*1010	RD*1510	RD*2010	RD*2510	RD*3010	RD*3510	RD*4010
1,5 m.	RD*1015	RD*1515	RD*2015	RD*2515	RD*3015	RD*3515	RD*4015
2 m.	RD*1020	RD*1520	RD*2020	RD*2520	RD*3020	RD*3520	RD*4020

COUPE TYPE DE BASSIN

FONCTIONS : - Ecrêtement
 - Décantation des M.E.S.
 - Déshuilage
 - Confinement des pollutions
 accidentelles





Sté AMENAGEMENT PIERRES & EAU 76 Ter, Rue Lionnaise - 49100 ANGERS

GLOSSAIRE

CARACTERISATION DES EVENEMENTS

Décennal (événement) : événement dont la période de retour est de 10 ans.

Intensité de pluie : rapport du volume d'eau tombée pendant une durée donnée sur une surface donnée (en mm/h ou mm/mn).

Période de retour : intervalle de temps moyen séparant deux occurrences d'un événement caractérisé par une variable aléatoire unique ; par exemple , période de retour d'une pluie donnée, caractérisée par son intensité moyenne en un point particulier, sur une durée fixe.

CARACTERISATION DES AMENAGEMENTS

Coefficient d'apport ou de restitution : rapport du volume ruisselé au volume précipité sur un territoire pour un niveau d'événement donné ; prend en compte, outre les superficies strictement imperméabilisées, les apports dus aux surfaces «naturelles» ; augmente pour un même terrain, avec l'occurrence de la pluie considérée; notion intégrant la capacité réservoir d'un sol.

(pris égal au coefficient de ruissellement pour une occurrence de 10 ans, négligeant ainsi les apports dus aux surfaces non imperméabilisées).

Coefficient d'imperméabilisation ou de ruissellement rapport de la superficie strictement imperméabilisée à la superficie totale d'un terrain

Débit de fuite : débit considéré au point de rejet de la superficie desservie

Surface active : superficie théorique caractérisant le degré d'imperméabilisation d'un terrain

HYDROGRAPHIE

Bassin versant : territoire de taille quelconque tel que toute l'eau ruisselée sur sa surface s'écoule vers un point unique, l'exutoire (= bassin hydrographique, impluvium).

Débit d'étiage mensuel : moyenne des débits journaliers du mois d'étiage

Q_{MNA5} ou $Q_{MNA\ 1/5}$: Débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans

Q_{MNA2} ou $Q_{MNA\ 1/2}$: Débit moyen mensuel sec de récurrence 2 ans

Débits d'étiage : débit minimum d'un cours d'eau calculé sur un temps donné en période de basses eaux.

Débit de fuite spécifique : débit moyen restitué à l'exutoire d'un bassin versant, rapporté à sa superficie, pour une occurrence donnée, caractérisant sa capacité de restitution.

Imperméabilisation : action anthropique associée à l'urbanisation et due à la couverture des sols par des revêtements interdisant le passage de l'eau.

Temps de concentration : temps mis par l'eau, sur un bassin versant, pour parcourir la distance entre le point le plus éloigné (en temps d'écoulement) de l'exutoire et ce dernier.

IMPACT :

Ensemble des conséquences, directes ou indirectes, des rejets sur le milieu naturel, les espèces végétales et animales qui y vivent ou en dépendent, les activités qui y sont pratiquées ou qui l'utilisent (usages).

OUTILS ADMINISTRATIFS

PPRi : Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles inondation : document qui délimite les zones soumises au risque inondation et définit des mesures de prévention, protection et sauvegarde des personnes et des biens. Ce plan est arrêté par le Préfet après enquête publique et doit être annexé au PLU (ou POS) ; il vaut servitude d'utilité publique.

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux = outil réglementaire issu de la loi du 3 janvier 1992.

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux = outil réglementaire issu de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et mis en place au niveau des 6 grands bassins hydrographiques français depuis 1996.

OUVRAGES

Ajutage : orifice calibré dont la forme et les dimensions sont choisies de façon à réguler le débit en fonction de la charge hydraulique

Bassin de retenue : ouvrage retenant momentanément des eaux, essentiellement d'origine pluviale. (= bassin de stockage, d'étalement, tampon,...).

Débourbeur-déshuileur : dispositif (généralement préfabriqué) combinant un débourbeur, destiné à retenir les solides les plus décantables et un déshuileur pour retenir graisses, huiles ou hydrocarbures.

Décanteur : ouvrage permettant la décantation des matières en suspension contenues dans l'eau.

Décanteur lamellaire : ouvrage de décantation dans lequel des lamelles parallèles inclinées permettent de multiplier la surface de décantation utile tout en réduisant la surface au sol par rapport à un bassin de décantation classique à flux horizontal.

Déversoir : système installé sur un ouvrage (bassin de retenue par exemple) et permettant d'évacuer l'excédent de débit lorsque le niveau de l'eau dépasse une valeur donnée.

Limiteur de débit : dispositif destiné à limiter le débit de rejet d'un aménagement.

Orifice : obstruction partielle d'une conduite généralement destinée à contrôler le débit à l'aval.

Régulateur de débit : dispositif permettant de maintenir le débit de fuite à une valeur constante.

POLLUANTS

Charge polluante : masse de polluant transitée en un point pendant une durée donnée (24 h par exemple) ou un événement particulier.

DBO₅ : demande Biochimique en Oxygène à 5 jours = quantité d'oxygène (en mg/l) qu'il faut fournir à un échantillon d'eau pour minéraliser, (par voie biochimique), les matières organiques biodégradables qu'il contient.

DCO : Demande Chimique en Oxygène = quantité d'oxygène (en mg/l) qu'il faut fournir à un échantillon d'eau pour oxyder, par voie chimique, les matières qu'il contient.

MES : Matières En Suspension = matières non dissoutes contenues dans l'eau et maintenues en suspension sous l'action de la turbulence.

P_b : Plomb

DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] MISE des départements 11-30-34-48-66, CETE du Sud-Ouest
Les eaux pluviales dans les projets d'aménagement
Fascicule I : Constitution et instruction des dossiers d'autorisation et de déclaration au titre de la loi sur l'eau
Fascicule II : Guide méthodologique pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement
Fascicule III : Les solutions compensatoires en assainissement pluvial
- [2] AGHTM, 1998. **TSM n° 4 – Dossier : eau pluviale et aménagement**
- [3] AGHTM, 1992 **Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie**
- [4] CEMAGREF, 1977. **Techniques des barrages en aménagement rural. 325 p.**
- [5] CERTU, LCPC, Agence de l'eau, 1998. **Les structures alvéolaires ultra légères (SAUL) en assainissement pluvial**
- [6] CERTU, 1998. **Techniques alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial – Eléments-clés pour leur mise en œuvre. 155 p.**
- [7] CERTU, AIVF, LCPC, 1999. **Chaussées poreuses urbaines**
- [8] CETE de Lyon, . **Guide pour l'étanchéité des bassins de retenue d'eaux pluviales**
- [9] CETMEF, 1995. **Catalogue de défenses de berges**
- [10] CFG, 1987. **Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les voies de circulation provisoire, les voies à faible trafic et les couches de forme**
- [11] CFG, 1991. **Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes. Bagneux, 48 p.**
- [12] CFG, 1998. **Fascicule 12 – Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques**
- [13] CFG. **Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les espaces verts, aires de sports et de loisirs**
- [14] CFG. **Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les systèmes de drainage et de filtration**
- [15] CFG. **Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les aires de stockage et de stationnement**
- [16] CFG. **Recommandations générales pour la réception et la mise en œuvre des géotextiles**
- [17] CHOCAT B., 1997. **Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement**
- [18] Cimbéton, FIB, CERTU, CERIB, LCPC, IVF, 2001. **Aménagements urbains et produits de voirie en béton – Conception et réalisation**
- [19] Cimbéton, **Voiries et aménagements urbains en béton : revêtements et structures réservoir**
- [20] Communauté Urbaine de Bordeaux, 1999. **Les solutions compensatoires d'assainissement pluvial sur la Communauté Urbaine de Bordeaux – Guide de réalisation**

- [21] GRAIE, Agences de l'Eau, LCPC, CERTU, 1994. **Techniques alternatives en assainissement pluvial**
- [22] GRAIE, Le Grand Lyon, Eurydice 92, 1992, 1995 et 1998. **Les nouvelles technologies en assainissement pluvial. Actes de Novatech, 4 volumes**
- [23] SETRA, 1993. **Aide au choix de solutions d'assainissement et de drainage sur routes existantes. Guide méthodologique et catalogue d'ouvrages**
- [24] SETRA, 1997. **Enrobés drainants – Note d'information**
- [25] SETRA, 1997. **L'eau et la route – Dispositifs de traitement des eaux pluviales – Volume 7**
- [26] SETRA/CSTR, LCPC, 1999. **Procédure de certification des géomembranes – Note d'information numéro 107**
- [27] SETRA, LCPC, 2001. **Etanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier – Guide technique en deux volumes**
- [28] SETRA, LCPC. **Exécution des chaussées en béton de ciment**
- [29] STU - Agences de l'Eau, 1994. **Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales.**

NOTES PERSONNELLES