



Guide technique

**Les structures alvéolaires
ultra-légères (SAUL)
pour la gestion
des eaux pluviales**



Les structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) pour la gestion des eaux pluviales

Guide technique

Décembre 2011



Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
14-20, boulevard Newton
Cité Descartes - Champs-sur-Marne
77447 Marne-la-Vallée CEDEX 2

Ce guide technique a été rédigé par un groupe de travail associant :

- des spécialistes du Réseau Scientifique et Technique du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) : CETE, Certu, CSTB, LCPC ;
- des fabricants de Structures Alvéolaires Ultra-Légères (SAUL) ;
- des spécialistes de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Animateur du groupe de travail :

- Nathalie LE NOUVEAU, *CETE de l'Est puis Certu*

Membres du groupe de travail :

- Nadine AIRES, Nicolas NEVEU, *Agence de l'Eau Seine-Normandie*
- Richard FILIPPI, *AS2C*
- Éric VALLA, *Certu*
- Dominique ORDITZ, *CSTB*
- Hubert PERRIER, Aurélie GEROLIN, Michel MONTAUT, *CETE de l'Est*
- Yann NEDELLEC, Julien PERY, Jérôme BIRKLE, *FRANKISCHE*
- Raphaël VITE, *FUNKE*
- Yves BEZAULT, *HAMON*
- Hervé ANTONI, *HAURATON France*
- Jean-Pierre MAGNAN, Bertrand SOYEZ, *LCPC devenu Ifsttar*
- Richard FILIPPI (représentant), *NIDAPLAST*
- Fabien YVAI, Stéphane KUGENER, Guillaume BUFFARD, *NICOLL*
- Fabrice BLANDIN, *POLYPIPE*
- Dominique ANCEAUX, *REHAU*
- Frédéric LAFITTE, *SOGEMAP*
- Olivier LAGARRIGUE, Christian GANDER, Luc MANRY, *WAVIN*

Relecteurs :

Philippe AGENET (Agence de l'Eau Loire-Bretagne), Jean-Daniel BALADES (consultant expert), Michel BENEDETTI (Groupe NGE/EHTP), Florent COTIN (POYRY Environnement), Etienne FAURE (PUM Plastiques), Stéphane PINEY (CETE Normandie-Centre), Robert RAVON (Sodaf Géo Étanchéité).

Certu

Ouvrage réalisé
avec la collaboration
du CERTU

Cet ouvrage est téléchargeable sur le site internet du syndicat STORM :

<http://www.storm-info.org/>

Au 1er janvier 2011, le LCPC (Laboratoire central des ponts et chaussées) a fusionné avec l'INRETS (Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité) pour former un nouvel institut de recherche, l'Ifsttar (décret 2010-1702 du 30 décembre 2010 portant création de l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux). La production de cet ouvrage dans les collections du LCPC intervenant au moment de la fusion, il est fait référence parfois au LCPC, parfois à l'Ifsttar.

Ce document est propriété de l'Ifsttar
et ne peut être reproduit, même partiellement, sans l'autorisation de son Directeur général
(ou de ses représentants autorisés)

© 2011 - LCPC
ISSN 1240-0769
ISBN 978-2-7208-2600-9
DOI/Crossref 10.3829/gt.tmsalv-fr

SOMMAIRE

1	NÉCESSITÉ D'UNE GESTION INTÉGRÉE ET DURABLE DES EAUX PLUVIALES	6
1.1	ENJEUX ET OBJECTIFS D'UNE GESTION INTÉGRÉE DES EAUX PLUVIALES.....	6
1.2	STRATÉGIES ET SOLUTIONS TECHNIQUES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES.....	12
1.3	LES CLÉS DE LA RÉUSSITE, DE LA DÉFINITION DES BESOINS À L'EXPLOITATION DE L'OUVRAGE.....	20
2	LES SAUL POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES.....	23
2.1	DES PRODUITS D'ABORD DÉVELOPPÉS EN TECHNIQUES ROUTIÈRES	23
2.2	INTÉRÊTS DES SAUL POUR LE STOCKAGE DES EAUX PLUVIALES	24
2.3	DES DOMAINES D'EMPLOI MULTIPLES	25
2.4	PRINCIPES GÉNÉRAUX DE FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES DE STOCKAGE EN SAUL	26
2.5	CARACTÉRISTIQUES DES SAUL DISPONIBLES POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES.....	27
2.6	POINTS DE VIGILANCE INDISPENSABLES.....	31
3	DÉMARCHE D'ÉTUDE DE PROJET	35
3.1	PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE GÉNÉRALE	35
3.2	ANALYSE DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT.....	36
3.3	DÉFINITION D'UNE STRATÉGIE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES.....	43
3.4	CONCEPTION DU SYSTÈME DE GESTION DES EAUX PLUVIALES INTÉGRANT LES SAUL.....	50
3.5	OPTIMISATION DU DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE EN SAUL ET DE SES ÉQUIPEMENTS	84
4	JUSTIFICATION DE LA TENUE MÉCANIQUE DES SAUL DANS LES PROJETS.....	86
4.1	INTRODUCTION	86
4.2	JUSTIFICATION DU MASSIF DE SAUL	88
4.3	DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES PORTÉES PAR LES SAUL	106
4.4	STABILITÉ DES TERRAINS AUTOUR DES SAUL.....	112
4.5	SYNTHÈSE.....	114
5	MISE EN ŒUVRE DES SAUL	118
5.1	CARACTÉRISTIQUES DE LA MISE EN ŒUVRE ET SPÉCIFICITÉS	118
5.2	TERRASSEMENT DE L'OUVRAGE ET PRÉPARATION DU FOND DE FORME	119
5.3	MISE EN PLACE DU GÉOTEXTILE OU DU DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANE ..	122
5.4	MISE EN ŒUVRE DES SAUL ET REMBLAIEMENT.....	123
5.5	REMBLAI INITIAL ET COUCHE DE FORME.....	126
5.6	AUTRES POINTS DE VIGILANCE.....	128
6	ORGANISATION DES CONTRÔLES PRÉALABLES À LA RÉCEPTION ET DÉMARCHE QUALITÉ.....	131
6.1	ENJEUX, OBJECTIFS ET SPÉCIFICITÉS	131
6.2	ORGANISATION ET ACTEURS DE L'ASSURANCE-QUALITÉ	132

6.3	PORTÉE DES EXAMENS PRÉALABLES À LA RÉCEPTION	134
6.4	MÉTHODES DE CONTRÔLES PRÉALABLES PAR PERFORMANCES	135
6.5	PHASAGE ET RÉPARTITION DES TÂCHES	139
6.6	DOSSIER DE RÉCOLEMENT DE L'OUVRAGE.....	140
7	MAINTENANCE ET EXPLOITATION DES OUVRAGES.....	142
7.1	PRINCIPES GÉNÉRAUX	142
7.2	SUIVI DES PERFORMANCES DES ÉQUIPEMENTS.....	143
7.3	GESTION DES SOUS-PRODUITS	147
8	LOGIGRAMME DE SYNTHÈSE.....	149
9	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	150
	LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES.....	151
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	153
	ANNEXE 1 : PARAMÈTRES DE CARACTÉRISATION DES PERFORMANCES D'UN DRAIN.....	158
	ANNEXE 2 : OUTIL DE SIMULATION DES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DANS UN DRAIN.....	160
	ANNEXE 3 : NATURE ET FONCTIONS PRINCIPALES DES GÉOSYNTHÉTIQUES.....	161
	ANNEXE 4 : SAUL - NORMES ET CERTIFICATIONS	163
	ANNEXE 5 : CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES.....	166

PRÉAMBULE

Pour une gestion durable des eaux pluviales en zones urbaines, des stratégies et solutions techniques se sont développées afin de répondre à la diversité des contextes et des enjeux associés, qu'ils soient environnementaux, sociaux ou économiques. Ainsi, la maîtrise du ruissellement dans les aménagements nécessite très souvent de recourir à la réalisation d'ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales, encore appelés techniques alternatives.

Pour la réalisation d'ouvrages enterrés, les Structures Alvéolaires Ultra-Légères (SAUL) constituent une famille de matériaux de stockage qui s'est largement développée ces dernières années. Les SAUL répondent en effet à des besoins adaptés aux milieux urbains denses, soumis à de très fortes contraintes foncières et à des exigences de maîtrise de l'étalement urbain. Elles sont ainsi employées tant au niveau des parcelles privées que des espaces publics.

L'utilisation des SAUL en assainissement pluvial a fait l'objet d'un premier guide technique publié par le Certu et le LCPC en 1998, traitant de la caractérisation, de la conception et de la mise en œuvre des deux premiers produits alors disponibles sur le marché.

L'évolution des exigences de gestion durable des eaux pluviales conjuguée à la large diversification des produits disponibles, près d'une vingtaine début 2009, a fait émerger de nouveaux besoins chez les différents acteurs. C'est dans ce contexte que le LCPC a entrepris la refonte du guide de 1998.

Cette nouvelle version du guide vise à apporter des éléments pour l'aide à la décision, la conception, le dimensionnement hydraulique et mécanique, la réalisation et l'entretien des ouvrages de stockage en SAUL. Il s'appuie sur les vingt années de recul favorable disponibles sur les premiers produits et des retours d'expériences réalisés auprès de maîtres d'ouvrages, bureaux d'études et entreprises.

Ce guide de recommandations, reflet des connaissances disponibles en 2009, s'adresse ainsi principalement aux maîtres d'ouvrage et à leurs maîtres d'œuvre, aux bureaux d'études, entreprises et exploitants d'ouvrages en structures alvéolaires ultra-légères.

1 Nécessité d'une gestion intégrée et durable des eaux pluviales

1.1 Enjeux et objectifs d'une gestion intégrée des eaux pluviales

1.1.1 Le contexte et les enjeux : pourquoi une approche intégrée ?



Photo 1.1 : Ruissellement sur chaussée

La conception de l'assainissement pluvial a longtemps consisté à optimiser la collecte et l'évacuation rapide vers l'aval des eaux précipitées sur la ville, avec la technique du « tout réseau ». Si elle a pu donner pleinement satisfaction à son origine, la combinaison d'une telle approche avec l'explosion de l'urbanisation des cinquante dernières années a conduit à de multiples conséquences, parfois désastreuses :

- insuffisances et débordements des réseaux d'assainissement, modifications du régime hydrologique des bassins versants, inondations (figure 1.1) ;
- chocs de pollution ou pollutions chroniques des milieux aquatiques, dégradation des milieux naturels, atteinte à la biodiversité ;

ceci malgré des investissements considérables réalisés par les collectivités.



Photo 1.2 : Voirie submergée par des eaux de ruissellement

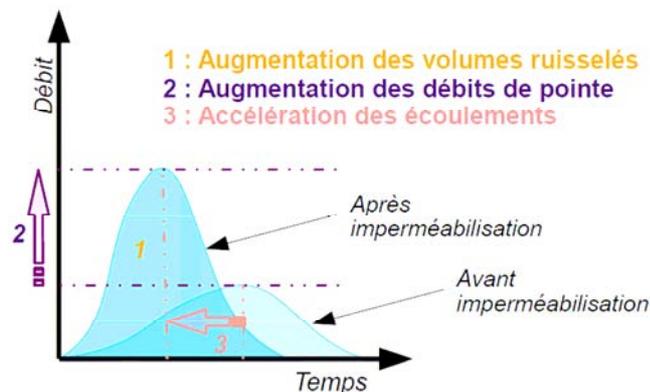


Figure 1.1 : Effets de l'imperméabilisation sur les écoulements

Pour y remédier, a été développée une approche adaptée, fondée sur des considérations plus environnementalistes qu'hydrauliques et préconisant de recourir à une gestion intégrée de l'eau dans la ville. L'assainissement n'est plus une fonction considérée isolément, mais bien un maillon d'un ensemble plus général constitué par le cycle de l'eau. Il s'agit de gérer la partie urbaine de ce cycle, de façon globale et transversale aux disciplines de l'aménagement et de l'ingénierie.



Photo 1.3 : La Ville et son assainissement

Toutes les implications sont largement décrites dans l'ouvrage de référence du Ministère en charge de l'écologie et du développement durable publié par le Certu en 2003, intitulé « *La ville et son assainissement : principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau* » [MEDD, Certu, 2003].

1.1.2 Les objectifs et principes d'une gestion intégrée des eaux pluviales

En tant que politique publique liée à l'aménagement du territoire d'une collectivité, l'assainissement se doit de respecter les principes du développement durable. À ce titre, il doit concilier les exigences du développement avec les impératifs de préservation des ressources naturelles et de pérennité des solutions techniques mises en oeuvre.

Les fonctions essentielles de l'assainissement peuvent donc aujourd'hui être redéfinies comme suit :

- préserver la santé des usagers ainsi que la commodité et la qualité de vie par la gestion des eaux usées et des eaux de ruissellement ;
- limiter les risques liés aux inondations par la prise en compte de ces risques ;
- préserver la ressource en eau et les milieux aquatiques par la maîtrise des pollutions induites par les eaux usées ainsi que de celles entraînées par les pluies.

La satisfaction de ces fonctions, et tout particulièrement des deux dernières, nécessite une conception de l'assainissement intégrée dès le stade de l'élaboration des documents de planification urbaine et des projets d'aménagement. La place de l'eau et son cheminement doivent être envisagés de façon à pouvoir être pris en compte dans l'organisation de l'espace et le choix des formes urbaines. En effet, la finalité du management de l'assainissement est d'assurer le fonctionnement optimal des systèmes d'assainissement, mais aussi d'en organiser l'évolution dans le cadre de la réglementation et d'une politique à long terme, cohérente avec les projets de développement urbain.

Sur le plan technique, les documents de référence et les règles de l'art ont progressivement intégré ces dernières années un certain nombre de principes qui relèvent du développement durable : la protection de l'environnement, la responsabilisation du citoyen et le développement de la concertation, la solidarité, la prise en compte de la dimension économique. Ils expriment souvent, mais pas toujours de façon explicite, les dispositions à mettre en oeuvre pour répondre à de telles exigences.

Dans ce contexte, les objectifs de la gestion intégrée des eaux pluviales sont de tendre à ce que :

- la recherche des possibilités de recours à l'infiltration dans le sol devienne un préalable à tout choix technique ;
- les eaux soient gérées à la source en ne recourant au réseau de collecte que lorsque toutes les autres solutions possibles ont été épuisées. Il s'agit notamment de privilégier la mise en oeuvre de techniques dites alternatives (dimensions environnementale et économique) et les systèmes de gestion de l'eau à la parcelle ;
- l'eau soit véritablement intégrée dans l'urbanisme, en recherchant la limitation de l'imperméabilisation des sols, la gestion des eaux pluviales à la source, la maîtrise de la vulnérabilité urbaine, la fonctionnalité multiple des ouvrages ou des espaces (dimensions environnementale, sociale et économique) ;
- l'assainissement non collectif des eaux usées et la gestion à la source des eaux pluviales soient revalorisés (dimensions environnementale et économique) ;
- soient prises en compte les différentes conditions hydrologiques et l'ensemble des rejets (dimension environnementale) ;
- l'assainissement soit programmé dans une démarche pérenne intégrant la dimension du long terme ;
- l'exploitation soit prise en compte dans la conception (dimension économique).

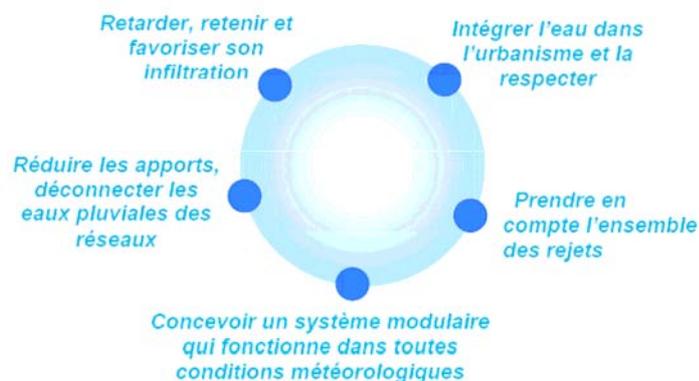


Figure 1.2 : Les grands principes de l'approche renouvelée de la partie urbaine de la gestion du cycle de l'eau (d'après [MEDD, Certu, 2003])

Les projets d'aménagement et leur composante assainissement doivent désormais être élaborés dans le cadre d'une démarche intégrant en continu les exigences du développement durable : protection de l'environnement, progrès social et développement économique. Des outils tels que des grilles d'analyse assorties de recommandations ont été développés pour aider les maîtres d'ouvrages et les concepteurs à évaluer leurs projets et rechercher les marges de progrès¹.

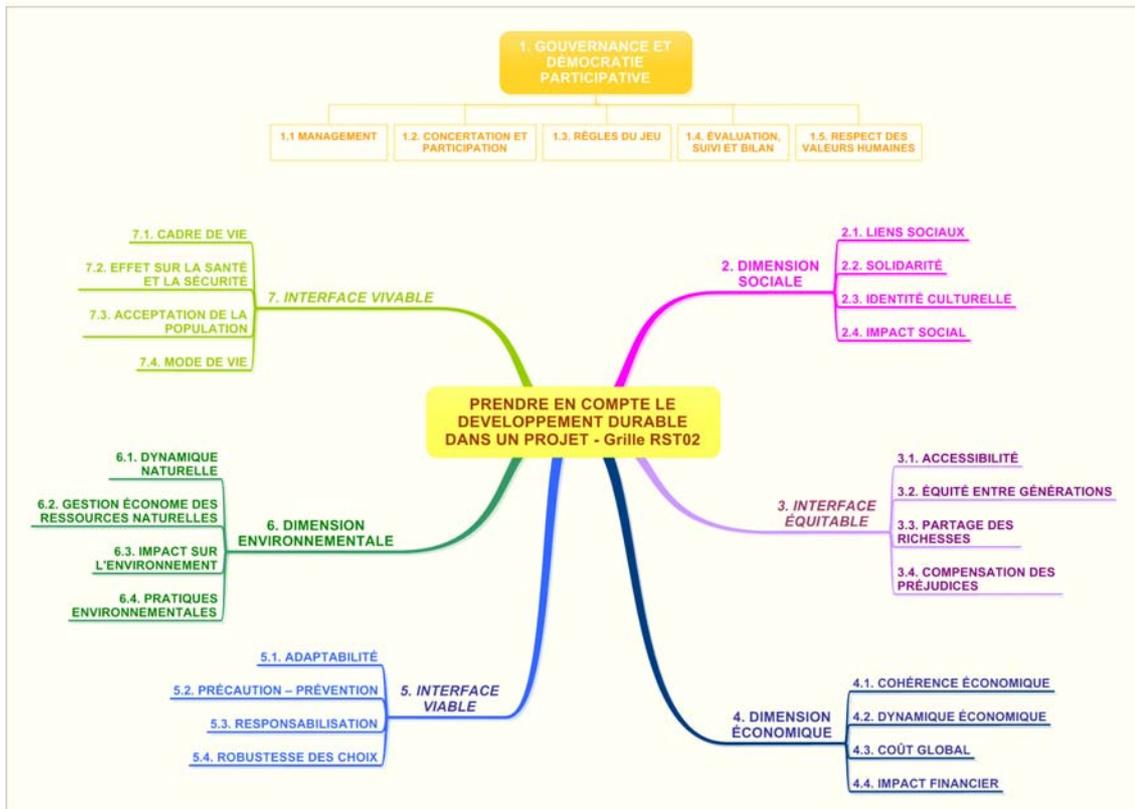


Figure 1.3 : Grille RST₀₂ pour l'intégration des principes du développement durable dans un projet

La traduction pratique et opérationnelle des principes édictés par ce guide passe de plus en plus par la mise en oeuvre des techniques dites alternatives en assainissement pluvial.

Parmi les solutions disponibles en sites urbanisés contraints, les Structures Alvéolaires Ultra-Légères (SAUL) permettent de mettre en oeuvre un stockage enterré et une infiltration ou une rétention des eaux pluviales, sans neutralisation de l'emprise foncière.

¹ À titre d'exemple : DGUHC, CERTU (2006). *Prendre en compte le développement durable dans un projet – Guide d'utilisation de la grille RST₀₂*, 66 p. ; DGUHC, CERTU (2007). *L'ingénierie d'appui territorial au service du développement durable – Manuel de recommandations pour la prise en compte du développement durable dans la gestion du cycle de l'eau – Fascicule 1 : assainissement urbain*, 107 p.

1.1.3 Portés par le cadre législatif et réglementaire renforcé...

Ces évolutions, marquées par le passage d'une obligation de moyens à une obligation de résultats, sont portées par le cadre législatif et réglementaire, au niveau européen (Directive Eaux Résiduaires Urbaines de mai 1991, Directive Cadre sur l'Eau d'octobre 2000) et relayé au niveau français (loi sur l'eau de janvier 1992, loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006).

La politique d'assainissement issue de ces textes est fondée essentiellement sur :

- une obligation générale d'assainissement, basée sur une approche par agglomération et une prise en compte globale des milieux récepteurs ;
- l'exigence d'une bonne fiabilité des systèmes d'assainissement et l'obligation, pour les communes, du contrôle des systèmes d'assainissement non collectif ;
- une mise en oeuvre de l'assainissement collectif et non collectif par les collectivités locales, dotées de nouvelles compétences et obligations, et un financement du service de l'assainissement par l'utilisateur ;
- un nombre réduit d'obligations qui concernent directement l'assainissement des eaux pluviales, lequel est davantage appréhendé à travers son impact sur les milieux et sur la ville.

Concernant plus spécifiquement les eaux pluviales, il convient également de garder présents à l'esprit les articles 640, 641 et 681 du Code Civil qui instituent des servitudes de droit privé destinées à régler les problèmes d'écoulement des eaux pluviales entre immeubles voisins. Ils n'imposent pas aux propriétaires immobiliers de collecter les eaux pluviales qui tombent sur leurs fonds, mais leur permettent au contraire de les laisser s'écouler sur les terrains voisins inférieurs et les propriétaires de ces derniers sont tenus de les recevoir. Cependant, cette servitude comporte des limites dont le franchissement, contrôlé par le juge judiciaire, peut entraîner l'indemnisation de ces derniers : elle ne doit pas être aggravée par l'intervention humaine. Cette contrainte plaide en faveur de la maîtrise des conséquences d'un aménagement au niveau de la parcelle par l'infiltration ou la rétention sur place dans le but de ne pas aggraver le rejet issu du fonds supérieur tant en termes de quantité (inondations) que de qualité (pollution).

Zonage d'assainissement « eaux pluviales » élaboré par les collectivités locales (art. L.2224-10 CGCT) – « Les communes ou leur groupement délimitent (...) :

- 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.
- Les zones 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 lorsque la pollution qu'elles apportent au milieu aquatique risque de nuire gravement à l'efficacité des dispositifs d'assainissement ».

Dans certains cas (procédures administratives de déclaration, de demande d'autorisation, etc.), il peut y avoir lieu d'évaluer les incidences du projet sur le cycle local de l'eau et de définir, le cas échéant, des mesures correctrices et/ou compensatoires. Par exemple, un des objectifs d'un dossier au titre de la Loi sur l'Eau ou d'un Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation (PPRNI) sera d'assurer que l'imperméabilisation nouvelle occasionnée par un aménagement ne modifie que peu le comportement hydrologique de la parcelle avant aménagement.

Rubriques et régimes de la nomenclature EAU concernant la gestion des eaux pluviales au titre de la Police de l'Eau et des Milieux Aquatiques (Code de l'Environnement)

Rubrique 2.1.5.0. : Rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la **surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet**, étant :

- supérieure ou égale à 20 ha (A);
- supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha (D).

Rubrique 3.2.3.0 : Plans d'eau, permanents ou non :

- dont la superficie est supérieure ou égale à 3 ha (A) ;
- dont la superficie est supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 3 ha (D).

A : installation soumise à autorisation, D : installation soumise à déclaration

Le Fascicule 70 – Ouvrages d'assainissement du CCTG

Pour la mise en oeuvre des techniques alternatives, les bureaux d'études chargés de la conception et les entreprises chargées de leur réalisation disposent depuis l'arrêté du 17 septembre 2003 de la première version du fascicule 70 du CCTG comprenant un titre consacré à ces ouvrages. Le titre II « **Ouvrages de recueil, de stockage et de restitution des eaux pluviales** » constitue un document de référence pour l'élaboration des marchés de travaux de l'État et un guide d'application volontaire pour les collectivités et les aménageurs.

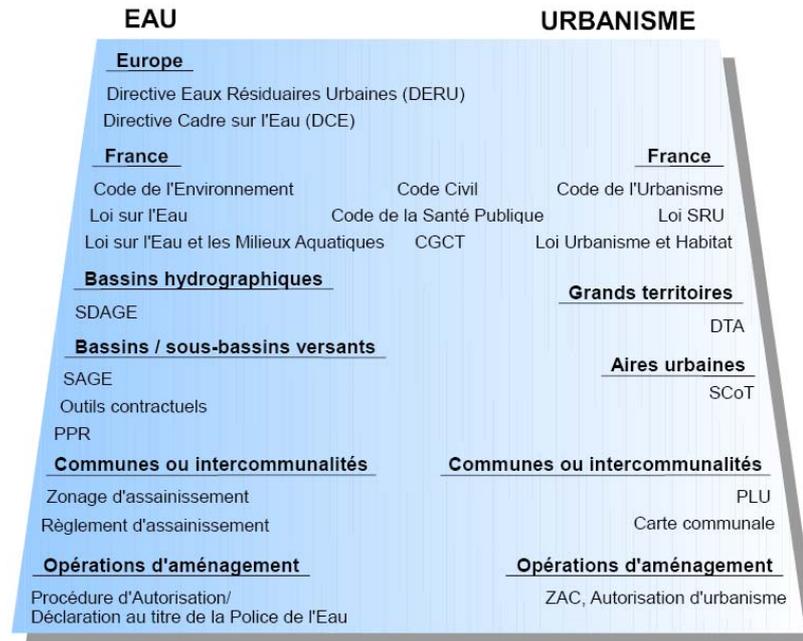


Figure 1.4 : Synoptique simplifié des principaux textes et outils réglementaires dans le domaine de l'eau et de l'urbanisme

1.2 Stratégies et solutions techniques de gestion des eaux pluviales

1.2.1 Des stratégies de gestion adaptées aux enjeux locaux et modulées selon les conditions pluviométriques

L'application des principes de l'approche intégrée doit conduire les gestionnaires à rechercher une limitation de l'imperméabilisation et une prise en charge des eaux au plus près de leur point de chute et à **privilegier l'infiltration au ruissellement et à la concentration des flux**. Pour autant, il n'est pas toujours possible de satisfaire à ces conditions et, en tout état de cause, aucun système, même bien pensé, ne pourra infiltrer toute l'eau précipitée quel que soit l'évènement considéré. Or, comme le rappelle le référentiel « *La ville et son assainissement* » [MEDD, Certu ; 2003], le système doit être conçu pour fonctionner pour tout évènement climatique. Le maître d'ouvrage a donc l'obligation de considérer le comportement de son projet en situation nominale et jusqu'à des modes fortement dégradés. Il lui appartient ainsi de définir, en fonction des enjeux locaux, les **objectifs de performance des ouvrages** et à partir de quand il est admis de laisser les eaux ruisseler en dehors des ouvrages d'assainissement. À cette fin, il est préconisé de raisonner en **niveaux de service du système de gestion des eaux pluviales**.

La notion de « niveau de service » traduit le fait qu'un ouvrage quel qu'il soit ne pourra pas fonctionner de la même manière dans toutes les conditions météorologiques. En d'autres termes, le service rendu n'est pas le même selon la

nature de l'évènement pluvieux à gérer. Il est important d'en avoir conscience pour concevoir et dimensionner les ouvrages sur une base claire et réaliste arrêtée par le maître d'ouvrage. Cette approche permet d'optimiser le rapport performance/coût du système en fonction des enjeux de la collectivité et surtout elle conduit à s'interroger sur les modes de fonctionnement dégradés.

La démarche proposée consiste à considérer **quatre niveaux de service**, comme illustré dans le tableau 1.1, ce qui est bien différent de l'approche traditionnelle consistant le plus souvent à dimensionner les ouvrages pour une période de retour donnée (la pluie décennale par exemple)² sans autre précision ni réelle prise en compte de ce qui se passera au-delà ou en-deçà de l'évènement hydrologique retenu pour le calcul. Pour cela, l'approche par niveaux de service envisage deux états distincts : le fonctionnement en **système mineur** et le fonctionnement en **système majeur**.

Le système mineur désigne l'ensemble des ouvrages dont la fonction première est d'assurer le stockage temporaire et/ou l'évacuation des eaux pluviales (collecteurs de réseaux d'assainissement, techniques alternatives telles que noues végétalisées le long des bâtiments ou des voiries, tranchées drainantes ou d'infiltration, etc.). À l'image du lit mineur d'un cours d'eau, le système mineur est régulièrement sollicité.

Le système majeur désigne quant à lui toutes les parties de l'espace public ou privé, voiries incluses, qui contribuent au stockage des eaux ou à la canalisation des écoulements lors de pluies importantes, en dehors des ouvrages d'assainissement qui constituent le système mineur. Il peut également être sollicité pour de plus faibles pluies mais sa conception lui permet avant tout d'assurer une maîtrise du risque inondation. Des exemples seront développés dans le chapitre 3.

Outre l'aspect dimensionnement, l'approche par niveaux de service est également très intéressante pour la gestion du système. Elle permet par exemple de définir différentes stratégies de gestion adaptées aux priorités propres à chaque niveau de service. Chaque objectif de performances visé nécessitera une conception et un dimensionnement spécifiques.

² Un évènement de période de retour T a une probabilité $p(\%) = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n$ de se produire dans les n prochaines années.

Par exemple, un évènement centennal a $p = 1 - (1 - \frac{1}{100})^{20} = 18 \%$ de chance de se produire dans les 20 prochaines années.

Tableau 1.1 : Niveaux de service du système d'assainissement pluvial strict (adapté de [MEDD, Certu, 2003])

	PLUVIOMÉTRIE	FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME DE GESTION DES EAUX PLUVIALES	SERVICES RENDUS ET INCIDENCES	
NIVEAU 1	Pluies faibles 	Pas de mise en charge ni de débordement des ouvrages du système mineur.	Maintien voire restauration de la qualité des milieux récepteurs. Dépollution des eaux pluviales si cela s'avère nécessaire au vu des incidences sur le milieu.	SYSTÈME MINEUR : réseaux, techniques alternatives
NIVEAU 2	Pluies moyennes 	Pas de débordement des ouvrages du système mineur. Mises en charge éventuelles des ouvrages enterrés (réseaux, etc.).	Impacts limités et contrôlés sur les milieux récepteurs (érosion, etc.). Pas d'inondation.	
NIVEAU 3	Pluies fortes 	Débordements localisés et contrôlés des ouvrages du système mineur dans le système majeur.	Détérioration de la qualité des milieux récepteurs acceptée. Priorité donnée à la gestion du risque d'inondation : submersions d'espaces publics localisées, etc.	SYSTÈME MAJEUR : espaces publics, voiries
NIVEAU 4	Pluies exceptionnelles 	Débordements généralisés dans le système majeur.	Gestion du risque majeur : la priorité est d'éviter les dommages aux personnes et de limiter les dommages aux biens.	

Les seuils entre les niveaux de service peuvent être exprimés en période de retour de défaillance des ouvrages.

La norme européenne NF EN 752

Parmi les normes européennes du cycle de l'eau, la norme NF EN-752 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments, fournit un cadre pour la conception, la construction, la réhabilitation, l'entretien et le fonctionnement des réseaux. Pour la protection contre les inondations, elle rappelle que le niveau de performance du système relève de spécifications au niveau national ou local, en tenant compte :

- des effets des inondations sur la santé et la sécurité,
- des coûts des inondations,
- du niveau de contrôle possible d'une inondation de surface sans provoquer de dommage,
- de la probabilité d'inonder les sous-sols par une mise en charge.

En France, en l'absence de réglementation nationale, les spécifications de protection relève d'une prérogative des autorités locales compétentes (collectivités locales, maître d'ouvrage, service en charge de la police de l'eau)³.

En l'absence de prescription locale, cette norme propose néanmoins un certain nombre de valeurs-guides pour les fréquences de calcul de mise en charge des ouvrages et d'inondations, exprimées en période de retour et probabilité de dépassement sur une année. Elle rappelle également la nécessité d'évaluer les conséquences des rejets.

Tableau 1.2 : Fréquences de calcul recommandées, en l'absence de prescriptions locales, sur la base de critère de mise en charge et de débordement
(d'après NF EN 752, AFNOR)

Lieu d'installation	Fréquence de calcul des orages pour lesquels aucune mise en charge ne doit se produire		Fréquence de calcul des inondations	
	Période de retour (1 en « n » années)	Probabilité de dépassement pour 1 année quelconque	Période de retour (1 en « n » années)	Probabilité de dépassement pour 1 année quelconque
Zones rurales	1 en 1	100%	1 en 10	10%
Zones résidentielles	1 en 2	50%	1 en 20	5%
Centres ville / zones industrielles / commerciales	1 en 5	20%	1 en 30	3%
Métro/Passages souterrains	1 en 10	10%	1 en 50	2%

Si l'on se réfère aux spécifications de la norme NF EN 752 : Mars 2008, il est possible de dégager des correspondances :

- la fréquence de calcul des orages (critère de mise en charge) correspondrait au passage du niveau de service N2 au niveau de service N3 (périodes de retour de 1 à 10 ans selon les enjeux) ;

³ L'Instruction Technique du 22 juin 1977 relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations introduisait déjà l'idée d'adaptation du niveau de performance des systèmes (pas de valeur réglementaire) :

- « Nécessaire compromis entre l'aspiration à une protection absolue pratiquement irréalisable et le souci de limiter tant le coût de l'investissement que les sujétions d'exploitation ».

- « Il est souvent admis a priori qu'il est de bonne gestion de se protéger de la pluie décennale ».

- « Dans les quartiers fortement urbanisés et dépourvus de relief, le maître d'ouvrage n'hésitera pas à calculer les collecteurs principaux en vue d'absorber les débits de période de retour 20 ans, voire 50 ans... ».

- la fréquence de calcul des inondations (critère de débordement) correspondrait au passage du niveau de service N3 au niveau de service N4 (périodes de retour de 10 à 50 ans selon les enjeux).

1.2.2 Des ouvrages de recueil, stockage et restitution

Dans une opération d'aménagement, le **système de gestion des eaux pluviales** est susceptible de rassembler des composantes assurant une ou plusieurs fonctions : recueil, collecte, transport, traitement, stockage et restitution au milieu naturel. Ainsi, les **ouvrages de recueil, stockage et restitution** des eaux pluviales, couramment appelés techniques alternatives, permettent de retenir temporairement les eaux pluviales, avant de les restituer au milieu récepteur de manière éventuellement complémentaire :

- par infiltration dans le sol support, mode à privilégier dès que possible⁴ pour respecter l'équilibre local du cycle de l'eau,
- par restitution vers le milieu aquatique superficiel, à débit limité ou régulé, via un réseau d'évacuation enterré ou à ciel ouvert,
- par évapotranspiration (végétaux, plans d'eau, etc.).

Ces modes de restitution peuvent être combinés :

- en fonction de la perméabilité du sol et du sous-sol (sol perméable mais pas suffisamment, nécessitant également une restitution superficielle ; dans ce cas, on peut éventuellement négliger le débit infiltré s'il est relativement faible),
- en fonction des niveaux de service assurés et des conditions pluviométriques associées (infiltration totale des pluies fréquentes, restitution superficielle des excédents lors de pluies plus fortes, si le sol ne peut pas tout infiltrer).

Ces ouvrages peuvent avoir plusieurs vocations :

- écrêter les débits ruisselés et les volumes en cas d'infiltration (figure 1.5) ;
- limiter la pollution des eaux pluviales par la limitation du lessivage par ruissellement sur des surfaces aménagées, par filtration au travers de matériaux poreux et par décantation ;
- permettre d'intercepter une éventuelle pollution accidentelle en cas de besoin⁵.

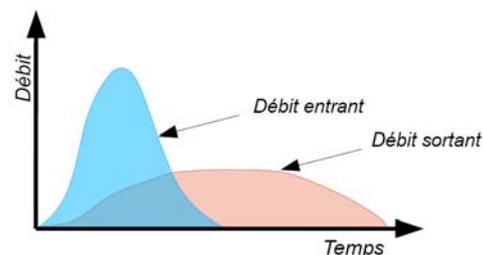


Figure 1.5 : Effet possible d'un ouvrage de stockage sur un hydrogramme

⁴ Les critères à prendre en compte pour analyser la faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales seront définis au paragraphe 3.2.3.

⁵ En s'assurant que la nature de la pollution susceptible d'être interceptée ne compromet pas la pérennité des équipements.

Les fossés et les noues, les tranchées, les puits d'infiltration et les chaussées à structure réservoir ainsi que les bassins de retenue constituent les principales familles d'ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales⁶. Leurs principes de conception et de fonctionnement sont rappelés dans le tableau 1.3. Les SAUL peuvent être utilisées pour la réalisation de différentes familles de techniques.

Tableau 1.3 : Principales familles de techniques alternatives

Famille de techniques	Principe
Tranchée	Les eaux pluviales sont stockées temporairement dans un ouvrage superficiel et linéaire comblé de matériaux poreux. La conception de la tranchée est adaptée au parti d'aménagement (formes, aspect minéral ou végétal, etc.). Elles sont généralement implantées le long des voiries, sous les trottoirs.
Puits d'infiltration	Ce sont des ouvrages plus ou moins profonds permettant le transit des eaux pluviales vers un horizon perméable du sous-sol. Offrant une faible capacité de rétention, les puits sont souvent associés à d'autres techniques dont ils assurent la vidange, lorsqu'il s'agit d'aménagements publics.
Chaussée à structure réservoir	Les eaux pluviales sont stockées temporairement dans la structure de la chaussée (épaisseur sous la couche de forme) puis restituées par infiltration dans le sol support ou vers un exutoire superficiel.
Bassin de retenue	Les eaux pluviales sont stockées dans un ouvrage de stockage à ciel ouvert ou enterré c'est-à-dire constitués par un vide clos ou comblé de matériaux poreux.
Toiture stockante	Les eaux pluviales sont stockées temporairement dans le matériau recouvrant la toiture, avant restitution.

En amont, dans une optique de limitation du ruissellement, les surfaces poreuses et perméables en lieu et place des surfaces imperméabilisées font partie des solutions techniques auxquelles il peut être fait recours.

1.2.3 Une conception modulaire et pluri-fonctionnelle du système

Pour être durable, c'est-à-dire intégrant et conciliant les dimensions environnementale, sociale et économique, la conception du système de gestion des eaux pluviales d'un aménagement doit être modulaire et pluri-fonctionnelle.

La **conception modulaire et pluri-fonctionnelle** vise à permettre au système de gestion des eaux pluviales d'assurer les différents niveaux de service requis par les enjeux locaux, en fonction des conditions pluviométriques et en optimisant l'aménagement des espaces : traitement approprié si nécessaire lors des pluies fréquentes, maîtrise du ruissellement lors des pluies moyennes à fortes, gestion du risque inondation et des écoulements lors des pluies fortes à exceptionnelles.

Cette modularité et pluri-fonctionnalité peut s'appréhender au travers :

- d'une limitation du ruissellement et de la concentration des écoulements ;

⁶ Pour en savoir plus : CERTU (2008). *L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement : éléments clés pour le recours aux techniques alternatives*, 197 p ; Azzout Y. & al. (1994). *Techniques alternatives en assainissement pluvial : choix, conception, réalisation et entretien*, TEC et DOC, 372 p.

- d'une adaptation des modes de restitution des eaux pluviales (infiltration, etc.), aux niveaux de service et possibilités locales ;
- d'une spatialisation de la gestion des eaux pluviales, respectant les chemins naturels de l'eau, mobilisant les parcelles et les espaces publics, adaptée à la vulnérabilité des différents enjeux, et articulant les échelles d'intervention ;
- d'une diversité des techniques, adaptées aux différentes composantes du projet d'aménagement (aux différentes échelles, du bâtiment à l'aménagement) ;
- d'une combinaison des principales techniques de gestion des eaux pluviales, enterrées et superficielles, mobilisées de manière graduée/progressive selon la pluviométrie (ouvrages en série, ouvrages en dérivation) ;
- d'une valorisation de l'espace par la présence d'eau et/ou de végétation.

Dans l'objectif de contribuer à une meilleure intégration de l'eau dans l'urbanisme, la philosophie de gestion des eaux pluviales recherche donc prioritairement une moindre imperméabilisation des sols et une limitation de la concentration des écoulements, ainsi qu'une gestion en surface des eaux pluviales dès que cela est possible.

Selon la nature et le contexte de l'aménagement, ce dernier objectif n'est pas toujours atteignable (projets en milieux urbains denses, soumis à de très fortes contraintes foncières, etc.). On peut alors être amené à recourir à des ouvrages de gestion enterrés des eaux pluviales, parmi lesquels des ouvrages en SAUL.

1.2.4 Des matériaux et produits de stockage très diversifiés

Différentes familles de matériaux peuvent être mises en oeuvre pour la réalisation d'ouvrages de stockage enterrés des eaux pluviales (tableau 1.4), hors ouvrages en génie civil, canalisations surdimensionnées, tunnels, etc. Ces matériaux sont principalement caractérisés par :

- leur porosité ou taux de vide utile : c'est le pouvoir stockant du matériau ;
- leur conductivité hydraulique : c'est la capacité à diffuser les eaux ;
- leur résistance mécanique : c'est la capacité à résister aux charges qui leur sont appliquées.

Tableau 1.4 : Matériaux de stockage des eaux pluviales (d'après [Certu & al., 1999] modifié)

Matériaux	Taux de vide utile	Applications principales
Graves bitumes poreuses	10 à 20%	CSR*
Béton de ciment poreux	10 à 20%	CSR
Graves non traitées poreuses	30 à 40%	CSR, tranchée drainante, bassin enterré, puits
Produits vrac en béton	50 à 60%	CSR, tranchée drainante
Structures Alvéolaires Ultra-Légères	> 90%	Bassin enterré, CSR, tranchée drainante, puits, toiture stockante

*CSR : Chaussée à structure réservoir

Les structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) sont des produits thermoplastiques de forme parallélépipédique qui offrent un taux de vide supérieur à 90%.

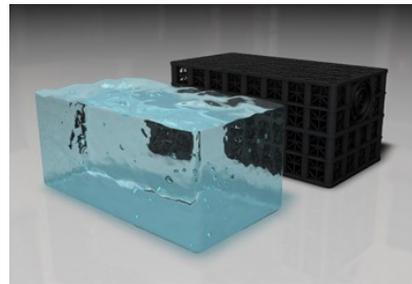


Photo 1.4 : Mise en évidence de la capacité de stockage disponible dans un module de SAUL

Dans le cas des ouvrages en SAUL, les différents modes de restitution des eaux pluviales sont illustrés sur la figure 1.6.

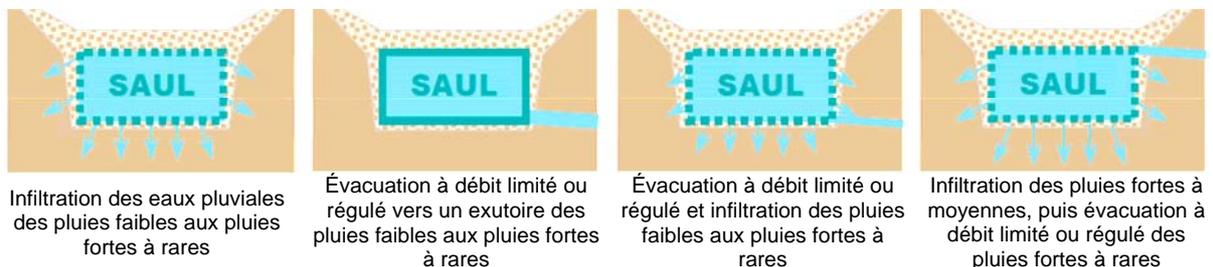


Figure 1.6 : Exemple de schémas de principe des différents modes de restitution des eaux pluviales : pluies faibles à moyennes gérées par l'ouvrage en SAUL, sollicitation du système majeur (ici l'espace public sus-jacent à l'ouvrage par exemple) pour les pluies fortes à exceptionnelles

SAUL et ouvrages de récupération des eaux pluviales

À ce jour, pour la réalisation de réservoirs d'eaux de pluie issues de toitures inaccessibles en vue de leur utilisation à des fins domestiques, les SAUL ne peuvent pas être utilisées. En effet, l'arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments dispose que « tout point intérieur du réservoir doit pouvoir être atteint de façon à ce qu'il soit nettoyable ».

Elles peuvent néanmoins être envisagées pour la réalisation d'ouvrages de récupération d'eaux pluviales à l'échelle d'un équipement public, pour d'autres usages. À titre d'exemple, plusieurs références de ce type sont déjà disponibles :

- ouvrages de stockage pour la constitution d'une réserve incendie,
- ouvrages de stockage et utilisation des eaux pluviales pour l'arrosage d'un stade, d'espaces verts publics ou de serres.

Dans le cas d'ouvrages assurant plusieurs fonctions, par exemple maîtrise du ruissellement et récupération des eaux pluviales en vue d'utilisation, le dimensionnement hydraulique doit être adapté pour répondre à ces deux objectifs. Un soin particulier doit être apporté à l'étanchéité de l'ouvrage.

1.3 Les clés de la réussite, de la définition des besoins à l'exploitation de l'ouvrage

Pour des ouvrages bien conçus, bien réalisés et bien exploités, il est nécessaire d'adopter une approche intégrée dès la définition des besoins. La réussite de la conception du système de gestion des eaux pluviales d'un projet d'aménagement repose sur⁷ :

- une approche pluridisciplinaire et concertée, dès l'amont du projet et la définition des besoins du maître d'ouvrage (pluri-usages des ouvrages) ;
- la définition des objectifs de gestion des eaux pluviales, des pluies fréquentes aux événements exceptionnels, adaptés au contexte et aux enjeux locaux ;
- l'adaptation des études aux enjeux et à ses incidences potentielles sur le cycle local de l'eau, et l'adoption d'une démarche progressive associant les différents acteurs ;
- la prise en compte de la gestion dans la conception (coûts d'étude et de réalisation, coûts de gestion).

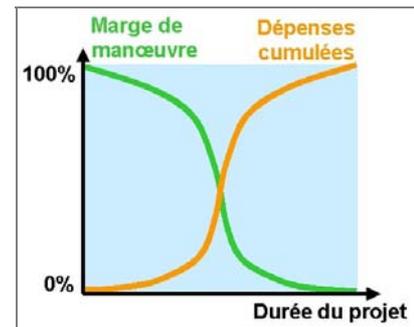


Figure 1.7 : Réduction de la marge de manœuvre au fil de la vie du projet

Les études menées doivent répondre aux exigences d'une gestion intégrée et durable des eaux pluviales, à savoir :

- s'assurer de la faisabilité du projet au regard des documents de planification de l'urbanisme et de la gestion de l'eau, et en respecter les objectifs et exigences de performances ;
- intégrer au mieux le projet dans le site en tenant compte des spécificités locales et en valorisant ses atouts ;
- adapter les solutions techniques répondant aux différents objectifs de gestion des eaux pluviales ;
- concevoir un système de gestion des eaux pluviales qui fonctionne dans les différentes conditions pluviométriques ;

⁷ Pour en savoir plus : CERTU, MEDD (2003). *La ville et son assainissement : principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau*, 514 p. ; Région Rhône-Alpes, GRAIE (Novembre 2006). *Pour la gestion des eaux pluviales - Stratégie et solutions techniques*, 30 p.

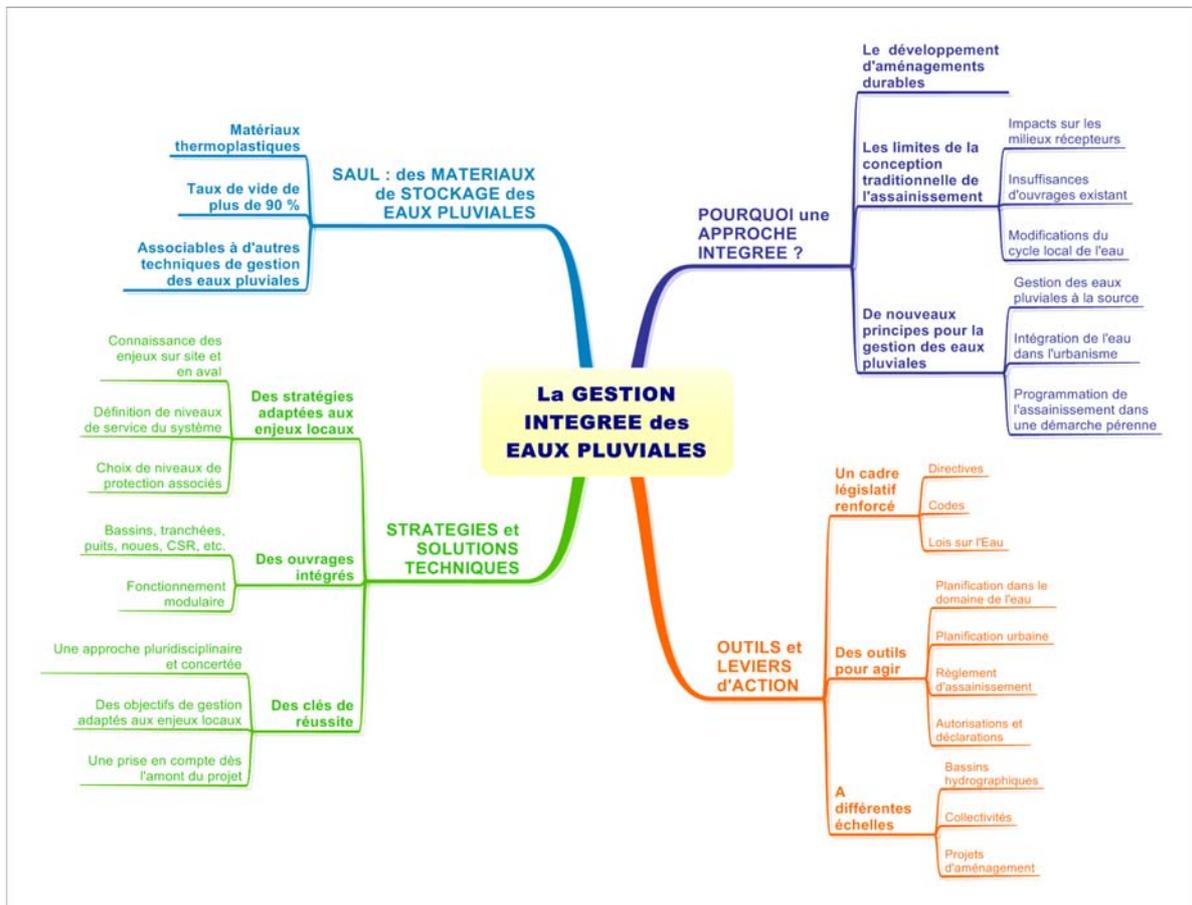
- optimiser la conception du système de gestion des eaux pluviales au regard des exigences d'exploitation.

Les grandes phases du projet sont succinctement présentées dans le tableau 1.5. Chaque phase fait l'objet d'un chapitre spécifique dans ce guide.

Tableau 1.5 : La démarche de gestion d'un projet d'ouvrage de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales

PHASE	CONTENU	ACTEURS
Étude du projet	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse du site et de son environnement : évaluation et hiérarchisation des contraintes et enjeux environnementaux, économiques et sociaux, définition des besoins - Définition d'une stratégie : orientations et principes pour la gestion des eaux pluviales, performances des ouvrages pour les différents niveaux de service du système de gestion des eaux pluviales - Conception d'un système modulaire (recueil, stockage, écoulement, restitution) : choix des solutions techniques et des matériaux, dimensionnement des ouvrages et équipements 	<ul style="list-style-type: none"> - Maître d'ouvrage - Assistance à Maîtrise d'Ouvrage - Maître d'œuvre - Bureau d'études - Collectivité/ exploitant/ services de l'État - Fournisseur
Mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> - Terrassement - Mise en œuvre du géotextile ou du dispositif d'étanchéité par géomembrane - Mise en œuvre - Remblaiement 	<ul style="list-style-type: none"> - Assistance à Maîtrise d'Ouvrage - Maître d'œuvre - Entreprise - Fournisseur
Réception	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle des performances hydrauliques, mécaniques et environnementales 	<ul style="list-style-type: none"> - Maître d'ouvrage - Maître d'œuvre - Organisme de contrôle
Exploitation- Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifications, surveillance - Entretien, maintenance - Gestion des sous-produits de curage 	<ul style="list-style-type: none"> - Exploitant

Chapitre 1 : L'essentiel



2 Les SAUL pour la gestion des eaux pluviales

2.1 Des produits d'abord développés en techniques routières

Les structures alvéolaires ultra-légères ont d'abord été développées en France dans les années 1980 pour des applications routières telles que la réalisation de remblais allégés (figure 2.1). Ces premières applications ont fait l'objet d'un guide technique, « *Utilisation de structures alvéolaires ultra-légères en remblai routier* » [LCPC, 1992]. Cet ouvrage précise les domaines et conditions d'emploi des deux produits alors disponibles sur le marché, qui offrent une structure en nid d'abeilles.

Photo 2.1 : Guide consacré à l'emploi des SAUL en remblai routier

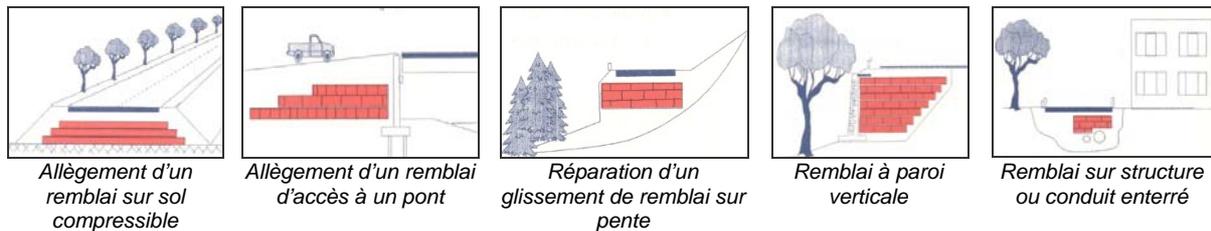


Figure 2.1 : Illustrations d'emplois des SAUL en technique routière [LCPC, 1992]

Des expérimentations portant sur le comportement de ces produits en zone de marnage (remblai en zone submersible ou sous nappe phréatique) ont montré qu'ils laissaient bien circuler l'eau, sans générer de surpression et de soulèvement du remblai.

Photo 2.2 : Mise en œuvre de SAUL en nid d'abeilles



De ce constat est née l'idée d'employer également ces produits pour le stockage des eaux pluviales. Un premier guide technique avait été consacré en 1998 à la mise en œuvre des SAUL en assainissement pluvial [LCPC & a.l.]. À ce jour, plusieurs centaines de milliers de mètres cubes de ces premiers produits ont été mis en œuvre.

Photo 2.3 : Mise en œuvre de SAUL en nid d'abeilles

L'évolution des exigences de gestion des eaux pluviales et des produits disponibles suscite aujourd'hui de nouveaux besoins des différents acteurs du domaine.

2.2 Intérêts des SAUL pour le stockage des eaux pluviales

Pour la réalisation d'ouvrages de stockage des eaux pluviales, les SAUL présentent plusieurs intérêts :

- leur taux de vide supérieur à 90% limite le volume et la durée de terrassement ;
- leur forte conductivité hydraulique permet un remplissage rapide lors des orages intenses;
- elles se présentent sous forme de blocs, manuytables du fait de leur faible poids volumique ;
- leur mise en œuvre est ainsi rapide, de l'ordre de 10 mètres cubes par heure et par opérateur ;
- outre leur intérêt sur le plan foncier, leur conception modulaire permet de s'adapter aux contraintes topographiques et géotechniques et à l'encombrement du sous-sol ;
- selon leur résistance mécanique, elles peuvent être mises en œuvre sous infrastructures routières ;
- présentant une inertie chimique vis-à-vis des caractéristiques courantes des eaux pluviales, les SAUL peuvent servir à la conception d'ouvrages d'utilisation des eaux pluviales (arrosage, réserve incendie, etc.).



Photo 2.4 : Une mise en œuvre aisée et rapide



Photo 2.5 : Réalisation d'un bassin enterré...



Photo 2.6 : ...sous un carrefour

Les SAUL sont ainsi des produits de stockage des eaux pluviales particulièrement adaptés aux contraintes foncières en milieu urbain dense (rareté et coût de l'espace).

Leur coût est de l'ordre de 200 à 500 € HT/m³ mis en œuvre selon les contraintes de site.

2.3 Des domaines d'emploi multiples



Photo 2.7 : Exemple de SAUL

Les structures alvéolaires ultra-légères sont utilisées pour la réalisation de différentes familles d'ouvrages de stockage des eaux pluviales, qu'il s'agisse de nouveaux ouvrages ou de la réhabilitation d'ouvrages anciens :

- bassins de rétention enterrés ;
- tranchées drainantes ;
- chaussées à structure réservoir (sous ou en partie basse de la couche de forme) ;
- puits d'infiltration⁸.

La taille des ouvrages de stockage déjà réalisés en SAUL varie de quelques mètres cubes à plusieurs milliers de mètres cubes. Les ouvrages sont implantés en espaces publics (espaces verts ou de loisirs, parkings, voies piétonnes ou cyclables, chaussées circulées, etc.) ou dans les parcelles privées.

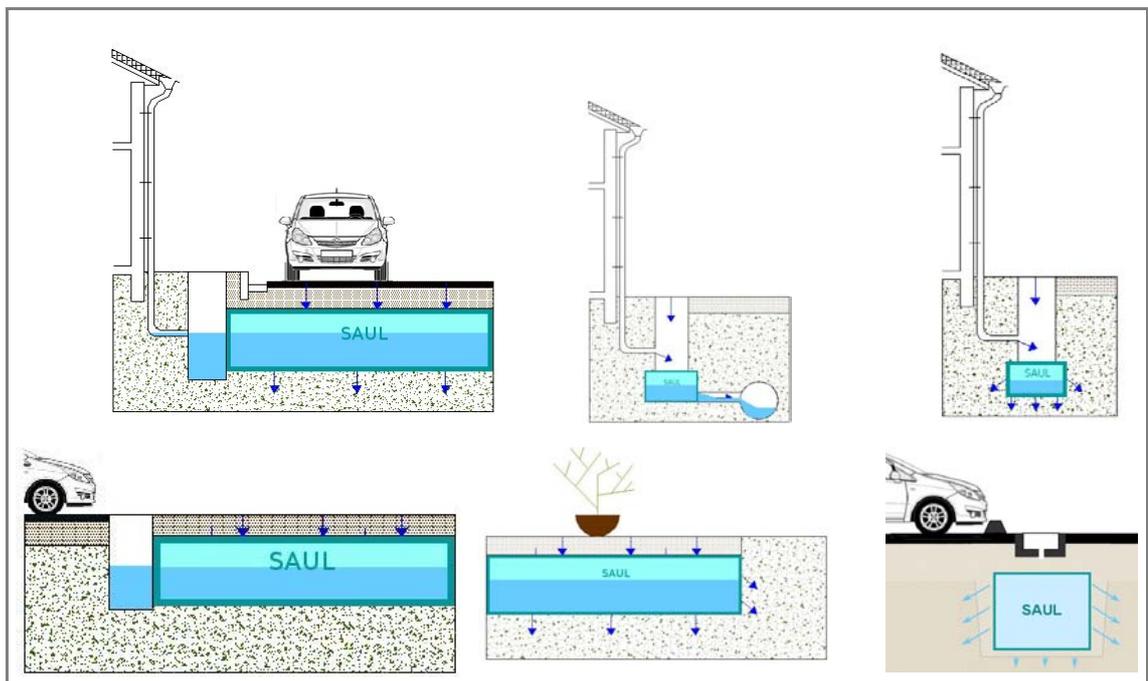


Figure 2.2 : Exemples de domaine d'emploi des SAUL pour le stockage des eaux pluviales

Les SAUL, comme les autres matériaux poreux de stockage, n'ont pas vocation à participer à la dépollution des eaux pluviales, seulement à assurer leur stockage

⁸ Certains fabricants ont également développé des produits spécifiques pouvant être mis en œuvre au niveau de toitures stockantes.

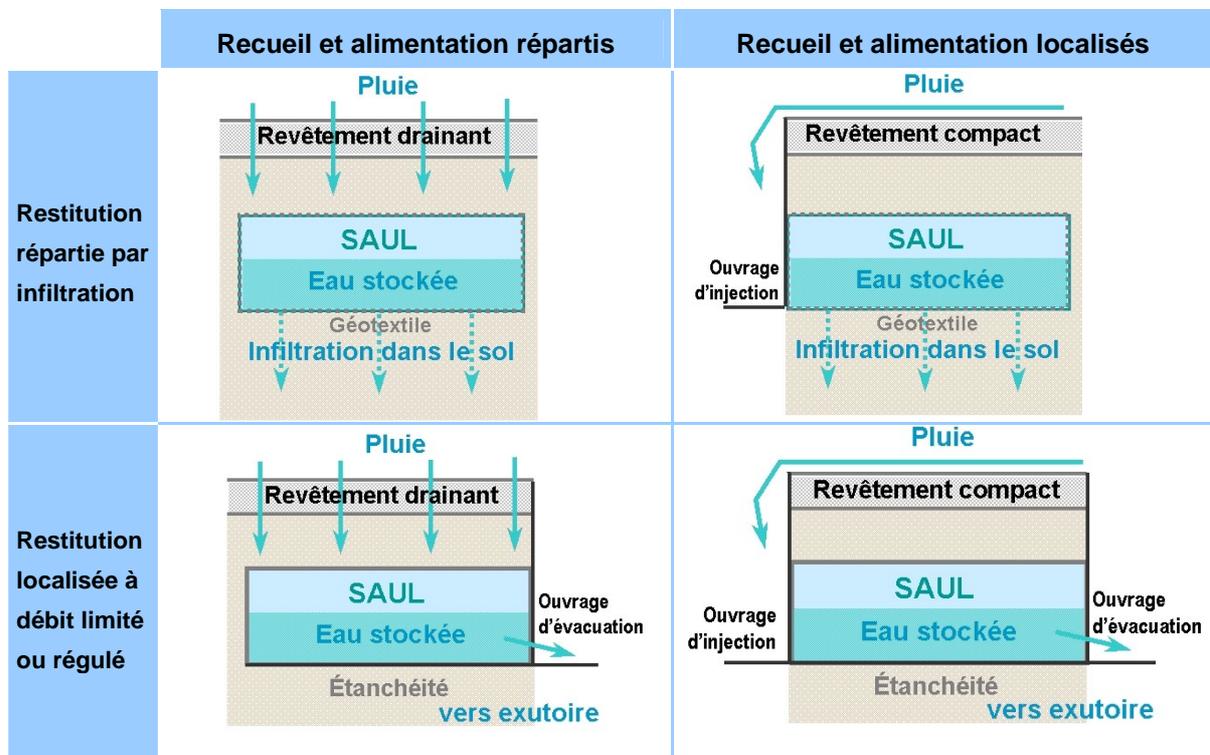
temporaire pour la maîtrise du ruissellement. Si le contexte du projet justifie des performances de dépollution pour les pluies faibles, c'est la conception globale du système de gestion des eaux pluviales qui doit intégrer cette exigence (par exemple filtration et/ou décantation par la mise en place de dispositifs spécifiques).

2.4 Principes généraux de fonctionnement des ouvrages de stockage en SAUL

Les ouvrages enterrés de stockage des eaux pluviales constitués de structures alvéolaires ultra-légères sont conçus pour assurer trois principales fonctions :

- **le recueil** des eaux pluviales : il peut être assuré au travers d'un revêtement de surface perméable et / ou par des dispositifs traditionnels,
- **le stockage** des eaux pluviales dans l'ouvrage : différents modes de diffusion sont possibles pour une bonne répartition des eaux pluviales,
- **la restitution** des eaux pluviales au milieu récepteur : infiltration dans le sol support sous-jacent et / ou évacuation à débit régulé ou limité vers un exutoire (dans ce cas, une étanchéité de l'ouvrage peut éventuellement être nécessaire).

Tableau 2.1 : Les différents principes de fonctionnement des ouvrages en SAUL (exemple sous chaussée)



2.5 Caractéristiques des SAUL disponibles pour la gestion des eaux pluviales

2.5.1 L'offre de SAUL en France

Si les produits de type structures alvéolaires sont apparus dès les années 1980 en France, l'offre de SAUL pour la gestion des eaux pluviales s'est récemment étoffée et diversifiée. Ainsi, en 2009, près d'une vingtaine de produits sont distribués sur le marché. L'estimation du marché est d'environ 100 000 à 120 000 m³/an mis en œuvre⁹. Contrairement aux premiers produits, également développés pour la construction de remblais allégés, les produits plus récents ne sont conçus que pour le stockage des eaux pluviales. Certains produits sont disponibles dans différentes gammes de résistance, selon le domaine d'emploi.

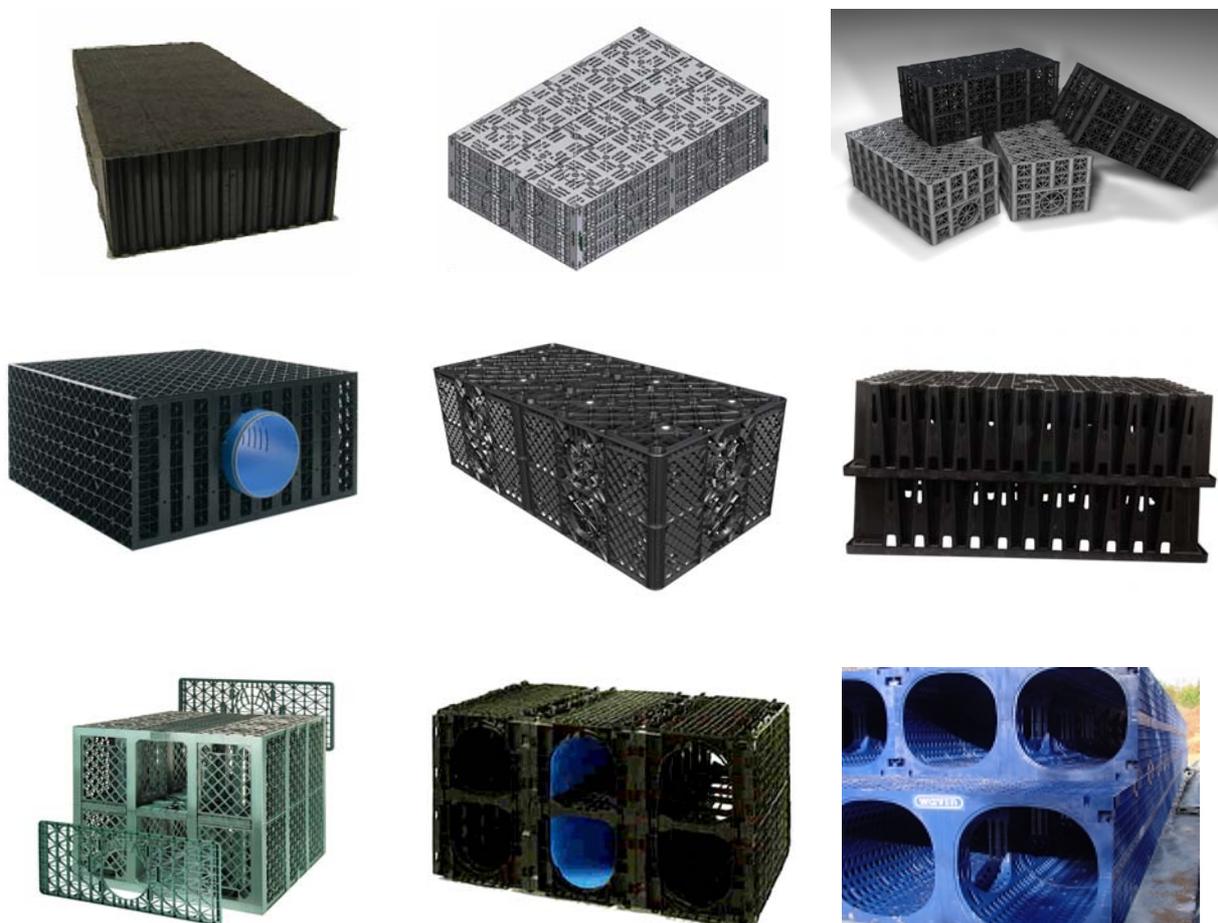


Photo 2.8 : Exemples de SAUL présentes sur le marché français

⁹ À titre de comparaison, le volume de produits de type SAUL mis en œuvre durant la décennie précédant la publication du premier guide technique dédié (LCPC, CERTU, 1998) était estimé à environ 100 000 m³.

2.5.2 Caractéristiques physiques des SAUL

Les modules élémentaires de SAUL, représentatifs de la mise en œuvre sur chantier, sont de **forme parallélépipédique**. Les dimensions des SAUL sont très variables. D'un **taux de vide supérieur à 90%**, les dimensions des modules élémentaires déterminent le volume de stockage par unité.

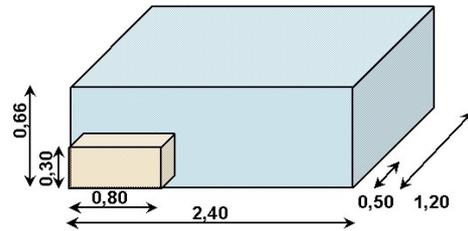


Figure 2.3 : Enveloppe des produits disponibles en France pour des ouvrages enterrés en 2008 (dimensions exprimées en mètres)

La **conductivité hydraulique** des structures alvéolaires ultra-légères peut être de trois types : mono-directionnelle, généralement verticale, bi-directionnelle, généralement horizontale et verticale, ou multi-directionnelle. Le type de conductivité hydraulique influence le mode de recueil, de diffusion et/ou de restitution des eaux pluviales par l'ouvrage de stockage en SAUL.

Les **masses des modules** varient d'une dizaine à une soixantaine de kilogrammes, selon les dimensions des SAUL, la quantité et la masse volumique de résine matière utilisée (la masse volumique apparente varie d'une trentaine à une soixantaine de kg/m^3 de SAUL).

Les **polymères** employés sont le polypropylène (PP) homo ou copolymère pour une majorité de produits, le polyéthylène haute densité (PEHD) ou le polychlorure de vinyle (PVC). Les modules de SAUL peuvent être obtenus par **différents modes de fabrication** :

- par injection-moulage,
- par rotomoulage,
- par extrusion,
- par assemblage de feuilles thermoformées.

La matière constitutive des SAUL est recyclable.

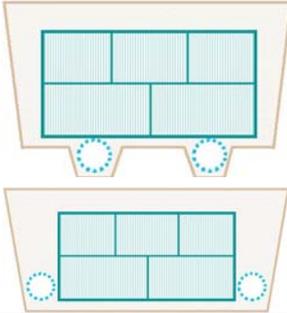
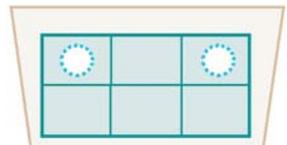
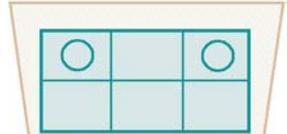
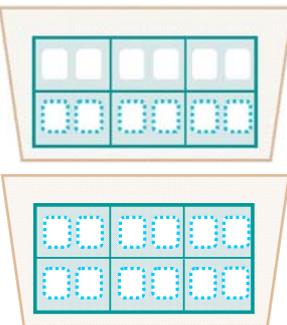
Les éléments constitutifs des modules sont assemblés en usine ou sur chantier.

2.5.3 Différents types de SAUL selon le fonctionnement hydraulique

Les SAUL offrent aujourd'hui des caractéristiques diverses, déterminant les conditions de diffusion et de circulation de l'eau dans les modules élémentaires, qui peut être verticale, horizontale et verticale ou tridimensionnelle. Ces caractéristiques influencent le fonctionnement hydraulique des ouvrages, en particulier lors d'un recueil localisé des eaux pluviales et une évacuation à débit limité ou régulé vers un exutoire et, selon le cas, la conception des ouvrages de stockage.

L'analyse des caractéristiques des produits disponibles en 2008 a conduit à proposer un classement en quatre types de SAUL comme illustré dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 : Schémas de principe des différents types de SAUL

Type	Description	Module élémentaire	Exemple de profil d'ouvrage
SAUL de type 1 à diffuseur externe	<ul style="list-style-type: none"> La diffusion de l'eau est assurée par des drains placés dans des matériaux granulaires, sous les blocs ou latéralement. Les drains¹⁰ sont inspectables et hydrocurables. La circulation d'eau dans les modules élémentaires est verticale et/ou horizontale. 		
SAUL de type 2 à diffuseur interne	<ul style="list-style-type: none"> Certains modules élémentaires, connectés aux ouvrages d'injection d'eaux pluviales sont pré-équipés de drains de diffusion intégrés. Les drains¹¹ sont inspectables et hydrocurables. La circulation de l'eau dans les modules élémentaires est ensuite tridimensionnelle. 		
SAUL de type 3 sans diffuseur	<ul style="list-style-type: none"> L'eau est introduite directement depuis un ou plusieurs ouvrages d'injection, sans drain. La circulation de l'eau dans les modules élémentaires est ensuite tridimensionnelle. 		
SAUL de type 4 à canaux de diffusion	<ul style="list-style-type: none"> La diffusion de l'eau est assurée par des canaux longitudinaux, voire transversaux, éventuellement équipés de parois diffusantes. Les canaux¹¹ de tous les modules élémentaires sont inspectables et hydrocurables. La circulation de l'eau dans les modules élémentaires est ensuite tridimensionnelle. 		

Cette typologie des SAUL tient principalement compte du fonctionnement hydraulique des ouvrages, en particulier lorsque l'injection se fait de manière localisée (mode de diffusion, voire de filtration, des eaux pluviales). Elle n'intègre pas les caractéristiques et le comportement mécaniques des SAUL, qu'il convient également de considérer dans la conception de l'ouvrage et le choix du produit.

¹⁰ Dans la mesure où ils sont accessibles et de diamètre nominal suffisant.

2.5.4 Différentes caractéristiques mécaniques et comportements structurels des ouvrages en SAUL

Les SAUL offrent aujourd'hui une grande diversité de structure et de comportement mécanique. Le polymère, ses caractéristiques, la forme, la structure des modules ou éléments et leur assemblage déterminent les caractéristiques et le comportement mécaniques des modules élémentaires et de l'ouvrage en SAUL, à court et long termes.

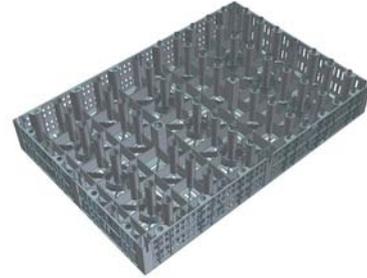
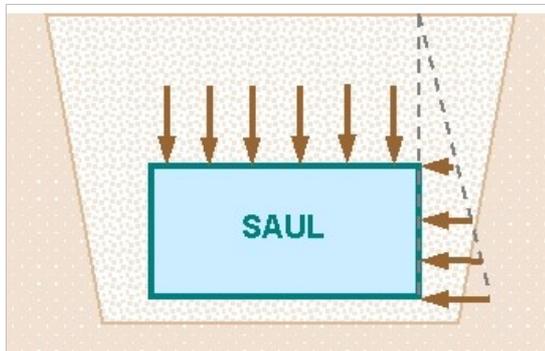


Photo 2.9 : Exemple de SAUL à structure avec pieux



Aussi, d'un point de vue mécanique, il est également possible de dégager plusieurs familles de structures de SAUL, déterminant le **mode de reprise des charges** qui lui sont appliquées, principalement :

- poids du remblai la surmontant,
- poussée latérale des terres.

Figure 2.4 : Pressions verticales et latérales exercées par le sol sur un ouvrage en SAUL

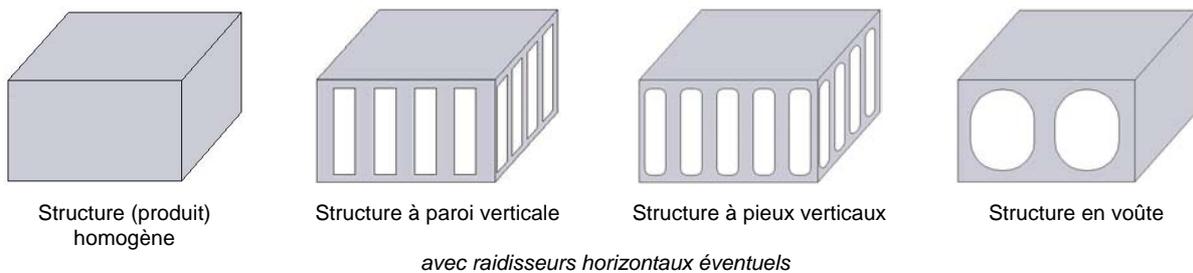


Figure 2.5 : Principaux types de SAUL pour la reprise et la transmission de charges réparties au sol de fondation (susceptibles d'être combinés)

La structure des SAUL détermine les conditions de pose et leur sensibilité à celles-ci. En effet, la pose doit garantir la continuité de la transmission des charges verticales au sol de fondation, au travers des pieux par exemple et ainsi leur parfaite verticalité. Dans tous les cas, les prescriptions du guide de pose du fabricant doivent être suivies.

Les caractéristiques mécaniques des SAUL, résistances à la compression verticale R_v et latérale R_l à court et long termes, déterminent **leurs limites d'emploi**, à savoir :

- les contraintes permanentes verticales et latérales admissibles,

- l'épaisseur maximale de remblai surmontant les SAUL,
- le nombre maximum de modules superposables,
- la profondeur maximale du fil d'eau,
- la hauteur minimale de remblai pour la traficabilité, notamment en phase chantier.

Selon la profondeur du fil d'eau de l'ouvrage et les poussées latérales induites, il est possible d'adapter la conception de l'ouvrage aux caractéristiques des produits (« escalier » inversé, parois coulées, etc.).

2.6 Points de vigilance indispensables

2.6.1 Prévenir le colmatage des SAUL

La limitation de l'apport en éléments solides dans l'ouvrage de stockage est un point important qui doit être abordé avec attention durant la phase d'études. Ainsi, il s'agira :

- d'empêcher l'introduction de flottants, feuilles et autres débris pouvant obstruer l'ouvrage et ses équipements annexes (systèmes d'injection, etc.),
- de prévenir l'apport en fines et matières en suspension (MES).

En effet, les seuls organes susceptibles d'être inspectés et nettoyés se limitent aux drains, aux canaux de diffusion accessibles, aux ouvrages d'injection et de restitution éventuels. Il est donc important de veiller à :

- **ne pas y introduire d'éléments colmatant ou fragilisant**, qu'ils soient liquides ou solides, dont la présence risquerait d'affecter la pérennité de l'ouvrage et des fonctions qui lui sont confiées (flottants, effluents fortement chargés en matière en suspension ou en matières organiques, effluents de type industriel, etc.) ;
- **assurer la continuité hydraulique** de l'ouvrage.



Photo 2.10 : Canal de diffusion susceptible d'être curé



Photo 2.11 : Exemple de canal de diffusion avant et après hydro curage

Le risque associé à l'introduction de matières en suspension dans la structure doit être relativisé en fonction du type de bassin versant. Une bonne connaissance du terrain doit permettre d'ajuster la conception en fonction de la qualité des apports.

Par ailleurs, il est toujours possible d'évaluer la durée de sollicitation au bout de laquelle une perte significative du volume utile est à craindre.

Les concentrations moyennes en matières en suspension (MES) mesurées dans les eaux de ruissellement issues de petits bassins versants résidentiels périurbains ou de chaussées sont généralement inférieures à 100 mg/L. Ces concentrations sont également **très variables** d'un événement pluviométrique à un autre. À titre d'information, une synthèse de valeurs mesurées disponibles dans la littérature est présentée dans (Barraud & *al.*, 2009).

Toute implantation d'une SAUL sur réseau d'assainissement unitaire doit être proscrite.

2.6.2 Maîtriser la pollution des eaux pluviales le cas échéant

Les SAUL sont des matériaux de stockage : **leur fonction principale consiste à stocker des apports d'eau excédentaires pour des événements pluvieux dits moyens à forts**, susceptibles de se produire tous les 5, 10, voire 30 ans et plus (niveaux de service N2, voire N3). Lorsqu'une action de dépollution est requise pour la préservation du milieu récepteur (niveau de service N1), ou pour assurer le bon fonctionnement hydraulique dans le temps de l'ouvrage, le recours à des équipements annexes assurant le traitement des eaux pluviales est nécessaire.

☛ *Note : à ce jour, l'absence sur le marché de SAUL pouvant faire l'objet d'un curage total ne destine pas ces produits à une utilisation pour la fonction de dépollution des eaux pluviales par décantation.*

Ainsi, si le bassin versant sur lequel se situe le projet de SAUL peut générer des quantités importantes de polluants de manière chronique ou accidentelle, il est nécessaire de prévoir des dispositifs de dépollution adaptés à l'amont de la SAUL, en série ou en dérivation (chapitre 3) ; le suivi et l'entretien réguliers de ces équipements annexes sont indispensables.

L'étude du projet d'un ouvrage en SAUL examinera ainsi la nature et les caractéristiques des polluants susceptibles de transiter par l'ouvrage.

Notons qu'**une proportion importante des polluants véhiculés par les eaux pluviales est essentiellement sous forme particulaire** c'est-à-dire fixés sur des matières en suspension. Cela est vrai également pour les hydrocarbures. Le moyen le plus efficace de les piéger consistera donc à créer des conditions favorables à leur décantation voire à leur filtration.

Une alimentation de l'ouvrage via une surface poreuse en enrobés ou bétons drainant par exemple, est également envisageable. Les particules polluées sont alors retenues en grande partie dans les vides du matériau. Le corollaire de ce choix est le

colmatage progressif du revêtement si des moyens de nettoyage adaptés ne sont pas mis en œuvre dès la mise en service.

2.6.3 Justifier de la tenue mécanique et de la qualité de mise en œuvre des ouvrages

Quelques sinistres ayant conduit à la ruine de l'ouvrage et des structures le surmontant sont survenus, en France et à l'étranger, avec l'arrivée de nouveaux produits sur le marché. Les enjeux associés sont à la fois environnementaux (défaillance d'un ouvrage de gestion des eaux pluviales), techniques (risque de discréditer les produits de type SAUL), économiques (investissement lourd réalisé par l'aménageur) et sociaux (risques pour les usagers de l'aménagement, indisponibilité temporaire).



Photo 2.12 : Cône d'effondrement au-dessus d'un ouvrage en SAUL [Paul, 2006]



Photo 2.13 : Effondrement d'un ouvrage en SAUL sous un parking [CIRIA, 2008]

Les causes de ces sinistres peuvent résulter de plusieurs phénomènes (surcharge de l'ouvrage, fluage du matériau, etc.), reflétant une insuffisance dans la démarche de justification de la tenue mécanique de l'ouvrage (inadéquation entre les performances des matériaux, susceptibles d'être insuffisamment caractérisées, et les dispositions constructives). Cette dernière, ainsi que la qualité de mise en œuvre des SAUL, sont essentielles à la tenue mécanique de l'ouvrage, de la structure qui le surmonte, et à sa pérennité. La démarche repose sur :

- une caractérisation adaptée du comportement mécanique des SAUL, à court et long termes, permettant de déterminer leurs limites d'emplois, en particulier hauteur de remblai et profondeur maximale admissibles (des travaux de normalisation ont été engagés dans ce sens) ;
- une bonne appréhension et prise en compte des actions appliquées sur l'ouvrage en phase de chantier et en phase d'exploitation, dont les actions de l'environnement géotechnique.

Chapitre 2 : L'essentiel



3 Démarche d'étude de projet

3.1 Proposition d'une démarche générale

Les études menées depuis l'analyse du site et de son environnement jusqu'à la mise au point du projet visent à répondre aux exigences d'une gestion intégrée et durable des eaux pluviales. Ainsi, il s'agit :

- de **s'assurer de la faisabilité du projet** au regard des documents de planification de l'urbanisme, de la gestion de l'eau et des risques, et d'en respecter les objectifs et dispositions réglementaires associés ;
- d'**intégrer au mieux le projet dans le site** en tenant compte des contraintes locales et en valorisant ses atouts ;
- d'adopter des choix techniques permettant de **concevoir un système modulaire** de gestion des eaux pluviales fonctionnant dans différentes conditions pluviométriques ;
- d'**optimiser la conception du système de gestion des eaux pluviales** au regard des exigences de maintenance et d'exploitation.

Les études sont à adapter à la sensibilité du site, aux enjeux associés, aux caractéristiques du projet d'aménagement et à ses incidences potentielles sur le cycle local de l'eau.

La démarche proposée, synthétisée dans le tableau 3.1, repose sur une analyse du contexte et une hiérarchisation des enjeux au regard des différentes dimensions du développement durable : environnementale, sociale et économique¹¹. Ce questionnement préalable essentiel permet ensuite de dégager des orientations, objectifs et principes de gestion des eaux pluviales du projet, formalisés par la définition d'une stratégie associée à des niveaux de service et de performances tel que présentés dans le chapitre 1 du présent guide. Ensuite seulement interviennent la conception et le dimensionnement hydraulique de l'ouvrage de stockage en SAUL, élément du système de gestion des eaux pluviales de l'aménagement.

¹¹ Pour en savoir plus : DGUHC, CERTU (2007, 2008). *L'ingénierie d'appui territorial au service du développement durable – Manuel de recommandations pour la prise en compte du développement durable dans la gestion du cycle de l'eau – Fascicule 1 : assainissement urbain (2007) et Fascicule 2 : gestion des bassins versants (2008)*, référentiels développant des méthodes d'approches basées sur la grille RST₀₂.

Tableau 3.1 : Détail des étapes de la démarche d'étude de projet

DEFINITIONS DES BESOINS			
Analyse du contexte du site et de son environnement			
ENVIRONNEMENT	GOUVERNANCE SOCIAL	ECONOMIQUE	
Synthèse et hiérarchisation des enjeux			
Analyse de faisabilité et définitions de préconisations			
DEFINITION D'UNE STRATÉGIE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES			
Définition des orientations et principes de la stratégie (mode de restitution selon les niveaux de service, mode de recueil, etc.)			
Définition d'objectifs de performances par niveaux de service			
Niveau de service N1 Pluies faibles	Niveau de service N2 Pluies moyennes	Niveau de service N3 Pluies fortes	Niveau de service N4 Pluies exceptionnelles
Choix des solutions techniques - Ouvrage en SAUL			
CONCEPTION DE L'OUVRAGE EN SAUL			
Détermination du volume utile de stockage à mettre en œuvre (fonction du mode de restitution retenu : infiltration / débit limité ou régulé et de la conception de l'aménagement en amont : apports)			
Détermination des débits d'eaux pluviales à collecter et injecter			
Dispositif de recueil, de collecte et d'injection des eaux pluviales			
Disposition du stockage temporaire en SAUL des eaux pluviales			
Système de diffusion / évacuation des eaux pluviales			
Dispositifs de ventilation			
Système de limitation ou de régulation de débit le cas échéant			
Géosynthétiques			
Vérification et optimisation du dimensionnement			

La vérification de la tenue mécanique est traitée dans le chapitre 4.

3.2 Analyse du site et de son environnement

3.2.1 Analyse du contexte et des enjeux environnementaux, sociaux et économiques

Gouvernance locale

Il s'agit d'analyser les documents de planification et règlements dont le projet est susceptible de relever, concernant principalement l'urbanisme, l'eau, l'assainissement et les risques. D'une part, ils sont une source d'informations essentielle sur le contexte et la sensibilité environnementale locale, utiles à l'analyse du site et, d'autre part, ils précisent les exigences réglementaires susceptibles de s'appliquer au projet.

Tableau 3.2 : Questionnements sur la gouvernance locale

	OBJECTIFS	PARAMÈTRES À DÉTERMINER	DONNÉES (SOURCES)
URBANISME	<ul style="list-style-type: none"> - L'emprise du projet est-elle soumise à des limitations d'occupation du sol ? - Le projet doit-il respecter des règles spécifiques d'insertion dans l'environnement ? - Le projet doit-il respecter des règles techniques spécifiques ? - Existe-t-il des prescriptions relatives à l'imperméabilisation des sols ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Coefficient d'occupation maximal du sol - Surfaces minimales d'espaces verts - Cote de construction par rapport aux voiries - Orientation du bâti - Marge de recul du bâti par rapports aux axes d'écoulement temporaires, permanents, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - PLU (compatibilité avec le SDAGE, le SAGE le cas échéant, etc.)
EAU et ASSAINISSEMENT	<ul style="list-style-type: none"> - Le projet est-il soumis à des conditions de raccordement au réseau d'assainissement ? - Le projet est-il soumis à des règles de déversement au milieu naturel ? - Le projet se situe-t-il dans l'emprise, à proximité d'une zone de captage réglementée ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Conditions de gestion des eaux pluviales (interdiction de raccordement, spécifications techniques de raccordement, prescriptions sur le recours à certaines solutions de gestion, niveau de protection, etc.). - Périmètres de protection de captage, prescriptions associées 	<ul style="list-style-type: none"> - SDAGE / SAGE - PLU (règles de desserte par les réseaux) - Zonage d'assainissement (maîtrise du ruissellement et de la pollution des eaux pluviales) - Règlement local d'assainissement - Règlement sanitaire départemental
RISQUES	<ul style="list-style-type: none"> - Le projet est-il soumis à des servitudes d'utilité publique ? - Le cas échéant, quelles sont les règles applicables ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Emprise des zones à risques - Règles applicables sur les nouvelles constructions, les conditions de desserte, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - PPR inondations, mouvements de terrains, etc. - Cartorisques¹²

Contexte et enjeux environnementaux

Il s'agit d'analyser et de caractériser l'état initial du site et de son environnement avant son aménagement. L'analyse du milieu physique concerne un ensemble de données thématiques : topographie, géomorphologie, hydrogéologie, hydraulique, données écologiques, etc. L'objectif est de comprendre le site, son fonctionnement par temps sec, par temps de pluie, les facteurs influençant les écoulements, l'évolution historique du site, sa sensibilité vis-à-vis de l'eau, ses potentialités.

Tableau 3.3 : Questionnements sur les enjeux environnementaux associés à l'eau

	OBJECTIFS	PARAMÈTRES À DÉTERMINER	DONNÉES (SOURCES)
TOPOGRAPHIE, GÉOMORPHOLOGIE	<ul style="list-style-type: none"> - Quels sont les bassins versants concernés par le projet et la position de la surface à aménager par rapport à ceux-ci ? - Quels sont les caractéristiques des écoulements superficiels avant l'aménagement (mécanismes d'écoulement, effets de concentration) ? - Quels sont les secteurs susceptibles d'érosion, de production de ruissellement ? - Quelles sont les zones propices au débordement ou au stockage ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Altitudes et courbes de niveaux - Pentes des terrains par zones homogènes - Points bas, dépressions naturelles - Limites de bassins versants naturels, forme, superficie, plus long parcours hydraulique, temps de concentration, coefficient de ruissellement - Nature du ruissellement (en nappe ou concentré), localisation et sens des axes d'écoulement pérennes ou intermittents - Localisation et position des exutoires du ruissellement naturel. - Singularités : étranglements, busages ou occupations de thalweg, ruptures de pente, obstacles aux écoulements, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Carte au 1/25000^{ème} (IGN) - Modèle numérique de terrain (MNT locaux, BD Alti IGN) - Levé topographique des terrains avec profils transversaux des axes d'écoulements (géomètre) - Photographie aérienne (archives et BD Ortho de l'IGN) - Cartes des bassins versants et sous-bassins versants, du réseau hydrographique (BD Carthage IGN) - Reconnaitances de terrain (en période de hautes eaux / basses eaux, par temps de pluie / temps sec)

¹² <http://cartorisque.prim.net>

	OBJECTIFS	PARAMÈTRES À DÉTERMINER	DONNÉES (SOURCES)
HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les caractéristiques du régime hydrologique des cours d'eau intéressés par l'aménagement ? - Quels sont les caractéristiques des aléas ruissellement, débordement de cours d'eau et les enjeux et vulnérabilités associés ? - Quels sont les phénomènes associés pouvant aggraver les effets des inondations (ruptures d'ouvrages, instabilité de versant, transport solide, etc.) ? - Quelle est la qualité des eaux superficielles, les sources éventuelles de dégradation, leur sensibilité ? - Quels sont les zones à préserver de tout aménagement, à valoriser ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Cours d'eau permanents, sources - Hydromorphologie - État d'entretien - Lits mineur et majeur des cours d'eau - Régimes, capacités d'écoulement, ouvrages et points singuliers, insuffisances localisées - Zones inondées et inondables connues : analyse historique, localisation et emprise des zones de débordement des cours d'eau et axes de drainage, mécanismes de débordement, vitesses et hauteurs constatées, fréquence, enjeux associés - Phénomènes associés aux crues : embâcles, glissements de terrain, instabilités d'ouvrages, etc. - Zones moins vulnérables aptes à être inondées - Objectifs d'état et qualité actuelle des cours d'eau - Zones humides (emprise, mode d'alimentation) - Écosystèmes aquatiques - Inventaires et caractéristiques des rejets, des prélèvements et périmètres de protection des captages en eaux superficielles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Carte au 1/25 000^{ème} (IGN) - PPR Inondation, atlas des zones inondées ou inondables, reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (BD Cartorisque, DDEA/DDT, DREAL) - Débits caractéristiques des cours d'eau, en période d'étiage et de crue (BD Hydro¹³, DREAL, Service de prévision des crues) - Mémoire des riverains, archives - Qualité des milieux récepteurs, objectifs de qualité (SDAGE, Agence de l'eau, DREAL, SIE¹⁴) - Études diverses (services en charge de la police de l'eau, maîtres d'ouvrage, etc.) - Zonages eaux pluviales, documents d'urbanisme - Rejets (services en charge de la police de l'eau)
PÉDOLOGIE, GÉOLOGIE, GÉOTECHNIQUE, HYDROGÉOLOGIE	<ul style="list-style-type: none"> - Existe-il un aléa inondation par remontée de nappe, par résurgence ? - Quelle est la sensibilité des sols à l'érosion (transport solide) ? - Quelle est la sensibilité des sols et du sous-sol à la présence d'eau ? - Quelle est la perméabilité des formations géologiques ? quelles sont les zones les plus favorables à l'infiltration ? - Quelle est la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine aux pollutions ? quelles sont les mesures de protection mises en œuvre ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Nature des formations superficielles, texture des sols - Sensibilité des sols et du sous-sol à l'eau - Perméabilité des sols - Nature, profondeur et fluctuations des nappes et venues d'eaux souterraines - Réseau de piézomètres, surveillance - Axes préférentiels d'écoulement souterrains - Relation avec le système hydraulique de surface (drainage, alimentation) - Qualité des eaux souterraines, évolutions, usages, périmètres de protection de captages - Couvert végétal (pratiques culturales, haies, mares, zones humides, bois, etc.) - Aléa Mouvement de terrain (glissement, chute de blocs, retrait-gonflement des argiles, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Carte géologique au 1/50 000^{ème} (BRGM¹⁵) - Carte pédologique (INRA) - Base de données sondages, piézométrie et qualité des eaux souterraines¹⁶ (BRGM) - Photographie aérienne (archives et BD Ortho de l'IGN¹⁷) - Carte d'aptitude des sols à l'assainissement autonome et à l'infiltration (in zonage d'assainissement) - PPR Mouvements de terrains, atlas départemental des mouvements de terrains, de sécheresse géotechnique (DDEA/DDT, DREAL, BRGM, BD Cartorisque) - Études géotechnique et hydrogéologique (bureau d'études spécialisé)
PLUVIOMÉTRIE LOCALE	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les caractéristiques de la pluviométrie locale ? - Quels sont les événements historiques de référence ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Pluviométrie observée : chronique de pluies, événements historiques de référence, répartition spatiale - Statistiques pluviométriques : courbes intensité durée fréquence, coefficient de Montana 	<ul style="list-style-type: none"> - Météo France - Service de prévision des crues, DREAL - Collectivités (services techniques) - Archives (cat nat)
SYSTÈME D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les capacités résiduelles du système d'assainissement pluvial, pour quelles types de pluies ? - Quelles sont les insuffisances du réseau d'assainissement pluvial à résorber ? - Quelles sont les informations complémentaires à acquérir ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Bassins et sous-bassins versants, imperméabilisation, structure globale du système d'assainissement des eaux pluviales - Capacités résiduelles des réseaux pour la collecte, l'évacuation ou le stockage des eaux pour différents niveaux de service¹⁸ - Points de délestage / de débordements des réseaux - Recensement et caractéristiques des ouvrages de rétention des eaux pluviales 	<ul style="list-style-type: none"> - Plans (services techniques, gestionnaires) - Dossiers de demande de reconnaissance de catastrophes naturelles pour inondation par ruissellement urbain (Préfecture, BD Cartorisque) - Études du système d'assainissement (collectivités, bureaux d'études)

¹³ Banque HYDRO : <http://www.hydro-eaufrance.fr> (débits caractéristiques des cours d'eau).

¹⁴ Bases de données de SANDRE et des agences de l'eau : <http://sandre.eaufrance.fr>.

¹⁵ Infoterre : <http://infoterre.brgm.fr>.

¹⁶ Banque ADES : <http://www.ades-eaufrance.fr> (piézométrie et qualité des eaux souterraines).

¹⁷ GEOPORTAIL, le portail des territoires et des citoyens : <http://geoportail.fr> (carte au 1/25000, photographies aériennes, etc.).

¹⁸ Pour limiter les déversements d'eaux polluées, les mises en charge du système, le risque d'inondation, etc.

Contexte et enjeux sociaux

Il s'agit d'identifier les ressources naturelles et activités ou aménagements anthropiques susceptibles d'être concernés par le projet d'aménagement et d'apprécier leur vulnérabilité éventuelle.

Tableau 3.4 : Questionnements sur les enjeux sociaux

	OBJECTIFS	PARAMÈTRES À DÉTERMINER	DONNÉES (SOURCES)
OCCUPATIONS DES SOLS ACTUELLE ET FUTURE	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les zones urbanisées et urbanisables sur le bassin versant concerné par le projet d'aménagement, leurs caractéristiques ? - Quels sont les enjeux associés, leur vulnérabilité et les niveaux de protection requis selon les conditions pluviométriques ? - Quels sont les contraintes / potentialités offertes par les espaces et voiries publics en cas de pluviométrie rare à exceptionnelle ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Nature et caractéristiques des différentes occupations du sol : habitat (densité, répartition spatiale, conditions d'ouvertures à l'urbanisation), activités économiques, infrastructures et équipements publics, etc. - Exposition aux risques d'inondations, vulnérabilité et hiérarchisation : établissements et réseaux sensibles (ERP, centres de secours, voies d'accès importantes...), ICPE ou établissements à risque exposés aux inondations, fréquences de submersion admissibles - Espaces publics interférant avec les écoulements (axe d'écoulement, zone de stockage, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Carte IGN au 1 /25 000^{ème} (Scan25) - Photographie aérienne (archives et BD Ortho de l'IGN) - Documents d'urbanisme (SCOT, PLU) - PPR, atlas des zones inondées ou inondables - Cadastre - Reconnaissance de site
USAGES DES SOLS	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les incidences des usages des sols, notamment à travers leurs évolutions, sur l'aléa pollution, les ruissellements et le risque inondation ? - Les zones inondables sont-elles susceptibles d'être valorisées ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Zones imperméabilisées - Zones de trafic, stockage et pratiques d'entretien - Zones cultivées et pratiques culturales - Couvert végétal - Évolutions plus ou moins récentes susceptibles d'influer sur le ruissellement et les écoulements : remembrement, culture, pratiques culturales, défrichements, imperméabilisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Carte IGN au 1 /25 000^{ème} (Scan25) - Photographie aérienne (archives et BD Ortho de l'IGN) - Documents d'urbanisme (SCOT, PLU, carte communale) - PPR - Recensement général agricole (DRAAF) - Reconnaissances de terrain
USAGES DE L'EAU	<ul style="list-style-type: none"> - Quels sont les usages de l'eau, leur vulnérabilité, les conflits d'usages éventuels ? - Existe-t-il un déficit de ressource ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Usages de la ressource en eau souterraine et superficielle - Perception des nouvelles solutions de gestion des eaux pluviales 	<ul style="list-style-type: none"> - Usages (SAGE, associations de pêche, Schéma Départemental à Vocation Piscicole) - Captages pour l'alimentation en eau potable et autres usages, caractéristiques (DDASS, maîtres d'ouvrages et DDEA/DDT).

Contexte et enjeux économiques

Il s'agit d'identifier et d'évaluer les enjeux économiques associés au projet.

Tableau 3.5 : Questionnements sur les enjeux économiques

	OBJECTIFS	PARAMÈTRES À DÉTERMINER	DONNÉES (SOURCES)
VULNÉRABILITÉ ÉCONOMIQUE	<ul style="list-style-type: none"> - Quels sont les enjeux économiques associés au projet (projet lui-même, biens, activités en aval, ressources naturelles) ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Occupations des sols (biens, infrastructures de transport, etc.) et activités économiques associées 	<ul style="list-style-type: none"> - Carte IGN au 1 /25 000^{ème} (Scan25) - Photographie aérienne (archives et BD Ortho de l'IGN) - Chambres de Commerce et d'Industriel - PPR - Recensement général agricole (DRAAF) - Reconnaissances de terrain
BUDGET / INVESTISSEMENT / FONCTIONNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la pression foncière ? - Quelles sont les ressources disponibles pour l'investissement et l'exploitation ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Prix du mètre carré 	<ul style="list-style-type: none"> - Données foncières

3.2.2 Synthèse et hiérarchisation des enjeux

La synthèse de cette phase d'analyse s'attachera à :

- **décrire** la topographie, la nature, les usages et occupations des sols (en amont, dans l'emprise du projet et en aval), leur aptitude éventuelle à l'infiltration des eaux pluviales ;
- **appréhender** le fonctionnement hydrologique du ou des bassin(s) versant(s) dans lequel s'inscrit le projet d'aménagement, les exutoires potentiels (réseau hydrographique superficiel, eaux souterraines, réseau d'assainissement pluvial) et leurs capacités résiduelles selon les conditions météorologiques ;
- **évaluer** les caractéristiques des ressources en eau et milieux aquatiques superficiels et souterrains, le respect des objectifs de bon état ou de bon potentiel écologique et de bon état chimique pour les eaux superficielles, de quantité et de bon état chimique pour les eaux souterraines, et les pressions (rejets) déjà exercées.

Elle pourra utilement être cartographiée¹⁹ : délimitation des bassins versants, réseau hydrographique, axes d'écoulements, débits caractéristiques, secteurs de production et d'aggravation du ruissellement, insuffisances localisées, influence à l'aval, points de rejets, source, captage, etc.

Enjeux environnementaux :

- **préserver ou reconquérir la qualité et la quantité de la ressource en eau**, les milieux aquatiques ;
- **préserver et valoriser les zones humides**, généralement associées aux axes d'écoulement superficiel et aux dépressions ;

Enjeux sociaux :

- **prévenir le risque d'inondation par ruissellement urbain et péri-urbain** du nouvel aménagement et des aménagements existants en aval le cas échéant, participer à la réduction de leur vulnérabilité ;
- **sensibiliser les riverains et usagers** des espaces à la gestion des eaux pluviales ;
- **partager les responsabilités** de la gestion des eaux pluviales en développant l'implication des aménageurs, des riverains et des usagers ;
- **maîtriser l'étalement urbain, assurer la pluri-fonctionnalité** des ouvrages ;

¹⁹ Sur fond de carte IGN au 1/25000^{ème}, ainsi que BD ORTHO et levé de géomètre.

Enjeux économiques :

- **maîtriser les coûts d'investissement et de fonctionnement** du système de gestion des eaux pluviales ;
- **limiter la consommation du foncier et valoriser l'espace aménagé** ;
- **économiser la ressource en eau**, etc.

3.2.3 Définition de préconisations pour la gestion des eaux pluviales

À l'issue de l'analyse du site et de son environnement, les préconisations sont susceptibles de porter sur :

- **le(s) mode(s) de recueil des eaux pluviales** ;
- **le(s) mode(s) de restitution et de gestion des eaux pluviales selon les conditions pluviométriques** (pluies faibles, moyennes, fortes, exceptionnelles) : infiltration, drainage, stockage et évacuation vers un exutoire à débit maîtrisé, écoulement gravitaire ou non, à surface libre ou en charge, etc. ;
- **la gestion des ruissellements** éventuels **en provenance de l'amont** ;
- **la limitation de l'imperméabilisation**, la maîtrise de ses effets par la mise en œuvre de stockage(s) temporaire(s) (accroissement des vitesses et volumes ruisselés) ;
- **l'organisation du plan masse** : préservation d'axes d'écoulement, de zones humides, valorisation de coulées vertes (espaces naturels et paysagers) et bleues (eau), orientation des voiries pour optimiser le stockage en suivant les courbes de niveaux, position du bâti, organisation des voiries et des espaces publics de manière à gérer les événements pluvieux exceptionnels, localisation privilégiée des ouvrages selon la topographie ;
- **la maîtrise de la pollution des eaux pluviales** : réduction des sources d'émission de pollutions, des transferts, traitement adapté si nécessaire.

Faisabilité de l'infiltration²⁰

La faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales est analysée en premier lieu. Plusieurs critères déterminent la faisabilité puis les conditions de restitution des eaux pluviales par infiltration dans le sol support selon les conditions pluviométriques (tableau 3.6).

²⁰ Pour en savoir plus : Barraud S. & al. (2009). *L'infiltration en questions - Recommandations pour le faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain*. Version 2 – janvier 2009, 63 p.

Tableau 3.6 : Critères à analyser pour la faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales

Famille de critères	Critères
Caractéristiques de la zone non saturée du sol	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité d'absorption²¹ : une perméabilité $< 10^{-6}$ m/s (3,6 mm/h) ne permet pas, <i>a priori</i>, l'infiltration des eaux pluviales dans des conditions satisfaisantes ; de même, une perméabilité trop élevée, $> 10^{-2}$ m/s (36 000 mm/h), est susceptible de favoriser un transfert très (trop) rapide de l'eau dans l'aquifère, non favorable à la filtration des eaux pluviales par la zone non saturée (précautions à prendre). - Épaisseur : une épaisseur minimale de 1 m est généralement requise, il s'agit d'un ordre de grandeur à moduler selon les caractéristiques de la zone non saturée ; ainsi, cette épaisseur pourra être portée à 2 m et au-delà dans les sols très perméables, sauf dispositions constructives particulières (séparation des fonctions de stockage et d'infiltration). - Nature : éviter l'infiltration dans les zones fissurées ou karstiques, proscrire l'infiltration dans le cas de sols sensibles à la présence d'eau (gypse, etc.) en lien avec le risque de dissolution associé.
Caractéristiques des eaux pluviales	<ul style="list-style-type: none"> - Qualité : elle est déterminée par la nature des surfaces drainées, l'occupation et les usages des sols ; en cas de pollution chronique, un traitement des faibles pluies peut être nécessaire avant infiltration pour prévenir le colmatage de l'ouvrage ou pour prévenir la pollution des eaux souterraines (niveau de service N1). - Risque de pollution accidentelle : il dépend des activités sur le bassin versant (transport de matières dangereuses, activités industrielles, etc.).
Caractéristiques de la nappe d'eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> - Profondeur et battements saisonniers : ces éléments valident l'épaisseur de la zone non saturée disponible. - Conditions d'écoulement : on évitera l'infiltration en amont de captage ou de prélèvement. - Qualité physico-chimique : en cas d'enjeux particuliers liés à la ressource en eau souterraine, une caractérisation initiale de la qualité des eaux souterraines peut être utile. - Usages : ils font généralement l'objet de protections réglementant les conditions d'infiltration dans leur environnement (périmètre de protection de captage, etc.). - Vulnérabilité : la vulnérabilité est liée à ses caractéristiques et à celles de la zone non saturée, elle doit être croisée à l'aléa pollution chronique ou accidentelle pour évaluer le risque.

Pour la définition du contenu des études de sol préalables, on se référera à l'encart relatif aux études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques de la section suivante.

Infiltration des eaux pluviales et maîtrise de la pollution²²

Lorsque les eaux pluviales sont restituées par infiltration dans le sol support, elles subissent une filtration. Si les vitesses d'infiltration sont trop élevées, tout en restant inférieures à 10^{-2} m/s, le temps de transfert des eaux est trop faible pour assurer une bonne maîtrise de la pollution, en particulier des micropolluants, apportée dans les sols puis dans les eaux souterraines. Cela est également le cas lorsque les volumes d'apport sont importants.

²¹ À apprécier selon le niveau de service, la conception du système de gestion des eaux pluviales, Barraud S. & al. (2009).

²² Pour en savoir plus : Citeau S. (2008). **Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines**. Rapport de synthèse. Rapport définitif, Agence de l'Eau Seine-Normandie, INRA, CEREVE, LCPC, INSA Lyon, 49 p.

L'état des connaissances invite à considérer une fourchette de vitesses d'infiltration allant de près de 10 mm/h à 360 mm/h, soit de 10^{-6} à 10^{-4} m/s, pour assurer un bon compromis entre infiltration des eaux et limitation du risque, lorsque ce dernier est avéré, de transfert de micropolluants dans les sols et les eaux souterraines.

En phase études, on sera donc attentif aux vitesses d'infiltration sur site et à la conciliation des performances hydrauliques attendues de l'ouvrage d'infiltration (niveau de service N2 voire N3) avec une limitation des risques de transfert des micropolluants vers les nappes (niveau de service N1).

3.3 Définition d'une stratégie de gestion des eaux pluviales

3.3.1 Esquisse d'orientations et de principes de gestion

Les orientations et principes de gestion sont susceptibles de porter sur :

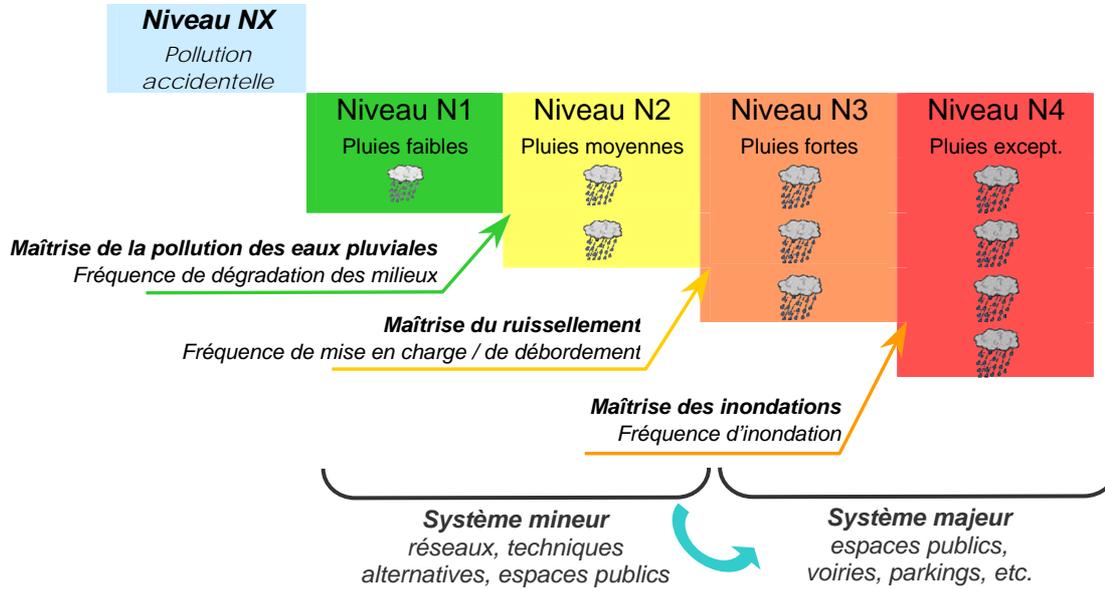
- les modes de « prise en charge des eaux pluviales » : écoulement, stockage,
- les modes de restitution des eaux pluviales : infiltration et/ou restitution à débit limité ou régulé,
- les modes de recueil et collecte des eaux pluviales : localisés, diffus en recherchant une limitation de l'imperméabilisation, etc.,
- les modes de stockage : superficiel ou enterré,
- les modes de gestion des ouvrages,

susceptibles d'être modulés selon les conditions pluviométriques.

3.3.2 Définition d'objectifs de performances selon les conditions pluviométriques

Ces orientations sont ensuite traduites en termes d'exigences de performances du système de gestion des eaux pluviales, **selon les niveaux de service attendus**. Les principes en sont rappelés dans le tableau 3.7. On se référera également à la première partie du présent guide.

Tableau 3.7 : Rappel des principes des niveaux de service du système de gestion des eaux pluviales (adapté de [MEDD, Certu, 2003])



Les études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques : objectifs, moyens d'investigation et phasage

Objectifs : Pour la faisabilité, la conception, le dimensionnement et la réalisation des ouvrages de stockage enterrés des eaux pluviales, les études géotechniques préalables visent à répondre à un ensemble de questions.

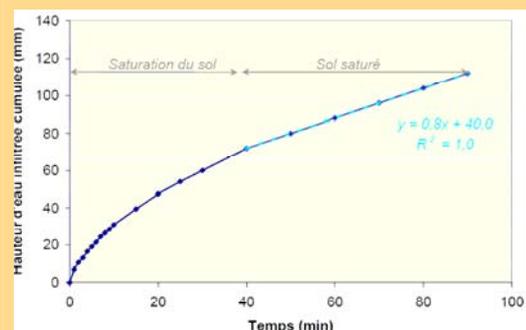
OBJECTIFS	Questions auxquelles les études doivent apporter des réponses
Fournir les paramètres nécessaires à l'analyse de la faisabilité des ouvrages	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la nature des sols et du sous-sol et leur sensibilité à l'eau ? - Les sols (ou le sous-sol) sont-ils suffisamment perméables pour permettre l'infiltration et, le cas échéant, quelles sont les zones les plus favorables ? - Quelle est la vulnérabilité des eaux souterraines, leurs enjeux et usages vis-à-vis des pollutions ? - Existe-il des aléas géologiques (dissolution, glissement, etc.) ? - Quel est l'encombrement par les réseaux (DICT) ?
Fournir les paramètres pour le choix des familles d'ouvrages, leur conception et leur dimensionnement	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle doit être la profondeur maximale de la base de l'ouvrage d'infiltration selon les battements de la nappe (maintien d'une zone non saturée) ? - Quelles sont les valeurs de perméabilité/loi d'infiltration selon les surfaces d'infiltration mobilisées ? - Sera-t-il nécessaire de séparer les fonctions de stockage et d'infiltration ? - Sera-t-il nécessaire d'étancher l'ouvrage de stockage ? (le cas échéant, fournir une aide au choix du mode d'étanchement et au dimensionnement du dispositif d'étanchéité par géomembrane) - Quelle est la portance du sol de fondation ? - Quelles sont les caractéristiques des sols à prendre en compte pour justifier la tenue de l'ouvrage au poids et à la poussée de terres ? - Faudra-t-il justifier la tenue mécanique de l'ouvrage à la pression hydrostatique de la nappe (ouvrage de stockage étanche) ? - Quelles sont les caractéristiques des sols à prendre en compte pour le choix du géotextile de séparation/filtration ?
Fournir les éléments utiles pour la réalisation des travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les modalités et moyens de terrassement à mettre en œuvre ? - Dans quelles conditions devra être assurée la stabilité de la fouille et de son environnement ? - En cas de pose sous nappe, quelles seront les conditions d'épuisement de la fouille et de « remise en eau » de la fouille ? - Sera-t-il possible de réemployer les matériaux extraits en remblai ? Dans quelles conditions ?
Fournir les éléments utiles à l'évaluation du fonctionnement de l'ouvrage en service	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la perméabilité initiale de la surface d'infiltration ? (utile pour évaluer l'évolution des performances hydrauliques d'un ouvrage d'infiltration)



Photo 3.1 : Exemple d'essai d'infiltration au double anneau ouvert

Figure 3.1 : Exemple de courbe d'essai d'infiltration

$K = 1.10^{-6} \text{ m/s}$, soit $3,6 \text{ mm/h}$ (sol argilo-limoneux)



Phasage : Les études peuvent être organisées en trois phases progressives selon la connaissance du site et les risques éventuels, par similitude avec les pratiques adoptées pour la pose de réseaux d'assainissement (fascicule 70 du CCTG – Titre I, 2004).

PHASE	Principe et contenu
1	Il s'agit d'une approche globale du site permettant d'évaluer la faisabilité du projet et la définition de préconisations générales ; elle est essentiellement qualitative et documentaire (reconnaissance visuelle du site et de son environnement, reconnaissances des horizons superficiels à la tarière à main, etc.).
2	Des investigations sont réalisées, utiles à la conception et au dimensionnement du projet (hydraulique, en cas d'infiltration, et mécanique) : reconnaissance et caractérisation des sols, essais d'eau, etc. ; pour la réalisation d'ouvrages de stockages enterrés en SAUL, cette phase de reconnaissance est indispensable .
3	Il s'agit d'une analyse de problèmes spécifiques peu fréquents requérant des investigations adaptées (rabattement de nappe, risque de glissement de terrains, etc.) ; la nécessité de cette phase est déterminée par les conclusions de l'étude de phase 2.

Moyens d'investigation : Les moyens d'investigation pour la reconnaissance des sols sont ceux déjà couramment utilisés pour les études préalables à la pose de réseaux d'assainissement :

- méthodes géophysiques non destructives pour des analyses globales et continues ;
- méthodes destructives pour la reconnaissance et la caractérisation des sols.

Pour la mesure de la perméabilité des sols en vue de l'infiltration des eaux pluviales, un large choix de méthodes d'essais est disponible [Cassan, 2005]. Les critères de choix d'une méthode d'essai sont :

- **l'état de saturation du sol** : certains essais nécessitent de saturer préalablement le sol ;
- **la gamme de perméabilité du sol** : elle conditionne les conditions d'injection ou de pompage (puissance de la pompe, pression d'eau) ;
- **la nature et l'homogénéité du sol** : dans les sols hétérogènes, il est souhaitable de mettre en œuvre des essais intéressant de grandes zones de sol, et/ou de multiplier le nombre d'essais ;
- **la profondeur de l'essai** : les essais sont réalisés en surface ou dans une fosse ou en forage ;
- **le type de perméabilité à mesurer** : selon la surface de sol sollicitée par l'essai (surface horizontale, paroi verticale d'une portion de forage, paroi d'une cavité ou d'une fosse) et/ou le type d'essai, la zone intéressée par l'essai peut être importante ou localisée ; l'essai fournit ainsi une perméabilité locale (verticale et/ou horizontale) ou en grand ; ainsi, les essais en surface ou en fosse privilégient généralement la mesure de perméabilité verticale, les essais en portion de forage privilégient la perméabilité horizontale ; le choix du type d'essai peut dépendre de la configuration de l'ouvrage d'infiltration projeté (infiltration par la base de l'ouvrage et/ou les parois latérales) ou la stratification du sol orienter celle-ci.²³

La durée d'essai peut s'étaler de quelques heures à plusieurs dizaines d'heures selon le type d'essai et les conditions hydrogéologiques. L'étude géotechnique doit motiver le choix de la méthode d'essai et produire, le cas échéant, les profils géologiques des zones investiguées, les procès verbaux d'essais fournissant en particulier la profondeur, la zone intéressée par l'essai et la courbe de l'essai d'infiltration.

²³ « Du fait de stratifications existant presque toujours dans les sols naturels, la perméabilité verticale est le plus souvent inférieure à la perméabilité horizontale, le rapport K_H/K_V étant couramment compris entre 10 et 100. » [Kastner R., 1975].

3.3.3 Choix de solutions techniques pour le recueil, stockage et la restitution des eaux pluviales

Le choix du ou des type(s) d'ouvrages de stockage des eaux pluviales (bassin, tranchée, etc.) et des matériaux de stockage intervient par la suite, selon le parti d'aménagement retenu et les potentialités offertes par l'aménagement. Les critères de choix pour les SAUL sont principalement la faible disponibilité et le coût élevé du foncier.

Si l'infiltration des eaux pluviales est réalisable, en tout ou partie selon les conditions pluviométriques, il est ensuite nécessaire de déterminer le couple **surface d'infiltration / volume de stockage** requis, selon le niveau de service :

- la surface d'infiltration est un paramètre d'ajustement, déterminée généralement par l'emprise disponible dans l'aménagement et la géométrie envisagée pour l'ouvrage d'infiltration (qui peut également être l'ouvrage de stockage) ; elle détermine le débit d'infiltration ;
- cette surface fixée *a priori*, le volume de stockage correspondant est ensuite déterminé par les méthodes de calcul présentées par ailleurs (méthode des volumes, méthode des pluies, méthode des débits, etc.).

Cette détermination est réalisée pour les différents niveaux de service requis. Un volume de stockage excessif, au regard des contraintes d'aménagement et/ou des coûts, ou des durées de vidange trop importantes peuvent alors conduire, pour les niveaux de service les plus élevés (N2, N3) à rechercher une restitution complémentaire vers le milieu hydrographique superficiel (avec ou sans stockage, selon la stratégie de gestion des eaux pluviales).

Dans quelles situations le projeteur peut-il être amené à séparer les ouvrages assurant la fonction de stockage et la fonction de restitution par infiltration ?

- **le sol ou le sous-sol est trop perméable** (perméabilité $> 10^{-2}$ m/s) : un ouvrage d'infiltration de surface limitée réduit la vitesse de transfert (il est également possible d'interposer un filtre de sol reconstitué moins perméable en fond d'ouvrage de stockage).
- **le sol ou le sous-sol est trop perméable** (perméabilité $> 10^{-2}$ m/s) : un ouvrage d'infiltration de surface limitée réduit la vitesse de transfert (il est également possible d'interposer un filtre de sol reconstitué moins perméable en fond d'ouvrage de stockage).
- **la nature des eaux pluviales risque de colmater rapidement l'ouvrage d'infiltration**: le stockage préalable favorisant la décantation ou la filtration limite le colmatage de l'ouvrage d'infiltration.
- **les surfaces d'apport ont un potentiel de pollution non négligeable et les eaux souterraines sont vulnérables à cette pollution chronique** : un traitement des faibles pluies par décantation et/ou filtration est requis (niveau de service N1) en fonction de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution chronique et/ou des caractéristiques des eaux pluviales. Un contrôle de la conception du dispositif de décantation est nécessaire.
- **il existe un risque de pollution accidentelle et le sol est trop perméable (niveau de service NX)** : la séparation des fonctions permettra d'interposer un ouvrage de gestion de pollution accidentelle (actionnement d'une vanne en sortie d'ouvrage de stockage).
- **il existe des exigences réglementaires locales imposant un traitement préalable des eaux pluviales et/ou un contrôle des rejets avant infiltration**.

Si l'infiltration des eaux pluviales n'est pas réalisable, pour tout ou partie des niveaux de service, l'excédent d'eaux pluviales est alors restitué au réseau hydrographique superficiel par un réseau d'assainissement pluvial superficiel ou enterré, après limitation ou régulation de débit éventuelle.

Si la préservation de la qualité des eaux des milieux récepteurs (niveau de service N1) ou la prévention du colmatage de l'ouvrage en SAUL (apport de matières en suspension et de fines) le justifie, le concepteur veillera à installer un **dispositif de dépollution** (dégrilleur, décanteur, filtre, etc.) dédié (figure 3.2) :

- en série, en amont de l'ouvrage en SAUL ;
- en parallèle de l'ouvrage en SAUL, celui-ci étant alimenté par surverse.

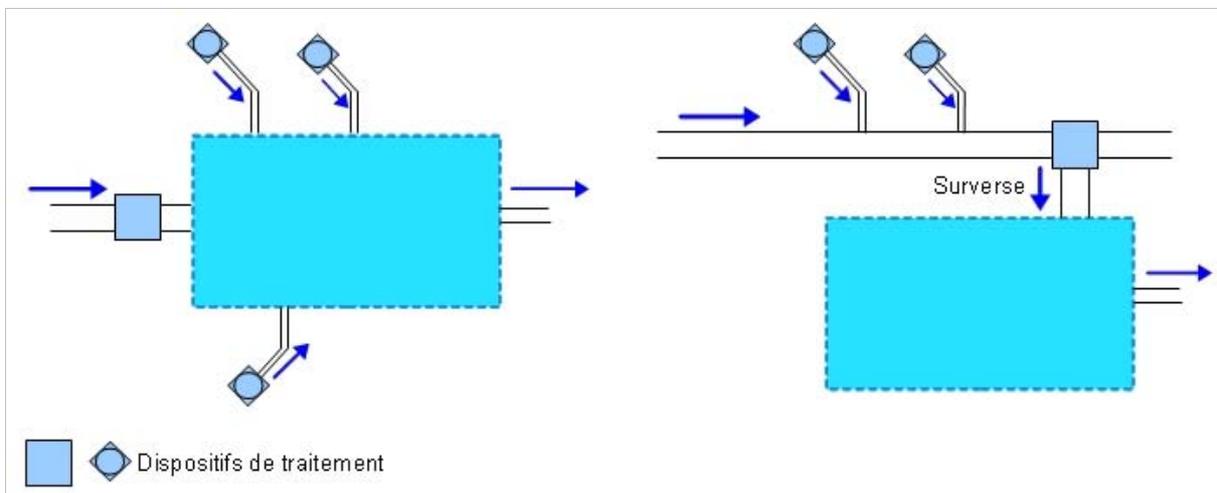


Figure 3.2 : Exemples de dispositifs de dépollution en série et en parallèle d'un ouvrage en SAUL (cas d'un ouvrage de stockage étanche ; surverse de l'ouvrage en SAUL non figurée)

Ces dispositifs font l'objet d'un dimensionnement dédié. Pour le niveau de service N1, lorsque qu'un traitement des eaux pluviales est nécessaire, une gestion à ciel ouvert permet de favoriser les bonnes pratiques et de maîtriser les émissions à la source.

La figure 3.3. présente un exemple simple, parmi d'autres, de système modulaire incluant un ouvrage en SAUL dans une tranchée infiltrante et pour lequel :

- la perméabilité des sols est relativement faible et la nature des eaux collectées n'engendre pas de risque de pollution chronique ; les faibles pluies sont infiltrées dans le sol support ; un dispositif de décantation (non figuré) est cependant mis en place pour prévenir les risques de colmatage de l'ouvrage en SAUL ;
- l'excédent de pluie ne pouvant être infiltré pour le niveau de service N2 est restitué à débit contrôlé ;
- une noue végétalisée et les espaces sus-jacents à l'ouvrage sont progressivement sollicités pour gérer les volumes excédentaires pour les niveaux de service N3 puis N4 (système majeur).

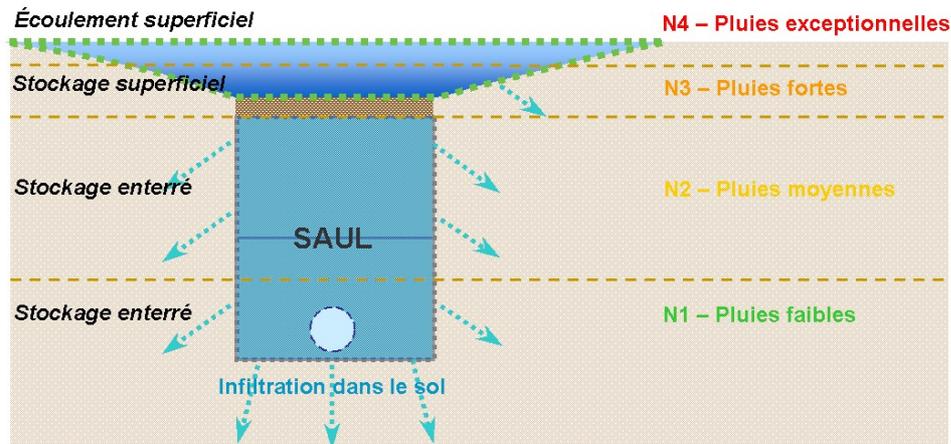


Figure 3.3 : Exemple de combinaison de techniques (tranchée d'infiltration et noue) pour un fonctionnement modulé du système selon les conditions pluviométriques

Gestion des pollutions accidentelles

Les risques de pollution accidentelle notamment par des liquides légers doivent être correctement évalués tout au long de la vie de l'ouvrage et de l'aménagement associé (travaux, etc.). Le cas échéant, il convient de s'assurer²⁴ :

- de la cohérence de toute la chaîne, de l'alerte à l'intervention et des délais associés,
- des capacités de rétention, de l'étanchéité des obturateurs, etc.

De l'opportunité de la mise en œuvre de séparateurs à hydrocarbures industriels

En aménagement urbain, l'analyse de l'opportunité de mise en œuvre de séparateurs à hydrocarbures industriels mérite une attention particulière au vu :

- de l'évaluation des sources potentielles d'apport sur la base des concentrations en hydrocarbures mesurées dans les eaux pluviales urbaines et de la vulnérabilité des milieux aquatiques récepteurs,
- des performances de dépollution susceptibles d'être attendues de tels dispositifs,
- des retours d'expériences disponibles,
- des coûts d'investissement et d'entretien qu'ils requièrent.

Il est désormais largement reconnu²⁵ que de tels ouvrages ne sont pas adaptés au traitement de la pollution chronique des eaux pluviales, les concentrations en hydrocarbures véhiculées par les eaux pluviales étant faibles au regard des domaines d'emploi de ces équipements. Par ailleurs, étant en grande partie fixée sur des particules en suspension, cette pollution est plus sujette à un traitement par décantation et/ou filtration.

Le recours à ce type d'ouvrages industriels doit donc se limiter aux aménagements générant de fortes concentrations en hydrocarbures « libres » (stations services, aires d'entretien, etc.).

²⁴ Pour en savoir plus : Aires, N. (2004). *Conférences professionnelles de l'Agence de l'Eau Artois Picardie*, 7 décembre 2004 ; Aires, N. (2005). *Séminaire ASTEE/ENGEES « La pluie et la ville »*, 4 février 2005, Strasbourg.

²⁵ Pour en savoir plus : SETRA (2008). *Traitement des eaux de ruissellement routières – Opportunité des ouvrages industriels : débourbeurs, déshuileurs et décanteurs-déshuileurs*. Note d'information – février 2008, 12 p. ; GRAIE (2004). *Les hydrocarbures dans les eaux pluviales – Solutions de traitement et perspectives*. Réunion d'échanges – 8 décembre 2004, Annemasse.

3.4 Conception du système de gestion des eaux pluviales intégrant les SAUL

3.4.1 Détermination des volumes de stockage pour le ou les différents niveaux de service

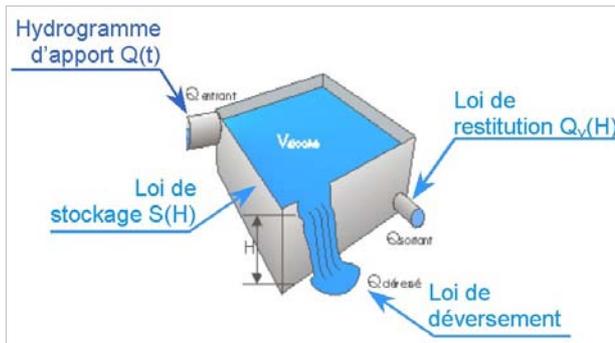


Figure 3.4 : Principe de fonctionnement hydraulique d'un ouvrage de stockage

La conception d'un ouvrage de stockage en SAUL repose sur la détermination du ou des volume(s) utile(s) de stockage à mettre en œuvre selon les niveaux de service assurés et les débits de restitution associés par infiltration et/ou par évacuation à débit limité ou régulé. Sont présentés ci-après les grands principes de détermination des volumes d'eaux pluviales.

Principes de pré-dimensionnement d'un ouvrage de stockage

Le pré-dimensionnement est réalisé en trois principales étapes :

- **caractérisation du bassin versant drainé** (surface, coefficient d'apport, etc.), du **débit de restitution des eaux pluviales** et des **conditions pluviométriques locales** susceptibles de le solliciter et adaptées aux niveaux de service étudiés ;
- **détermination du volume utile de stockage d'eaux pluviales** requis, par une méthode adaptée, selon le niveau de service considéré ;
- **pré-dimensionnement de l'ouvrage de stockage** : volume utile associé à un niveau de service, vérification des durées de vidange, etc.

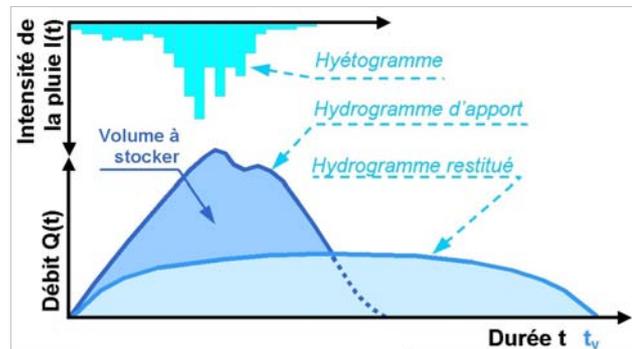


Figure 3.5 : Principe de dimensionnement d'un ouvrage de stockage d'eaux pluviales

Spécificités des ouvrages d'infiltration

La détermination du débit de vidange des ouvrages d'infiltration dépend de plusieurs paramètres :

- la **surface de la base et des parois** de l'ouvrage mobilisées, éventuellement variable selon le taux de remplissage de l'ouvrage ;

- la **capacité d'absorption du sol**²⁶ au niveau de la surface d'infiltration (composantes verticale et horizontale de l'infiltration), susceptible également de varier dans l'espace et de diminuer durant la durée de vie de l'ouvrage par colmatage progressif ;
- la **différence de charge hydraulique sur la surface d'infiltration**, susceptible également de varier selon le taux de remplissage de l'ouvrage.

En phase de pré-dimensionnement, le débit de vidange pourra en première approche être considéré comme constant. Il peut par exemple être obtenu sous la forme d'un débit surfacique, dans le cas d'une nappe profonde²⁷ :

avec :

$$Q_{\text{inf}} = \alpha q_{\text{as}} S_{\text{inf}}$$

α : coefficient de sécurité minorateur ($0 < \alpha < 1$)

q_{as} : capacité d'absorption du sol

S_{inf} : surface d'infiltration

La capacité d'absorption est obtenue par des essais *in situ*.

Une surface d'infiltration peut être fixée *a priori*, au regard de la configuration de l'aménagement, puis optimisée par itération selon le volume de stockage requis et sa disposition (forme de l'ouvrage de stockage et surfaces de la base et du fond susceptible d'infiltrer).

Selon les approches adoptées, le **coefficient de sécurité minorateur** peut viser à intégrer l'incertitude sur les mesures de la capacité d'absorption du sol (précision des mesures *in situ*, variabilité spatiale) et/ou la réduction progressive de la capacité d'absorption du sol au fil du temps par colmatage et/ou la réduction de la surface d'infiltration. Les hypothèses et pratiques varient selon les pays²⁸ : pas d'infiltration par la surface de la base de l'ouvrage (colmatée à terme), infiltration sur la moitié des surfaces des parois latérales, application d'un coefficient de sécurité variant généralement de 0,3 à 0,5, etc.

En France, une approche sous forme de logigramme d'aide à la décision, basée sur la réduction de la surface d'infiltration considérée (surface de base, surface des parois) a été proposée, tenant compte du type d'ouvrage, de la qualité des eaux pluviales, des dispositifs de traitement éventuels et des conditions d'entretien [Azzout &

²⁶ La « capacité d'absorption », ou d'infiltration, caractérise le débit infiltré par unité de surface du sol [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$]. La « conductivité hydraulique » est un coefficient dépendant des propriétés du milieu poreux et de celles de l'eau et désigne quant à elle l'aptitude du sol à laisser circuler l'eau [m/s].

²⁷ Les conditions géologiques et hydrogéologiques caractérisées par l'étude préalable dédiée doivent permettre de déterminer l'expression du débit d'infiltration la plus adaptée (formule du débit surfacique en cas de nappe profonde, formule de Schneebeli en cas de nappe à faible profondeur, avec risque de formation d'un dôme piézométrique, etc.). Pour en savoir plus : STU, Agences de l'Eau (1994). **Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales**, Éditions TEC & DOC Lavoisier, p 55.

²⁸ Pour en savoir plus : Barraud S. & al. (2006). **Guide technique - Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain**. Programme MGD Infiltration – RGCU « Maîtrise et gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain », janvier 2006, 62 p.

al., 1994]. Depuis, les travaux de recherche ont essentiellement porté sur les tranchées d'infiltration²⁹ et ouvrages d'infiltration superficiels³⁰.

← **Note** : Dans tous les cas, il est conseillé en phase de pré-dimensionnement de mener une étude de la sensibilité du dimensionnement (volume de stockage, durée de vidange) à la réduction de capacité d'infiltration de l'ouvrage.

Méthodes de détermination des volumes à stocker

Pour la détermination des volumes utiles de stockage, trois principales méthodes sont disponibles :

- la **méthode des volumes** et la **méthode des pluies**, dites « simplifiées » (reposant notamment sur un débit de fuite supposé constant) : elles fournissent principalement un volume à stocker ;
- la **méthode de l'hydrogramme** (ou **des débits**) qui fournit la réponse de l'ouvrage de stockage à une sollicitation pluviométrique (possibilité de décrire, contrairement aux méthodes simplifiées, les lois de stockage, de restitution et de surverse).

Leurs principes et domaines d'emploi sont rappelés dans le tableau 3.8.

La présence avérée d'enjeux sur ou en aval du site (induisant un risque en cas de défaillance de l'ouvrage, etc.) peut nécessiter de recourir à une méthode de dimensionnement détaillée.

3.4.2 Estimation des débits et le pré-dimensionnement des dispositifs de collecte

Lors du recueil traditionnel des eaux pluviales, puis de leur injection ponctuelle dans l'ouvrage de stockage en SAUL, il est nécessaire d'estimer le ou les débit(s) de pointe d'eaux pluviales à collecter et injecter, selon les niveaux de service assurés. Sont présentés ci-après les grands principes d'estimation des débits d'eaux pluviales, ainsi que du dimensionnement des collecteurs.

Principes de pré-dimensionnement d'un collecteur ou fossé d'écoulement

Il est réalisé en trois principales étapes :

- **caractérisation du bassin versant** drainé (surface, coefficient de ruissellement, plus long parcours hydraulique, pente, temps de concentration, etc.) et des **conditions pluviométriques locales** susceptibles de le solliciter, adaptées aux niveaux de service étudiés ;

²⁹ Pour en savoir plus : Proton A. (2008). *Étude hydraulique des tranchées de rétention / infiltration*. Thèse réalisée à l'INSA de Lyon, 299 p.

³⁰ Pour en savoir plus : Le Coustumer S. (2008). *Colmatage et rétention des éléments traces métalliques dans les systèmes d'infiltration des eaux pluviales*. Thèse réalisée à l'INSA de Lyon et Monash University, 427 p.

- **détermination du débit de pointe Q_{pe} d'eaux pluviales**, par une méthode adaptée aux spécificités du projet et aux données pluviométriques associés au niveau de service considéré ;
 - **pré-dimensionnement du collecteur** ou du fossé d'écoulement : section minimale d'écoulement, pente, matériau, puis choix d'un diamètre commercial ou section du fossé.
- ☛ *Note : ce ne sont pas les mêmes conditions pluviométriques qui vont générer le débit de pointe d'eaux pluviales à collecter et le volume maximal d'eaux pluviales à stocker, le débit de pointe pour des aménagements étant classiquement généré par des pluies intenses de faible durée (proche du temps de concentration du bassin versant).*

Méthodes de détermination des débits d'eaux pluviales

Trois principales méthodes de détermination des débits d'eaux pluviales sont disponibles :

- la **méthode rationnelle** et la **méthode de Caquot** qui sont des méthodes dites « ponctuelles », elles fournissent un débit de pointe,
- la **méthode de l'hydrogramme** (ou **des débits**), qui fournit la réponse du bassin versant à une sollicitation pluviométrique.

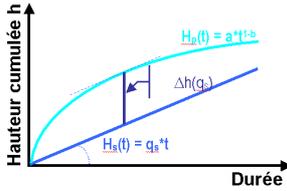
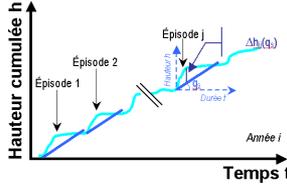
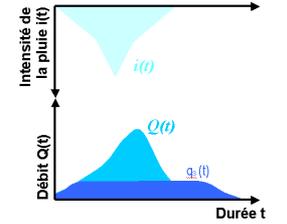
Leurs principes et domaines d'emploi sont rappelés dans le tableau 3.9.

Le recours aux méthodes dites « ponctuelles » suppose également que les surfaces à drainer et les débits calculés sont faibles ainsi que les enjeux sur ou en aval du site³¹.

- ☛ *Note : pour la détermination de débits surversés (transition entre deux niveaux de service), il est nécessaire de faire appel à des méthodes non ponctuelles (obtention d'un hydrogramme permettant de connaître la durée de la surverse, le volume déversé, etc.).*

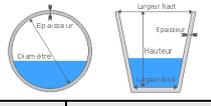
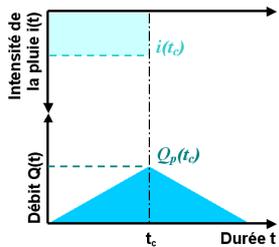
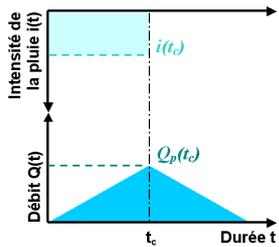
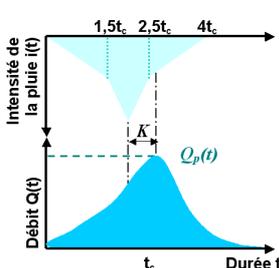
³¹ Pour en savoir plus : CERTU, MEDD (2003). *La ville et son assainissement : principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau*, chapitre 6.

Tableau 3.8 : Méthodes de détermination des volumes d'eaux pluviales à stocker [d'après Barraud & Alkakah, 1999 in Barraud & al., 2009, et MEDD, Certu, 2003]

MÉTODES DE DÉTERMINATION DES VOLUMES DE STOCKAGE D'EAUX PLUVIALES				
	Représentation et résultats	Paramètres d'entrée	Hypothèses	Conditions d'emploi et remarques
Méthode des pluies	 <p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Durée de pluie dimensionnante ▶ Volume maximal à stocker ▶ Durée de vidange </p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A : surface du bassin versant ▪ C_a : coefficient d'apport ▪ Paramètres de Montana a et b pour différentes plages de durées de pluies (courbes IDF), dont durée de pluie dimensionnante f(A, C_a, q_s)³² ▪ q_s : débit spécifique de fuite de l'ouvrage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Débit de fuite constant dans le temps ▪ Coefficient d'apport constant dans le temps ▪ Temps de transfert des eaux pluviales sur le bassin versant négligé (supposé instantané, pas d'autre ouvrage de stockage en amont de l'ouvrage à dimensionner) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possibilité d'estimer la durée de vidange de l'ouvrage ▪ Bassin versant avec ouvrage unique (<i>éventuellement subdivisé en ouvrages en série si pas d'apports intermédiaires</i>) ▪ Facteur correctif à appliquer si variations du débit de vidange en fonction du remplissage de l'ouvrage
Méthode des volumes	 <p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Pluie dimensionnante ▶ Volume maximal à stocker ▶ Volumes maximaux stockés par événement ▶ Durée de vidange </p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A : surface du bassin versant ▪ C_a : coefficient d'apport ▪ Chronique des hauteurs de pluie précipitées sur la durée d'analyse ▪ q_s : débit spécifique de fuite de l'ouvrage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Débit de fuite constant dans le temps ▪ Coefficient d'apport constant dans le temps ▪ Temps de transfert des eaux pluviales sur le bassin versant négligé (supposé instantané, pas d'autre ouvrage de stockage en amont de l'ouvrage à dimensionner) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilité de chroniques de pluie locale sur une durée adaptée à la période de retour, à un pas de temps adapté ▪ Bassin versant avec ouvrage unique (<i>éventuellement subdivisé en ouvrages en série si pas d'apports intermédiaires</i>) ▪ Facteur correctif à appliquer si variations du débit de vidange en fonction du remplissage de l'ouvrage
Méthode de l'hydrogramme	 <p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Hydrogramme restitué ▶ Volume et hauteur d'eau stockés ▶ Volume maximal à stocker ▶ Durée maximale de vidange ▶ Débits surversés. </p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A : surface du bassin versant ▪ C_a : coefficient d'apport ▪ Pluie de projet, observée ou synthétique ▪ Q_s(h) : loi de vidange du dispositif de restitution ▪ V(h) : loi de stockage de l'ouvrage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coefficient d'apport constant ou non dans le temps ▪ Transfert instantané des eaux dans le réservoir 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ouvrage unique (possibilité de calculer plusieurs réservoirs en série) ▪ Tout type de loi de stockage et loi de vidange ▪ Nécessité d'appréhender au préalable la durée de pluie dimensionnante (<i>par la méthode des pluies ou de préférence par simulation d'un jeu de pluies</i>)³² ▪ Intérêt d'intégrer des modules de production et de transfert sur le bassin versant en amont de l'ouvrage

³² Vérifier l'adaptation de la **plage de validité des coefficients a et b** utilisés à la durée de pluie dimensionnante obtenue.

Tableau 3.9 : Méthodes de détermination des débits d'eaux pluviales

		PRINCIPALES MÉTHODES DE DETERMINATION DE DÉBITS D'EAUX PLUVIALES		
	Représentation et résultats	Paramètres d'entrée	Hypothèses	Conditions d'emploi et remarques
Méthode rationnelle	 <p>▶ Débit de pointe d'eaux pluviales pour une période de retour donnée</p> <p>$Q_p(t_c) = 0,167 \cdot C_r \cdot i(t_c) \cdot A \text{ (m}^3/\text{s)}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> A : surface du bassin versant (ha) C_r : coefficient de ruissellement t_c : temps de concentration du bassin versant (min) a & b : paramètres de Montana (courbes IDF) $i(t_c) = a \cdot t_c^{-b}$ étant l'intensité de la pluie pour une période de retour donnée calculée pour une durée t_c (mm/min) 	<ul style="list-style-type: none"> Pluie d'intensité constante sur la durée égale au temps de concentration du bassin versant Temps de transfert des eaux pluviales sur le bassin versant négligé Modèle de pertes constantes ($C_r = \text{cte}$) 	<ul style="list-style-type: none"> Recherche d'un débit de pointe Bassin versant sans autre ouvrage de stockage Surface de bassin versant inférieure à quelques dizaines d'hectares Débit de pointe et intensité de la pluie ayant même période de retour
Méthode de Caquot	 <p>▶ Débit de pointe d'eaux pluviales pour une période de retour donnée</p> <p>$Q_p(t_c) = \alpha_1 \cdot l^{\alpha_2} \cdot C_r^{\alpha_3} \cdot A^{\alpha_4} \text{ (m}^3/\text{s)}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> A : surface du bassin versant (ha) C_r : coefficient de ruissellement L : plus long parcours hydraulique (m) M : coefficient de forme du bassin versant ($=f(L, A)$) I : pente du plus long parcours hydraulique (m/m) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ et α_4 coefficients, fonctions des paramètres de Montana a et b, et du coefficient de forme M du bassin versant 	<ul style="list-style-type: none"> Pluie d'intensité constante sur la durée égale au temps de concentration du bassin versant Temps de transfert des eaux pluviales sur le bassin versant négligé Modèle de pertes constantes ($C_r = \text{cte}$) 	<ul style="list-style-type: none"> Recherche d'un débit de pointe Bassin versant sans autre ouvrage de stockage Bassin versant urbain homogène ($C_r > 0,2$; I entre 0,2 et 5%) Possibilité de prendre en compte un coefficient d'abattement spatial de la pluie Calcul implicite du temps de concentration
Méthode de l'hydrogramme	 <p>▶ Hydrogramme associé à une pluie</p> <p>▶ Débit de pointe pour une période de retour donnée</p>	<ul style="list-style-type: none"> A : Surface du bassin versant C_r : Coefficient de ruissellement Pluie de projet ou observée t_r : temps de réponse du bassin versant (ou K : lag time) 	<ul style="list-style-type: none"> Modèle de pertes constantes ou non (C_r) 	<ul style="list-style-type: none"> Bassin versant sans autre ouvrage de stockage (si non pris en compte) Nécessité d'évaluer au préalable la durée de pluie dimensionnante (approche par le temps de concentration par exemple)

Ne sont pas abordées dans ce tableau les méthodes de calculs dédiées aux bassins versants à dominante naturelle / rurale (Crupeidix, Socose, etc.), bassins versants ne correspondant pas au domaine d'emploi des SAUL.

3.4.3 Recueil et injection des eaux pluviales dans l'ouvrage en SAUL

Recueil par surface perméable surmontant l'ouvrage de stockage en SAUL

Le titre II du fascicule 70 du CCTG rappelle les matériaux de surface disponibles et spécifie les caractéristiques minimales exigibles, notamment en termes de perméabilité et de résistance mécanique, le cas échéant.

Selon l'usage de la surface, différents types de matériaux ou produits perméables sont désormais disponibles :

Tableau 3.10 : Matériaux de surface perméables pouvant être utilisés pour le recueil des eaux pluviales

Matériaux	Principaux domaines d'emplois
Pavés poreux en béton	Voiries interdites à la circulation sauf véhicule autorisé, parkings
Dalles poreuses	Voiries interdites à la circulation sauf véhicule autorisé, parkings
Matériaux non traités poreux	Voiries interdites à la circulation sauf véhicule autorisé, parkings
Béton bitumineux drainant	Voiries urbaines, parkings (proscrit dans les zones de giration, etc.)
Béton de ciment drainant	Voiries urbaines
Dalles de gazon	Parkings
Autres (granulats agglomérés à la résine, polymères, etc.)	Aires de jeux, zones de loisirs

Il est essentiel d'éviter les risques de colmatage et de consacrer les moyens techniques et financiers d'entretien requis.

Dans tous les cas, on évitera de raccorder des surfaces imperméables à des surfaces perméables.

Recueil par injection par un ou des ouvrage(s) dédié(s)

Cet ou ces ouvrages doivent permettre l'injection des eaux pluviales, recueillies de manière traditionnelle, dans l'ouvrage de stockage en SAUL, après traitement éventuel (niveau de service N1).

Les ouvrages d'injection peuvent être équipés de différents types de dispositifs selon les surfaces drainées et leurs usages pour prévenir les risques de colmatage de l'ouvrage en SAUL :

- grille, filtre,
- bac/regard de décantation,
- lame siphonide.

Conception du système de recueil des eaux pluviales

Lors de la conception de l'ouvrage, il est indispensable de déterminer :

- dans le cas d'une injection diffuse des eaux pluviales dans l'ouvrage, les caractéristiques de la structure sus-jacente, notamment en termes de perméabilité ;
- dans le cas d'une injection localisée des eaux pluviales dans l'ouvrage, le nombre nécessaire d'ouvrages d'injection (regards, etc.) selon la localisation des arrivées d'eau possibles ;
- les diamètres des conduites d'amenée à l'ouvrage ou au(x) regard(s) amont le cas échéant,

et ce, selon les débits de pointe maximaux à injecter dans l'ouvrage.

La **diffusion et la répartition des eaux pluviales doivent ensuite être assurées.**

On se reportera pour cela au paragraphe 3.4.5. Dans le cas des SAUL de type 3 et de certaines SAUL de type 4³³, les eaux pluviales sont directement introduites dans l'ouvrage à partir d'un ou plusieurs ouvrages d'injection, sans système de diffusion interne ou externe.

3.4.4 Stockage temporaire dans l'ouvrage

Géométrie des ouvrages en SAUL

Les ouvrages de stockage des eaux pluviales en SAUL, qu'il s'agisse de bassins enterrés, de chaussées à structure réservoir, de tranchées ou de puits, sont généralement de forme parallélépipédique. Pour des raisons de stabilité mécanique, les SAUL doivent être posées sur une plate-forme horizontale.

Pour les ouvrages d'infiltration, on recherchera une surface d'infiltration maximale, latérales et/ou à la base, selon les familles d'ouvrages considérées.

Détermination du volume minimal de SAUL à mettre en oeuvre

Le volume minimal de SAUL à mettre en oeuvre est déterminé sur la base du taux de vide utile :

$$V_{SAUL} = \frac{V_{utile}}{n} + V_{mort}$$

avec :

V_{utile} : volume utile de stockage d'eaux pluviales,

n : taux de vide utile des SAUL fourni par le fabricant (supérieur à 90%),

³³ On se reportera au paragraphe 2.5.3 pour un rappel des différents types de SAUL.

V_{mort} : volume de SAUL non mobilisable pour le stockage, selon la conception de l'ouvrage (emprise, position de l'évacuation et de la surverse le cas échéant³⁴), incluant éventuellement un volume gelé anticipant la sédimentation dans l'ouvrage à l'issue de la durée de vie de l'ouvrage.

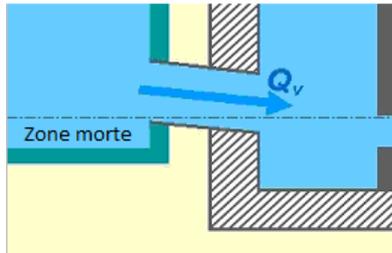


Figure 3.6 : Exemple de zone morte selon la position du raccordement à l'ouvrage d'évacuation



Figure 3.7 : Exemple de zone morte réservée à la surverse de sécurité (si un tel dispositif est prévu)

Dans le cas de SAUL de type 1, à diffuseur externe, il peut être tenu compte de la capacité de stockage éventuelle des matériaux drainants du diffuseur. Il en est de même des matériaux de remblai des ouvrages d'infiltration.

Cas des terrains en pente

Pour les terrains en pente, il est possible de décomposer l'ouvrage de stockage en plusieurs sous-réservoirs. Un exemple de configuration est présenté sur la figure 3.8.

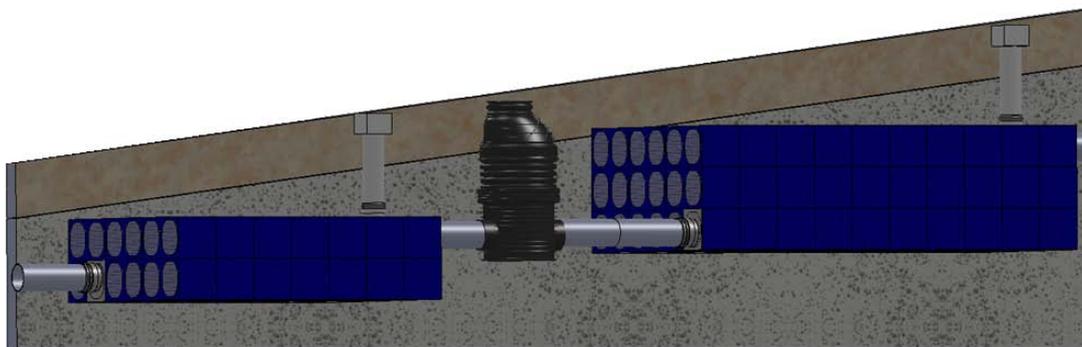


Figure 3.8 : Conception d'un ouvrage de stockage sur terrain pentu

Lorsque l'injection des eaux pluviales est localisée, celle-ci est plutôt réalisée au niveau de chaque réservoir élémentaire, par les ouvrages d'injection dédiés. La répartition des injections doit tenir compte des capacités des réservoirs élémentaires et de la topographie du projet.

³⁴ Lors de la conception de l'ouvrage, le choix de prévoir ou non la mise en place d'une surverse peut reposer sur plusieurs considérations. En particulier, il est nécessaire de se demander si la présence d'un tel dispositif, selon la configuration de l'ouvrage, risque de masquer un éventuel dysfonctionnement de la vidange de ce dernier.

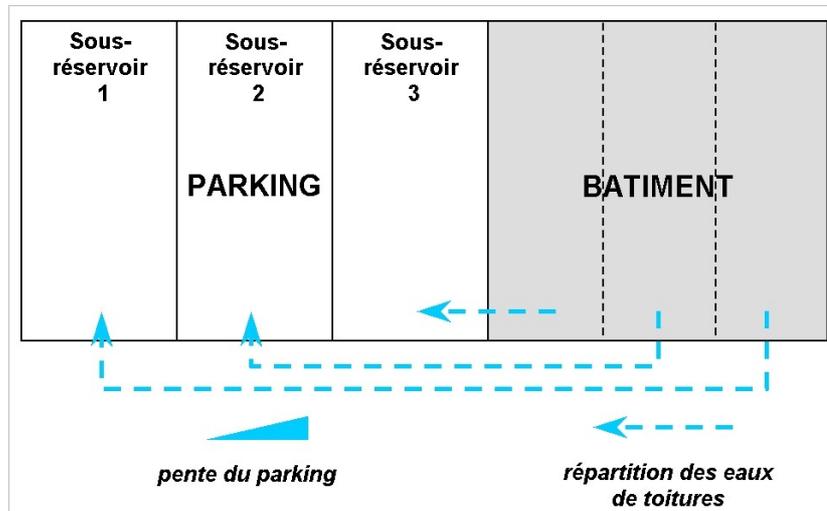


Figure 3.9 : Répartition des apports entre sous-réservoir sur terrain pentu (vue en plan)

- **Note :** chaque sous-réservoir doit faire l'objet d'un dimensionnement dédié, puis le fonctionnement du système global doit être vérifié (dans le cas d'ouvrages de stockage en série).

3.4.5 Diffusion des eaux pluviales dans l'ouvrage de stockage

Domaine d'emploi

Les éléments de cette section s'appliquent aux SAUL dont la diffusion et/ou l'évacuation des eaux pluviales s'effectuent par un système de drainage externe ou pré-intégré dans certains modules. Les types de SAUL concernés sont ainsi rappelés dans la figure 3.10.

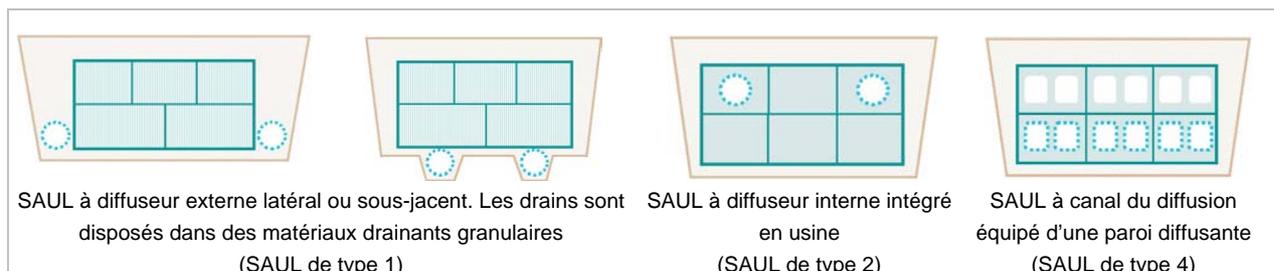
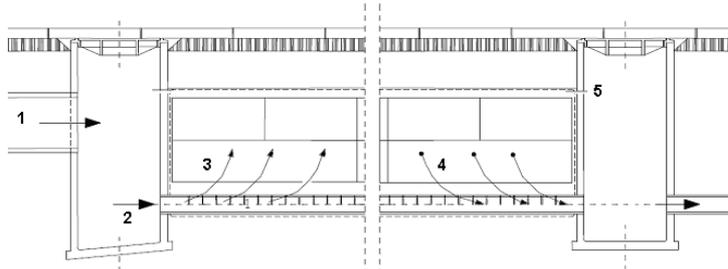


Figure 3.10 : SAUL à réseau de drainage de diffusion et/ou d'évacuation



1 : arrivée d'eau, 2 : injection, 3 : diffusion,
4 : évacuation, 5 : ventilation

Figure 3.11 : Exemple de schéma de principe de SAUL à diffuseur externe



Photo 3.2 : Exemple de SAUL à diffuseur externe

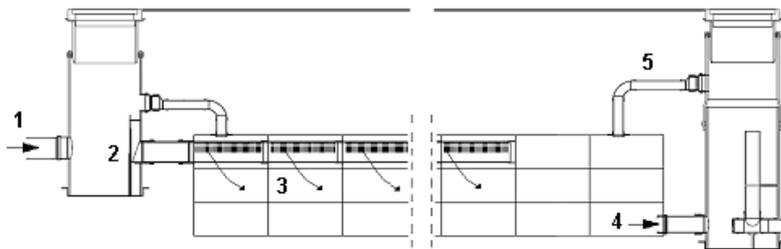


Figure 3.12 : Exemple de schéma de principe de SAUL à diffuseur interne



Photo 3.3 : Exemple de SAUL à diffuseur interne

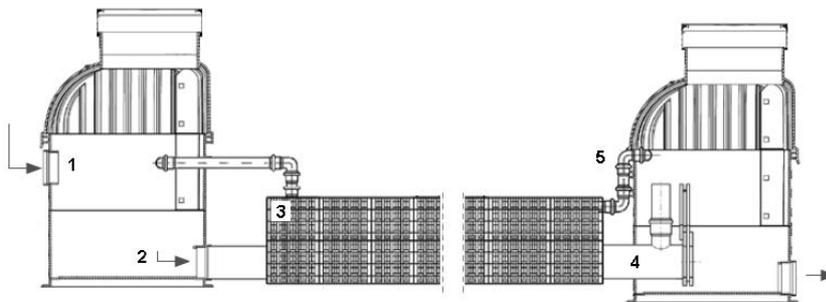


Figure 3.13 : Exemple de schéma de principe de SAUL à canal de diffusion



Photo 3.4 : Exemple de SAUL à canal de diffusion

Fonctions susceptibles d'être assurées par les drains

Selon la conception des ouvrages de stockage et le type de SAUL, **les drains sont susceptibles d'assurer différentes fonctions**. Elles sont présentées dans le tableau 3.11.

Tableau 3.11 : Fonctions susceptibles d'être assurées par un réseau de drainage

Fonctions	Descriptions
Fonctions principales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ assurer l'injection et la diffusion des eaux pluviales dans la structure de stockage (drain de diffusion) ; ▪ assurer l'évacuation des eaux pluviales vers le système de limitation ou de régulation de débit (drain d'évacuation) ou l'ouvrage de sortie.
Fonctions complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> ▪ assurer une forme de continuité hydraulique des très faibles débits entre l'entrée et la sortie de l'ouvrage ; ▪ assurer une limitation des débits restitués par l'ouvrage de stockage, le cas échéant.
Fonctions contraintes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ permettre leur inspection ; ▪ permettre leur entretien ; ▪ résister aux charges appliquées.

Ainsi, les drains constituent des éléments essentiels de l'ouvrage de stockage dont le dimensionnement inadapté peut être source de dysfonctionnements par réduction de la section d'écoulement, par obturation partielle, localisée (obstruction) ou diffuse (sédimentation), par réduction des capacités de diffusion (colmatage des fentes).

Caractéristiques des drains et critères de choix

Des drains de différents types et de différentes caractéristiques sont susceptibles d'être utilisés selon la conception globale de l'ouvrage de stockage des eaux pluviales, les fonctions privilégiées et les performances visées. Ces dernières concernent :

- la résistance des drains,
- leur capacité d'injection et d'écoulement,
- leur capacité de diffusion / de captage,
- leur capacité à retenir des particules en suspension,
- leur inspectabilité et leur facilité de mise en œuvre.

Les paramètres de caractérisation associés à chacune de ces performances sont détaillées en annexe 1.

Les drains, généralement à grande surface d'échanges, peuvent servir à la diffusion et à l'évacuation. Il est conseillé de s'en servir pour les deux usages (drain mixte faisant diffusion et évacuation) : le fonctionnement à courant / contre-courant favorise l'auto-curage des drains. Les surfaces diffusantes ou captantes des drains sont fournies par les fabricants, selon le diamètre nominal et la circonférence perforée.

Conception du réseau de drainage et d'évacuation

La conception du réseau de drainage doit déterminer la position des drains dans le profil vertical de la structure ainsi que dans son emprise.

Concernant la **hauteur de positionnement des drains dans l'ouvrage**, les drains assurant une fonction d'évacuation sont systématiquement placés au fond de la structure de stockage ; ils ont alors un fonctionnement noyé et peuvent permettre également d'accélérer la fin de vidange. Par conséquent, les drains assurent une double fonction : diffusion et évacuation. En revanche, les drains assurant une seule fonction de diffusion peuvent être disposés sous la structure, au fil d'eau ou à tout autre niveau. Leur fonctionnement, noyé ou dénoyé, dépend de leur position et du remplissage de l'ouvrage de stockage, comme illustré dans le tableau 3.12.

Tableau 3.12 : Positionnement vertical des drains

Type	Schéma de la position verticale des drains	Spécificités
Diffuseur externe latéral		SAUL à diffuseur externe et à conductivité hydraulique horizontale. Drain placé dans un matériau granulaire d/D drainant. Drain à cunette ³⁵ ou cylindrique, placé généralement au niveau du fil d'eau de l'ouvrage de stockage. Diffuseur susceptible d'assurer la diffusion (RL) et l'évacuation des eaux pluviales (OR). Fonctionnement noyé la plupart du temps. Surlargeur de l'emprise de l'ouvrage et des terrassements.
Diffuseur externe sous-jacent		SAUL à diffuseur externe et à conductivité hydraulique verticale. Drain à cunette ou cylindrique. Diffuseur susceptible d'assurer la diffusion (RL) et l'évacuation des eaux pluviales (OR). Fonctionnement noyé. Surprofondeur des terrassements, qui peut éventuellement être évitée en cas de contraintes topographiques si besoin par une réduction de la hauteur de l'ouvrage et une augmentation de la longueur et ou de sa largeur.
Drain interne en partie haute		SAUL à drain intégré. Drains généralement cylindriques. Drains assurant la seule diffusion des eaux pluviales (RL). Fonctionnement noyé ou dénoyé selon le taux de remplissage de l'ouvrage.
Drain interne en partie basse		SAUL à drain intégré et à canal de diffusion équipé de paroi diffusante. Drain à cunette ou cylindrique ou canaux de diffusion équipé de paroi diffusante. Diffuseur susceptible d'assurer la diffusion (RL) et l'évacuation des eaux pluviales (OR). Fonctionnement noyé la plupart du temps.

RL : recueil localisé - OR : ouvrage de rétention

³⁵ Le terme « drain tunnel » est également couramment employé pour parler des drains à cunette présentant un fond plat.

Les drains ou diffuseurs non perforés en partie basse et permettant d'assurer une continuité hydraulique entre l'entrée et la sortie de l'ouvrage en SAUL peuvent également jouer le rôle de by-pass lors de faibles pluies.

Concernant la **disposition des drains dans le plan de l'ouvrage**, deux principaux types de disposition de réseaux de drainage sont envisageables, susceptibles d'être combinés : **en épis et en parallèle**, comme illustré dans le tableau 3.13.

Tableau 3.13 : Exemples de schémas de principe de disposition des réseaux de drains en épis et en parallèle (cas d'une arrivée principale)

Type	Schéma du réseau de drainage	Domaines d'emploi, spécificités
Disposition en épis		<p>Réseau de drainage ramifié, généralement un drain principal et des drains secondaires.</p> <p>Disposition bien adaptée aux ouvrages linéaires (tranchées drainantes, chaussées à structure réservoir).</p> <p>Bien adapté également à la présence d'ouvrages d'injection latéraux multiples (raccordements de branchements particuliers, avaloirs).</p>
Disposition en parallèle		<p>Réseau de drainage maillé, généralement depuis un à deux ouvrages d'injection, adapté aux forts débits de pointe.</p> <p>Disposition adaptée aux ouvrages de grande largeur (bassin).</p> <p>Linéaire de drains requis généralement plus important.</p>

Légende :

regard d'injection (RL)	regard d'évacuation avec contrôle de débit (OR)	boîte de branchement (RL)	collecteur d'apport (RL)	drain de diffusion (RL)
regard / boîte d'inspection (RD)	regard / boîte d'inspection (OI)	regard / boîte d'inspection	collecteur d'évacuation (OR) et/ou de trop plein (OI)	drain d'évacuation (OR)

RL : recueil localisé

RD : recueil diffus

OR : ouvrage de rétention

OI : ouvrage d'infiltration

Pour les SAUL à diffuseur externe et conductivité hydraulique verticale, l'**angle de raccordement des drains** dits secondaires au drain principal sera d'au minimum 45 degrés et au maximum 90 degrés.

Le choix de l'une ou l'autre des dispositions, en épis ou en parallèle, et des types de système de diffusion le cas échéant (externe, interne), repose sur une analyse multi-critères spécifique et renouvelée à chaque projet : la conception du dispositif de drainage s'inscrit dans une conception globale de l'ouvrage, affinée dans un processus itératif.

Les principaux critères de choix pour la conception du dispositif de drainage sont la dénivelée disponible, le débit de pointe en entrée d'ouvrage de stockage, l'emplacement des regards d'injection et d'évacuation, la longueur de drains requis, la forme de l'ouvrage de stockage.

Les drains sont toujours mis en œuvre dans le sens des diamètres croissants de l'amont vers l'aval.



Photo 3.5 : Ouvrage de stockage en SAUL à diffuseur interne sous chaussée
Réseau de drainage raccordé au droit de branchements : avaloir EP de voirie, branchement EP particulier.

La **distance entre deux regards ou boîtes de branchement ou d'inspection consécutifs** ne doit pas dépasser :

- 80 m pour les drains de diamètre nominal \geq à 200 mm ³⁶,
- 35 m pour les drains de diamètre nominal $<$ à 200 mm ³⁷,

afin d'assurer les inspections et hydrocurages dans de bonnes conditions, sur l'ensemble du linéaire du réseau de drainage.

Quelle que soit la disposition retenue, il convient d'avoir à l'esprit les principes suivants, issus des retours d'expériences qui ont pu être menés sur des ouvrages de stockage des eaux pluviales³⁸ :

- **favoriser le fonctionnement des drains à courant et contre courant** ;
- **faire en sorte que l'intégralité du réseau de drainage puisse être inspecté et entretenu** : drains de section suffisantes, accès par boîte de branchement, boîte d'inspection, regard de visite (les véhicules de curage doivent pouvoir avoir accès à ces points d'accès) ;
- **rechercher la continuité hydraulique du réseau de drainage de l'amont à l'aval** : éviter en particulier les portions de réseaux de drains dits « non débouchants » sauf si cela est spécifiquement pris en compte dans leur dimensionnement hydraulique et leur entretien ;
- **ne pas hésiter à sur-dimensionner le réseau de drainage**, en section d'écoulement et en linéaire (anticipation d'un éventuel colmatage) ;

³⁶ Fascicule 70 du CCTG – Titre II – Chapitre IV.

³⁷ Adaptée de la valeur proposée pour les canalisations de branchements par l'ASTEE : ASTEE (2009). **Recommandations pour la réalisation et la gestion des branchements particuliers à l'assainissement – Dispositions constructives**. TSM n°10, pp 74-100.

³⁸ Pour en savoir plus : Le Nouveau & al., 2008.

- **préférer les drains à parois internes lisses** (meilleure hydraulité, écoulement facilité, curage plus aisé).

Enfin, si les drains peuvent permettre de retenir une partie des particules en suspension, ils ne constituent pas pour autant des dispositifs de dépollution des eaux pluviales proprement dits. Le fonctionnement hydraulique normal des drains reste toujours sensible au colmatage. Toutes les mesures nécessaires et adaptées aux spécificités du projet doivent être prises pour prévenir le colmatage des drains. Des défaillances d'ouvrages de stockage en SAUL ont déjà été notées, dues à un dysfonctionnement des drains de diffusion, soit du fait de leur sous-dimensionnement, soit du fait de leur colmatage.

Pré-dimensionnement hydraulique du réseau de drainage

Le dimensionnement du réseau de drainage est adapté à la ou aux fonctions principales qu'il doit assurer, en tenant compte des conditions de fonctionnement hydrauliques, noyé ou non :

- **diffusion des eaux pluviales** : capacité d'accepter instantanément le débit de pointe en entrée d'ouvrage de stockage Q_{pe} et de le diffuser, éventuellement délesté du débit de vidange Q_v (susceptible de varier selon la loi de vidange de l'ouvrage de stockage) ;
- **évacuation des eaux pluviales** : capacité d'écoulement du débit de vidange Q_v .

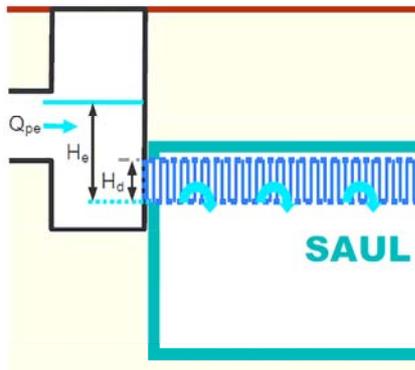
En cas de mise en œuvre de plusieurs drains depuis un même point d'injection, le débit admissible total est le cumul des débits admissibles par chaque drain.

➤ **Note** : les conditions de charge hydraulique à prendre en compte dépendent de la position des drains (posés horizontalement, sans pente, pour suivre la géométrie de l'ouvrage de stockage) ; c'est une différence de charge hydraulique entre l'amont du drain et le drain lui-même qui permet l'écoulement, et non la topographie.

Réseau de drains de diffusion

Cas des drains de diffusion placés en partie haute de l'ouvrage

Le drain n'est généralement pas noyé. Seuls le débit de pointe d'entrée et la charge hydraulique en entrée, mesurée par rapport à la base du drain, interviennent (et non le niveau de remplissage de l'ouvrage de stockage et le débit de vidange).



1^{ère} étape : détermination de la section minimale du drain capable d'accepter le débit de pointe d'entrée

On détermine la section minimale du drain capable d'absorber le débit de pointe d'entrée Q_{pe} sous la différence de charge hydraulique $H_e - H_d$ (H_d fixée *a priori* puis itérations).

► *abaque (spécifique à un produit) fournissant les courbes de débit injecté par un drain dénoyé en fonction de la charge hydraulique pour différentes gammes de diamètre nominal (DN) et sections de drains.*

H_e : charge hydraulique maximale admissible en amont du drain, à partir de sa base

H_d : charge hydraulique dans le drain, mesurée depuis sa base.

Figure 3.14 : Fonctionnement d'un drain placé en partie haute de l'ouvrage de stockage

2^{ème} étape : détermination de la surface minimale de fentes capable de diffuser instantanément le débit de pointe

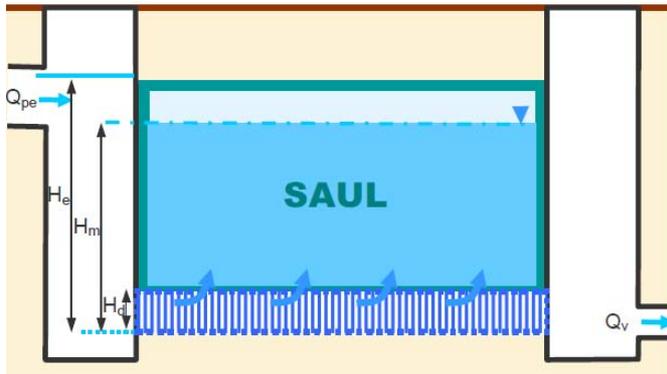
On détermine la surface minimale de fentes puis la longueur de drain capable de diffuser instantanément le débit de pointe d'entrée Q_{pe} sous la différence de charge hydraulique $H_e - H_d$.

► *abaque (spécifique à un produit) fournissant les courbes de longueur maximale de diffusion d'un drain dénoyé en fonction de la charge hydraulique pour différentes gammes de diamètre nominal (DN), sections de drains et surface de fentes correspondante.*

■ Le LCPC a développé le logiciel HYDRODIF qui permet de simuler les conditions d'écoulement en régime permanent dans un drain non alimenté par une différence de charge hydraulique constante en amont. Des exemples de résultats de simulation sont fournis en annexe 2.

Cas des drains de diffusion placés en partie basse de l'ouvrage

Le drain est noyé : il est placé sous la structure, latéralement ou à l'intérieur de celle-ci, au fil d'eau.



Le débit de pointe d'entrée, les charges hydrauliques en entrée et dans l'ouvrage (associées au niveau de remplissage) mesurées à partir de la base du drain interviennent dans les conditions de fonctionnement hydraulique du drain. Le débit de vidange intervient également si le drain assure une évacuation.

H_e : charge hydraulique maximale admissible en amont du drain, à partir de sa base

H_m : charge hydraulique dans le drain, mesurée depuis sa base.

Figure 3.15 : Fonctionnement d'un drain placé en partie basse de l'ouvrage de stockage

La hauteur de charge hydraulique dans le drain depuis sa base H_m est égale :

- à la hauteur de stockage d'eau dans l'ouvrage H_r , si le drain est installé au fil d'eau de la structure (interne ou externe),
- à la hauteur de stockage d'eau dans l'ouvrage H_r , augmentée de la hauteur de drain H_d et éventuellement de l'épaisseur de matériau granulaire H_g si le drain est externe.

1^{ère} étape : détermination de la section minimale du drain capable d'accepter le débit de pointe d'entrée, éventuellement délesté du débit de vidange

On détermine la section minimale du drain capable d'absorber le débit de pointe d'entrée Q_{pe} sous la différence de charge hydraulique $H_e - H_m$ (H_d fixée *a priori* puis itérations).

► *abaque (spécifique à un produit) fournissant les courbes de débit injecté par un drain noyé en fonction de la charge hydraulique pour différentes gammes de diamètre nominal et sections de drains.*

2^{ème} étape : détermination de la surface minimale de fentes capable de diffuser instantanément le débit de pointe d'entrée

On détermine la surface minimale de fentes puis la longueur de drain capable de diffuser instantanément le débit de pointe d'entrée Q_{pe} si le drain assure la seule fonction de diffusion ou le débit de pointe d'entrée diminué du débit de vidange ($Q_{pe} - Q_v$) si le drain assure également la fonction d'évacuation, sous la différence de charge hydraulique $H_e - H_m$.

► *abaque (spécifique à un produit) fournissant les courbes de longueur maximale de diffusion d'un drain noyé en fonction de la charge hydraulique pour différentes gammes de diamètre nominal, sections de drains et surface de fentes correspondante.*

Par sécurité, on pourra considérer que la hauteur de stockage dans l'ouvrage est maximale, ce qui correspond alors au débit maximal de vidange en cas de limitation de débit. En réalité, l'événement pluvieux générant le débit de pointe en entrée ne correspond généralement pas à celui générant le volume maximum d'eaux pluviales à stocker. De même, le fonctionnement noyé ou dénoyé des drains modifie leur capacité d'injection.

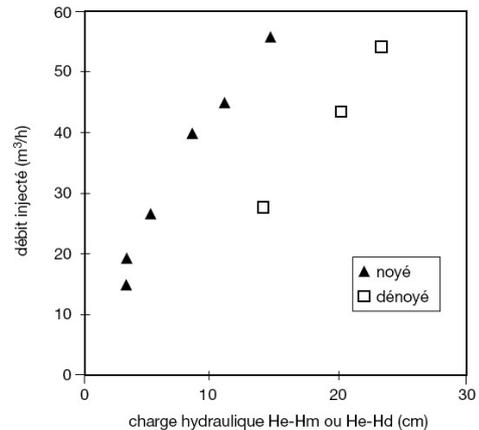


Figure 3.16 : Comparaison des débits diffusés par un drain routier annelé à cunette DN160 noyé et dénoyé (surface des fentes : 84 cm²/m) [LCPC, Certu, 1998]

Il paraît souhaitable en phase ultérieure de dimensionnement de simuler le fonctionnement global de l'ouvrage pour vérifier et, le cas échéant, affiner le dimensionnement.

De même, un coefficient de sécurité peut être appliqué à la longueur de drain à mettre en œuvre, voire même à la section du drain, pour tenir compte d'un éventuel colmatage ultérieur.

Le dimensionnement est ensuite affiné selon la conception et la géométrie de l'ouvrage et du réseau de drainage qui en résulte.

Réseau de drains d'évacuation

Le drain d'évacuation doit être capable d'écouler le débit de vidange de consigne Q_v . Trois configurations se présentent selon les fonctions hydrauliques effectivement assurées par celui-ci. C'est la section du drain qui est calculée ; son fonctionnement est noyé la plupart du temps.

Dans le cas de drains d'évacuation à seule fonction d'évacuation, le débit maximal du drain doit être supérieur au débit de vidange. On choisira généralement une section de drain supérieure à celle du système de limitation ou régulation de débit (voir recommandations sur les dimensions minimales des drains).

Dans le cas de drain d'évacuation à double fonction « diffusion / évacuation », l'évacuation n'est généralement pas pénalisante en termes de dimensionnement hydraulique : c'est la fonction de diffusion qui est dimensionnante, sachant que les drains sont implantés avec un diamètre identique ou croissant de l'amont vers l'aval et que le débit de pointe d'entrée que doit absorber le drain est évidemment supérieur au débit de vidange de l'ouvrage. La vérification de la section du drain pour l'évacuation du débit de vidange peut néanmoins s'imposer pour les ouvrages à très

fortes différences de charge hydraulique entre l'ouvrage d'injection et l'ouvrage de stockage.

Dans le cas de drain d'évacuation à double fonction « évacuation / limitation du débit », c'est cette dernière fonction qui est dimensionnante. Le drain joue alors également le rôle d'ouvrage de limitation de débit de l'ouvrage de rétention et peut conduire à se dispenser d'ouvrage dédié. La loi de vidange est alors de la forme :

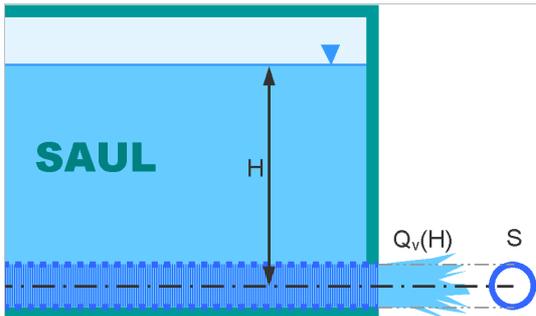


Figure 3.17 : Drain d'évacuation assurant également la limitation de débit

$$Q_v(H) = m S \sqrt{2gH}$$

avec :

H : différence de charge hydraulique entre le niveau de stockage d'eaux pluviales et l'axe du drain

m : coefficient de débit variable selon les caractéristiques du drain

S : section aval du drain

g : accélération de la pesanteur

La section *S* du drain est alors déterminée sur la base de la charge hydraulique maximale selon la géométrie de l'ouvrage et le débit de vidange maximal de consigne. Cela nécessite l'accès au coefficient de débit *m*, spécifique au drain mis en oeuvre. Cette configuration, si elle peut apparaître opportune pour les ouvrages de stockage de très faibles dimensions, appelle tout de même des réserves :

- elle ne permet pas d'adaptation ultérieure de la limitation du débit ;
- elle ne dispense pas de la réalisation d'un regard de visite, contrôle et inspection à l'extrémité du réseau de drainage.



Dans la pratique, le projeteur fixe une géométrie de réseau de drainage et de longueur associée puis détermine la section minimale et vérifie la capacité de diffusion / d'évacuation.

➡ **Note** : dans le cas de drains de grande section, la partie de la section ne servant pas à l'écoulement est susceptible d'être consacrée à du stockage temporaire.

Photo 3.6 : Exemple de réalisation d'un réseau de drainage latéral

3.4.6 Dispositif de ventilation

Située en partie haute, **la ventilation de l'ouvrage de stockage vise à permettre l'évacuation de l'air lors de son remplissage** par les eaux pluviales, l'objectif étant d'éviter toute surpression dans l'ouvrage lors de sa sollicitation. Selon le type de SAUL, sa conception peut différer :

- **SAUL de type 1³⁹** : le dispositif de ventilation est généralement constitué d'une couche poreuse (granulats, géogrille) connectée par des drains aux regards (munis d'évents ou de tampons ventilés) ;
- **SAUL de type 2, 3 et 4** : le dispositif est constitué de canalisations de ventilation généralement raccordées aux ouvrages d'entrée, de raccordement de branchements, de sortie et d'accès au réseau de drainage ; l'évacuation de l'air peut se faire par l'intermédiaire d'un ou plusieurs évents, tampons ventilés, etc. ; ces systèmes peuvent également être applicables aux SAUL de type 1.

Des exemples de dispositifs de ventilation sont présentés sur les figures 3.18 et 3.19 et les photos suivantes.

Une ventilation insuffisante peut entraîner des difficultés de remplissage de l'ouvrage de stockage lors des événements pluvieux très intenses, nécessitant alors une reprise d'ouvrage. Par exemple, un seul dispositif d'évacuation d'air placé en entrée d'ouvrage est insuffisant.

³⁹ On se reportera au paragraphe 2.5.3 pour un rappel des différents types de SAUL.

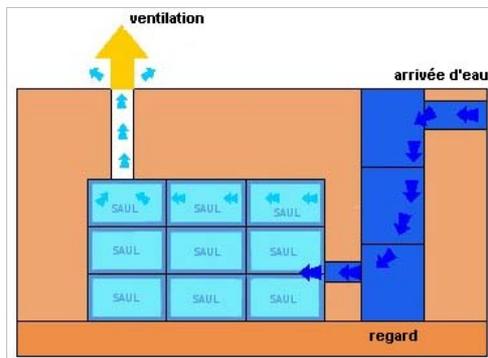


Figure 3.18 : Exemple de principe de ventilation par événement

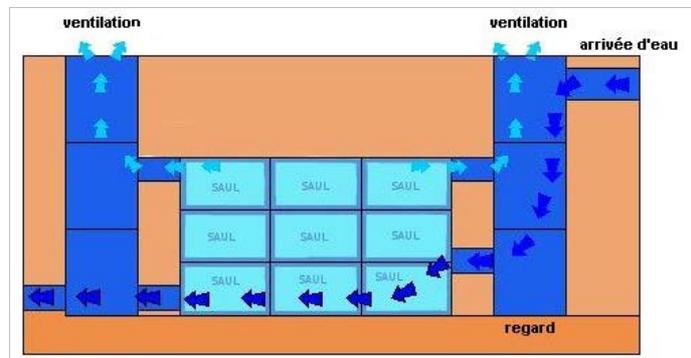


Figure 3.19 : Exemple de principe de ventilation par tampon ventilé



Photo 3.7 : Exemple de ventilation par événement



Photo 3.8 : Exemple de ventilation connectée à un regard

Le dimensionnement du système de ventilation inclut donc la définition :

- du nombre et de la localisation des dispositifs d'évacuation d'air,
- de leurs caractéristiques géométriques (section, etc.),

et ce, en tenant compte des débits maximaux d'air à évacuer lors du remplissage de l'ouvrage ainsi que des chemins préférentiels de remplissage.

3.4.7 Restitution des eaux pluviales en SAUL par limitation ou régulation de débit

Fonctions assurées par les ouvrages de limitation ou de régulation de débit

Comme le réseau de drainage, les systèmes de limitation ou de régulation du débit de vidange jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de l'ouvrage de stockage. Placés à la sortie de ce dernier, ils peuvent être :

- de **limitation de débit**, c'est-à-dire restituant un débit variable selon la différence de charge hydraulique jusqu'à une valeur maximale de débit de consigne ;

- de **régulation de débit**, c'est-à-dire générant une loi de vidange constante quelle que soit la différence de charge hydraulique, égale au débit de consigne.

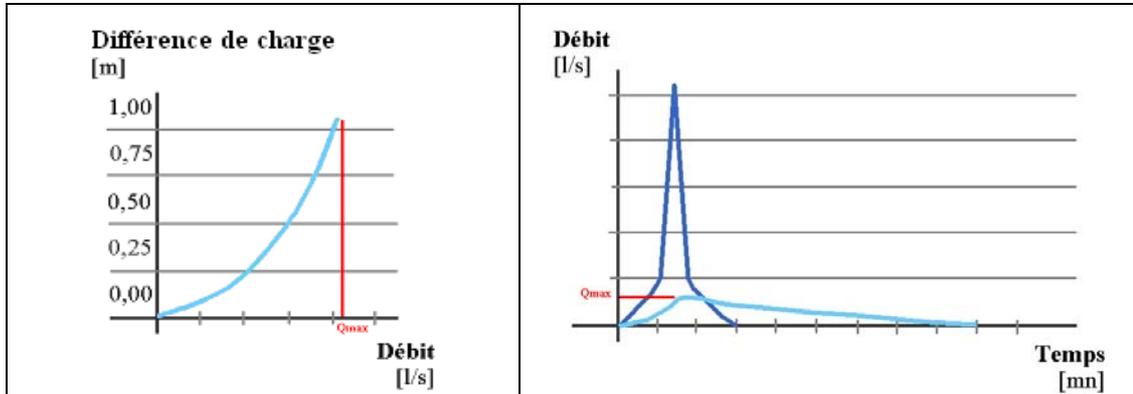


Figure 3.20 : Exemple de courbe de fonctionnement d'un limiteur de débit pour une sollicitation donnée

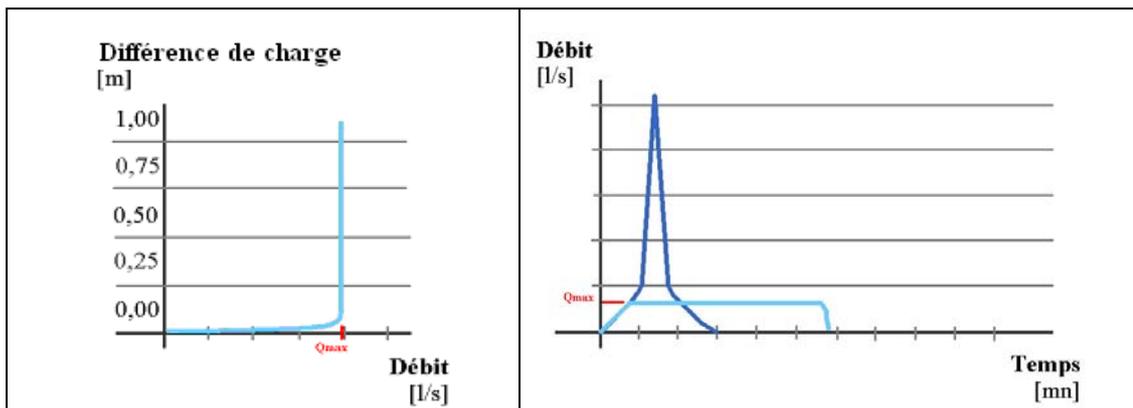


Figure 3.21 : Exemple de courbe de fonctionnement d'un régulateur de débit pour une sollicitation donnée

Il s'agit là de leur fonction hydraulique principale. Au sein d'un ouvrage de sortie, leur conception doit également permettre d'assurer un ensemble d'autres fonctions présentées dans le tableau 3.14.

Tableau 3.14 : Fonctions des ouvrages de sortie associés aux systèmes de limitation et de régulation de débit

Fonctions	Descriptions
Fonctions principales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ maîtriser le débit restitué par l'ouvrage de stockage en conditions normales de fonctionnement ; ▪ assurer la vidange de l'ouvrage de stockage vers l'ouvrage d'évacuation (jonction).
Fonctions complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> ▪ permettre l'isolement de l'ouvrage de stockage en cas de pollution accidentelle⁴⁰ ; ▪ permettre une surverse de sécurité en cas de dysfonctionnement du système de limitation ou régulation (obturation, etc.) ; ▪ assurer l'évacuation de débits exceptionnels en cas d'événement dépassant le niveau de service normal⁴¹ ; ▪ assurer l'évacuation de la ventilation de l'ouvrage de stockage ; ▪ assurer une sécurité d'évacuation (ouvrage d'infiltration).
Fonctions contraintes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ permettre leur inspection et leur entretien dans des conditions sécurisées ; ▪ permettre l'accès au réseau de drainage le cas échéant, et à la canalisation d'évacuation ; ▪ accueillir des équipements de télésurveillance le cas échéant ; ▪ permettre un contrôle de rejet ; ▪ résister aux charges appliquées.

Domaine d'emploi

Les limiteurs et régulateurs de débit sont implantés dans l'ouvrage de sortie :

- des ouvrages de rétention des eaux pluviales et, le cas échéant, des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ;
- des ouvrages mixtes de rétention/infiltration des eaux pluviales, la position du dispositif est alors adaptée aux modes de sollicitation / niveaux de service attendus ;
- des ouvrages d'infiltration lorsqu'une sécurité est assurée pour une évacuation vers un exutoire superficiel en cas de colmatage partiel ou total des surfaces d'infiltration ;
- des ouvrages combinés de rétention des eaux pluviales, avec un stockage dédié pour réserve d'incendie.

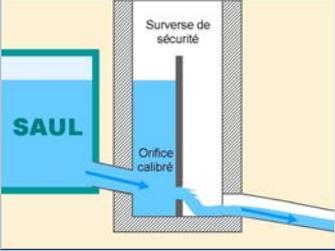
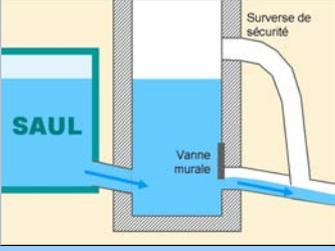
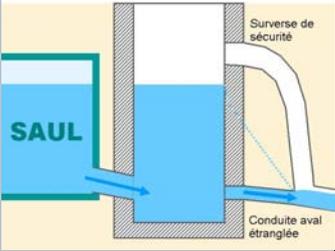
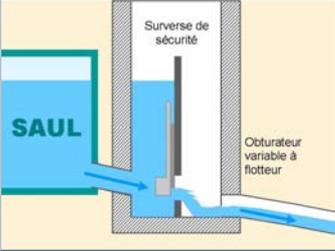
Caractéristiques et critères de choix

Selon les partis pris, les contraintes aval et de gestion, différents types de systèmes sont disponibles (tableau 3.15), les plus simples étant moins onéreux.

⁴⁰ Niveau de service NX en s'assurant au préalable que le type de pollution pouvant être stocké en cas d'accident ne doit pas compromettre la pérennité des équipements (SAUL, drains, etc.).

⁴¹ Niveau de service N3 voire N4 si capacité de transit dans l'ouvrage de stockage.

Tableau 3.15 : Principaux systèmes de limitation et de régulation de débit

	Schéma de principe	Spécificités et domaines d'emploi privilégiés
LIMITEUR DE DEBIT	Orifice calibré 	<ul style="list-style-type: none"> - Orifice de vidange de section réduite, généralement circulaire. - En mince paroi ou associé à un ouvrage de prise⁴² (bords externes, rentrants ou sortants), placé généralement verticalement, voire horizontalement dans une colonne. - Restitution d'un débit variable en fonction de la différence de charge hydraulique : loi de vidange déterminée par la forme, la section de l'orifice, sa position et la disposition de l'ouvrage de prise. - Possibilité de superposer plusieurs orifices, pour adapter la loi de vidange au niveau de remplissage de l'ouvrage de stockage / au niveau de service. - Dispositif rustique, de conception, réalisation et exploitation simples ; dispositif le plus fréquemment mis en œuvre.
	Vanne murale 	<ul style="list-style-type: none"> - Vanne généralement installée en tête de la canalisation d'évacuation, assurant une réduction de section. - Restitution d'un débit variable en fonction de la différence de charge hydraulique : loi de vidange déterminée par le degré d'ouverture de la vanne, la forme de la section de la canalisation d'évacuation et les lois de pertes de charge singulières associées. - Dispositif susceptible d'être piloté par asservissement à une contrainte amont ou aval en gestion automatisée. - Nécessité de prévoir un dispositif de surverse, généralement intégré à l'ouvrage de sortie. - Dispositif autorisant une modification ultérieure de la loi de vidange.
	Conduite aval étranglée 	<ul style="list-style-type: none"> - Canalisation de diamètre réduit assurant la jonction avec le collecteur d'évacuation. - Restitution d'un débit variable en fonction de la différence de charge hydraulique : loi de vidange déterminée par la perte de charge singulière à l'entonnement, le diamètre et la longueur de la conduite étranglée et les pertes de charges linéaires associées. - Nécessité de prévoir un dispositif de surverse de sécurité. - Dispositif autorisant généralement une ouverture de la section de restitution plus grande à débit de consigne équivalent (pertes de charge hydraulique réparties à l'entonnement et sur la longueur de la canalisation étranglée).
REGULATEUR DE DEBIT	Obturbateur mobile à flotteur 	<ul style="list-style-type: none"> - Dispositif assurant une variation de la section d'ouverture de vidange, asservie par un bras flotteur au niveau d'eau dans l'ouvrage de stockage. - Restitution d'un débit constant quelle que soit la différence de charge hydraulique (réduction de la section d'ouverture lorsque la charge hydraulique amont augmente et inversement). - Dispositif à flotteur axial ou latéral. - Dispositif mécanique dynamique, préfabriqué, requérant une maintenance adaptée.

⁴² On parle alors d'ajutage plutôt que d'orifice calibré.

D'autres systèmes⁴³ sont également disponibles : limiteur de débit à **effet vortex**, limiteur de débit **par lame déversante à flotteur** (peu adapté aux ouvrages de stockage en SAUL), **pompes de vidange** (généralement réservées aux évacuations sous charge lorsque l'écoulement ne peut être gravitaire).

Les **critères de choix** sont analysés au regard des exigences de conception globale et d'exploitation du système, le choix résultant généralement d'un compromis entre un ensemble d'exigences et de contraintes de conception :

- **gamme de débits à restituer** et sections d'ouverture associées aux dispositifs : on cherchera à mettre en œuvre des sections d'ouverture de dimension minimale de 100 mm, pour prévenir les risques de colmatage ;
- **topographie et zone de marnage disponible** : elles influencent les lois de vidange des limiteurs de débit (possibilité d'adapter la géométrie de l'ouvrage de stockage pour influencer sur la zone de marnage), la position verticale de dispositif est une variable d'ajustement du dimensionnement ;
- **tolérances sur la loi de restitution** des eaux pluviales (tolérance de variation selon la charge hydraulique) selon le ou les niveau(x) de service définis et les exigences de rejets / restitution associées ;
- **volume de stockage et coûts associés** : à débit de consigne égal, les limiteurs de débit entraîneront un « surdimensionnement » du volume de stockage par rapport à un régulateur (vidange plus lente, pluie dimensionnante plus longue, donc générant plus de volume à évacuer) ;
- **durée de vidange de l'ouvrage** associée aux niveaux de service : à débit de consigne égal, la vidange de l'ouvrage de stockage par un limiteur de débit est plus longue que par un régulateur de débit ; on s'assurera que la durée de vidange n'excède pas 24 heures ;
- **opérations de maintenance et coûts** du système (investissement, exploitation).

Conception des systèmes de limitation et régulation de débit

La conception de l'ouvrage de sortie doit être adaptée à l'ensemble des fonctions qu'il doit assurer aux différentes étapes de la vie de l'ouvrage en SAUL (niveaux de service). En général, il peut accueillir les équipements suivants :

- un système de limitation ou de régulation de débit,
- une surverse⁴⁴ (généralement un seuil de déversement largement dimensionné),
- un clapet aisément accessible en cas de pollution accidentelle et lors des opérations d'entretien,

⁴³ Pour en savoir plus : STU, Agences de l'Eau (1994). *Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales*, Éditions TEC & DOC Lavoisier, 271 p.

⁴⁴ La mise en place d'un dispositif de surverse n'est pas nécessairement systématique (on se reportera au paragraphe 3.4.4).

- des échelons dans la ou les cheminée(s), à chaque partie à laquelle devra se faire l'accès,
- des raccordements : réseau de drainage, canalisation de sortie de l'ouvrage de stockage, canalisation d'évacuation (débit restitué L/R, débit exceptionnel), dispositif de ventilation de l'ouvrage de stockage,
- une zone morte en amont de la section de contrôle du débit,
- le cas échéant, des équipements de mesures (autosurveillance, évaluation ultérieure des conditions de fonctionnement de l'ouvrage).

Les orifices calibrés ne sont pas placés au contact direct de la base de l'ouvrage de sortie afin principalement de garantir un fonctionnement non noyé, sans contact avec les parois.

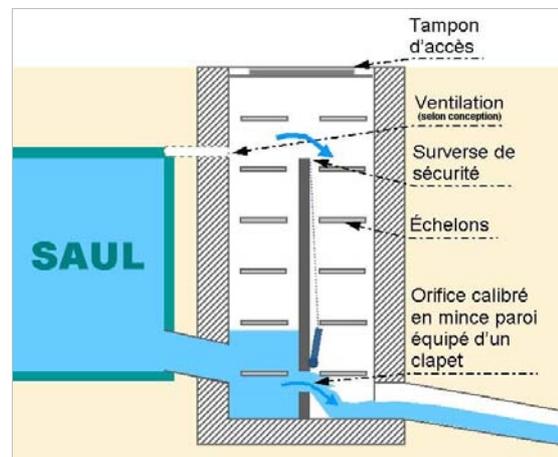


Figure 3.22 : Exemple de schéma de principe d'un ouvrage de sortie avec limiteur de débit par orifice calibré en mince paroi

Pré-dimensionnement hydraulique

Pour les limiteurs de débit par orifice calibré⁴⁵, il s'agit généralement de déterminer la section d'ouverture de l'orifice en fonction d'une valeur maximale de débit de consigne à restituer, associée à une différence de charge hydraulique maximale amont. La loi de fonctionnement d'un orifice calibré non noyé est de la forme :

$$Q(H) = m S \sqrt{2 g H}$$

avec :

- Q : débit restitué par l'orifice en fonction de la différence de charge hydraulique amont, en m^3/s ,
- m : coefficient de contraction (<1), qui varie selon la forme, les dimensions, l'orientation de l'orifice (horizontal ou vertical), la forme de ses arêtes et la charge hydraulique ; pour un calcul approché et pour un orifice circulaire en mince paroi (sans bords externes), on peut prendre $m=0,62$,
- S : section de l'orifice, en m^2 ,

⁴⁵ Pour en savoir plus : LENCASTRE, A. (1982). *Manuel d'hydraulique générale*, Chapitre 7, Éditions EYROLLES (nouvelle édition en 1999) ; CARLIER, M. (1986). *Hydraulique générale et appliquée*, Chapitres 8 et 9, Éditions EYROLLES (nouvelle édition en 1998).

- g : accélération de la pesanteur ($g=9,81 \text{ m}^2/\text{s}$),
 H : différence de charge hydraulique amont sur l'orifice (distance entre la surface du plan d'eau et l'axe central de l'orifice), en m.

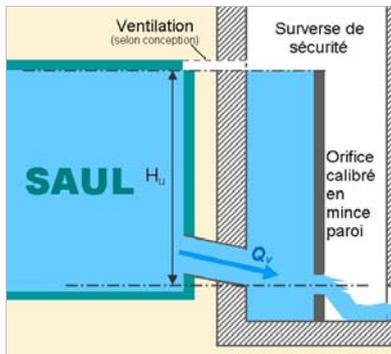


Figure 3.23 : Notations pour le dimensionnement d'un orifice calibré en mince parois

Le pré-dimensionnement consiste alors à déterminer la section de l'orifice :

$$S = \frac{Q_v}{m \sqrt{2 g H_u}},$$

avec :

Q_v : débit maximal restitué associé à la charge utile sur l'orifice H_u

puis pour un orifice circulaire, son diamètre D :

$$D = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Pour les régulateurs de débit par obturateur mobile, s'agissant de dispositifs préfabriqués, les industriels fournissent selon la gamme de débit à réguler, la taille nominale du dispositif et la précision attendue.

Pour les seuils de déversement du trop-plein⁴⁶, généralement de forme rectangulaire, la surverse est assurée par une loi de type seuil. Il s'agit de vérifier que la largeur du seuil et la hauteur maximale disponible pour l'écoulement libre au-dessus du seuil permettent l'évacuation du trop-plein. La loi de fonctionnement d'un seuil rectangulaire en mince paroi à nappe libre est de la forme :

$$Q_{dev}(H) = \mu l H \sqrt{2 g H},$$

avec :

- Q_{dev} : débit restitué par le seuil déversant en fonction de la différence de charge hydraulique amont, en m^3/s ,
 μ : coefficient de seuil, qui varie selon la forme, les dimensions, la forme de ses arêtes, la hauteur de pelle et la charge H ; pour un calcul approché et pour un seuil rectangulaire en mince paroi, on peut prendre $\mu = 0,43$ (seuil sans contraction latérale) et $\mu = 0,40$ (seuil avec contraction latérale),
 l : largeur du seuil déversant, en m,
 g : accélération de la pesanteur ($g=9,81 \text{ m}^2/\text{s}$),
 H : charge hydraulique en amont du seuil, mesurée par rapport à la crête, en m.

⁴⁶ Pour en savoir plus : LENCATRE, A. (1982). *Manuel d'hydraulique générale*, Chapitre 8, Éditions EYROLLES (nouvelle édition en 1999) ; CARLIER, M. (1986). *Hydraulique générale et appliquée*, Chapitre 10, Éditions EYROLLES (nouvelle édition en 1998).

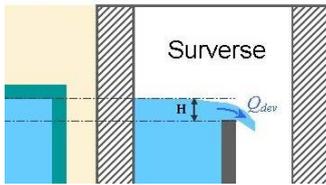


Figure 3.24 : Notations pour le dimensionnement d'un seuil

Le pré-dimensionnement consiste généralement à vérifier la largeur minimale de seuil nécessaire pour évacuer le trop-plein, en fonction de la différence de charge maximale admissible :

$$l = \frac{Q_{dev}}{\mu H \sqrt{2 g H}}$$

Les seuils déversants sont généralement largement dimensionnés.

Exemples de dimensionnement hydraulique d'un ouvrage de stockage en SAUL

Exemple 1

On considère la construction d'un hypermarché en zone péri-urbaine avec création d'entrepôts et de parkings en partie amont du bassin versant d'un ruisseau péri-urbain canalisé dans sa partie aval.

- Définition des besoins et stratégie de gestion des eaux pluviales

La possibilité d'infiltrer les eaux pluviales n'est pas retenue, les études de sol préalables ayant mis en évidence une nappe affleurante. Les eaux pluviales interceptées par l'aménagement seront restituées au ruisseau. Compte tenu du caractère relativement pentu de la zone du projet et des contraintes foncières, il n'est pas apparu possible d'assurer une gestion en surface des eaux pluviales

L'analyse du site et de son environnement a conduit à définir les objectifs de performances suivants pour le futur système de gestion des eaux pluviales selon les conditions pluviométriques

	CONDITIONS PLUVIOMÉTRIQUES	ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE L'ÉTUDE ET CHOIX DE GESTION DES EAUX PLUVIALES	SOLUTIONS TECHNIQUES
NIVEAU 1	Pluies faibles 	Afin de limiter le risque de pollution chronique du milieu, un traitement <i>à minima</i> des eaux de ruissellement des parkings est à mettre en place ⁴⁷ . Il sera assuré en favorisant une décantation des eaux pluviales ⁴⁸ .	Des dégrilleurs sont mis en place aux niveaux des ouvrages de collecte des eaux de ruissellement des parkings. L'ensemble des eaux pluviales collectées est acheminé vers un ouvrage de décantation dimensionné en ce sens. Des modalités d'entretien des surfaces sont définies afin de limiter l'apport de polluants dans les eaux.
NIVEAU 2	Pluies moyennes 	La zone commerciale étant située en partie amont d'un bassin versant urbanisé, il s'avère nécessaire de stocker les eaux pluviales et de les restituer de manière différée à l'aval. Le contexte local (urbanisation aval, etc.) et l'hydrographie du site invitent à retenir un niveau de protection trentennal et un débit de fuite de 8 l/s/ha.	Les eaux pluviales sont collectées et acheminées par un réseau de collecteurs. Elles sont stockées dans un ouvrage en SAUL avec une restitution au milieu superficiel à débit limité.
NIVEAU 3	Pluies fortes 	Les contraintes topographiques (pente) invitent à recourir à un ouvrage enterré en SAUL.	Le dimensionnement du système de collecte et de l'ouvrage de stockage est effectué pour une protection trentennale. L'ouvrage est implanté sous parking.
NIVEAU 4	Pluies exceptionnelles 	Il est nécessaire de spatialiser et planifier la gestion des débordements et des surverses à moindre dommage sur le site et en aval. Les parkings peuvent être aménagés en ce sens (système majeur).	Les eaux excédentaires ne pouvant être gérées par l'ouvrage sont acheminées vers la partie basse des parkings, les hauteurs d'eau modélisées restant compatibles avec la sécurité des personnes.

Sont raccordées à l'ouvrage de stockage en SAUL :

- les toitures de l'hypermarché (surface $S_1=11\ 670\ m^2$; coefficient d'apport C_{a1} ⁴⁹)
- les toitures terrasses de graviers des locaux annexes ($S_2 = 5\ 830\ m^2$; C_{a2})
- les parkings de véhicules légers et zones de livraison ($S_3= 26\ 250\ m^2$; C_{a3})

Ceci représente une surface d'apport S_a de $38\ 800\ m^2$.

⁴⁷ Pour une période de retour à déterminer selon les objectifs de qualité du milieu (1 mois, 2 mois, 6 mois, etc.).

⁴⁸ Ce traitement est par ailleurs indispensable pour prévenir les risques de colmatage de l'ouvrage.

⁴⁹ Dans le cadre de cet exemple, on suppose que la nature des matériaux a conduit à retenir les valeurs suivantes : $C_{a1}=0,9$, $C_{a2}=0,8$, $C_{a3}=0,9$.

- Détermination des débits d'eaux pluviales à collecter et injecter dans l'ouvrage en SAUL

Cette étude est menée pour les différents niveaux de service. Ces débits conditionnent le dimensionnement des ouvrages de collecte et d'injection des eaux pluviales dans l'ouvrage de stockage en SAUL ainsi que le dimensionnement de l'ouvrage amont de dépollution.

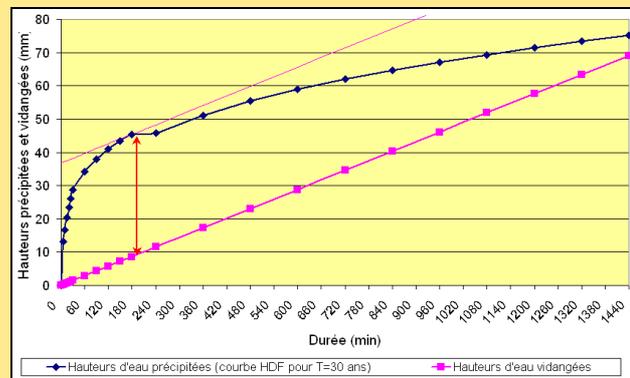
Le temps de concentration t_c de l'aménagement est estimé à 20 minutes. N'est effectué ici que le calcul pour une période de retour de 30 ans. Pour la station pluviométrique de Nancy-Essey, les coefficients de Montana sont les suivants pour une période de retour $T=30$ ans : $a=5,453$ et $b=0,513$ pour des durées de pluie inférieures à 30 minutes, $a=11,900$ et $b=0,742$ pour des durées comprises entre 30 minutes et 3 heures, $a=10,020$ et $b=0,723$ pour des durées comprises entre 3 heures et 24 heures. Le calcul peut par exemple être mené avec la méthode rationnelle : $Q_{\text{pointe}}(T) = C_a \text{ moyen} \cdot i(t_c, T) \cdot S_{\text{totale}} = 760 \text{ l/s}$.

- Détermination du volume utile de l'ouvrage

Le dimensionnement est réalisé par exemple par la méthode des pluies⁵⁰. Le volume obtenu est de $1\,427 \text{ m}^3$.

On rappelle que les méthodes simplifiées supposent un débit de fuite constant. S'il a été fait le choix d'une limitation de débit (orifice calibré, etc.), il est nécessaire d'appliquer un coefficient correcteur R sur le volume calculé. À titre d'exemple :

$R = (\alpha + 1)^{(1+1/b)}$ avec $\alpha = 0,5$ pour un orifice⁵¹.



Le volume de SAUL à mettre en œuvre s'en déduit connaissant le taux de vide utile des produits et les volumes morts dans l'ouvrage. À l'issue du dimensionnement, les points suivants conditionnant le bon fonctionnement de l'ouvrage selon les conditions pluviométriques doivent être vérifiés : débit de fuite supérieur à 5 l/s, durée de vidange inférieure à 24h, ajustement de la géométrie de l'ouvrage, etc.

La connaissance de la charge hydraulique en amont de l'ouvrage de limitation des débits permet de calculer le diamètre nécessaire de l'orifice selon son positionnement.

- Dimensionnement du système de diffusion des eaux pluviales dans l'ouvrage

Selon le type de SAUL mis en œuvre, il est nécessaire par la suite de dimensionner un réseau de drainage pour assurer l'injection et la diffusion des eaux pluviales dans l'ouvrage et/ou l'évacuation des eaux vers le système de limitation du débit (sections minimales des drains et surface minimale de fentes). Ce dimensionnement se fait lorsque la géométrie de l'ouvrage est bien définie (charge à l'amont, etc.).

- Autres points du dimensionnement

Le système de surverse ou de trop plein (passage des niveaux de service N3 à N4) doit également faire l'objet d'un dimensionnement.

Le système de ventilation, participant directement au bon fonctionnement hydraulique de l'ouvrage, est également à dimensionner à ce stade.

⁵⁰ On sera vigilant à utiliser différents jeux de paramètres de Montana pour la construction de la courbe HDF selon les plages de durées de pluie considérées. Par ailleurs, dans le cas d'un aménagement où les eaux pluviales collectées transitent dans des ouvrages assurant eux-aussi une fonction de ralentissement des écoulements (noues avec biefs de régulation pour favoriser la décantation des eaux, etc.), le choix d'une autre méthode de dimensionnement doit être fait (§ 3.4.1).

⁵¹ Pour en savoir plus : ASTEE (en préparation). **Guide technique pour la conception et le dimensionnement des réseaux et ouvrages d'assainissement.**

Exemple 2

On considère la réhabilitation d'une résidence d'appartements en centre-ville. Les prescriptions locales imposent, au travers du PLU, de gérer les eaux pluviales à la parcelle, si possible par infiltration. Le système doit être dimensionné pour une période de retour de 10 ans.

- Définition des besoins et stratégie de gestion des eaux pluviales

Les études de sol préalables ont confirmé une bonne aptitude des sols à l'infiltration et permis de déterminer la capacité d'absorption des sols. Les objectifs de performances retenus sont les suivants :

	CONDITIONS PLUVIOMÉTRIQUES	ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE L'ÉTUDE ET CHOIX DE GESTION DES EAUX PLUVIALES	SOLUTIONS TECHNIQUES
NIVEAU 1	Pluies faibles 	La nature des matériaux des toitures considérées représente un faible risque de pollution chronique et ne nécessite pas un traitement spécifique des eaux pluviales.	Les eaux pluviales sont collectées depuis les gouttières du bâtiment jusqu'à l'ouvrage de stockage. Pour le bon fonctionnement de ce dernier, les eaux pluviales subissent un dégrillage en amont de l'ouvrage.
NIVEAU 2	Pluies moyennes 	Les eaux pluviales sont stockées et restituées par infiltration dans le sol support. Le caractère contraint de l'aménagement conduit à recourir à un ouvrage enterré de gestion des eaux pluviales.	Les eaux collectées sont stockées dans un ouvrage en SAUL. Le dimensionnement du système de collecte et de l'ouvrage de stockage est réalisé pour une protection décennale. L'ouvrage est implanté sous une allée de desserte.
NIVEAU 3	Pluies fortes 	Les eaux pluviales excédentaires ne pouvant être infiltrées sont rejetées au système d'assainissement communal. Une limitation de débit est appliquée.	Le modelé du terrain est adapté afin de favoriser le stockage temporaire des eaux pluviales sur le site.
NIVEAU	Pluies exceptionnelles 	Il est nécessaire de prévoir la gestion des surplus d'eaux ne pouvant être rejetées au réseau.	

Sont uniquement raccordées à l'ouvrage de stockage en SAUL les toitures de la résidence (surface de 1 450 m² avec un coefficient d'apport égal 0,9, soit une surface d'apport de 1 300 m²).

- Détermination des débits d'eaux pluviales à collecter et injecter

Les calculs peuvent être menés selon les normes ou Documents Techniques Unifiés s'appliquant⁵².

- Détermination du volume utile de l'ouvrage

Le dimensionnement de l'ouvrage suppose d'une part la détermination préalable du débit d'infiltration des eaux pluviales dans l'ouvrage et, d'autre part, la définition de la surface infiltrante pouvant être prise en compte.

On suppose que les essais de sol réalisés sur l'emprise du futur ouvrage infiltrant conduisent à considérer une capacité d'absorption $q_{as}=8.10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ (290 mm/h). Considérant l'emprise disponible et la profondeur admissible de l'ouvrage, la surface d'infiltration S_{inf} (base et parois) de l'ouvrage est fixée a priori à 120 m² pour le pré-dimensionnement de l'ouvrage. Un coefficient de sécurité de 0,5 est jugé nécessaire⁵³. Le débit d'infiltration est alors $Q_{inf} = 0,5. 8.10^{-5}. 120 = 4,4 \text{ l/s}$.

Un dimensionnement réalisé selon la méthode des pluies conduit à un volume à stocker de 22 m³. Le débit d'infiltration obtenu par la configuration de l'ouvrage n'étant pas constant, un coefficient correcteur est appliqué à ce résultat. Nous renvoyons à l'exemple 1 pour les étapes suivantes.

⁵² DTU 60.11 - Règles de calcul des installations de plomberie sanitaires et des installations d'évacuation des eaux pluviales.

⁵³ Voir section 3.4.1.

3.4.8 Ouvrages de stockage en SAUL et géosynthétiques

L'emploi des géosynthétiques dans les ouvrages en SAUL

Les géosynthétiques recouvrent deux grandes familles de produits : les **géotextiles** et produits apparentés et les **geomembranes**. Les caractéristiques et principales fonctions de ces produits sont rappelés en annexe 3.

Pour des ouvrages de stockage en SAUL, on aura recours à une geomembrane dans le cas de la réalisation d'un ouvrage étanche. Un géotextile est quant à lui nécessaire autour de la structure afin d'éviter l'infiltration de fines et le colmatage de l'ouvrage. Un autre géotextile permet de protéger la geomembrane le cas échéant.



Photo 3.9 : Pose de modules de SAUL sur une geomembrane protégée par un géotextile

Spécifications des caractéristiques des géotextiles

Dans le cas des **ouvrages de stockage** et restitution **nécessitant un dispositif d'étanchéité par geomembrane (DEG)**, le géotextile sera choisi pour :

- sa fonction de protection de la geomembrane,
- sa résistance au poinçonnement,
- sa souplesse permettant de s'adapter aux angles de l'ouvrage.

Dans le cas des **ouvrages d'infiltration** et des **ouvrages de stockage sans dispositif d'étanchéité par geomembrane (DEG)**, le choix du géotextile devra se faire sur ses caractéristiques hydrauliques :

- ouverture de filtration,
- perméabilité perpendiculaire au plan.

Les performances hydrauliques seront établies à partir des caractéristiques du matériau support (granulométrie et perméabilité). Les caractéristiques en souplesse et en déformation seront fonction des contraintes du chantier.

Dans le cas d'un ouvrage d'infiltration, un géotextile possédant une perméabilité au moins 10 fois supérieure à la perméabilité du sol en place est à prescrire. Son ouverture de filtration devra être en accord avec la granulométrie du sol (règle de filtre⁵⁴).

⁵⁴ AFNOR NF G38-061. *Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Détermination des caractéristiques hydrauliques et mise en œuvre des géotextiles et produits apparentés utilisés dans les systèmes de drainage et filtration*, février 1993, 20 p. (en révision).

Dans le cas des ouvrages d'infiltration et des ouvrages de stockage sans DEG, le géotextile assure ainsi un double rôle :

- filtre et barrière anti-contaminante vis-à-vis des circulations d'eau ;
- protection contre le poinçonnement lors de la mise en place des remblais latéraux et sus-jacents.

Le choix du géotextile doit donc tenir compte de ce double objectif. **Les valeurs caractérisant les différentes fonctions, propriétés mécaniques et hydrauliques, sont à adapter au cas particulier du chantier** (agressivité du remblai, nature de la géomembrane, etc.) et aux fonctions attendues (filtration ou protection de la géomembrane), avec dans la majorité des cas les caractéristiques minimales suivantes :

- résistance en traction (NF EN ISO 10 319) : 20 kN/m ;
- poinçonnement (CBR) statique (NF EN ISO 12 236) : 3,5 kN ;
- perforation dynamique (NF EN ISO 13 433) : < 20 mm ;
- perméabilité perpendiculaire au plan (NF EN ISO 11 058) : > 0,02 m/s ;
- ouverture de filtration (NF EN ISO 12 956) : > 63 μ et < 150 μ .

La **réalisation d'un ouvrage sur des sols compressibles ou hétérogènes** vis-à-vis de la portance nécessite un dimensionnement spécifique. Ce dimensionnement pourra faire appel à l'utilisation d'un géotextile à faible déformation pour assurer un serrage des modules et favoriser un comportement monolithique de l'assemblage.

Pour la mise en œuvre et le contrôle des géomembranes, on se reportera utilement aux recommandations du Comité Français des Géosynthétiques⁵⁵.

Spécifications des caractéristiques des géomembranes

Le présent guide concerne l'utilisation de géomembranes telles que définies dans la norme NF P 84-500. Dans l'état actuel des techniques, ni les produits de faible épaisseur fonctionnelle (<1mm), ni les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériau argileux ne sont considérés comme des géomembranes. Les géomembranes doivent avoir une largeur minimale de (1,5-/+0,05) m et un flux maximum de 0,1 l/m²/j sous 100 kPa.

Pour la géomembrane, les valeurs suivantes sont requises :

- une épaisseur minimale de 10/10 de mm,
- un flux passant inférieur à $10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$.

La géomembrane sera aussi choisie pour sa souplesse (capacité à s'adapter aux angles de l'ouvrage) et la nature des eaux stockées⁵⁶.

⁵⁵ Pour en savoir plus : Comité Français des Géosynthétiques. www.cfg.asso.fr (fascicules, listes de normes applicables, etc.).

En conclusion, le choix du géotextile, et de la géomembrane le cas échéant, ne doit pas être le résultat d'une contrainte financière. De leur bon choix (bonnes prescriptions) dépendra la facilité de la mise en œuvre et le bon fonctionnement à long terme de l'ouvrage (en particulier en cas de restitution par infiltration dans le sol). La spécification de produits certifiés dans leur domaine d'emploi (protection, filtration, etc.) et le recours à des entreprises et poseurs certifiés (cas des géomembranes) est une garantie de la conformité des spécifications et de la qualité de l'ouvrage réalisé.

3.5 Optimisation du dimensionnement de l'ouvrage en SAUL et de ses équipements

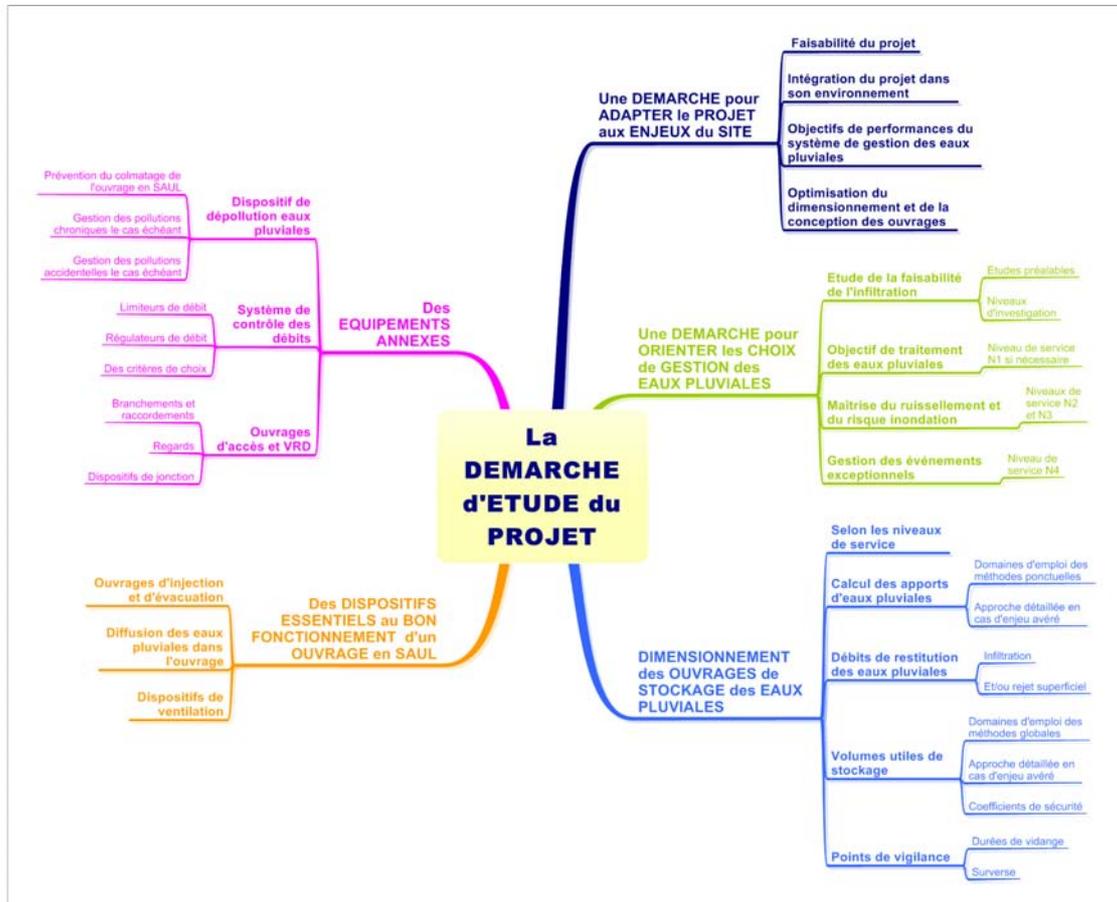
La vérification et l'optimisation de la conception et du dimensionnement des ouvrages de stockage des eaux pluviales en SAUL portent sur :

- l'**ajustement de la géométrie de l'ouvrage** selon son volume et la taille des modules (plan de calepinage), l'emprise et la dénivelée disponibles ;
- l'**ajustement de la loi de vidange** selon la hauteur de remplissage ($Q_v=f(H)$), qu'il s'agisse d'infiltration ou d'évacuation à débit limité ou régulé ;
- la **simulation du fonctionnement hydraulique** dans différentes conditions pluviométriques du système de gestion des eaux pluviales connaissant la loi de vidange et, le cas échéant, la loi de stockage ;
- la **vérification des durées de vidange** de l'ouvrage ;
- la **détermination des débits surversés** au-delà, et le fonctionnement global du système de gestion des eaux pluviales ;
- la **vérification de la ligne piézométrique dans les conduites** d'entrée de l'ouvrage.

Des **échanges** pour validation **avec le futur exploitant de l'ouvrage** peuvent être très utiles (vérification des conditions d'accès aux différents équipements, et de curage le cas échéant). De même, il est important de s'assurer que les conditions nécessaires à l'évaluation du fonctionnement de l'ouvrage sont remplies (possibilité de suivre le niveau d'eau dans l'ouvrage, par exemple).

⁵⁶ Incluant le cas échéant la gestion des pollutions accidentelles (niveau de service NX).

Chapitre 3 : L'essentiel



4 Justification de la tenue mécanique des SAUL dans les projets

4.1 Introduction

4.1.1 Différentes étapes de justification

Les projets d'ouvrages comportant des SAUL doivent être dimensionnés de trois points de vue :

- celui du **sol support**, le plus souvent une excavation pour laquelle la tenue des talus doit être vérifiée, pendant les travaux et jusqu'au remblaiement de cette dernière (§ 4.4) ;
- celui du **massif de SAUL**, qui doit rester stable et se déformer de manière contrôlée pendant la durée de vie de l'ouvrage (§ 4.2) ;
- celui des **structures portées par les SAUL**, généralement des chaussées circulées, aires de stationnement ou aménagements paysagers (§ 4.3).

Pour cela, la conception et la justification des ouvrages comportant des SAUL s'appuient sur des données relatives au site, aux modules de SAUL eux-mêmes et aux autres matériaux du projet.

Les études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques préalables (Chapitre 3) donnent les informations relatives aux sols du projet. Les données relatives aux SAUL et à leurs caractéristiques (comportement mécanique, limites d'emploi, conditions de mise en œuvre) proviennent des études des fabricants et des utilisateurs : propriétés mécaniques, régularité et fiabilité de la production des produits, essais en laboratoire et sur chantiers, analyse du comportement et de la pathologie des ouvrages, etc. Ces données sont présentées dans les Avis Techniques relatifs aux produits et dans des documents synthétiques tels que le présent guide.

En l'absence de données publiées sur les produits, les propriétés mécaniques et la durabilité des SAUL proposées pour un projet **doivent être vérifiées par la maîtrise d'œuvre** en charge du projet, sur la base de dossiers fournis par le fabricant ou par des essais réalisés conformément aux procédures définies par les normes ou le règlement des Avis Techniques.

La situation des SAUL dans le paysage technique européen évolue et l'utilisateur est invité à suivre la publication des normes nationales et européennes sur le sujet.

4.1.2 Principes de dimensionnement des ouvrages

Le dimensionnement vise à garantir un fonctionnement satisfaisant de l'ouvrage en SAUL pendant sa durée de vie contractuelle (habituellement 50 ans pour les ouvrages d'assainissement). La justification formelle porte donc sur l'ouvrage définitif, en intégrant l'évolution prévisible des propriétés mécaniques (déformabilité et résistance) des produits pendant cette période.

Par ailleurs, **la phase de mise en œuvre de l'ouvrage met quant à elle en jeu les propriétés à court terme des produits SAUL**. Les règles relatives à la construction peuvent alors être exprimées en termes de vérifications mécaniques (comparaison des charges aux résistances, calculs de déformations) ou prendre la forme d'un guide de pose, souvent établi par le fabricant, qui spécifie les conditions de mise en œuvre des SAUL et de remblaiement des excavations, les règles de compactage des matériaux de remblai (épaisseur des couches élémentaires de matériau, engins de compactage à utiliser, etc.). Ces règles sont particulièrement importantes pour la mise en œuvre de la première couche de remblai au-dessus des SAUL et pour le comblement latéral de l'excavation à proximité des SAUL.

Les recommandations formulées dans le présent guide s'appliquent aux ouvrages courants, qui représentent la grande majorité des applications des SAUL en France. Il s'agit typiquement de massifs de SAUL d'un à deux mètres de hauteur, soumis à des contraintes d'exploitation et de trafic usuelles. Les dispositions et vérifications recommandées sont exprimées en termes de chargement statique et couvrent les conditions courantes. Des études détaillées sont nécessaires quand les charges appliquées aux SAUL ont des composantes dynamiques ou vibratoires importantes, notamment dans les zones de virage, de freinage/décélération, etc.

4.1.3 Causes possibles de défaillance mécanique des ouvrages

L'analyse des sinistres survenus en France et à l'étranger permet d'identifier trois causes majeures de désordres dans les ouvrages comportant des SAUL, à savoir :

- une mauvaise conception de l'ouvrage (mauvaise évaluation des charges appliquées et des résistances nécessaires, choix d'un matériau inadapté),
- l'utilisation de produits SAUL dont les propriétés réelles ne correspondent pas aux spécifications du marché, notamment à long terme,
- des erreurs d'exécution en phase chantier (compactage incorrect, remblaiement dissymétrique, trafic de chantier destructeur).

Les recommandations du présent guide ont pour objectif de fournir aux utilisateurs de SAUL des informations et des spécifications qui permettent de limiter l'occurrence de sinistres dus à ces trois types de causes.

Pour chaque projet, il convient que l'entreprise, en relation avec le fabricant le cas échéant, fournisse au maître d'œuvre pour validation une note démontrant l'aptitude de l'ouvrage à supporter les charges statiques et dynamiques auxquelles il est soumis tout au long de sa vie. Dans le cas de produits pour lesquels des limites d'emploi ont été définies (Avis Technique, modèle de calcul, suivi expérimental en vraie grandeur), la justification pourra consister à vérifier que les contraintes appliquées sur l'ouvrage ne dépassent pas celles définies pour l'aptitude à l'emploi.

Comme il est illusoire de définir à l'avance les sollicitations que pourra subir l'ouvrage pendant les cinquante prochaines années, il est important que les documents du projet donnent la liste détaillée des hypothèses faites lors du dimensionnement : charges prises en compte, niveaux d'eau dans le sol autour de l'ouvrage, etc.

◀ **Note :** le chapitre 4 traite de la prise en compte des actions s'exerçant sur l'ouvrage afin de justifier son aptitude à les supporter. Pour la mise en œuvre, on se reportera au chapitre 5 qui expose les règles de l'art pour la pose des modules de SAUL et les règles simples de contrôle associées.

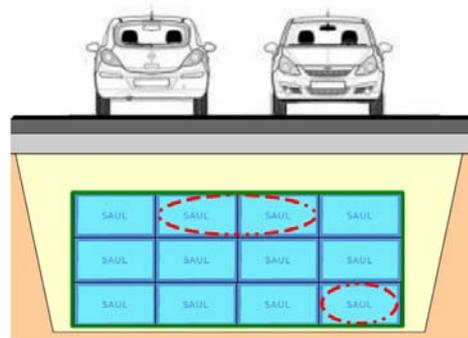
4.2 Justification du massif de SAUL

4.2.1 Généralités

Dans les ouvrages, les SAUL sont soumises à des charges d'origine variée, qui peuvent être permanentes ou temporaires, statiques ou dynamiques. La « justification » a pour objet de prouver que les produits ont une résistance suffisante à opposer aux charges qu'ils subissent et que leurs déformations sont acceptables.

Dans les massifs de SAUL, les charges appliquées aux modules dépendent de leur position dans l'ouvrage comme l'indique la figure 4.1 ; les vérifications sont alors faites sur les parties d'ouvrage les plus sollicitées.

Figure 4.1 : Prise en compte de la position des modules de SAUL dans l'ouvrage



La vérification de la tenue mécanique de l'ouvrage nécessitera donc généralement de prendre en compte différents modules de SAUL. Dans l'exemple de la figure 4.1, les **cas de charges les plus défavorables** concernent :

- les modules de SAUL en position haute dans l'ouvrage sur lesquels les **pressions verticales** résultant des charges d'exploitation⁵⁷ sont d'autant plus importantes que l'épaisseur de couverture est faible ;

⁵⁷ Selon configurations, possibilité d'avoir des cônes de descente de charges se superposant.

- les modules de SAUL en position basse et en bordure de l'ouvrage, à l'interface latérale entre le sol et les SAUL, sur lesquels les **pressions latérales** sont d'autant plus importantes que la base de l'ouvrage est profonde.

La justification des massifs de SAUL s'effectue par des calculs validés par des études expérimentales. Cette approche est présentée dans le paragraphe 4.2.3 de ce chapitre. Pour certains produits, l'expérience accumulée au cours de ces études et sur chantiers permet de définir des règles en forme de prescriptions d'emploi (domaine d'application, description des matériaux et de leurs conditions de mise en œuvre, consignes pour le remblaiement latéral et la couverture) qui peuvent être utilisées pour les projets, en remplacement d'une justification formelle par le calcul ou par des essais. Cette possibilité est explicitée dans le paragraphe 4.2.4.

4.2.2 Configurations de base

Dans ce chapitre, les démarches recommandées pour la justification mécanique des ouvrages en SAUL s'appliquent aux ouvrages courants pour lesquels :

- le massif de SAUL est de forme parallélépipédique,
- les remblais sont symétriques sur et à proximité de l'ouvrage,
- les charges sont relativement homogènes sur l'ouvrage.

Elles couvrent les variations et incertitudes connues sur l'évolution des remblais après leur mise en œuvre, les configurations d'ouvrages et le comportement structural des produits SAUL présents sur le marché (orthotropie, mode de reprise des charges appliquées, interactions entre les modules de SAUL au sein même de l'ouvrage de stockage, fluage, etc.). Pour toute autre configuration, on se reportera au paragraphe 4.2.5.

Par ailleurs, des précautions particulières doivent être prises lorsqu'un ouvrage enterré en SAUL est installé sous un bâtiment ou à proximité.

On évitera d'autre part la mise en œuvre d'ouvrages dont la hauteur est plus importante que la largeur et/ou la longueur, en particulier sous zones circulées.

On évitera également la pose d'une structure pavée directement sur l'enveloppe de l'ouvrage, sans la mise en œuvre d'une épaisseur minimale de couverture.

4.2.3 Justification par le calcul

4.2.3.1 États limites ultime et de service

Définitions

Un **État Limite Ultime** (ELU) est une situation de rupture ou d'instabilité dans laquelle les sollicitations dues aux actions dépassent la résistance mécanique des produits.

Un **État Limite de Service** (ELS) est une situation où la déformation⁵⁸ de l'ouvrage dépasse les déformations admissibles compte tenu de l'usage de la surface surmontant l'ouvrage (espaces verts, parkings, chaussées, etc.).

Pour créer une marge de sécurité avant l'État Limite Ultime, on utilise des **facteurs de sécurité** qu'il est actuellement convenu d'appliquer aux charges et aux résistances prises en compte pour le dimensionnement à 50 ans de l'ouvrage :

- les actions sont augmentées pour tenir compte d'un dépassement possible des charges appliquées à l'ouvrage ; le coefficient γ_{action} (supérieur à 1) multiplie la valeur des charges provoquant la rupture ;
- les résistances sont diminuées pour tenir compte de la possibilité qu'elles soient inférieures aux valeurs nominales, ainsi que d'éventuels défauts géométriques ; le coefficient $\gamma_{\text{matériau}}$ (supérieur à 1) divise la valeur des résistances s'opposant à la rupture.

Les vérifications à l'ELU consistent donc à montrer que les charges majorées correspondantes sont inférieures aux résistances réduites des produits.

Pour les vérifications à l'ELS, il est admis d'utiliser les valeurs non majorées des charges pour calculer des déformations qui seront comparées aux valeurs admissibles. Cette vérification s'effectue sur l'ouvrage fini, à long terme. Les tassements et déformations calculés sont utilisés lors de la conception de l'ouvrage, notamment pour assurer la continuité des branchements et raccordements à l'ouvrage.

Facteurs partiels de sécurité

Les valeurs des facteurs partiels de sécurité appliquées aux charges et aux résistances dépendent des incertitudes associées aux valeurs des charges et aux valeurs des résistances. Sauf instruction contraire du maître d'œuvre, les valeurs suivantes peuvent être adoptées :

- charges permanentes ou assimilées à l'ELU : $\gamma_{\text{action}} = 1,35$
- charges temporaires ou accidentelles à l'ELU : $\gamma_{\text{action}} = 1$

⁵⁸ Rapport de la variation d'une dimension donnée de l'ouvrage à sa dimension initiale, exprimé en un pourcentage (%).

- charges à l'ELS : $\gamma_{\text{action}} = 1$
- résistances des SAUL :
 - $\gamma_{\text{matériau}} = 1,85$ pour les produits ayant fait l'objet d'un Avis Technique ou de tout autre contrôle réalisé par un organisme tiers indépendant,
 - $\gamma_{\text{matériau}} = 2,4$ pour les autres produits.

Le **facteur global de sécurité** est alors $\gamma = \gamma_{\text{action}} \cdot \gamma_{\text{matériau}}$.

➤ **Note :** lorsqu'une vérification à court terme est réalisée, en appui à la rédaction des guides de pose des fabricants par exemple, on pourra prendre les valeurs suivantes :

- $\gamma_{\text{action}} = 1,35$ pour les actions permanentes ou assimilées et $\gamma_{\text{action}} = 1,5$ pour les actions temporaires ou accidentelles,

- $\gamma_{\text{matériau}} = 1,2$.

4.2.3.2 Données nécessaires aux calculs

La première étape de la justification consiste à définir les **situations de calcul**, c'est-à-dire les configurations géométriques et de chargement les plus critiques, et à définir les paramètres de charge et de résistance correspondants. Les données à prendre en compte relèvent des caractéristiques intrinsèques des SAUL, des caractéristiques de l'ouvrage et de son environnement, des charges appliquées à l'ouvrage, notamment occasionnelles et en phase de chantier, ainsi que des conditions de mise en œuvre (figure 4.2).

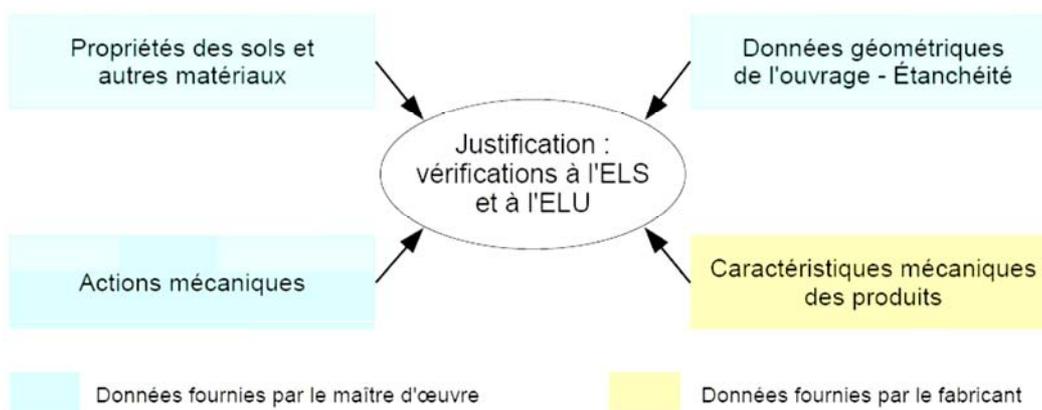


Figure 4.2 : Paramètres à considérer dans l'évaluation de la tenue d'un ouvrage en SAUL

4.2.3.3 Propriétés des sols et autres matériaux

En appui de ce paragraphe, on se reportera utilement à la section « *Les études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques : objectifs, moyens d'investigation et phasage* » du chapitre 3.

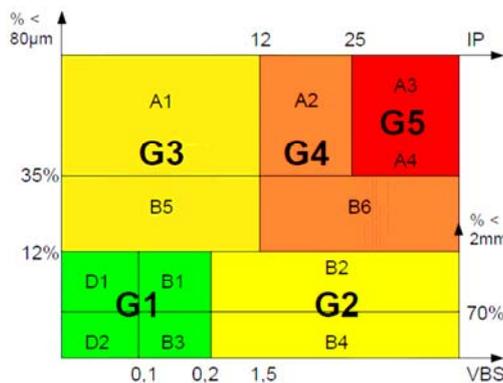
Paramètres géotechniques des sols et matériaux de remblai

L'étude de sol préalable définit :

- le **pooids volumique du sol** γ_{sol} : cette valeur peut varier de 16 à 22 kN/m³ ; elle dépend notamment du type de sol et de son état hydrique ;
- l'**angle de frottement interne** φ **du matériau de remblai.**

Le **coefficient de pression horizontale des terres** K_a , à l'interface entre un module de SAUL et le remblai latéral, est quant à lui déterminé en accord avec la norme NF EN 1997-1 : 2005, Annexe C ou à l'aide de suivis expérimentaux de longues durées afin d'intégrer l'évolution des caractéristiques du sol sur le long terme.

Réutilisation des matériaux de déblai



Selon la nature de l'ouvrage à réaliser, certains sols pourront être réutilisés sous conditions en remblaiement de part et d'autre et au-dessus de l'ouvrage en SAUL. Il s'agit des groupes de sol G1 à G4 rappelés sur la figure 4.3⁵⁹.

Figure 4.3 : Groupes de sol pouvant être utilisés en remblai sous réserve d'une mise en œuvre adaptée

Pour les ouvrages d'infiltration, les surfaces infiltrantes seront par ailleurs constituées de matériaux granulaires dépourvus de fines et stables à l'eau.

4.2.3.4 Données géométriques de l'ouvrage

Ces données incluent :

- les données géométriques de l'excavation pouvant influencer sur l'application des pressions latérales (profil des talus et angle de l'excavation, espace en pied de fouille),
- la géométrie des remblais,
- les dimensions de l'ouvrage en SAUL lui-même,
- la présence éventuelle d'une étanchéité (ouvrage non infiltrant).

⁵⁹ Pour affiner le choix du matériau et définir ses conditions de mise en œuvre, on se reportera au guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme » [LCPC, SETRA, 1992].

4.2.3.5 Actions mécaniques

Nature des actions

Selon l'implantation de l'ouvrage, les modules de SAUL peuvent être soumis à deux types d'actions : les actions dites statiques et les actions dites dynamiques.

Les actions statiques, majoritairement de nature permanente, incluent :

- la **contrainte permanente verticale liée au poids des matériaux**, stockages ou structures qui surmontent l'ouvrage,
- les **contraintes verticales d'exploitation dues aux stationnements**, et **latérales** en cas de stationnement en bordure de l'ouvrage en SAUL, qui peuvent être assimilées à des charges permanentes,
- la **contrainte permanente latérale** liée à la poussée induite par les charges permanentes ou assimilées,
- dans le cas des ouvrages de restitution étanches, la **poussée hydrostatique**.

Les actions dynamiques incluent :

- les **contraintes d'exploitation en phase de chantier** ;

et, dans le cas d'une structure sous voie circulée, même occasionnellement :

- les **contraintes d'exploitation dynamiques liées au trafic** (freinage, giration des véhicules) ; elles sont analysées à travers le dimensionnement de la structure routière sus-jacente.

Les actions à prendre en compte sont celles qui s'appliquent sur et à moins de X mètres de l'ouvrage, X étant la profondeur de l'excavation. Nous les détaillons par la suite.

Pression verticale des terres σ_v due au remblai supérieur

La pression verticale des terres due au remblai σ_v est supposée uniformément répartie sur la largeur de l'ouvrage en SAUL. La réaction d'appui est verticale et uniformément répartie sur la base de l'ouvrage en SAUL.

σ_v est égale à la pression du prisme de terre situé au-dessus de l'ouvrage en SAUL, jusqu'au terrain naturel :

$$\sigma_v = \sum \gamma_{sol\ i} H_{ci}$$

où H_{ci} est la hauteur de la couverture i (m) et $\gamma_{sol\ i}$ est le poids volumique du remblai associé (kN/m^3).

Pression verticale σ_{exp} due aux charges d'exploitation

Représentations

σ_{exp} comprend les pressions dues aux charges d'exploitation permanentes ou assimilées σ_{ep} (stationnement, etc.), les pressions dues aux charges d'exploitation roulantes σ_{er} ainsi que les pressions dues aux charges de chantier σ_{ec} ou toute autre opération de travaux ou de maintenance sur ou à proximité de l'ouvrage.

Lorsqu'une approche simplifiée est appliquée, les pressions dues au stationnement ou à la circulation de véhicules peuvent être caractérisées par une charge locale en surface définie selon le type de stationnement ou de véhicule considéré, cette charge étant ensuite à répartir dans le sol jusqu'au toit de l'ouvrage en SAUL selon une méthode de descente de charge appropriée.

Typologie de charges roulantes et charges associées

Les systèmes de charges réglementaires français sont définis dans le fascicule 61 du CCTG (dont camion de type B_c, tandem de type B_t, roue isolée de type B_r, charges exceptionnelles et véhicules de type militaire). Cependant, dans le cas d'ouvrages en SAUL, ces systèmes ne sont pas suffisants pour décrire de manière réaliste les charges permanentes assimilées ou dynamiques auxquelles peut être soumis l'ouvrage enterré.

En ce sens, il pourra s'avérer nécessaire de recourir à d'autres systèmes. À titre d'exemple, les valeurs du tableau 4.1, adaptées de la norme allemande DIN 1072, pourront être appliquées.

Tableau 4.1 : Exemples de pressions verticales dues aux charges de stationnement ou aux charges roulantes (adaptées de la norme allemande DIN 1072)

Type de véhicule	PTAC (t)	Charge maximale appliquée sur une roue (kN)	Surface du contact pneumatique (mm x mm)
VL	3,0	10	200 x 200
VL	3,5	10	200 x 200
VL	6,0	20	200 x 200
PL	7,5	30	200 x 260
PL	9,0	30	200 x 260
PL	12,0	40	200 x 300
PL	16,0	50	200 x 400
PL	30	50	200 x 400
PL	60	100	200 x 600

VL : véhicule léger - PL : poids lourd - PTAC : poids total autorisé en charge

Modèles de descente de charges

Différents modèles de descente de charge sont utilisables tel que celui de Boussinesq dans le cas d'une charge appliquée concentrée.

À défaut, une approche simplifiée de la diffusion des contraintes dans le sol peut généralement être appliquée, tel qu'illustré sur la figure 4.4, avec φ angle de frottement interne du matériau. La charge répartie qui s'applique sur le toit de l'ouvrage en SAUL est alors :

$$\sigma_{répartie} = \frac{M_c}{(B + 2H_c \tan \varphi)(L + 2H_c \tan \varphi)}$$

où M_c est la charge concentrée sur la roue (kN), H_c est la hauteur de couverture (m), B est la largeur de la surface du contact entre la roue et le sol (m) et L est la longueur de ce même contact (m).

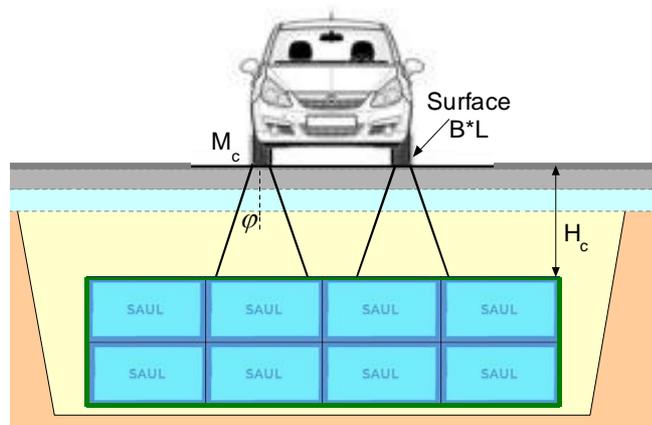


Figure 4.4 : Exemple de prise en compte simplifiée des contraintes générées par l'exploitation

• **Note :** dans le cas d'un ouvrage mis en œuvre sous aires de stationnement ou chaussées circulées, cette détermination simplifiée de σ_{exp} ne permet pas de tenir compte de la diffusion des charges liée à la présence d'une structure de chaussées.

Les charges verticales d'exploitation σ_{exp} comprennent également les charges en phase chantier. Elles sont traitées de la même manière.

À titre indicatif, les effets de chargement dus à une foule dense et continue peuvent être représentés par une pression uniforme de 5kPa.

Contraintes dynamiques horizontales

Les contraintes dynamiques horizontales sont analysées à travers le dimensionnement de la structure routière sus-jacente.

Dans le cas de sollicitations dynamiques ou vibratoires particulièrement importantes (ouvrage à l'aplomb d'une zone de freinage, etc.), une étude approfondie pourra être nécessaire.

Pression horizontale σ_h exercée par le remblai et les charges d'exploitation

La pression horizontale σ_h exercée à la profondeur z par le remblai latéral est alors :

$$\sigma_h(z) = K_a [\sigma_v(z) + \sigma_{exp}(z)]$$

où σ_v et σ_{exp} représentent respectivement la pression verticale des terres et la pression verticale due aux charges d'exploitation définies précédemment.

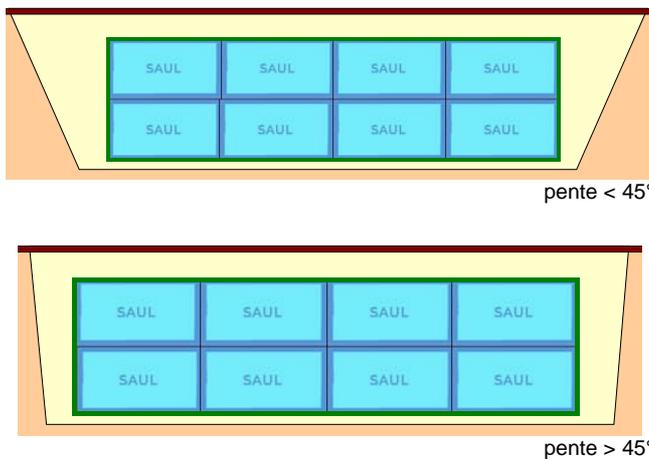


Figure 4.5 : Prise en compte de la pente des talus pour le choix de K_a

Lorsque la valeur de K_a est définie selon l'Annexe C de la norme NF EN 1997-1 : 2005, on prendra en compte en première approche les caractéristiques du terrain naturel si les parois de l'excavation sont talutées avec une pente supérieure à 45 degrés; dans le cas contraire, on utilisera les caractéristiques du matériau de remblai pour évaluer le coefficient K_a .

Pression hydrostatique p_w et pression horizontale induite (cas des ouvrages étanches)

Dès que la profondeur de la nappe H_w est inférieure à la hauteur de couverture (H_c) augmentée de la hauteur de l'ouvrage en SAUL (H_s) illustrées sur la figure 4.6, il s'exerce sur la base de l'ouvrage une pression hydrostatique égale à :

$$p_w = \gamma_w [(H_s + H_c) - H_w]$$

où γ_w est le poids volumique de l'eau (kN/m^3) et les hauteurs sont exprimées en mètre.

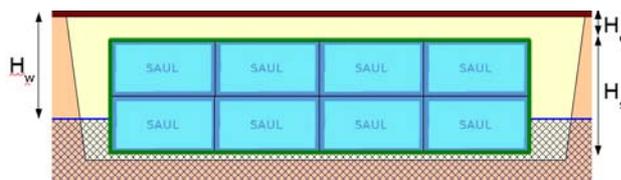


Figure 4.6 : Prise en compte de la pression hydrostatique dans le cas d'un ouvrage étanche

On devra alors vérifier que cette valeur est inférieure aux charges permanentes sus-jacentes liées au poids du remblai tant en phase travaux (lorsque l'ouvrage n'est pas encore totalement recouvert) qu'en phase opérationnelle pour éviter tout **risque de**

flottaison. Ce risque est généré par la poussée du volume d'eau déplacé par l'ouvrage. Les charges d'exploitation non permanentes ne doivent pas être prises en compte pour évaluer l'absence de risque de flottaison.

La contrainte horizontale s'appliquant sur les SAUL à la profondeur (z) est alors :

$$\sigma_h(z) = K_a [\gamma_{sol} H_w + \gamma'_{sol} (z - H_w)] + \gamma_w (z - H_w)$$

où γ'_{sol} est le poids volumique déjaugé du sol (kN/m³).

← **Note** : toute surcharge exceptionnelle par rapport au cahier des charges initial et à la note justificative de la tenue de l'ouvrage est à proscrire, tant en phase chantier qu'en phase d'exploitation.

4.2.3.6 Caractéristiques mécaniques des produits

Caractéristiques mécaniques à long terme

En préambule, on rappelle qu'il **ne peut être fait de dimensionnement de l'ouvrage en l'absence de caractérisation mécanique du produit** sur un temps long.

Par analogie à d'autres produits en matériaux thermoplastiques destinés à l'assainissement, le comportement mécanique à long terme du module de SAUL est déterminé sur la base d'essais de type.

Sous l'effet de différentes pressions, ces essais doivent permettre de déterminer par extrapolation les valeurs de déformation d'un module de SAUL et la contrainte maximale admissible sur ce dernier en relation avec la durée de vie attendue de l'ouvrage, à savoir 50 ans.

La modalité d'essai la plus représentative du comportement du produit en situation réelle peut être différente selon les produits, ce qui résulte de leur différence de comportement structurel et des conditions de mise en œuvre. Plusieurs modalités d'essai sont ainsi envisageables, tel qu'illustré sur les figures suivantes⁶⁰.

⁶⁰ La situation des SAUL dans le paysage technique européen évolue et l'utilisateur est invité à suivre la publication des normes nationales ou européennes sur le sujet. Le projet de norme XP 16-376 - *Structures alvéolaires ultra-légères modulaires en thermoplastiques destinées aux ouvrages de génie civil – Détermination des propriétés en compression simple à long terme* est en cours de rédaction à la date de publication de ce guide.

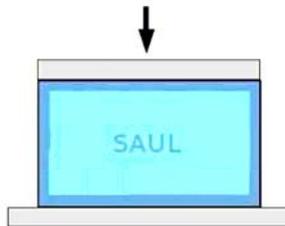


Figure 4.7 : Schéma de principe d'un essai en compression simple

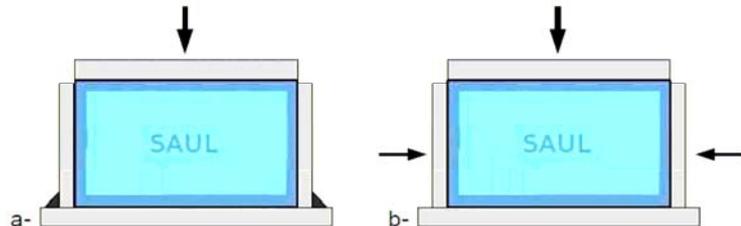


Figure 4.8 : Exemples de schémas de principe de modalités d'essais en compression combinée
a- avec déplacement latéral bloqué,
b- avec application d'une compression latérale

Le choix de la modalité d'essai doit être justifié par le fabricant en fonction des connaissances dont il dispose sur son produit (essais comparatifs préalables, modèles de calcul, suivis expérimentaux de longue durée à l'appui). Les résistances en compression qui en découlent doivent être **documentées** et rendues disponibles à la demande du maître d'œuvre.

◀ **Note** : toute valeur de résistance en compression fournie par le fabricant doit être rattachée à une modalité et à un protocole d'essai clairement définis.

Pour les SAUL homogènes à *structure en nid d'abeille* (§ 2.5.4), les retours d'expériences disponibles depuis près de 20 ans ont montré la non remise en cause de la pérennité des ouvrages lors de la compression des premières alvéoles des modules de SAUL en périphérie de l'ouvrage et soumises à la poussée des terres. Ce constat permet de légitimer le recours à une modalité en compression simple.

Pour les autres produits, et en l'absence de tels retours ou études sur une période de longue durée, la règle est que le produit doit être caractérisé selon ses trois axes. Le choix de ne pas le faire devra être justifié.

Caractéristiques mécaniques à court terme

Le comportement mécanique à court terme du module de SAUL permet au fabricant de définir les conditions de mise en œuvre de son produit, conditions formalisées dans un guide de pose : choix des matériels de mise en œuvre (traficabilité), épaisseurs des couches élémentaires de matériau, engins de compactage à utiliser.

Des essais de caractérisation permettent de déterminer la résistance en compression et la déformation associée du produit dans les sens vertical et latéral pour tenir compte respectivement des charges appliquées sur l'ouvrage et de la poussée latérale des terres.

Les essais de caractérisation sont réalisés en compression simple selon la norme XP P16-374⁶¹ ou en compression combinée selon la norme XP P16-375⁶² en fonction du comportement structurel du produit et de ses conditions de mise en oeuvre.

➤ **Note :** toute valeur de résistance en compression fournie par le fabricant doit être rattachée à une modalité et à un protocole d'essai clairement définis.

Synthèse des caractéristiques nécessaires

Les données relatives aux modules fournies par le fabricant et nécessaires pour la justification du comportement mécanique de l'ouvrage à long terme⁶³ devront donc comprendre, selon la modalité d'essai appropriée, les informations suivantes :

- la résistance verticale à long terme (extrapolée à 50 ans) : $R_{v,LT}$ (kPa),
- le cas échéant, la résistance latérale à long terme (extrapolée à 50 ans) : $R_{lat,LT}$ (kPa),
- la déformation verticale différée (extrapolée à 50 ans) après application de $R_{v,LT}$, c'est-à-dire la déformation totale extrapolée à laquelle est retirée la déformation instantanée après mise en charge du module à court terme.

Qualification des produits

À la date de publication de ce guide, il n'existe pas de norme produit relative aux structures-alvéolaires ultra-légères. À défaut, un produit peut faire l'objet d'un Avis Technique. Ce dernier précise notamment les conditions spécifiques de mise en œuvre du produit⁶⁴.

En l'absence d'appréciation technique (Avis Technique et/ou procédure d'évaluation équivalente par un organisme compétent indépendant), le produit est soumis à l'approbation du maître d'œuvre. En ce sens, il fait l'objet, sauf spécification contraire du marché, d'une réception sur chantier et d'une procédure d'évaluation technique selon un protocole à définir par le maître d'œuvre.

Pour la vérification des caractéristiques mécaniques à long terme du produit, il pourra être demandé au fournisseur de faire réaliser par un organisme indépendant un essai de compression selon la modalité et le protocole d'essai ayant permis d'extrapoler à 50 ans les caractéristiques mécaniques du module de SAUL. Cet essai aura une durée minimale de 8 jours.

⁶¹ Structures alvéolaires ultra-légères modulaires en thermoplastiques destinées aux ouvrages de génie civil – Détermination des propriétés en compression simple à court terme, octobre 2009, 15 p.

⁶² Structures alvéolaires ultra-légères modulaires en thermoplastiques destinées aux ouvrages de génie civil – Détermination des propriétés en compression combinée à court terme (en projet à la date de publication du présent guide).

⁶³ Pour la tenue mécanique à court terme, les données incluent également la résistance verticale à court terme $R_{v,CT}$ (kPa) et la résistance latérale à court terme $R_{lat,CT}$ (kPa).

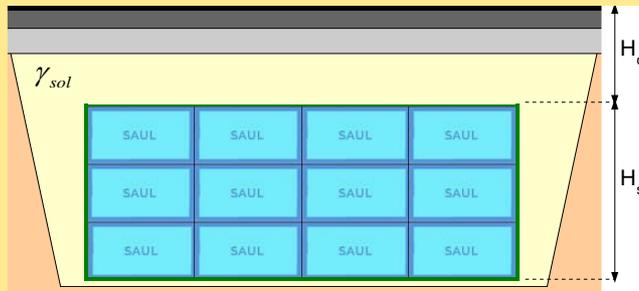
⁶⁴ Pour plus de détails sur les principes de la normalisation et de la certification, on pourra se reporter à l'annexe 4.

4.2.3.7 Exemples de calculs

Ce paragraphe illustre la démarche de justification de la tenue mécanique de l'ouvrage en SAUL par le calcul pour des exemples de configurations de base définies au paragraphe 4.2.2.

Détermination des pressions exercées

Exemple 1 : ouvrages sous chaussées circulées



On considère un ouvrage en SAUL parallélépipédique d'une hauteur $H_s=1,5m$ recouvert d'un remblai d'épaisseur $H_c=1,0m$.

L'ouvrage est enterré sous chaussée circulée (véhicules légers de $PTAC < 3,5t$).

Les études géotechniques préalables ont montré que l'ouvrage n'était pas soumis à la pression hydrostatique et ont fourni la valeur $\gamma_{sol} = 20kN/m^3$.

La configuration de l'ouvrage permet de recourir à une démarche simplifiée de justification (§ 4.2.2).

- Détermination de la pression verticale des terres σ_v due au remblai supérieur sur le toit de l'ouvrage

Il vient : $\sigma_v = \gamma_{sol} H_c = 20 \cdot 1,0 = 20,0 \text{ kPa}$

- Détermination de la pression verticale σ_{exp} due aux charges d'exploitation sur le toit de l'ouvrage

Il s'agit ici des pressions dues aux charges d'exploitation roulantes σ_{er} .

Le tableau 4.1 du paragraphe 4.2.3.2 donne une charge maximale de 10kN appliquée sur une roue de $B=200mm$ sur $L=200mm$. Supposons un angle de frottement interne $\phi=30$ degrés, la charge appliquée sur le haut de l'ouvrage en SAUL est alors :

$$\sigma_{exp} = 10 / [(B + 2 H_c \tan \phi) (L + 2 H_c \tan \phi)]$$

$$\sigma_{exp} = 10 / [(0,2 + 2 \cdot 1 \cdot \tan 30) (0,2 + 2 \cdot 1 \cdot \tan 30)]$$

$$\sigma_{exp} = 5,5 \text{ kPa}$$

Si d'autres charges s'appliquent à moins de $(H_c + H_s) m$ de l'ouvrage, elles devront également être prises en compte.

Lors de la construction de l'ouvrage, les charges σ_{ec} générées par le chantier devront également être incluses dans le calcul des pressions dues aux charges d'exploitation.

- Détermination de la pression hydrostatique p_w

Sans objet

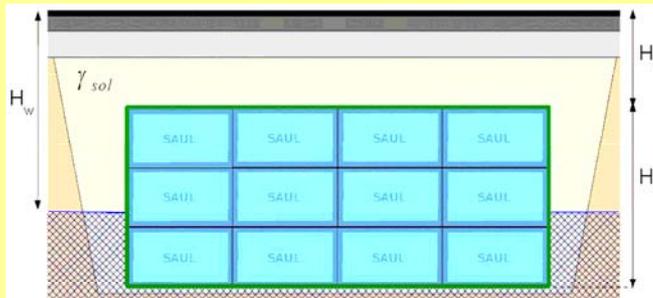
- Détermination de la pression horizontale σ_h exercée par le remblai latéral à la base de l'ouvrage

Supposons un angle de frottement interne $\phi=30$ degrés alors l'abaque C.1.1 de l'Annexe C de la norme NF EN 1997-1 :2005 donne, pour un remblai à surface horizontale et un angle de frottement nul entre le matériau de remblai et l'ouvrage, une valeur de coefficient de pression latérale des terres $K_a = 0,35$. Il vient alors :

$$\sigma_h = K_a [(\gamma_{sol} (H_c + H_s)) + \sigma_{exp} (z=H_c + H_s)] = 0,35 [(20 (1,0 + 1,5)) + 1,1] = 17,7 \text{ kPa}$$

Exemple 2 : ouvrages sous aires stationnées

On considère un ouvrage cubique en SAUL d'une hauteur $H_s=2,5m$ enterré sous parking accueillant des poids lourds de $PTAC < 7,5t$ et recouvert d'un remblai d'épaisseur $H_c=1,0m$. Les études géotechniques préalables ont montré que le toit de la nappe était à une profondeur minimale $H_w=2,4m$.



L'ouvrage peut être soumis à la pression hydrostatique et les études de sol ont fourni les valeurs suivantes :

$$\gamma_{sol} = 18 \text{ kN/m}^3 \text{ et } \gamma'_{sol} = 8 \text{ kN/m}^3.$$

La configuration de l'ouvrage permet de recourir à une démarche simplifiée de justification (§ 4.2.2).

- Détermination de la pression verticale des terres σ_v due au remblai supérieur sur le toit de l'ouvrage

$$\text{Il vient : } \sigma_v = \gamma_{sol} H_c = 18 \cdot 1,0 = 18,0 \text{ kPa}$$

- Détermination de la pression verticale σ_{exp} due aux charges d'exploitation sur le toit de l'ouvrage

Il s'agit ici des pressions dues aux charges de stationnement σ_{ep} . Le tableau du paragraphe 4.2.3.2 donne une charge maximale de 30kN appliquée sur une roue de $B=200mm$ sur $L=260mm$. Supposons un angle de frottement interne $\phi=35$ degrés, la charge appliquée sur le haut de l'ouvrage en SAUL est alors :

$$\sigma_{exp} = 30 / [(B + 2 H_c \tan \phi) (L + 2 H_c \tan \phi)]$$

$$\sigma_{exp} = 30 / [(0,2 + 2 \cdot 1 \cdot \tan 30) \cdot (0,26 + 2 \cdot 1 \cdot \tan 30)]$$

$$\sigma_{exp} = 15,7 \text{ kPa}$$

- Détermination de la pression hydrostatique p_w à la base de l'ouvrage

$$\text{Il vient : } p_w = \gamma_w [(H_s + H_c) - H_w] = 10 [(2,50 + 1,00) - 2,40] = 11,0 \text{ kPa.}$$

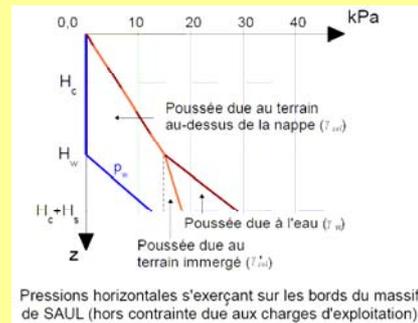
Après application de facteurs de sécurité, la comparaison des valeurs pondérées de σ_v et p_w permet de vérifier la **stabilité de l'ouvrage face au risque de flottaison** (poids négligeable des SAUL).

- Détermination de la pression horizontale σ_h exercée par le remblai latéral à la base de l'ouvrage

Considérant la même valeur pour le coefficient K_a que l'exemple précédent, il vient :

$$\sigma_h = K_a [\gamma_{sol} H_w + \gamma'_{sol} (z - H_w) + \sigma_{exp}(z)] + \gamma_w (z - H_w) \quad \text{avec } z = H_c + H_s.$$

$$\text{Soit } \sigma_h = 0,35 [18 \cdot 2,4 + 8 (3,5 - 2,4) + 1,6] + 10 (3,5 - 2,4) = 29,8 \text{ kPa.}$$



Vérification aux états limites

On reprend la configuration de l'exemple 1 précédent pour la vérification de la tenue mécanique de l'ouvrage à long terme.

État limite de service

On doit s'assurer qu'à 50 ans la déformation de la structure reste inférieure à la valeur de déformation permettant l'usage prévu des surfaces sus-jacentes :

Déformation extrapolée à 50 ans < déformation admissible pour l'usage des surfaces sus-jacentes

c'est-à-dire que la déformation totale extrapolée à laquelle est retirée la déformation instantanée après mise en charge de l'ouvrage (déformation différée) soit inférieure à la déformation admissible définie par la maîtrise d'ouvrage.

État limite ultime⁶⁵

On doit s'assurer qu'à 50 ans on a :

$$R_{v,LT} / \gamma_{mat} > \gamma_{action} \cdot (\sigma_v + \sigma_{ep} + \sigma_{er}) \quad \text{et} \quad R_{lat,LT} / \gamma_{mat} > \gamma_{action} \cdot \sigma_h$$

En reprenant les valeurs issues de l'exemple 1, on a $\sigma_v = 20,0$ kPa et $\sigma_{er} = 5,5$ kPa sur le toit de l'ouvrage et $\sigma_h = 17,7$ kPa à la base de l'ouvrage.

Supposons que le produit envisagé fasse l'objet d'une appréciation technique. Alors ses caractéristiques mécaniques à long terme doivent vérifier les inégalités suivantes :

$$R_{v,LT} > 2,5 \cdot (20,0 + 5,5) \quad \text{c'est-à-dire} \quad R_{v,LT} > 64,0 \text{ kPa}$$

$$\text{et} \quad R_{lat,LT} > 2,5 \cdot 17,7 \quad \text{c'est-à-dire} \quad R_{lat,LT} > 44,5 \text{ kPa.}$$

Par ailleurs, on assurera que la durée de sollicitation par des charges de chantier (stockages ou surcharges temporaires) est compatible avec le comportement du matériau dans le temps ; pour cela, on se référera aux guides de pose des fabricants et, si nécessaire, à la courbe obtenue lors de l'essai de comportement mécanique à long terme du matériau pour déterminer la durée maximale de sollicitation autorisée pour une charge déterminée majorée par les facteurs de sécurité adéquats et incluant toutes les charges permanentes.

4.2.4 Application de mesures prescriptives

Pour des ouvrages courants (§ 4.2.2), le **respect des limites d'emploi et des recommandations** fixées par chaque fabricant de SAUL ou, lorsqu'elles existent, des limites d'emploi définies par un organisme certificateur, permet de garantir la bonne tenue mécanique de l'ouvrage, à court et à long termes.

La définition de ces limites d'emploi est basée sur **la caractérisation mécanique des modules de SAUL** à court terme et à long terme et sur l'expérience acquise sur le produit (documentées et rendues disponibles à la demande du maître d'œuvre).

⁶⁵ A titre indicatif, le principe de la vérification à l'état limite ultime à court terme est le suivant : on doit s'assurer qu'à toutes les phases de réalisation du chantier et d'exploitation de l'ouvrage on a :

$$R_{VCT} / \gamma_{matériau CT} > \gamma_{action(charges permanentes et assimilées) CT} \cdot (\sigma_v + \sigma_{ep} + \sigma_{er}) + \gamma_{action(charges temporaires) CT} \cdot \sigma_{ec} \quad \text{et}$$

$$R_{latCT} / \gamma_{matériau CT} > \gamma_{action(charges permanentes et assimilées) CT} \cdot \sigma_h + \gamma_{action(charges temporaires) CT} \cdot K_a \cdot \sigma_{ec}$$

➤ **Note** : dans une situation donnée, les mesures prescriptives sont spécifiques à un type et, le cas échéant, à une gamme de produits. **Elles ne sont pas transposables ou extrapolables d'un produit à un autre.**

Exemple de justification par application de mesures prescriptives

On considère un ouvrage mis en œuvre sous espace vert et voirie légère. Les études géotechniques préalables ont montré que l'ouvrage n'était pas soumis à la pression hydrostatique et ont fourni la valeur $\gamma_{\text{sol}} = 18 \text{ kN/m}^3$. Les études de conception ont amené à définir un ouvrage de 54,0m de longueur, 21,6m de largeur et $H_s = 1,4\text{m}$ de hauteur. L'ouvrage est recouvert d'un remblai d'épaisseur $H_c = 1,45\text{m}$ (chaussée incluse), soit un fil d'eau de l'ouvrage à 2,85m de profondeur.

Le choix s'est porté sur un produit SAUL homogène (type 1) à structure nid d'abeilles. Le produit choisi fait l'objet de limites d'emploi définies et validées par le fabricant, à savoir :

- Pression verticale maximale admissible à long terme : $R_{v,LT} = 100 \text{ kPa}$, valeur à laquelle un facteur global de sécurité de 2,5 est ensuite appliqué,
- Profondeur d'enfouissement maximum sans disposition particulière : 3m.

Connaissant ces limites d'emploi, et dans le cas d'un ouvrage présentant une configuration de base, on peut alors vérifier que les contraintes appliquées sont inférieures aux limites d'emploi du produit.

- Détermination de la pression verticale des terres σ_v due au remblai supérieur :

On a : $\sigma_v = \gamma_{\text{sol}} H_c = 18 \cdot 1,45 = 26,1 \text{ kPa}$

- Détermination de la pression verticale σ_{exp} due aux charges d'exploitation :

Il s'agit ici des pressions dues aux charges d'exploitation roulantes σ_r . L'analyse de l'environnement du projet a conduit à estimer $\sigma_r = 5 \text{ kPa}$.

La pression totale s'exerçant sur le toit de l'ouvrage est donc de 31,5 kPa, valeur inférieure à la valeur de la pression verticale maximale admissible à long terme divisée par 2,5, soit 40 kPa.

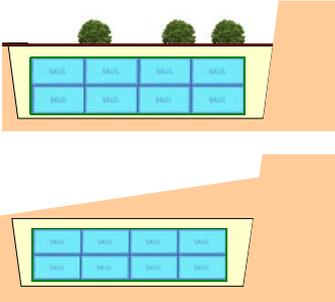
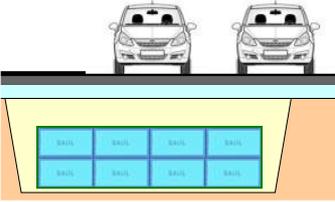
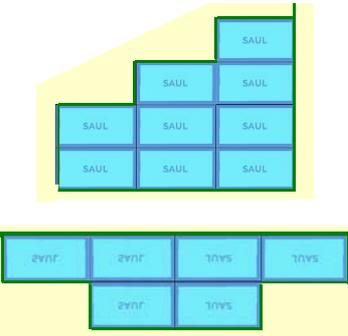
Par ailleurs, pour ce produit, compte-tenu de la profondeur d'enfouissement inférieure à 3m et de la structure homogène pouvant accompagner en déplacement la consolidation du sol, l'analyse de la valeur de la pression horizontale appliquée n'est pas nécessaire.

4.2.5 Configurations nécessitant une approche détaillée

Lorsque les conditions du paragraphe 4.2.2 ne sont pas vérifiées, la démarche simplifiée présentée ci-dessus n'est plus applicable : une étude détaillée est alors nécessaire pour définir les précautions à prendre.

Le tableau 4.2 présente des cas de configurations nécessitant une telle approche et des pistes de prise en compte possibles.

Tableau 4.2 : Exemples de configurations nécessitant une justification détaillée de la tenue mécanique de l'ouvrage

Configurations	Problématiques et recommandations
 <p data-bbox="231 862 502 896">Dissymétrie du remblai</p>	<p data-bbox="555 443 1476 533">La spécificité de ces configurations repose sur une dissymétrie dans l'application des contraintes horizontales, ce qui génère un risque de cisaillement de l'ouvrage.</p> <p data-bbox="555 548 1069 582">Dispositions constructives ou contrôles</p> <p data-bbox="555 589 1476 678">Une approche pratique peut par exemple consister à agrandir la largeur de l'excavation du côté de l'ouvrage soumis aux pressions latérales les plus fortes (solllicitation du matériau de remblai).</p> <p data-bbox="555 685 1476 808">Des dossiers techniques sur des ouvrages similaires suivis dans le temps pourront être fournis par le fabricant en appui de la justification de la tenue du massif de SAUL. Une surveillance spécifique de l'ouvrage par instrumentation pourra être mise en place.</p> <p data-bbox="555 824 845 857">Approche par le calcul</p> <p data-bbox="555 864 1476 954">Une justification par le calcul nécessite d'adapter la représentation des charges appliquées compte-tenu de la géométrie de l'ouvrage. Cela peut nécessiter une approche de calcul en éléments finis.</p>
 <p data-bbox="215 1294 518 1373">Dissymétrie ou non-homogénéité des charges</p>	<p data-bbox="555 976 1476 1093">La spécificité de ces configurations repose sur une dissymétrie ou une non homogénéité forte de l'application des contraintes, ce qui génère un risque de tassement différentiel de l'ouvrage, essentiellement dans les zones à fort trafic.</p> <p data-bbox="555 1108 1069 1142">Dispositions constructives ou contrôles</p> <p data-bbox="555 1149 1476 1272">Une approche pratique peut consister à augmenter, si nécessaire, l'épaisseur de remblai de manière à limiter le différentiel de pression entre les deux extrémités de l'ouvrage. La mise en place d'une dalle béton est une autre solution envisageable.</p> <p data-bbox="555 1288 845 1321">Approche par le calcul</p> <p data-bbox="555 1328 1476 1417">Une justification par le calcul nécessite d'adapter la représentation des charges appliquées compte-tenu de la géométrie de l'ouvrage. Cela peut nécessiter une approche de calcul en éléments finis.</p>
 <p data-bbox="220 1809 513 1888">Dissymétrie de l'ouvrage en SAUL</p>	<p data-bbox="555 1435 1476 1525">La spécificité de ces configurations repose sur le caractère non parallélépipédique voire non symétrique de l'ouvrage, ce qui peut générer des risques des tassements ou des déplacements différentiels de l'ouvrage.</p> <p data-bbox="555 1541 1069 1574">Dispositions constructives ou contrôles</p> <p data-bbox="555 1581 1476 1671">Chaque ouvrage nécessite une approche au cas par cas. Dans le cas d'ouvrages « inversés », l'emploi de matériaux auto-compactant est possible.</p> <p data-bbox="555 1677 1476 1800">Des dossiers techniques sur des ouvrages similaires suivis dans le temps pourront être fournis par le fabricant en appui de la justification de la tenue du massif de SAUL. Une surveillance spécifique de l'ouvrage par instrumentation pourra être mise en place.</p> <p data-bbox="555 1816 845 1850">Approche par le calcul</p> <p data-bbox="555 1856 1476 1912">Une justification par le calcul peut nécessiter une approche de calcul en éléments finis.</p>

Dans les cas où une approche de calcul en éléments finis est nécessaire, les conditions aux limites retenues seront clairement définies et expliquées.

Par ailleurs, une attention particulière sera portée aux ouvrages dont la hauteur est supérieure à 2 mètres.

4.3 Dimensionnement des structures portées par les SAUL

4.3.1 Généralités

Problématique

La conception des structures portées par les SAUL sort du champ d'application direct de ce guide centré sur le dimensionnement des massifs de SAUL. Cependant, il a paru utile de montrer comment la présence des SAUL peut modifier l'approche pour le calcul de ces structures, car cette question est absente des documents de référence existants, dont l'élaboration est antérieure au développement des SAUL.

L'introduction de matériaux non traditionnels dans les ouvrages est compliquée par le fait que les méthodes de calcul courantes sont toutes basées sur des approches simplifiées intégrant des règles issues de l'expérience. Tant que l'expérience des nouveaux produits est limitée, le dimensionnement des structures portées par les SAUL doit se mouler prudemment dans les pratiques traditionnelles. C'est ce qui est proposé dans cette section pour le dimensionnement des chaussées de tout type que l'on peut poser sur des massifs de SAUL.

La conception des chaussées est un processus complexe, qui part des propriétés des terrains qui vont porter la structure et remonte progressivement vers les couches superficielles de la chaussée proprement dite. Les règles tiennent compte de deux nécessités : celle d'obtenir un fonctionnement mécanique satisfaisant de la structure finie et celle de pouvoir construire cette structure, ce qui nécessite de mettre en place des couches successives de matériaux et de les compacter, en général avec des engins. La présence des SAUL impose des contraintes à ces deux parties de la conception des chaussées.

Dans les structures de chaussées usuelles, la transition entre les couches de chaussées proprement dites et les terrains de fondation est assurée par des couches de matériaux granulaires. Dans le cas des SAUL, la transition est également assurée par des matériaux granulaires, qui répartissent la charge sur le massif de SAUL. Cette couche de matériaux est liée aux SAUL dans le calcul de la structure de chaussée : le calcul par les méthodes usuelles, utilisant le logiciel ALIZÉ ou bien des catalogues de structures de chaussées, représente le « sous-sol » par des classes de plates-formes, c'est-à-dire des classes de valeurs de module à l'essai de plaque, réalisé à la surface de la couche granulaire de transition.

Le dimensionnement des structures de chaussées reposant sur des SAUL passe donc par la connaissance du module de déformation de la plate-forme granulaire placée au-dessus des SAUL. L'utilisation des règles de dimensionnement des chaussées à partir de ce module permet de bénéficier des connaissances et de l'expérience intégrées dans ces règles traditionnelles, et donc de bénéficier d'une sécurité réelle. L'enjeu est de déterminer l'épaisseur minimale des matériaux granulaires qui doit être mise en place au-dessus du massif de SAUL avant de passer à la structure de chaussée ou de couverture.

Pour permettre un dimensionnement, des essais de caractérisation de plate-forme doivent être réalisés sur une structure SAUL recouverte d'une épaisseur variable de matériau granulaire (matériau D2 au sens de la norme NF P11-300). Ce type d'essai permet de déterminer l'épaisseur de matériau nécessaire pour obtenir la performance de plate-forme qui intervient dans le dimensionnement (module à la plaque ou module dynamique).

Principe de l'essai de caractérisation de plate-forme

On réalise une structure d'essai composée d'au moins deux épaisseurs de modules élémentaires d'une surface minimum de 4 m² (2m x 2m). Un matériau granulaire représentatif (grave D2 selon le GTR) est mis en œuvre par couche de 25 cm (compactée à 90% de l'OPN). Sur chaque couche, un essai de plaque est réalisé (ou un essai à la dynaplaque). Trois couches au moins doivent être testées. Les trois points de mesure permettent de déterminer les épaisseurs de couches nécessaires à l'obtention de la qualité de plate-forme désirée (PF1, PF2 ou PF3). On se reportera aux deux normes d'essai suivantes :

- module à la plaque : NF P 94-117-1 : portance des plates-formes - module sous chargement statique à la plaque (EV2),
- module dynamique : NF P 94-117-2 : portance des plates-formes - module sous chargement dynamique.

Ces deux modules sont bien corrélés.

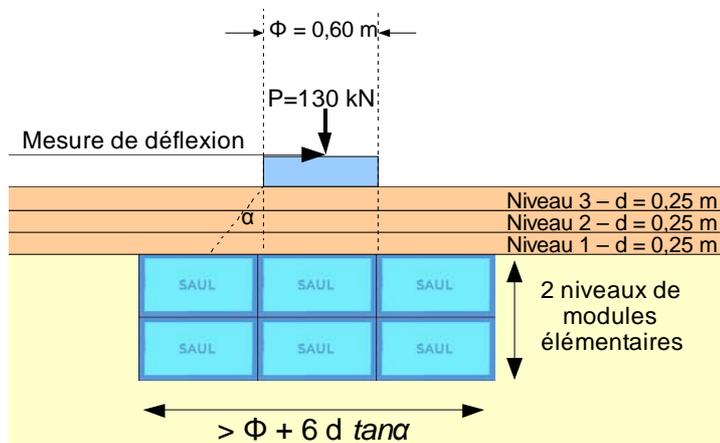


Figure 4.9 : Schéma de principe de l'essai de caractérisation des qualités de plate-forme (essai à la plaque)

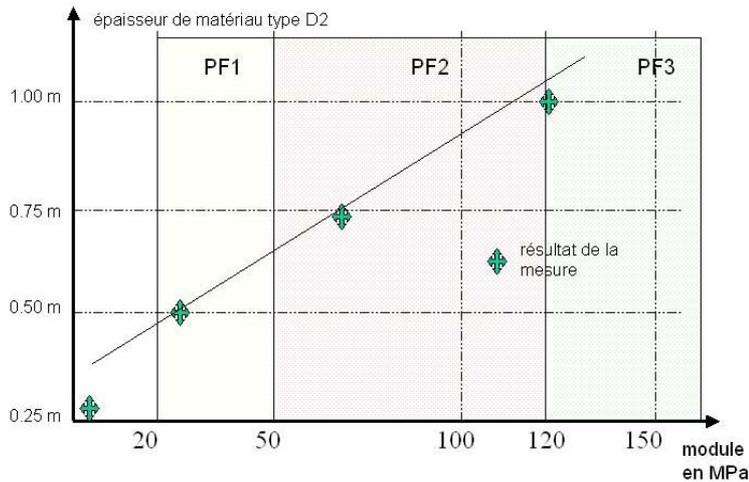


Figure 4.10 : Exemple de courbe type d'essai de caractérisation de plate-forme⁶⁶

Ces études expérimentales, que l'on ne peut remplacer par des calculs, permettent de déterminer la classe de plate-forme que l'on peut obtenir sur chaque produit et d'entrer ensuite dans le dimensionnement des chaussées.

4.3.2 Cas des chaussées à trafic moyen à fort

4.3.2.1 Les structures classiques

Un pré-dimensionnement peut être réalisé à partir de l'abaque liant la performance de la plate-forme à l'épaisseur du matériau granulaire de remblaiement, tel que sur la figure 4.10, et du Mémento des Spécifications Françaises de Chaussées [SETRA, LCPC, 1994].

À titre d'exemple, des structures types, à base de liants hydrocarbonés à mettre en œuvre au dessus des SAUL, sont données dans le tableau 4.3.

Tableau 4.3 : Exemple de structures types de chaussée sur SAUL en fonction du trafic

Nature du trafic	T0	T1	T2	T3	matériau
Couche de roulement	8	8	8	8	BB
Couche de base	18	15	12	12	GB
Couche de fondation	18	18	15	12	GB
Couche de forme	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	GNT
Structure réservoir	-	-	-	-	SAUL

Les épaisseurs sont exprimées en cm.

BB : bétons bitumineux - GB : graves bitume - GNT : graves non traitées

⁶⁶ Cette courbe est issue du premier guide technique publié en 1998 sur les SAUL (LCPC, CERTU) et avait été réalisée pour les seuls produits nids d'abeilles alors disponibles sur le marché. Elle n'est pas applicable à d'autres produits.

4.3.2.2 Les structures poreuses

Un pré-dimensionnement peut être réalisé à partir de l'abaque liant la performance de la plate-forme à l'épaisseur du matériau granulaire de remblaiement (on considère que les performances obtenues à partir d'une grave concassée poreuse sont proches de celles de la GNT, vis-à-vis de la portance) et du Guide Technique « *Chaussées Poreuses Urbaines* » [Certu, 1999].

À titre d'exemple, des structures types à base de liants hydrocarbonés à mettre en œuvre au-dessus des SAUL sont données dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Exemple de structures types de chaussée poreuse sur SAUL en fonction du trafic

Nature du trafic	T0	T1	T2	T3	matériau
Couche de roulement	10	10	8	6	BBDR
Couche de base	20	18	15	15	GBP
Couche de fondation	22	20	20	15	GBP
Couche de forme	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF2	GNTP
Structure réservoir	-	-	-	-	SAUL

Les épaisseurs sont exprimées en cm.

BBDR : bétons bitumineux drainants - GBP : graves-bitume poreuses - GNTP : graves non traitées poreuses

4.3.3 Cas des chaussées à faible trafic

4.3.3.1 Les structures classiques

Un pré-dimensionnement peut être réalisé à partir d'abaques liant la performance de la plate-forme à l'épaisseur du matériau granulaire de remblaiement, tel que sur la figure 4.10, et du « *Manuel pour la conception des chaussées neuves à faible trafic* » [SETRA, LCPC, 1981].

À titre d'exemple, des structures types de base de graves non traitées (GNT) à mettre en œuvre au-dessus des SAUL sont données dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Exemple de structures types de chaussée à faible trafic sur SAUL (1)

Nature du trafic	T4	T5		matériau
Couche de roulement	6-8	4	Enduit superficiel	BB
Couche de base	20	20	20	GNT
Couche de fondation	20	22	30	GNT
Couche de forme	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	GNT
Structure réservoir	-	-	-	SAUL

Les épaisseurs sont exprimées en cm.

À titre d'exemple, des structures types à base de grave traitée aux liants hydrocarbonés, graves-bitume (GB), à mettre au-dessus des SAUL sont données dans le tableau 4.6.

Tableau 4.6 : Exemple de structures types de chaussée à faible trafic sur SAUL (2)

Nature du trafic	T4	T5	matériau
Couche de roulement	4	4	BB
Couche de base et fondation	22	15	GB
Couche de forme	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	GNT
Structure réservoir	-	-	SAUL

Les épaisseurs sont exprimées en cm.

4.3.3.2 Les structures poreuses

Un pré-dimensionnement peut être réalisé à partir de l'abaque liant la performance de la plate-forme à l'épaisseur du matériau granulaire de remblaiement (on considère que les performances obtenues à partir d'une grave concassée poreuse sont proches de celles de la GNT vis-à-vis de la portance) et du Guide Technique « *Chaussées Poreuses Urbaines* » [Certu, 1999].

À titre d'exemple, des structures types à base de grave traitée aux liants hydrocarbonés, graves-bitume poreuses (GBP), à mettre en œuvre au dessus des SAUL sont données dans le tableau 4.7.

Tableau 4.7 : Exemple de structures types de chaussée poreuse à faible trafic sur SAUL

Nature du trafic	T4	T5	matériau
Couche de roulement	4	4	BBDR
Couche de base et fondation	26	18	GBP
Couche de forme	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	GNT
Structure réservoir	-	-	SAUL

Les épaisseurs sont exprimées en cm.

4.3.4 Cas des aires de stationnement

4.3.4.1 Les structures classiques

Un pré-dimensionnement peut être réalisé à partir de l'abaque liant la performance de la plate-forme à l'épaisseur du matériau granulaire de remblaiement et du « *Manuel pour la conception des chaussées neuves à faible trafic* » [SETRA, LCPC, 1981] avec les hypothèses suivantes :

- équivalent trafic : T5,
- trafic cumulé N inférieur à 10^4 .

Avec ces hypothèses, des structures à base de graves non traitées (GNT) à mettre en œuvre au-dessus des SAUL sont données dans le tableau 4.8.

Tableau 4.8 : Exemple de structures types de chaussée en zones de stationnement

Nature du trafic	T5 et N<10 ⁴	matériau
Couche de roulement	4-5	BB
Couche de base et fondation	15	GNT
Couche de forme	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	GNT
Structure réservoir	-	SAUL

Les épaisseurs sont exprimées en cm.

BB : bétons bitumineux - GNT : graves non traitées

4.3.4.2 Les structures poreuses

Un pré-dimensionnement peut être réalisé à partir d'abaques liant la performance de la plate-forme à l'épaisseur du matériau granulaire de remblaiement (on considère que les performances obtenues à partir d'une grave concassée poreuse sont proches de celles de la GNT vis-à-vis de la portance) et du Guide Technique « *Chaussées Poreuses Urbaines* » [Certu, 1999] avec les hypothèses suivantes :

- équivalent trafic : T5,
- trafic cumulé N inférieur à 10^4 .

Avec ces hypothèses, des structures à base de graves-bitume poreuses (GBP) à mettre en œuvre au-dessus des SAUL sont données dans le tableau 4.9.

Tableau 4.9 : Exemple de structures types de chaussée poreuse en zones de stationnement

Nature du trafic	T5 et N<10 ⁴	matériau
Couche de roulement	4	BBDR
Couche de base et fondation	13	GBP
Couche de forme	épaisseur de matériau permettant d'obtenir la qualité PF1	GNTP
Structure réservoir	-	SAUL

Les épaisseurs sont exprimées en cm.

BBDR : bétons bitumineux drainants - GBP : graves-bitume poreuses - GNTP : graves non traitées poreuses

4.3.5 Cas des zones de loisir et espaces verts

L'épaisseur des matériaux sus-jacents est principalement déterminée par le remodelage architectural du site :

- l'épaisseur maximale est déterminée par la résistance des produits aux sollicitations permanentes ;
- l'épaisseur minimale est quant à elle déterminée en fonction des moyens utilisés pour sa mise en œuvre ; elle est déterminée par le fabricant.

Les structures des accès (pompiers et autres dessertes) seront traitées comme les structures des aires de stationnement.

4.3.6 Cas des structures rigides

La réalisation de structures rigides sur un ouvrage en SAUL nécessite un dimensionnement spécifique qui sera réalisé par un bureau d'études spécialisé. Il devra intégrer la déformabilité du matériau. Une attention toute particulière devra être portée aux tassements différentiels entre une partie de l'ouvrage s'appuyant sur l'ouvrage en SAUL et une autre partie sur un point dur.

4.4 Stabilité des terrains autour des SAUL

Les projets d'ouvrages comportant des SAUL doivent être justifiés du point de vue de la stabilité du sol support (§ 4.1.1). Cette justification s'appuie sur les études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques préalables (Chapitre 3). Elle couvre la stabilité des bords de l'excavation pendant les travaux, l'influence de cette excavation sur les constructions existant à proximité et la stabilité générale du site.

4.4.1 Stabilité en cours de travaux

L'exécution des ouvrages en SAUL commence par la réalisation d'une excavation, qui peut être limitée par un talus ou une paroi verticale. La stabilité de cet ouvrage provisoire doit être assurée. Les règles de vérification de la stabilité sont définies par la norme NF EN 1997-1 (Eurocode 7) et ses documents et normes d'application en France. Pour les ouvrages courants, nécessitant des excavations d'au plus deux mètres de profondeur, exécutées hors d'eau ou à l'abri d'un drainage extérieur, et sans conséquences dangereuses pour le voisinage, les règles applicables sont celles de la catégorie des ouvrages simples. Ces règles peuvent être fondées sur l'expérience et n'exigent pas de calculs.

Au-delà de 2 mètres de profondeur, les talus des excavations et les parois de soutènement provisoires seront justifiés par des calculs de stabilité utilisant la cohésion et la résistance au cisaillement estimées du sol. Des calculs de stabilité en « rupture circulaire » pour les talus et en poussée et butée pour les rideaux peuvent être exécutés à cette fin.

Les règlements de sécurité interdisent d'exécuter des tranchées non blindées au-delà d'une profondeur de 1,2 mètre. La géométrie de l'excavation sera prise en compte dans l'application de cette règle.

4.4.2 Effets sur les avoisinants

L'exécution des excavations nécessaires aux travaux doit être réalisée sans dommages pour les avoisinants. Cela implique que l'on ne peut réaliser de tranchées au contact d'un mur ou d'une fondation superficielle, notamment si l'on descend au-dessous du niveau de ces fondations. En cas d'excavation à l'abri de blindages, on tiendra compte de la zone de déformation des sols derrière de tels écrans.

L'effet des rabattements de nappe temporaires sera également analysé avant les travaux.

4.4.3 Stabilité générale du site

Si les conditions géotechniques sont défavorables, on attachera une attention particulière à la stabilité du site : instabilité de versant naturel sensible lors de la réalisation des excavations ou instabilité de l'ensemble du site, indépendamment des travaux. Cette analyse sera effectuée par un bureau d'études géotechniques.

4.5 Synthèse

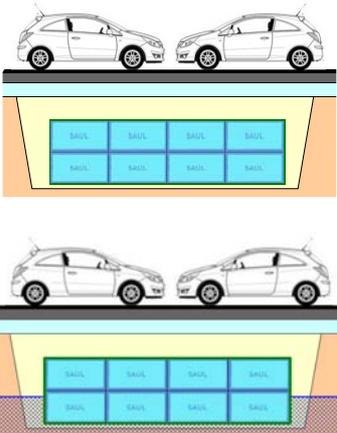
4.5.1 Ouvrages sous espaces verts et assimilés

Tableau 4.10 : Nature des vérifications à effectuer dans le cas d'un ouvrage sous espaces verts ou assimilés

Configuration de référence	Actions mécaniques à prendre en compte dans le dimensionnement
	<ul style="list-style-type: none"> - pression verticale liée au poids des terres et aux stockages éventuels, - le cas échéant, pression hydrostatique (cas d'un ouvrage étanche), - toute autre action liée à des charges d'exploitation (engins de maintenance, etc.), - pression horizontale résultante exercée par le remblai latéral. <p>Peuvent également intervenir pour la vérification de la tenue à court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pression due aux charges de chantier lors de la mise en œuvre de l'ouvrage, - toute autre charge occasionnelle susceptible d'être appliquée compte tenu de l'usage ultérieur de l'espace aménagé.
Nature des vérifications à effectuer et points de vigilance	
<p>Vérifications à effectuer</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ stabilité du terrain, ▪ État Limite Ultime à long terme (50 ans) selon les actions mécaniques précédemment listées, ▪ État Limite de Service à long terme afin notamment de s'assurer que les déformations de l'ouvrage dans le temps sont prises en compte dans la phase de conception (continuité des branchements et raccordements, etc.), ▪ le cas échéant, État Limite Ultime à court terme selon les actions mécaniques occasionnelles pouvant être appliquées. <p>Points de vigilance lors de la justification</p> <p>Toute action liée aux charges d'exploitation occasionnelles doit être clairement identifiée.</p> <p>En présence d'une nappe, le risque de flottaison doit faire l'objet d'une attention particulière.</p> <p>Points de vigilance lors de l'exploitation</p> <p>Assurer le respect des charges d'exploitation précisées au CCTP ou à défaut dans la note de calcul validée. Cela peut nécessiter de mettre en place des contraintes d'accès, des limitations de tonnage, etc.</p>	
Conditions d'application d'une démarche de justification simplifiée	
<p>Concernant la justification de la tenue du massif de SAUL, l'application d'une démarche simplifiée telle que présentée dans les paragraphes 4.2.3 et 4.2.4 n'est possible que sous réserve des conditions présentées au paragraphe 4.2.2.</p>	

4.5.2 Ouvrages sous aires stationnées

Tableau 4.11 : Nature des vérifications à effectuer dans le cas d'un ouvrage sous aires stationnées ou assimilées

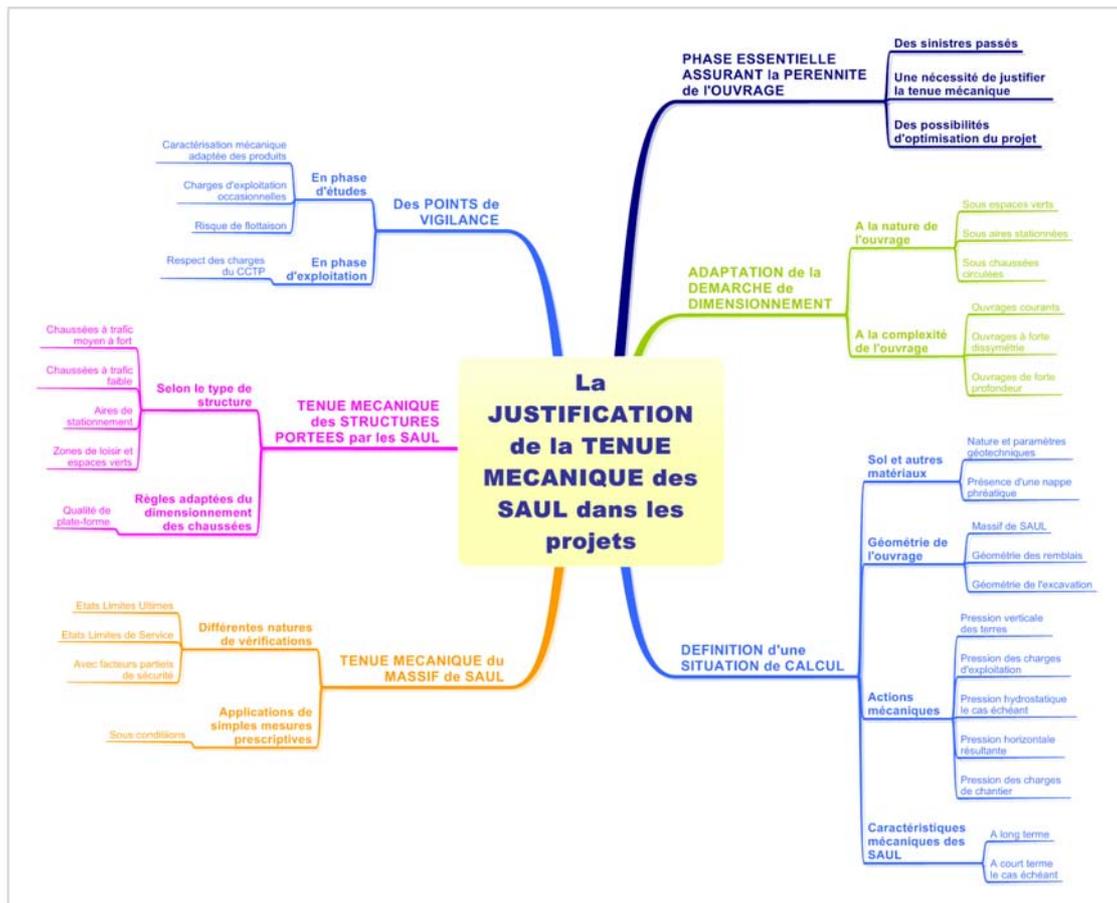
Configuration de référence	Actions mécaniques à prendre en compte dans le dimensionnement
	<ul style="list-style-type: none"> - pression verticale liée au poids des terres et aux stockages éventuels, - le cas échéant, pression hydrostatique prenant en compte le plus haut niveau de nappe connu (cas d'un ouvrage étanche), - pression verticale due aux charges d'exploitation (généralement assimilées à des charges permanentes), - pression horizontale résultante exercée par le remblai latéral. <p>Peuvent également intervenir pour la vérification de la tenue à court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pression due aux charges de chantier lors de la mise en œuvre de l'ouvrage, - toute autre charge occasionnelle susceptible d'être appliquée compte tenu de l'usage ultérieur de l'espace aménagé (place de marché, etc.).
Nature des vérifications à effectuer et points de vigilance	
<p>Vérifications à effectuer</p> <p>Voir tableau 4.10.</p> <p>Points de vigilance lors de la justification</p> <p>Voir tableau 4.10.</p> <p>Selon la structure de la chaussée, l'épaisseur de couverture et les propriétés des sols, les cônes de descente de charge peuvent se superposer.</p> <p>Dans le cas de parkings de grandes tailles (accueillant des manifestations occasionnelles, par exemple), les actions possibles en résultant doivent être intégrées dans la note justificative de la tenue de l'ouvrage en SAUL.</p> <p>Une structure de chaussée n'admettant que de très faibles déformations, il est nécessaire de se pencher avec attention sur le dimensionnement de cette dernière (§ 4.3).</p> <p>Points de vigilance lors de l'exploitation</p> <p>Assurer le respect des charges d'exploitation précisées au CCTP ou à défaut dans la note de calcul validée ainsi que la limitation des contraintes de cisaillement (limitation de vitesse, etc.).</p>	
Conditions d'application d'une démarche de justification simplifiée	
Voir tableau 4.10.	

4.5.3 Ouvrages sous chaussées circulées

Tableau 4.12 : Nature des vérifications à effectuer dans le cas d'un ouvrage sous voiries circulées

Configuration de référence	Actions mécaniques à prendre en compte dans le dimensionnement
	<ul style="list-style-type: none"> - pression verticale liée au poids des terres et aux stockages éventuels, - le cas échéant, pression hydrostatique prenant en compte le plus haut niveau de nappe connu (cas d'un ouvrage étanche), - pression verticale due aux charges d'exploitation (assimilées à des charges permanentes ou intégrant une contrainte dynamique le cas échéant), - pression horizontale résultante exercée par le remblai latéral. <p>Peuvent également intervenir pour la vérification de la tenue à court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pression due aux charges de chantier lors de la mise en œuvre de l'ouvrage, - toute autre charge occasionnelle susceptible d'être appliquée compte tenu de l'usage ultérieur de l'espace aménagé.
Nature des vérifications à effectuer et points de vigilance	
<p>Vérifications à effectuer Voir tableau 4.10.</p> <p>Points de vigilance lors de la justification Voir tableau 4.10.</p> <p>Selon la structure de la chaussée, l'épaisseur de couverture et les propriétés des sols, les cônes de descente de charge peuvent se superposer.</p> <p>Une structure de chaussée n'admettant que de très faibles déformations, il est nécessaire de se pencher avec attention sur le dimensionnement de cette dernière (§ 4.3).</p> <p>On limitera le dimensionnement à un trafic T0.</p> <p>Points de vigilance lors de l'exploitation Assurer le respect des charges d'exploitation précisées au CCTP ou prises en compte dans la justification ainsi que la limitation des contraintes de cisaillement (limitation de vitesse, etc.).</p>	
Conditions d'application d'une démarche de justification simplifiée	
Voir tableau 4.10.	

Chapitre 4 : L'essentiel



5 Mise en œuvre des SAUL

5.1 Caractéristiques de la mise en œuvre et spécificités

Compte tenu des spécificités des différentes SAUL, les fabricants ont établi des **guides de pose** pour intégrer au mieux les exigences de mise en œuvre associées à leur produit. Il est donc important de se reporter au guide fourni pour la réalisation de l'ouvrage, qu'il appartient à l'entreprise de pose d'intégrer à son plan d'assurance qualité (PAQ). Les éléments ci-après sont les **règles générales de mise en œuvre**, communes à l'ensemble des SAUL. Par ailleurs, les principes généraux édictés par le titre II du fascicule 70 sont susceptibles de s'appliquer.

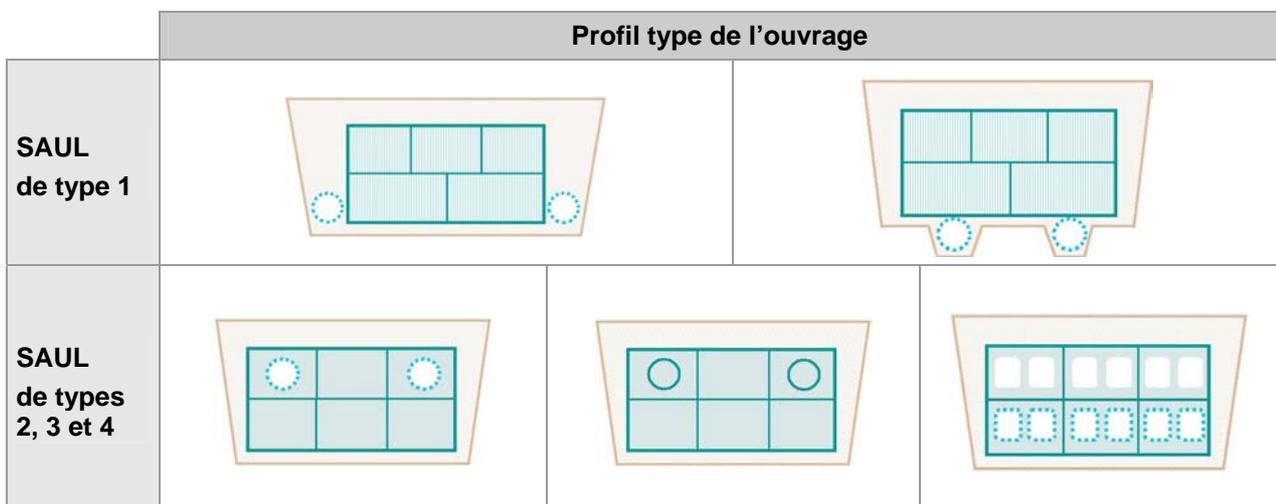


Figure 5.1 : Spécificités de la mise en œuvre des différents types de SAUL

Dans la suite de ce chapitre, on considère les zones suivantes illustrées sur la figure 5.2 :

- le sol en place ;
- la zone d'enrobage constituée par :
 - le lit de pose ,
 - le remblai latéral ,
 - le remblai initial⁶⁷ ;
- la zone de remblai proprement dit, composée des parties inférieure et supérieure du remblai.

⁶⁷ Le remblai initial inclut une couche complémentaire pour la protection du géotextile, ou du dispositif d'étanchéité par géomembrane le cas échéant (§ 5.5).

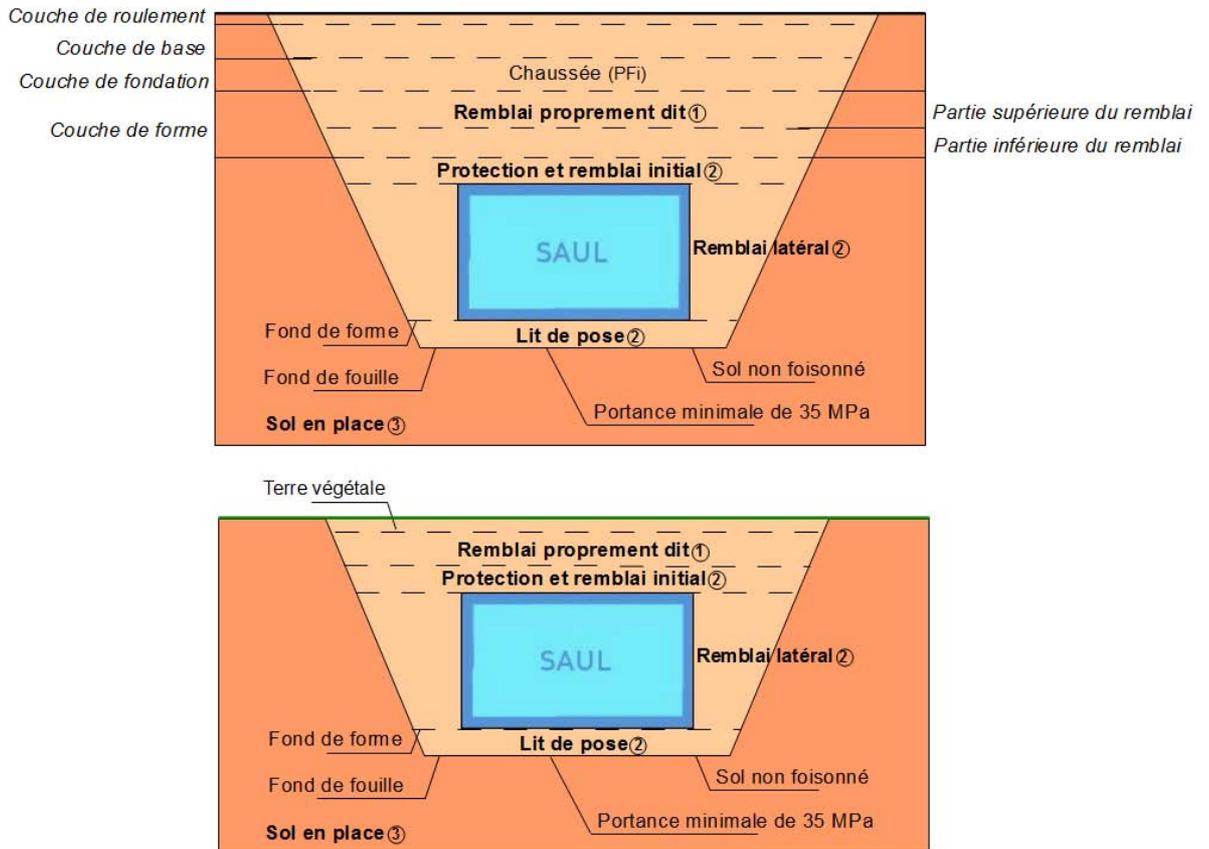


Figure 5.2 : Profils-types d'ouvrages sous chaussée et sous espace vert

5.2 Terrassement de l'ouvrage et préparation du fond de forme

Données préalables

Avant d'exécuter le terrassement pour la réalisation d'un ouvrage de stockage en SAUL, il est nécessaire de connaître les caractéristiques techniques suivantes, dont doit disposer l'entreprise :

- nature géologique des sols (en lien avec la portance du fond de fouille) ;
- cohésion et angle de frottement du matériau de déblai (pour la tenue des fouilles) ;
- présence et profondeur de battement de la nappe phréatique, arrivée d'eau localisée ;
- dimensions de l'ouvrage en SAUL et hauteur du remblai au-dessus de la structure pour déterminer l'emprise des terrassements et la cote du fond de fouille ;
- emplacement des équipements associés (dispositifs de dépollution, ouvrages d'entrée et de sortie, de raccordement de branchements et d'accès, dispositifs de ventilation, surverse de sécurité, etc.).

Le rapport d'études géotechniques préalable (niveau phase 2 dans le cas général, niveau phase 3 dans le cas de risques géotechniques particuliers) est fourni dans le dossier de consultation des entreprises. On se reportera utilement à la section « *Les études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques : objectifs, moyens d'investigation et phasage* » du paragraphe 3.3.2.

Les opérations de terrassement sont réalisées conformément à la réglementation relative à la sécurité du personnel. Les spécifications du fascicule 2 du CCTG - Terrassements s'appliquent. La largeur de la fouille devra tenir compte de la profondeur de l'ouvrage et des caractéristiques du sol environnant (tenue des parois en déblai). Dans le cas d'ouvrages de faible largeur (type tranchée), on pourra avoir recours à un système de blindage pour éviter une déstructuration du sol environnant (obligatoire à partir d'une profondeur de 1,30 m en l'absence de talutage des parois).

En cas de présence d'eau (nappe ou arrivée localisée), un dispositif d'épuisement de la fouille est nécessaire. L'installation doit se faire sur un sol sec, exempt d'arrivée d'eau.

Pose en présence d'eau :

conditions d'épuisement et de remise en eau de la fouille

L'épuisement des venues d'eau, y compris eau de pluie ou rabattement de la nappe, pendant la mise en œuvre (installation, remblaiement, compactage), peut être réalisé selon différents procédés, liés au débit à pomper et aux conditions de soutènement de la fouille :

- **rabattement direct en fouille**, talutée ou blindée : pompage par puisard en fond de fouille,
- **rabattement préalable au terrassement à l'extérieur d'emprise de la fouille** : pompage par puits filtrants ou pointes filtrantes,
- **mise hors d'eau par écrans étanches** : fichage du rideau de palplanches à une profondeur adaptée.

L'entreprise de terrassement et de pose fournit un projet de rabattement selon les éléments indiqués par l'étude géotechnique préalable, précisant les matériels mis en œuvre et la prise en compte des risques pour l'environnement immédiat des travaux. Dans tous les cas, il est généralement recommandé de réaliser les travaux en période de basses eaux.

Une attention particulière doit être portée aux conditions de « remise en eau », après réalisation de l'étanchéité et de l'ouvrage en SAUL. Il existe un risque réel de déstabilisation de l'ouvrage par la poussée d'Archimède si celui-ci n'est pas suffisamment lesté. Le cas échéant, la remise en eau peut être différée à l'achèvement complet des remblaiements et du compactage (note de calcul de vérification à l'appui).

Dans le cas général, un espace minimum de 0,50 m en pied de fouille, et conforme aux normes de sécurité en vigueur, est nécessaire entre les parois de la structure en SAUL et le terrassement afin de permettre un accès sécurisé conformément à la réglementation et assurer les opérations de :

- raccordement des canalisations à l'ouvrage de stockage ;
- mise en place des accessoires ;
- positionnement des géotextiles et/ou géomembranes ;

- remblaiement et compactage avec un matériel approprié.

Dans le cas d'un dispositif d'infiltration, une distance minimale de 5 mètres par rapport au bâtiment le plus proche est à respecter. Dans tous les cas, le respect des plans et emplacements de pose définis par le bureau d'études est à observer.

Lorsque l'ouvrage est réalisé à proximité de plantations, il faudra tenir compte du développement racinaire des arbres et arbustes. En l'absence d'une distance suffisante entre l'ouvrage et la plantation (distance inférieure à H : hauteur de l'arbre adulte), il faudra mettre en place un dispositif adapté pour confiner le développement racinaire.

Fond de fouille

Le terrassement du fond de l'ouvrage de stockage doit être exécuté par un godet à lame pour éviter au maximum le foisonnement. Il est souhaitable de reprendre par compactage la décompression du sol et le foisonnement qui pourraient générer des tassements différentiels, quitte ensuite à scarifier la surface du fond de l'ouvrage dans le cas d'ouvrage d'infiltration.

La portance du fond de fouille devra être caractérisée par un essai approprié (accessibilité du fond de fouille). Cette portance devra être au minimum de 35 MPa dans le cas d'ouvrage sous infrastructures. Cette valeur guide, susceptible d'être adaptée aux exigences et spécificités de conception de l'ouvrage, répond également aux exigences de confort pour la réalisation du fond de forme et l'installation de l'ouvrage.

Lit de pose et fond de forme

Un soin particulier sera apporté à la planéité du lit de pose afin de garantir la stabilité de l'ouvrage et d'assurer sa facilité de mise en œuvre. Ce réglage concerne aussi bien l'horizontalité générale de la plate-forme que l'absence locale de déflexion à l'échelle d'un module (le module doit reposer sur toute la surface). Toute déflexion au niveau de la couche de réglage se traduirait par un phénomène amplificateur au moment de l'empilement des modules et constituerait un danger pour la stabilité de l'ouvrage.

Le matériau concassé choisi devra être exempt de fines dans le cas d'un ouvrage d'infiltration et la granulométrie adaptée afin de permettre un réglage tel que décrit ci-dessus (exemple concassé 5/15). L'épaisseur minimale est généralement de 0,10 m.

Les matériaux de déblai peuvent éventuellement être réutilisés pour cette opération s'ils respectent les critères évoqués ci-dessus.

Le fond de forme doit être stable et avoir une portance homogène sur l'ensemble de sa surface.

5.3 Mise en place du géotextile ou du dispositif d'étanchéité par géomembrane

Géotextile

Dans le cas des ouvrages sans dispositif d'étanchéité par géomembranes, pour éviter l'infiltration de fines et le colmatage des SAUL, il est indispensable de mettre en œuvre un géotextile autour du complexe de stockage. Il sera disposé sur le lit de pose et remonté sur les faces latérales de l'ouvrage puis mis en place sur la face supérieure des modules à la fin de leur installation. Les bandes de géotextile se chevaucheront d'un minimum de 0,50 m (recouvrement des lés) ou seront assemblées par couture, éventuellement en atelier si l'épaisseur du matériau employé le permet.

Ce géotextile assure un double rôle :

- filtre et barrière anti-contaminante vis-à-vis des circulations d'eau,
- protection contre le poinçonnement lors de la mise en place des remblais adjacents et sus-jacents.

Pour les sols supports hétérogènes, l'utilisation d'un géotextile à haut module de déformation est préconisée pour assurer un serrage des modules garantissant un comportement monolithique de l'assemblage. Il est rappelé cependant que la stabilité et donc le comportement dans le temps de la structure en SAUL dépendent d'un ensemble de paramètres (fond de forme, compactage, etc.) et qu'en aucun cas le géotextile, en lui-même, ne pourra compenser un défaut de mise en œuvre.

Les raccordements sur les entrées et sorties seront effectués soigneusement afin d'éviter toute pénétration du matériau de remblai dans les SAUL.

Dispositif d'étanchéité par géomembrane

Dans le cas où un dispositif d'étanchéité par géomembrane doit être mis en œuvre pour interdire toute infiltration des eaux pluviales dans le sol ou, inversement, toute pénétration d'eaux parasites dans l'ouvrage, la géomembrane utilisée sera protégée par un géotextile.

Le plus grand soin sera apporté à la mise en œuvre des angles et aux raccordements sur les entrées et les sorties de la structure. L'assemblage des lés de géomembrane par soudure ou collage devra être effectué de manière à obtenir une parfaite étanchéité. On se reportera aux recommandations du Comité Français des Géosynthétiques (Fascicule n°10-1991 : « *Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes* ») et au guide « *Étanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier* » [SETRA, LCPC,

2001]⁶⁸. Les soudures, en particulier au chalumeau, ne doivent pas endommager les SAUL.

Une seconde nappe de géotextile devra être posée avant la mise en place des SAUL pour protéger la géomembrane du poinçonnement.

Un drainage pour eau et/ou pour gaz peut également être requis, au regard des conclusions de l'étude géotechnique préalable.

5.4 Mise en œuvre des SAUL et remblaiement

Mise en œuvre et assemblage des SAUL

Les modules sont mis en œuvre conformément au plan de calepinage préalablement établi dans la phase de préparation du chantier. Il précise en particulier la largeur, la longueur et la hauteur de l'ouvrage, le nombre de couches de modules et leur sens de mise en œuvre.



Photo 5.1 : Exemple de mise en œuvre de SAUL

La première couche de modules doit être réalisée avec le plus grand soin (planéité, rectitude) car elle conditionne les couches supérieures. On se reportera également au guide de pose fourni par le fabricant. À l'exception des produits à structure homogène, les SAUL doivent être posées en modules élémentaires (les éléments ne peuvent pas être découpés).

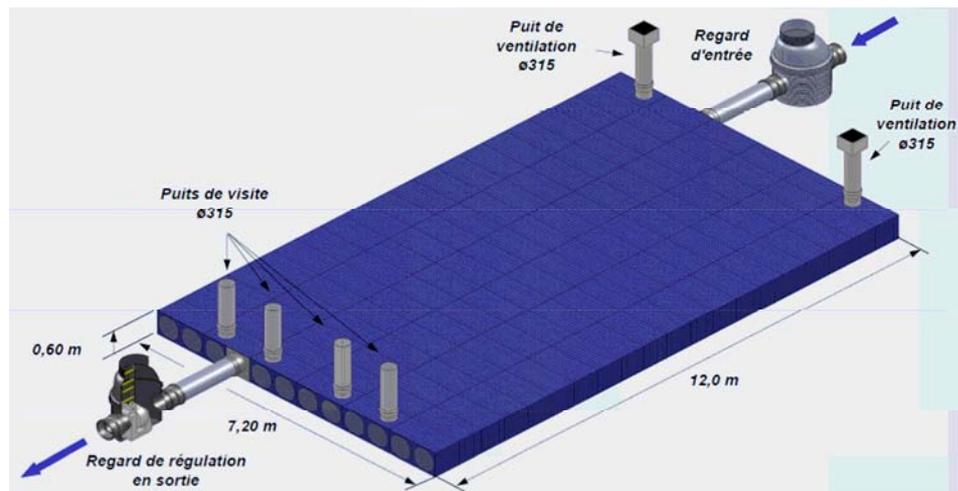


Figure 5.3 : Exemple de plan schématique de calepinage, représentant les dimensions de l'ouvrage, les points d'injection et d'évacuation, les puits de visite et de ventilation, ainsi que le nombre de couches de modules.

⁶⁸ Guide technique et guide réglementaire.

Selon les produits, des **systèmes de liaison des modules** sont prévus (système de clips, ergots, etc.). Il est impératif de les mettre en œuvre car ils participent au fonctionnement de l'ouvrage. De même, il peut être préconisé un **sens de pose** (haut/bas), une mise en place à joint croisé (SAUL à structure homogène), ou sans joint non croisé (exemple de nécessaire continuité de transmission des charges par les SAUL à pieux lors de pose de plusieurs couches).

Photo 5.2 : Exemple de SAUL à ergots d'assemblage intégrés



Photo 5.3 : Exemple de mise en œuvre de deux couches de SAUL



Photo 5.4 : Exemple de mise en œuvre de SAUL homogène à joint croisé

Mise en place des dispositifs de ventilation

Pour son bon fonctionnement, la structure nécessite la mise en place d'un système d'évacuation d'air (§ 3.4.6). Il est important de veiller à sa bonne mise en place (nombre, localisation, dimensions) sous peine d'un dysfonctionnement de l'ouvrage (difficulté de remplissage par les eaux pluviales de par l'absence de chasse de l'air ou baisse de capacité utile).



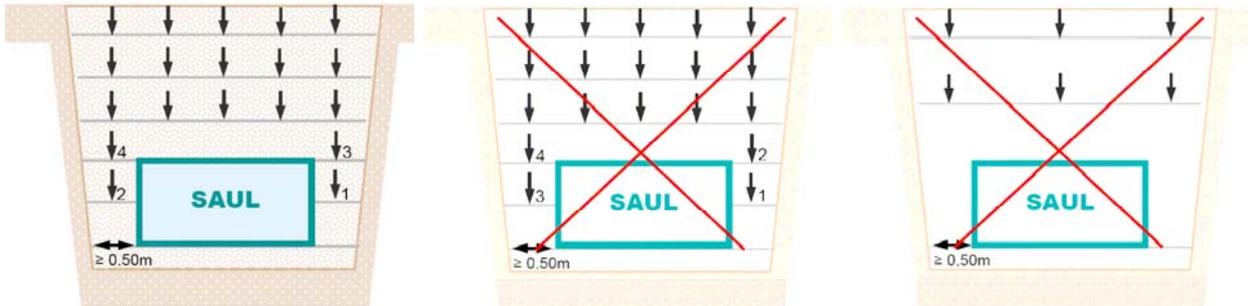
Photo 5.5 : Exemple de dispositif de ventilation

Remblai latéral

La qualité du remblai latéral est essentielle à la stabilité de l'ouvrage.

Dans la phase de remblaiement et de compactage, on veillera à ne pas créer de contraintes dissymétriques sur l'ouvrage. Pour cela, le remblaiement puis le compactage se feront par couches successives et alternées de part et d'autre de l'ouvrage comme indiqué sur la figure 5.4.

Avant d'effectuer le remblaiement et le compactage latéral, il sera nécessaire dans certains cas de lester la structure en SAUL afin d'éviter un déplacement de l'ouvrage.



i : ordre de compactage des couches

Schéma de remblaiement correct

Schéma de remblaiement à **proscrire**

Schéma de remblaiement à **proscrire**

Figure 5.4 : Règles de l'art en matière de compactage des remblais latéraux et supérieurs

Pour le remblaiement, tous les matériaux de la classification du « *Guide des Terrassements Routiers* » [SETRA, LCPC, 1992] sont utilisables à l'exception des matériaux de diamètres supérieurs à 60 mm et des matériaux argileux. Les préconisations du fascicule 70⁶⁹ et de la norme NF P98-331 doivent être respectées. On privilégiera le réemploi des matériaux de déblai, après éventuel criblage des gros éléments. La qualité du remblaiement est importante pour la pérennité de l'ouvrage.

Une classification des matériaux aura été réalisée au préalable avec détermination de la sous-classe d'état hydrique pour les matériaux sensibles à l'eau. Un essai Proctor Normal sera également indispensable pour déterminer cette sous-classe (h, m, s).

Les engins de compactage présents sur le chantier seront également identifiés et classés. En fonction du matériau et de l'atelier de compactage, on se reportera au guide « *Remblaiement des tranchées et réfection des chaussées* » [LCPC, SETRA, 1994, chapitre VI] pour déterminer les épaisseurs des couches élémentaires à mettre en œuvre et le nombre de passes à réaliser en fonction de la classe du matériel (méthode du Q/S).

Lorsque le cas du chantier n'est pas traité par les tableaux du guide, on pourra en début de chantier procéder à une épreuve de convenance pour déterminer l'épaisseur des matériaux à mettre en œuvre et le nombre de passes des engins de compactage à effectuer pour atteindre l'objectif de compactage demandé au CCTP.

Le matériel de compactage devra être adapté à la largeur à compacter : pilonneuse pour largeur inférieure à 0,5 m, plaque vibrante jusqu'à 1 m, puis petit rouleau au-delà.

Un contrôle de compactage (gammadensimètre, pénétromètre dynamique), dès le début du remblaiement, pourra être prescrit pour s'assurer que la mise en œuvre est

⁶⁹ On se reportera au paragraphe 4.2.3.2.

correcte. L'atteinte de l'objectif de compactage retenu dans la note de justification de la tenue mécanique devra être vérifiée (q4, q5) [LCPC, SETRA, 1994].

5.5 Remblai initial et couche de forme

Une **couche de protection non compactée** de 0,15 m et adaptée à l'agressivité du remblai sera préalablement mise en place par un matériel adapté sur le géotextile recouvrant la partie supérieure des modules⁷⁰.

L'épaisseur de la **première couche de remblai** sera ensuite déterminée en fonction de l'engin de compactage et du comportement mécanique des modules (résistance en compression à court terme). Son épaisseur minimale sera de 0,25 m compactée, voire 0,30 à 0,40 m selon les préconisations des guides de pose du fabricant et le matériel employé. Les épaisseurs des couches successives de remblaiement seront déterminées en se reportant au guide « *Réalisation des remblais et des couches de forme – fascicule II* » [LCPC, SETRA, 1992]. Lorsque les caractéristiques du chantier ne sont pas traitées par les tableaux du guide, on pourra procéder à une épreuve de convenance.

Selon la vocation de la surface après réalisation de la structure en SAUL, des épaisseurs minimales de remblaiement sont nécessaires. Elles auront été prises en compte dans la phase « étude ».

Sous espaces verts, une épaisseur minimale compactée de 0,25 m sera nécessaire pour intégrer la circulation occasionnelle ou intempestive de certains véhicules en phase chantier comme en phase opérationnelle, épaisseur susceptible d'être portée à 0,30 voire 0,40 m selon les caractéristiques du produit. La terre végétale sera remise en place sans compactage.

Pour la réalisation de structures de chaussées, les épaisseurs minimales pour réaliser des voies de circulation sont décrites au chapitre 4. Pour des chaussées circulées, il sera demandé pour la couche de forme au-dessus de la SAUL des valeurs de portance supérieures à 50 MPa (i.e. au moins une qualité PF2 de plate-forme) en fonction du type de chaussée (trafic moyen à fort – Chapitre 4). Si cette valeur n'est pas atteinte, il convient alors de recréer un sol porteur afin d'obtenir ce résultat avant la réalisation des couches de chaussées.

Lors de la réalisation du remblaiement (et/ou de la couche de forme), un **grillage avertisseur** est disposé à au moins 0,30 m au-dessus de la structure en SAUL pour prévenir tout accident sur la SAUL qui pourrait survenir lors du creusement d'une tranchée par exemple. On se reportera à la norme NF EN 12613 pour leurs caractéristiques.

⁷⁰ On pourra se référer à la norme NF G38-060 – Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Mise en œuvre – Spécificités – Contrôle des géotextiles et produits apparentés de juin 1994 (en cours de révision).

Des exemples de mise en œuvre d'ouvrages de stockage en SAUL sont présentés sur les photos ci-après.



Terrassement et nivellement du fond de fouille



Préparation du fond de forme



Mise en œuvre de la couche de diffusion



Mise en place du réseau de drains de diffusion/évacuation



Mise en œuvre des SAUL (en rangs croisés ici)



Mise en œuvre du remblai initial sur géotextile (couche de ventilation)



Achèvement du remblai initial



Mise en œuvre du remblai supérieur



Compactage du remblai supérieur

Photo 5.6 : Exemple d'étapes de mise en œuvre d'ouvrages de stockage en SAUL (type 1)



Terrassement et nivellement du fond de forme



Préparation du lit de pose



Mise en œuvre et assemblage des SAUL sur géotextile (1)



Mise en œuvre et assemblage des SAUL sur géotextile (2)



Recouvrement par le géotextile et mise en place de tampons ventilés



Mise en œuvre des remblais latéral, initial et supérieur

Photo 5.7 : Exemple d'étapes de mise en œuvre d'ouvrages de stockage en SAUL (type 3)

5.6 Autres points de vigilance

Déchargement, manutention et stockage temporaire en phase chantier



Les SAUL sont livrées sur palettes. Leur mode de stockage en phase chantier doit être prévu dès la phase étude. Lors des différentes manipulations mécanisées (déchargement, stockage, etc.), les chocs sont à proscrire. Lors de la mise en œuvre des SAUL, leur manipulation doit éviter les chocs : on s'appliquera à faire glisser et non à « jeter » les dans la fouille.

Photo 5.8 : Stockage et manutention de SAUL

Repérage des ouvrages : matérialisation si possible

Les structures en SAUL sont des points singuliers créés dans le sol. À ce titre, elles doivent être repérées en phase travaux par la mise en place d'un piquetage associé à des rubans pour éviter :

- des circulations intempestives (camions de chantier, etc.) ;
- des stockages de matériaux lourds ;

- etc.

mais également en phase opérationnelle pour éviter :

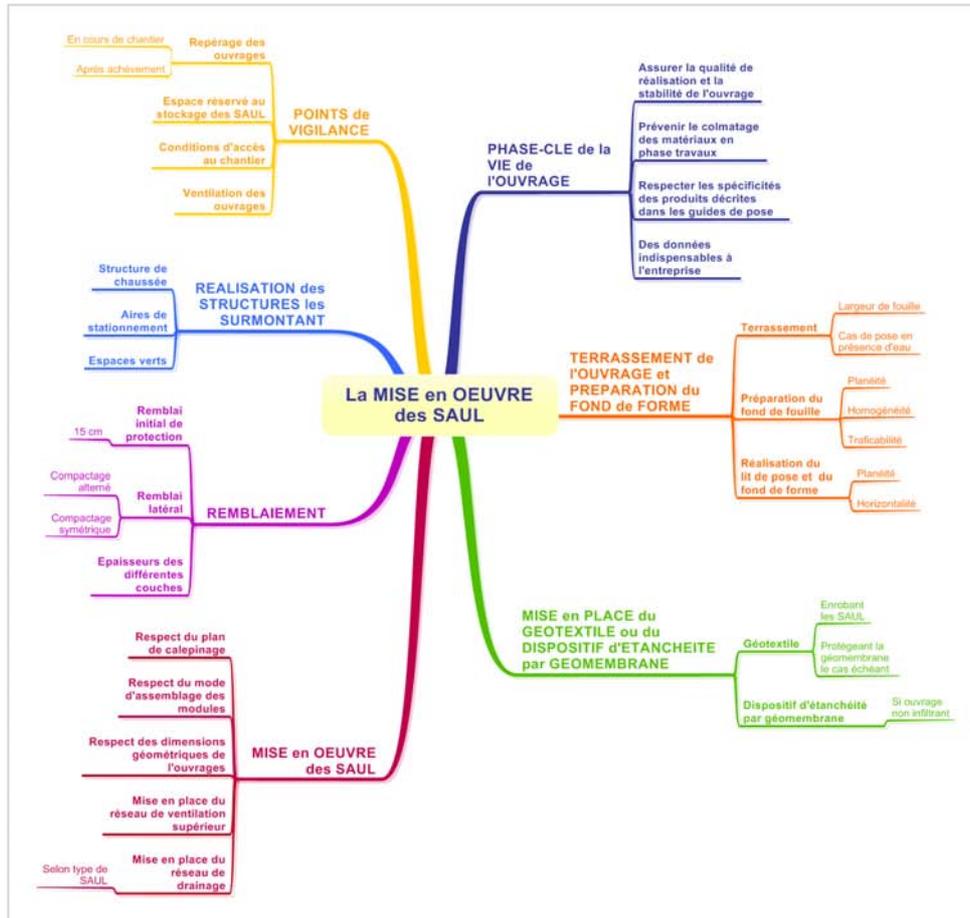
- des interventions par des concessionnaires (grillage avertisseur et plans de recollement) ;
- des circulations temporaires (par exemple, mise en place d'une déviation via le parking qui surplombe l'ouvrage en SAUL) ;
- etc.

Dans le cas d'une ré-appropriation de la surface en espace vert, il faudra proposer un repérage adapté.

Équipements de sécurité

Les SAUL sont des produits manportables. Les personnels en charge de leur mise en œuvre doivent être protégés (gants, chaussures, casque, gilet, etc.).

Chapitre 5 : L'essentiel



6 Organisation des contrôles préalables à la réception et démarche qualité

6.1 Enjeux, objectifs et spécificités

Les ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales en structures alvéolaires ultra-légères doivent **garantir un ensemble de performances tout au long de leur durée de vie**, généralement de 50 ans :

- **performances hydrauliques** (recueil, stockage et restitution des eaux pluviales) en vue d'assurer la maîtrise des ruissellements ;
- **performances mécaniques** (tenue aux charges permanentes, d'exploitation et temporaires) en vue d'assurer sécurité et pérennité structurelle de l'ouvrage ;
- **performances environnementales, le cas échéant** (dépollution, etc.) en vue d'assurer la préservation des milieux aquatiques récepteurs ;
- et d'une manière générale répondre aux **exigences de maintenance et d'exploitation** en vue de fournir des conditions de sécurité aux personnels.

Au vu des enjeux associés, en termes de fonctionnalités mais également de coûts, si la réalisation de ces ouvrages modulaires est simple, elle exige cependant une qualité de mise en œuvre adaptée aux spécificités du projet et des produits utilisés.

La vérification du respect des exigences de performances prescrites, traduites sous forme d'obligations de moyens ou d'obligations de résultats dans le Dossier de Consultation des Entreprises (DCE), s'effectue dans le cadre d'une procédure de réception prononcée par le maître d'ouvrage. Le titre II du fascicule 70 du CCTG – *Ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales*, guide d'application volontaire, précise les conditions de réception, qui sont explicitées ci-après.

L'organisation générale des opérations préalables à la réception, formalisée dans le cadre d'une démarche qualité, sera adaptée au projet : importance, sensibilité, exigences de délais modulées selon l'importance des ouvrages, leur conception et les contraintes de site, spécificités des produits mis en œuvre, nombre d'entreprises intervenant, qualification, etc. Ainsi, les modalités de réception mises en œuvre doivent en particulier intégrer les points suivants :

- conception retenue pour l'ouvrage : bassin enterré, tranchée drainante, chaussée à structure-réservoir, etc. ;
- mode de fonctionnement de l'ouvrage pour le recueil des eaux pluviales et leur restitution (infiltration, limitation ou régulation de débit) ;
- type de SAUL mises en œuvre (type 1 à 4).

6.2 Organisation et acteurs de l'assurance-qualité⁷¹

L'ordonnancement des contrôles préalables à la réception intervient dès l'établissement du DCE pour s'achever avant les opérations de réception (figure 6.1). Ils font intervenir principalement trois acteurs : le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise et, le cas échéant, un organisme de contrôle.

Ainsi, sur la base des études préalables réalisées par le maître d'œuvre, les contrôles préalables à la réception pourront selon le contexte du projet s'appuyer sur des contrôles intérieurs à l'entreprise de travaux (auto-contrôle, contrôle interne ou contrôle externe) et des contrôles extérieurs par le maître d'œuvre et/ou un organisme missionné par le maître d'ouvrage, indépendant de l'entreprise de travaux.

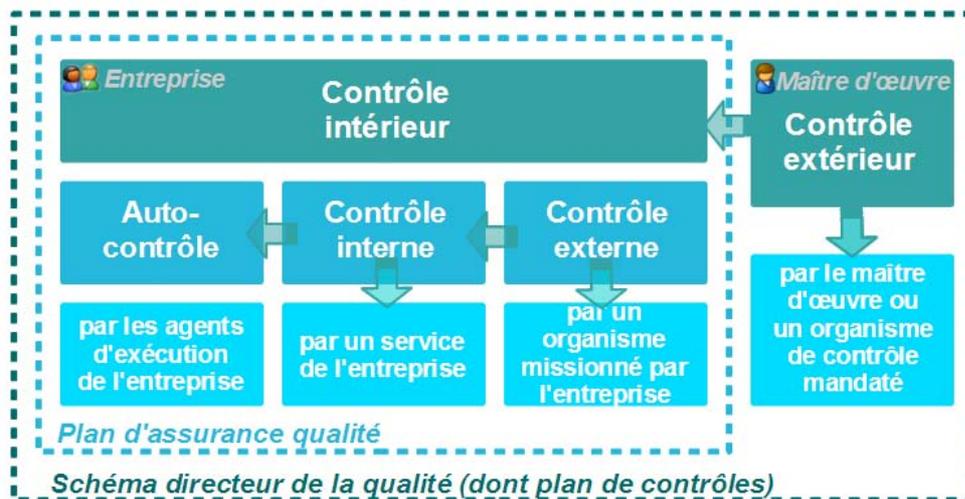


Figure 6.1 : Le rôle des acteurs dans la maîtrise de la qualité des travaux

⁷¹ Ces éléments s'appuient sur l'approche développée dans le guide technique du SETRA et du LCPC, « *Etanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier* » (2000) et celle couramment mise en œuvre pour la pose de réseaux d'assainissement.

Tableau 6.1 : Organisation générale de l'assurance qualité

Étape du projet	Intégration de l'assurance-qualité
Étude du projet et établissement du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE)	<ul style="list-style-type: none"> - Le maître d'ouvrage définit la qualité d'usage désirée : finalités en termes de performances et de durée de vie ainsi que des conditions de maintenance et d'exploitation. - Le maître d'œuvre définit la qualité requise pour obtenir la qualité d'usage, basée sur : <ul style="list-style-type: none"> ▪ la définition d'un ensemble de spécifications techniques telles que présentées dans le présent guide pour le dimensionnement hydraulique (volume utile de stockage, débit de pointe à injecter en entrée, débit à évacuer, perméabilité des sols, etc.) et pour le dimensionnement mécanique (données géotechniques, structures surmontant l'ouvrage, etc.) ; ▪ un programme minimum de contrôles : nature, méthode, valeur et tolérance, fréquence, chronologie⁷², points d'arrêt, répartition des rôles (que l'entreprise pourra compléter dans son PAQ selon les spécificités du produit)⁷³ ; ▪ une définition précise des critères qui permettront de prononcer la réception de l'ouvrage sans réserve (« règles du jeu »).
Remise des offres	<p>Les entreprises remettent dans leur offre leur Schéma Organisationnel de Plan d'Assurance Qualité (SOPAQ), reprenant au moins le référentiel technique du DCE et décrivant les moyens mis en œuvre pour y satisfaire, au regard des spécificités du produit proposé (personnel qualifié, méthodes et matériels de contrôle, etc.).</p>
En phase de préparation de chantier, après la sélection de l'entreprise de travaux	<ul style="list-style-type: none"> - L'entreprise adjudicataire remet son Plan d'Assurance Qualité (PAQ), qui précise les éléments du SOPAQ ; il doit contenir au minimum les informations suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ▪ identification et consistance des travaux ; ▪ organisation de l'entreprise, noms et coordonnées des responsables techniques et de chantier, des responsables de contrôles intérieurs, du contrôleur ; ▪ personnels et qualifications, matériel d'exécution et de contrôle ; ▪ nature et qualité des produits mis en œuvre (fiches techniques, fiches de certification) ; ▪ méthode de mise en œuvre (plan de calepinage), modalités de traitement des points singuliers (le cas échéant, le guide de pose du fournisseur) ; ▪ contrôles : nature et fréquence des contrôles intérieurs ; documents types de suivi de chantier, de recueil de résultats de contrôle et de traitement des non-conformités éventuelles. - Le maître d'œuvre prépare le Schéma Directeur de la Qualité (SDQ). Ce document : <ul style="list-style-type: none"> ▪ précise le planning général ; ▪ reprend les PAQ des différents intervenants, qu'il valide (entreprises principales, co-traitant(s) et sous-traitant(s)) et assure leur cohérence en particulier au niveau de la circulation d'information entre intervenants (résultats de contrôle) et du traitement des anomalies ; ▪ formalise le plan de contrôles qui définit le contrôle extérieur et son phasage par rapport au contrôle intérieur ; il précise les points d'arrêts.

⁷² Selon leur nature, certains contrôles peuvent être réalisés avant l'achèvement de l'ouvrage (à réception des matériaux, à l'avancement en cours d'exécution, à l'achèvement des travaux).

⁷³ Seules les exigences spécifiées, et le cas échéant quantifiées, au marché peuvent faire l'objet d'une vérification de conformité.

Étape du projet	Intégration de l'assurance-qualité
En phase de travaux et de fin de travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Les différents acteurs de la démarche qualité effectuent les tâches définies dans le Schéma Directeur de la Qualité. - Les contrôles préalables à la réception sont exécutés après que l'entreprise adjudicataire a informé la personne responsable du marché (PRM) et son maître d'œuvre que l'état d'avancement des travaux permet leur réalisation et ce, dans un délai minimal d'une semaine. Chacun de ces examens fait l'objet d'un procès-verbal, établi au plus tard à la date des opérations préalables à la réception.
En phase de réception de l'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> - Sur proposition de son maître d'œuvre, le maître d'ouvrage⁷⁴ déclare l'ouvrage conforme aux spécifications du marché de travaux et accepte l'ouvrage, avec ou sans réserve. - En cas de non-conformités, il est recommandé que leur traitement reçoive l'aval des différents acteurs (fournisseur, fabricant, entreprise).

6.3 Portée des examens préalables à la réception

Le titre II du fascicule 70 du CCTG (Version 2004) dispose que :

« Les examens préalables à la réception comprennent au minimum :

- la vérification de conformité topographique et géométrique des ouvrages,
- la capacité d'injection dans l'ouvrage,
- la vérification de la capacité de stockage,
- la vérification de la capacité de vidange,
- la vérification du système de régulation et/ou de surverse,
- la vérification des systèmes d'événements,
- la vérification de l'étanchéité / de la capacité d'infiltration,
- la conformité des accessoires (de sécurité, d'accès, d'entretien...),
- la vérification de remise en état des lieux. »

Il convient également pour les ouvrages en SAUL de vérifier la stabilité mécanique de l'ouvrage.

Sont présentées ci-après les méthodes de vérification ou de contrôle permettant de s'assurer de l'atteinte de différents objectifs par performances, certaines d'entre elles pouvant être redondantes. Il est nécessaire pour le maître d'ouvrage d'analyser la pertinence, la fréquence et l'opérateur des contrôles selon les critères cités précédemment.

Les critères à prendre en compte pour déterminer les contrôles adaptés, leur fréquence et leurs opérateurs relèvent de différentes considérations relatives à l'ouvrage et à son environnement : importance de l'ouvrage, contraintes de chantiers,

⁷⁴ Dans le cas d'une maîtrise d'ouvrage publique (MOP), la procédure de réception est encadrée par les articles 41 et suivants du CCAG Travaux.

conditions de fonctionnement et d'entretien, risques encourus en cas de dysfonctionnement ou de ruine et durée de vie. A minima, le contrôle extérieur contrôle le contrôle intérieur.

6.4 Méthodes de contrôles préalables par performances

6.4.1 Recueil des eaux pluviales

Les contrôles sont modulés selon le ou les mode(s) de recueil des eaux pluviales, tel qu'illustré dans le tableau 6.2.

Tableau 6.2 : Vérifications relatives au recueil des eaux pluviales

Portée des vérifications	Nature des vérifications
Recueil par ruissellement direct et/ou infiltration au travers d'une surface drainante	
Conditions d'écoulement et/ou pente des surfaces drainées vers l'ouvrage, à l'achèvement des travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse du levé topographique (généralement inclus dans le marché de travaux) ; - Inspection visuelle des surfaces drainées ; - Test d'écoulement superficiel, si point bas détecté à confirmer.
Perméabilité de la surface drainante, à réception des matériaux préfabriqués ou à l'achèvement des travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Matériaux pré-fabriqués (dalles, pavés, géotextile, etc.) : marquage pour les matériaux faisant l'objet d'une norme (marque NF), Avis Technique (marque CSTBat), certification ASQUAL, etc. ; sinon, essai de perméabilité en laboratoire au perméamètre à charge constante de 20 mm (dalles, pavés, etc.), ou selon la norme EN ISO 11 058 (perméabilité géotextile) ; - Matériaux non préfabriqués (sable, cailloux, enrobé drainant) : essai de perméabilité <i>in situ</i> au perméamètre de chantier ; - Inspection visuelle de la surface (absence de secteur colmaté, de dégradation, etc.).
Recueil par réseau d'assainissement pluvial	
Conditions de recueil et d'écoulement, à l'achèvement des travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Réseau de canalisations enterrées : contrôles de réception spécifiés par le fascicule 70 du CCTG – titre I ; - Réseau de fossés à ciel ouvert : pente et section d'écoulement ; - Conformité des ouvrages d'injection (géométrie, raccordement) : inspection visuelle ou télévisuelle, test d'étanchéité (si requis).
Ouvrages pré-fabriqués de traitement⁷⁵	
Caractéristiques des ouvrages pré-fabriqués ou coulés en place⁷⁶	<ul style="list-style-type: none"> - Conformité des équipements aux spécifications du DCE ; - Respect des conditions d'installations.

⁷⁵ Selon les configurations, ces ouvrages ne sont pas nécessairement situés en amont direct de l'ouvrage en SAUL (on se reportera au paragraphe 3.3.3).

⁷⁶ Panier à grille, siphon ou lame siphonide, bac de décantation, etc.

6.4.2 Stockage des eaux pluviales

Les contrôles portent sur l'obtention du volume requis de stockage et les équipements nécessaires à son bon fonctionnement tel qu'illustré dans le tableau 6.3.

Tableau 6.3 : Vérifications relatives au stockage des eaux pluviales

Portée des vérifications	Nature des vérifications
Taux de vide utile des SAUL à réception des matériaux	- Marquage pour les matériaux faisant l'objet d'un Avis Technique (marque CSTBat), sinon informations fournies par le fabricant au maître d'œuvre.
Volume de SAUL et mise en œuvre de cloisons le cas échéant, à réception des matériaux et en cours d'exécution	- Dimensions géométriques de l'ouvrage : méthodes directes ou indirectes (linéaire de drains ou de canal de diffusion, profondeur des ouvrages d'accès, etc.), par validation du contrôle interne de l'entreprise.
Conditions de diffusion des eaux pluviales dans l'ouvrage	- Ouvrage d'injection des eaux pluviales : caractéristiques dont capacité d'injection ; - Système de diffusion des eaux pluviales (sauf SAUL sans diffuseur) : linéaire, caractéristiques, inspection télévisuelle permettant de s'assurer de la continuité hydraulique, de l'absence de contre-pente, de l'absence de dépôt, etc. ; - Dispositif de ventilation (localisation des événements, vacuité) : inspection visuelle et validation du contrôle interne de l'entreprise.
Dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) le cas échéant	<i>On s'appuiera sur les « Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes », publiées par le Comité Français des Géosynthétiques (1991). Une partie de ces contrôles est susceptible de relever du contrôle qualité de l'applicateur.</i> - Structure support : géométrie du lit de pose (relevé ou nivellement), nature et qualité des matériaux granulaires constitutifs du lit de pose ⁷⁷ et des remblais latéraux, réseau de drainage eau et/ou gaz éventuel, caractéristiques du géotextile placé sous la géomembrane, portance du sol ; - Géotextile de protection de l'ouvrage (placé sous et autour de la géomembrane dans le cas d'un DEG) : marquage pour les matériaux faisant l'objet d'une certification ASQUAL avec validation de la fiche technique produit ; sinon, le fournisseur transmet les caractéristiques de nature, résistance au poinçonnement, etc. Ces caractéristiques doivent être validées par le maître d'œuvre avant la mise en œuvre ; - Caractéristiques de la géomembrane : marquage pour les matériaux faisant l'objet d'une certification ASQUAL avec validation de la fiche technique produit ; sinon, le fournisseur transmet les caractéristiques d'identification de la géomembrane (nature et méthode de fabrication, conditionnement, masse surfacique, épaisseur, aspect visuel, etc.), caractéristiques de comportement mécanique (résistance en traction, résistance au poinçonnement, fluage, etc.), caractéristiques de comportement chimique si nécessaire ⁷⁸ ; - Mise en œuvre de la géomembrane et des géotextiles : respect du plan de calepinage, aspect visuel (absence de poinçonnement, de perforation, de pli, etc.), contrôle des recouvrements et des soudures, des raccordements aux ouvrages d'injection et de restitution.

⁷⁷ On demandera un procès verbal de réception du lit de pose avant mise en œuvre du DEG.

⁷⁸ On demandera des produits certifiés pour se dispenser d'essais de caractérisation.

6.4.3 Restitution des eaux pluviales

Les contrôles sont modulés selon le ou les mode(s) de restitution des eaux pluviales, tel qu'illustré dans le tableau 6.4.

Tableau 6.4 : Vérifications relatives à la restitution des eaux pluviales

	Nature des vérifications
Restitution par un système de limitation ou de régulation de débit, à l'achèvement des travaux	
Conformité de l'ouvrage	- Caractéristiques géométriques, équipements, trop-plein éventuel.
Restitution par infiltration dans le sol support	
Qualité de surface d'infiltration	- Avant mise en œuvre de l'ouvrage, essai de vérification de la perméabilité du sol en s'appuyant sur la méthode simple utilisée en assainissement non collectif ; - Nature des matériaux constitutifs du lit de pose et des remblais latéraux.
Caractéristiques du géotextile de séparation	- Caractéristiques d'identification (nature, masse surfacique, etc.), caractéristiques hydrauliques (perméabilité, ouverture de filtration, etc.) ; les produits certifiés ASQUAL feront uniquement l'objet d'une vérification du marquage. <i>Les ouvrages de faibles dimensions pourront faire l'objet d'un essai d'injection (suivi du débit infiltré à niveau variable ou constant).</i>

- **Note :** la vérification des équipements complémentaires ou dispositions constructives particulières permettant d'assurer, lorsque nécessaire, un traitement des eaux pluviales est également essentielle.

6.4.4 Tenue mécanique de l'ouvrage et des structures le surmontant

Les contrôles portent sur la note justifiant la tenue mécanique de l'ouvrage, les caractéristiques des matériaux et les conditions de mise en œuvre, tel qu'illustré dans le tableau 6.5.

Tableau 6.5 : Vérifications relatives à la tenue mécanique de l'ouvrage

Portée des vérifications	Nature des vérifications
Caractéristiques des SAUL	- Vérification du marquage pour les matériaux faisant l'objet d'un Avis Technique (marque CSTBat), sinon contrôle des informations du fabricant par le maître d'œuvre.
Note de calcul de l'entreprise ou validité des mesures prescriptives appliquées ⁷⁹	- Vérification par le fournisseur de la résistance mécanique de l'ouvrage qu'il transmet au maître d'œuvre pour validation des hypothèses ; le dimensionnement final reste de la responsabilité du maître d'œuvre.
Fond de forme support	- Planéité, horizontalité, portance, absence de points durs (selon produits).
Respect du plan de calepinage et assemblage des modules	- Vérifications visuelle et dimensionnelle.
Conditions de remblaiement latéral	- Matériaux et matériel de compactage, méthode de mise en œuvre ; - Contrôle de compactage.
Conditions de remblaiement supérieur	- Matériaux et matériel de compactage, méthode de mise en œuvre (une planche de convenance peut être réalisée) ; - Contrôle de réception de la qualité de couche de forme sous chaussées.

6.4.5 Maintenance et exploitation

Les contrôles portent sur la conformité des équipements et accessoires nécessaires à l'exploitation et de maintenance, tel qu'illustré dans le tableau 6.6.

Tableau 6.6 : Vérifications relatives aux équipements de maintenance de l'ouvrage

Portée des vérifications	Nature des vérifications
Ouvrage d'injection	- Vérification visuelle de la conformité (dimension, équipements, etc.) ; - Test d'étanchéité si requis.
Système de diffusion et points d'accès	- Vérification de la justification du dimensionnement hydraulique du système de diffusion ; - Vérification de la conformité des produits préfabriqués selon le type de SAUL et note de dimensionnement hydraulique du système de diffusion (section d'écoulement, surface de fente, linéaire, etc.) ; - Vérification visuelle ou télévisuelle (dimension, position, hydraulicité, etc.).
Ouvrage de restitution des débits	- Vérification visuelle et dimensionnelle (position orifice, taille, etc.).
Équipements métrologiques	- Tests selon nature des équipements ; - Vérification des certificats d'étalonnage.

⁷⁹ On se reportera au chapitre 4.

6.5 Phasage et répartition des tâches

Le tableau 6.7 synthétise dans le cadre d'une démarche d'assurance qualité la nature, le phasage et la répartition des tâches en matière de contrôle entre les contrôles intérieur et extérieur. Ces opérations sont à adapter aux spécificités du chantier.

Les points d'arrêt nécessitent un accord du maître d'œuvre ou de son représentant pour la poursuite des travaux.

Tableau 6.7 : Phasage des opérations de contrôle

Nature des tâches	Ouvrages		Point d'arrêt	Contrôle intérieur			Contrôle extérieur
	Infiltration ou rétention sans DEG	Rétention avec DEG		Auto-contrôle	Contrôle interne	Contrôle externe	
0. Préparation du chantier							
0.1 Dimensionnement hydraulique	●	●	X				X
0.2 Dimensionnement mécanique	●	●	X				X ⁸⁰
1. Réception des matériaux							
1.1 Matériaux manufacturés	●	●	XX	XX	X		X
1.2 Matériaux granulaires de remblaiement	●	●		XX	X		X
2. Réception du fond de forme							
2.1 Vérification de la perméabilité du sol	●		X	X	XX	X ⁸¹	
2.2 Vérification de la planéité, de l'horizontalité et de la portance	●	●	x	XXX	XX	X ⁸¹	X
3. Contrôle de mise en œuvre des géotextiles / géomembrane							
3.1 Contrôle de mise en œuvre des géotextiles	●	●	X	X			
3.2 Contrôle de la mise en œuvre du DEG		●		xx		Xx	
3.3 Réception de l'étanchéité		●	XXX			xx	x
4. Contrôle de mise en œuvre des SAUL :							
4.1 Vérification de la mise en place du système de diffusion (selon type de SAUL)	●	●		x			
4.2 Vérification de la mise en œuvre des SAUL selon le plan de calepinage et le guide de pose du fournisseur)	●	●	XX	xxx	x		
4.3 Vérification de la mise en œuvre du système de ventilation	●	●		x			
5. Contrôle de la mise en œuvre de la protection par géotextile et de la couche de protection	●	●		x	X		
6. Contrôle de la réalisation du remblai latéral	●	●	X	xx			
Mise en œuvre et conditions de compactage						x	
7. Contrôle de la réalisation du remblai supérieur	●	●	XX	XXX			
						x	

⁸⁰ Avec vérification par le fournisseur.

⁸¹ Selon besoin.

Nature des tâches	Ouvrages		Point d'arrêt	Contrôle intérieur			Contrôle extérieur
	Infiltration ou rétention sans DEG	Rétention avec DEG		Auto-contrôle	Contrôle interne	Contrôle externe	
8. Contrôle des équipements							
7.1 Ouvrages d'injection	●	●		X		X	
7.2 Système de diffusion, accès	●	●		x			
7.3 Ouvrage de restitution des débits	●	●		x		x	
9. Contrôle du réseau d'assainissement pluvial (collecte, évacuation)⁸²							
8.1 Inspection télévisuelle	●	●				X	
8.2 Essais d'étanchéité	●	●				x	
8.3 Essais de compactage	●	●		xx	x		
10. Examen global et contrôle de la remise en état du site	●	●		X	X		X

● : tâche à réaliser X : intervention normale XX : intervention soutenue XXX : intervention très soutenue

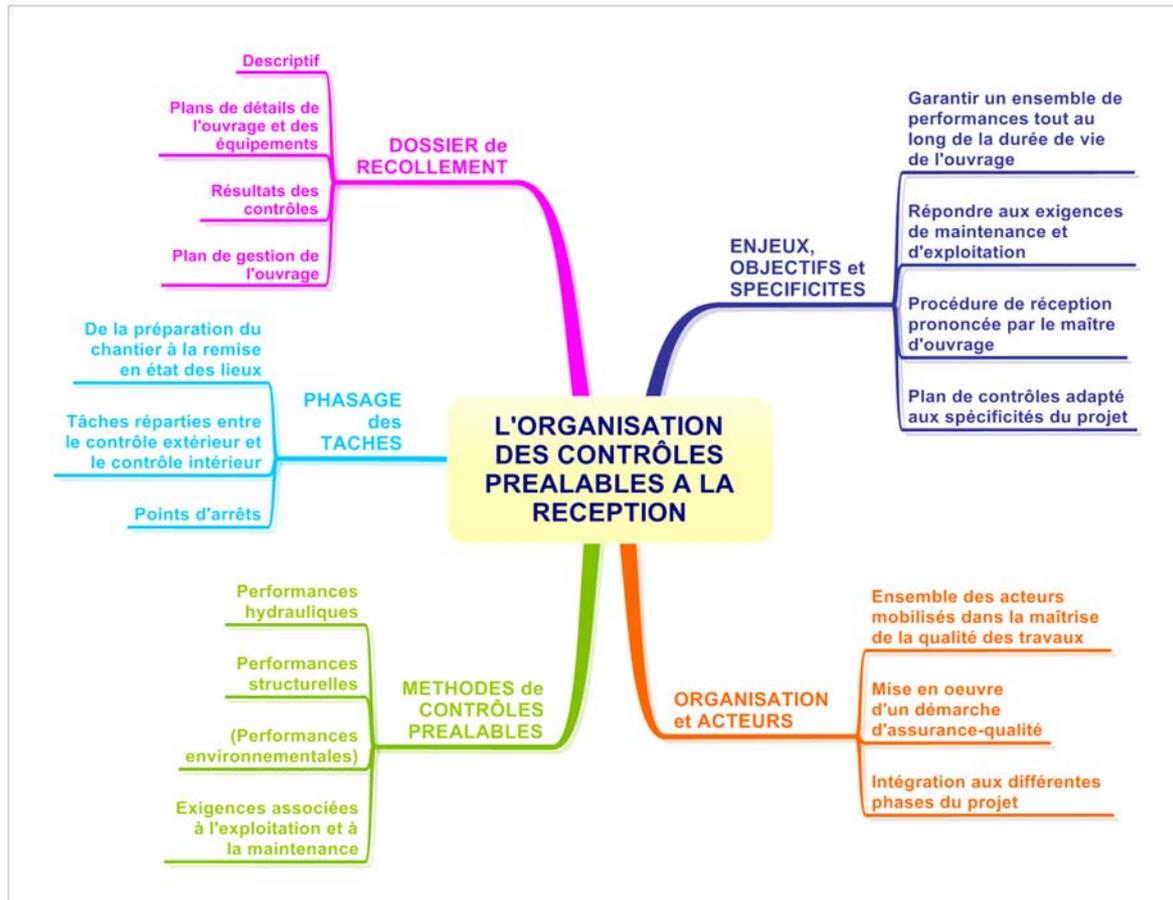
6.6 Dossier de récolement de l'ouvrage

Le dossier de récolement est établi par le maître d'œuvre sur la base des documents fournis par la ou les entreprise(s) et vérifiés par lui. Il contient :

- le descriptif et plan général de l'ouvrage et de ses équipements : lieu, dimensions, dispositions constructives préconisées par le maître d'œuvre et les exigences de performances spécifiées ;
- les plans de détail de l'ouvrage et de ses équipements tels qu'ils ont été installés ;
- le PAQ, les résultats des contrôles réalisés et toute remarque particulière (notamment sur le traitement éventuel des non-conformités) ;
- le plan de gestion des ouvrages, plus particulièrement des ouvrages multi-fonctionnels ;
- le Dossier d'Intervention Ultime sur les Ouvrages (DIUO), comprenant notamment les préconisations et mesures à prendre en termes d'hygiène et sécurité des travailleurs pour l'utilisation, l'exploitation et l'entretien des ouvrages ;
- les notices, préconisations et garanties relatives au fonctionnement, à l'exploitation et à la maintenance des ouvrages ainsi qu'à leur condition d'usage à 50 ans.

⁸² Conformément au Fascicule 70 du CCTG – Titre I.

Chapitre 6 : L'essentiel



7 Maintenance et exploitation des ouvrages

7.1 Principes généraux

Seules les eaux pluviales peuvent être admises dans des ouvrages de stockage en SAUL. De ce fait, il convient de vérifier avant toute chose la non contamination des eaux par des éléments qui pourraient endommager la structure ou favoriser le transfert de polluants vers les eaux souterraines ou superficielles.

Tout apport d'eaux usées doit être proscrit et la conformité des branchements devra donc être régulièrement contrôlée sur le bassin versant concerné par l'aménagement.

Quels que soient le maître d'ouvrage et le futur exploitant, c'est le coût global de l'ouvrage qui doit prévaloir.

L'objectif essentiel de la maintenance vise à assurer la pérennité du fonctionnement hydraulique de l'ouvrage qui conserve ainsi sa fonction de maîtrise et régulation des débits. Dans tous les cas, la maintenance de l'ensemble des équipements annexes à la SAUL, qu'ils soient internes ou externes, est indispensable. **La maintenance doit être régulière, prévue dès la conception** (approche pragmatique) **et adaptée, tant en termes de technique que de fréquence, au type d'ouvrage ainsi qu'à la nature et à l'usage des surfaces drainées**. Les fabricants fournissent des guides d'entretien auxquels on pourra notamment se référer pour planifier les opérations de maintenance.

L'**accessibilité** aux différentes parties de l'ouvrage et aux équipements annexes est un point clé. Les conditions d'accès aux équipements varient selon les types de SAUL (type 1 à 4⁸³), les exigences qu'elles génèrent devront être intégrées pour le bon déroulement des opérations de maintenance.

Comme pour tout ouvrage, l'utilisation des SAUL est déconseillée dès lors que des moyens humains, matériels ou financiers adaptés ne peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne gestion et une exploitation correcte.

Du niveau de service recherché, lié aux enjeux humains, environnementaux et économiques d'un dysfonctionnement, dépend la fréquence et l'ampleur de la maintenance à assurer.

La maintenance doit être simple et faire appel à une technicité usuelle proche de celle appliquée en assainissement pluvial classique. Les matériels et engins utilisés pour l'entretien sont identiques à ceux employés par le gestionnaire du réseau

⁸³ On se reportera au paragraphe 2.5.3 pour un rappel des différents types de SAUL.

d'assainissement et ne génèrent pas l'achat d'équipements spécifiques. Cependant **l'alimentation d'une SAUL par filtration via une couche de roulement drainante nécessite une adaptation des pratiques et des matériels**. L'utilisation d'enrobés drainants ou autres matériaux similaires présente de nombreux avantages mais également des exigences qui doivent être prises en compte très tôt dans le projet d'aménagement.

La collectivité publique ayant fixé les principes techniques de la construction et de la maintenance de l'ouvrage doit pouvoir exercer un contrôle de son bon fonctionnement. Dans ce but, le **règlement d'assainissement** définit les modalités correspondantes et les responsabilités des différents acteurs. La collectivité s'assure de la cohérence des contraintes relatives aux contrôles des SAUL et de ses équipements annexes avec celles appliquées aux autres ouvrages du système de collecte-épurateur. Pour faciliter la compréhension et l'application du règlement d'assainissement, celui-ci peut être complété par un fascicule d'aide à la maintenance. Ce document constitue un précieux support de sensibilisation auprès des propriétaires d'ouvrages qui disposent d'une référence adaptée à leur besoin.

7.2 Suivi des performances des équipements

7.2.1 Principe

Il convient de vérifier et d'entretenir les différents éléments et équipements de l'ouvrage et de contrôler l'efficacité globale du système. On distingue les solutions avec injection des eaux par infiltration en surface et celles avec injection par des ouvrages spécifiques (§ 3.4.3). Une procédure particulière s'applique pour les drains, les ouvrages de vidange et les surfaces drainantes.

Les pratiques d'entretien sur le bassin versant d'apport devront faire l'objet d'un suivi et d'une attention particulière : limitation de l'usage de pesticides, de fondants chimiques, etc.

7.2.2 Cas du recueil des eaux pluviales par infiltration à travers une surface perméable surmontant l'ouvrage de stockage en SAUL

Principe

Les surfaces drainantes doivent être surveillées régulièrement afin de préserver leur perméabilité et donc l'alimentation dans de bonnes conditions de la structure réservoir sous-jacente. Cette surveillance permettra d'ajuster la fréquence et le type d'entretien.

Les chaussées poreuses à enrobé drainant

Le maintien des caractéristiques minimales de perméabilité sur de tels revêtements nécessite un entretien spécifique à titre préventif ou à caractère curatif.

L'entretien préventif s'effectue à l'aide d'une « aspiratrice ». **L'usage des matériels de balayage traditionnellement employés pour le nettoyage des chaussées est déconseillé.**

L'entretien curatif (traitement par décolmatage) est réalisé par des machines de traitement hydromécanique de surface. L'eau est envoyée sous pression (entre 15 et 40 MPa), décohesionne la gangue de colmatant et provoque son décollement de surface. L'eau chargée de sables et/ou de fines est aspirée simultanément⁸⁴.

Il n'est pas possible de définir une périodicité d'intervention pour ces opérations d'entretien. En effet, le phénomène de colmatage est très variable selon les sites et leur fréquentation. Qualité des eaux de ruissellement, rythme et importance des remplissages, etc. peuvent évoluer dans le temps. Une surface peut se colmater en quelques jours du fait du passage de camions de chantiers. Il est par conséquent conseillé d'effectuer des suivis périodiques adaptés aux contraintes locales (a minima annuellement).

Des mesures de perméabilité permettent d'évaluer l'évolution de la perméabilité et de l'efficacité de l'entretien. L'apparition du seuil de colmatage (perméabilité inférieure à 0,3 cm/s) peut également être détectée pour déclencher le traitement curatif avant le colmatage complet du revêtement.

Toute opération de sablage ou de raclage doit être évitée.

Autres structures poreuses

Il convient de s'assurer de la conservation de leur perméabilité en les débarrassant de tout élément susceptible de colmater l'ouvrage en SAUL ou de l'isoler par une interface étanche. Ceci implique un enlèvement régulier des déchets divers, débris végétaux et sables en surface.

7.2.3 Dégrilleurs

Les dégrilleurs, placés au niveau des avaloirs, dans les boîtes de raccordement ou les ouvrages d'injection, ont pour vocation principale d'intercepter les macro-déchets (feuilles, papiers, etc.) en vue notamment de prévenir les dysfonctionnements hydrauliques de l'ouvrage en SAUL et de ses équipements éventuels (drains, etc.).

Leur vérification régulière et leur entretien à une fréquence adaptée au risque d'encrassement sont essentiels.

7.2.4 Décanteurs

Lorsque les apports de polluants décantables sont susceptibles d'impacter les milieux récepteurs ou les performances de l'ouvrage de stockage en SAUL, des décanteurs peuvent être installés en amont de l'ouvrage pour piéger les matières en suspension et les substances polluantes qu'ils véhiculent : hydrocarbures, métaux, etc. Ils

⁸⁴ Pour en savoir plus : CERTU, LCPC (1999). *Chaussées poreuses urbaines*, 150 p.

remplissent alors un rôle de protection du système au même titre que les dispositifs décrits au paragraphe précédent.

Leur fonction d'interception des polluants non miscibles à l'eau ne peut être maintenue que par un entretien régulier.

La protection du dispositif, comme celle du milieu récepteur, nécessite des interventions d'entretien aussi fréquentes que possible afin de réduire les risques de relargage des polluants. Si le dispositif intercepte correctement la pollution (ce qui est souhaitable compte tenu des enjeux qui ont motivé son choix), l'accumulation de polluants dans ce dernier peut en effet être rapide.

La fréquence de ces interventions est fonction du dimensionnement du dispositif et de la qualité des eaux pluviales transitant dans l'ouvrage. Elle peut être définie en fonction des observations effectuées lors des visites.

7.2.5 Ouvrages spécifiques d'injection

Deux types de prestations sont nécessaires sur ces ouvrages périphériques : d'une part, des contrôles réguliers et, d'autre part, des interventions d'entretien :

- **contrôles** : une observation attentive de l'ouvrage s'impose aux gestionnaires, en particulier dans les mois qui suivent les premiers événements pluvieux significatifs ; cette période permet de caler un planning des visites ultérieures et des opérations d'entretien ;
- **entretien** : compte-tenu des fonctions multiples qu'assurent ces ouvrages (absorption, dégrillage, décantation, raccordement au module de SAUL), un entretien soigné et fréquent doit être imposé ; il permet de corriger les anomalies constatées lors des visites. Ces actions sont indispensables à la pérennité des fonctions du système dans son ensemble.

Une bonne part des actions à effectuer relève du bon sens. La nature des interventions à effectuer sur site sont les suivantes :

- dégagement des crapaudines sur les descentes d'eaux,
- enlèvement des flottants et encombrants grossiers sur les grilles d'avaloirs,
- vidange des paniers,
- pompage des dépôts dans les bacs de décantation avant que ceux-ci n'atteignent la génératrice inférieure du drain de diffusion,
- curage des siphons,
- nettoyage des regards,
- entretien d'éléments mécaniques voire électromécaniques (pompes, etc.).

La fréquence de cet entretien dépend des événements pluvieux et du site. Une intervention par trimestre est au minimum souhaitable.

7.2.6 Drains et canaux de diffusion



De même que pour les ouvrages spécifiques d'injection, deux types de prestations sont souhaitables sur ces éléments : d'une part, des visites régulières et, d'autre part, des interventions d'entretien.

Photo 7.1 : Exemple de canal de diffusion équipé d'une paroi diffusante

- **visites** : une inspection par caméra peut être envisagée et des comparaisons établies avec celle ayant eu lieu lors du récolement ;
- **entretien** : sauf événement exceptionnel constaté, un hydrocurage annuel des drains doit être réalisé.

On s'assurera dans le cadre des opérations d'hydrocurage que la pression utilisée est compatible avec le produit SAUL utilisé (spécifications du guide d'entretien du fabricant).

7.2.7 Infiltration des eaux dans le sol

Dans le cadre de la création d'un ouvrage en SAUL restituant les eaux par infiltration, il est recommandé de vérifier régulièrement la qualité des eaux et la capacité des sols à infiltrer. Dans ce dernier cas, un suivi de l'évolution de la hauteur d'eau dans la structure peut s'avérer des plus utiles. La pose d'un piézomètre peut également être une solution intéressante pour s'assurer de la bonne infiltration des eaux dans le sol et suivre l'évolution de la qualité des eaux souterraines.

☛ **Note** : *plus généralement, quel que soit le mode de restitution des eaux pluviales adopté, il est recommandé de suivre le fonctionnement de l'ouvrage lors des premières semaines de service, pendant plusieurs événements pluvieux (pluviométrie, niveau d'eau dans l'ouvrage), ceci permettant également de constituer un état de référence.*

7.2.8 Systèmes de restitution des eaux pluviales à débit régulé ou limité

L'entretien de ces ouvrages, situés dans la partie aval du système, ne doit pas être négligé. En effet, si le débit de fuite n'est plus correctement assuré, la stagnation des eaux dans l'ouvrage en SAUL rend celui-ci inopérant sur le plan hydraulique et favorise son colmatage par décantation. Les ouvrages de vidange doivent donc être contrôlés après chaque gros orage et entretenus selon les techniques et dispositions retenues pour les ouvrages d'injection.

C'est sur ces ouvrages que l'on peut procéder à un contrôle du respect des débits autorisés.

Outre le contrôle effectué lors de la réception de l'ouvrage en SAUL, une vérification annuelle peut être envisagée. Il s'agira de mettre en cohérence cette pratique avec les contrôles opérés par ailleurs sur l'ensemble du système d'assainissement.

7.2.9 Qualité des rejets et télésurveillance

Pour des ouvrages en SAUL de grande taille, ou lorsque la vulnérabilité du site est particulièrement importante, des observations et des prélèvements peuvent être effectués dans des ouvrages adaptés (regards de visites, piézomètres).

Ces points de contrôle doivent être protégés et aménagés de façon à permettre des observations et mesures dans de bonnes conditions. Ils doivent être conçus de manière à favoriser l'obtention de résultats représentatifs et être aussi fiables que possible.

En cas d'enjeux en termes de fréquence d'entretien, de qualité de l'eau ou de capacités d'infiltration, il peut être recommandé de mettre en place une télésurveillance.

Par ailleurs, afin de réduire la fréquence des visites, les décanteurs ou autres dispositifs éventuellement présents dans le système de gestion des eaux pluviales peuvent être équipés de capteurs dont les données sont télétransmises de façon à suivre à distance l'évolution des dépôts ou l'accumulation de flottants dans ces derniers et prévenir le colmatage des ouvrages.

Enfin, le suivi de la hauteur d'eau dans l'ouvrage en SAUL peut permettre d'anticiper d'éventuels problèmes d'évacuation de l'eau ou, au contraire, une mauvaise alimentation de la structure.

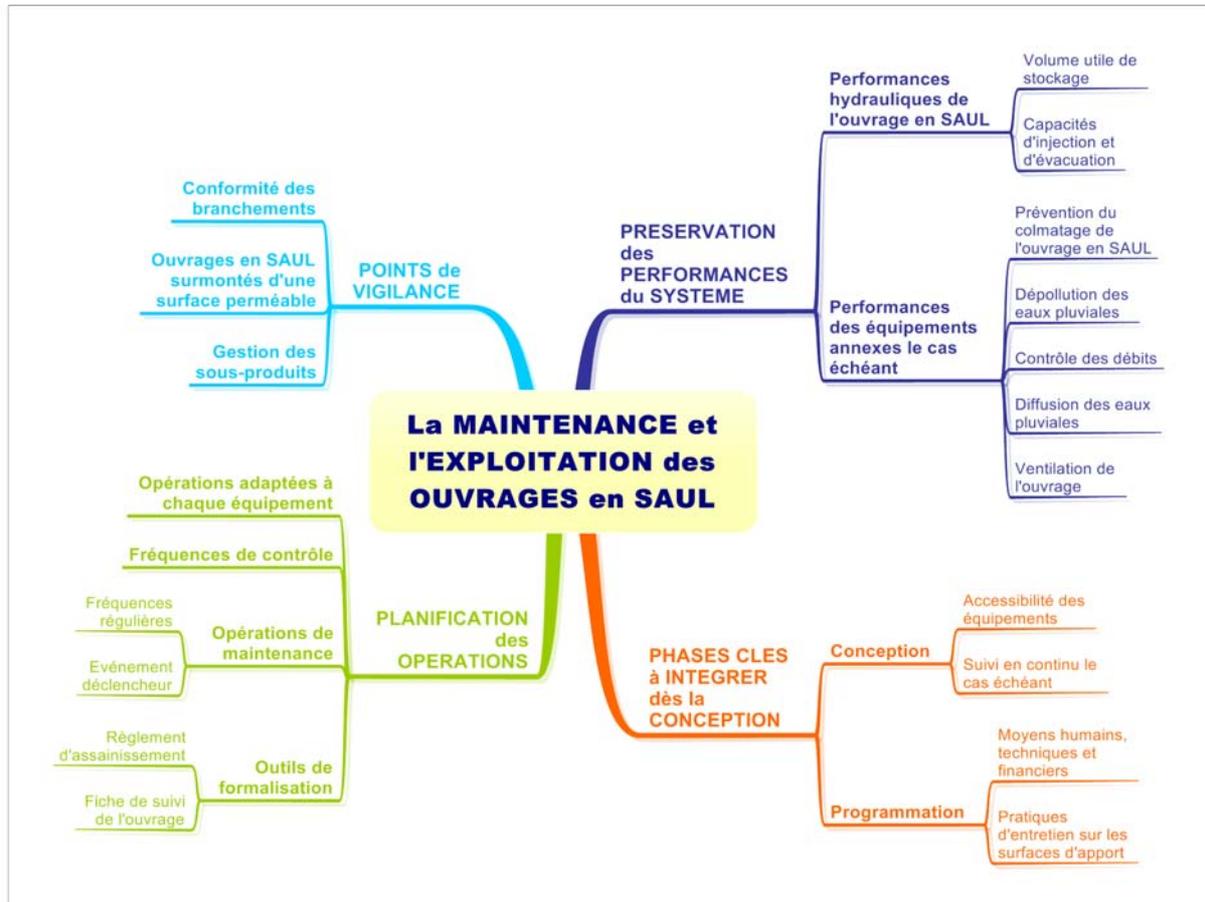
7.3 Gestion des sous-produits

L'évacuation et le devenir des boues, des flottants et des déchets divers constituent un problème important. Il doit être examiné pour les équipements annexes à l'ouvrage en SAUL dès la conception.

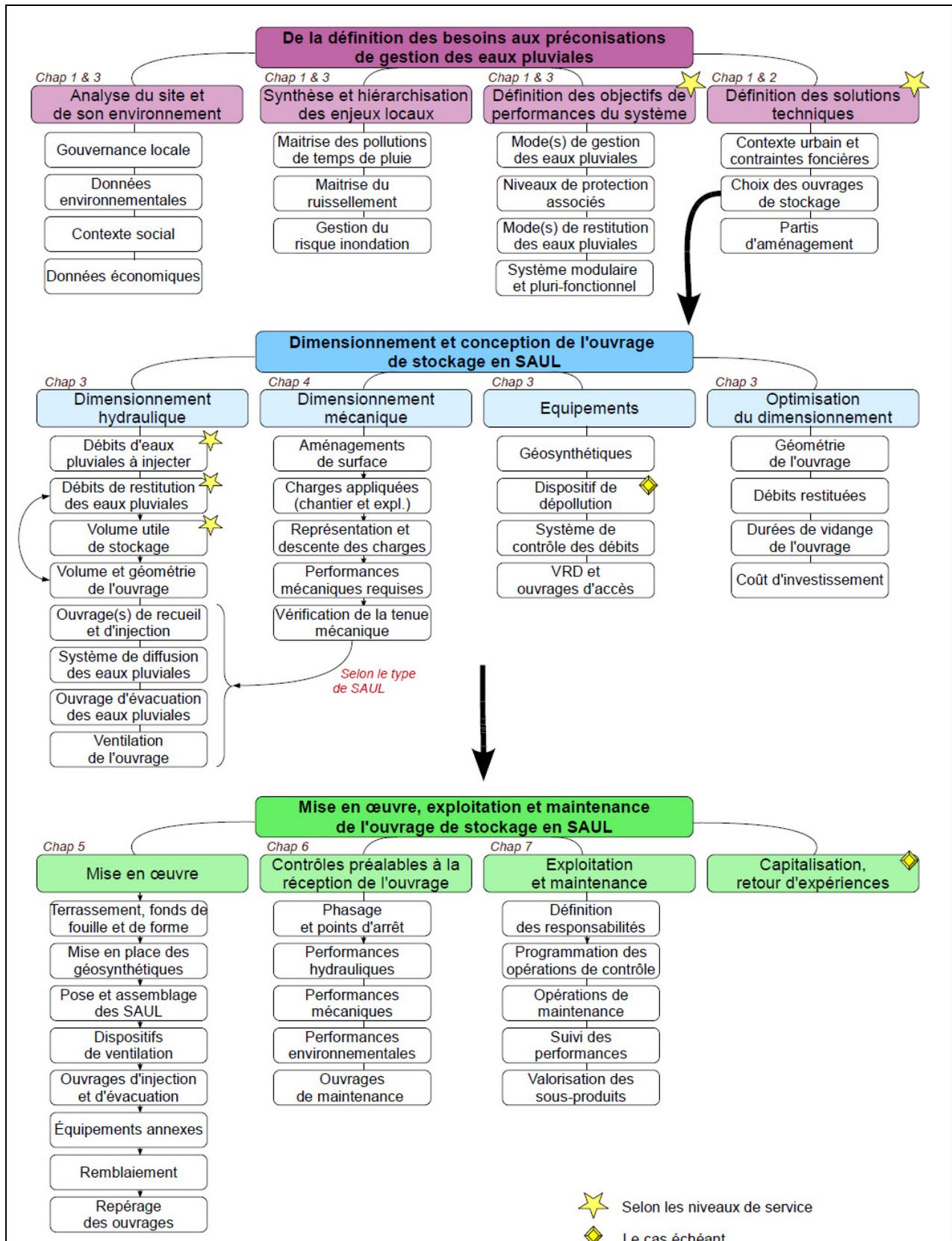
En pratique, les solutions utilisées sont encore peu nombreuses et pas toujours adaptées (centres de traitement, de stockage, valorisation matériaux pour les sédiments de l'assainissement pluvial)⁸⁵.

⁸⁵ Pour en savoir plus : LCPC (2006). *Recommandations pratiques pour la gestion des produits de l'assainissement pluvial* ; LCPC (2009). *Les sédiments de l'assainissement pluvial routier et urbain : caractérisation, risques pour l'environnement, traitement et valorisation*.

Chapitre 7 : L'essentiel



8 Logigramme de synthèse



9 Conclusions et perspectives

Les aménagements urbains, neufs mais aussi rénovés, sont appelés à intégrer de manière plus sensible une gestion à la source des eaux pluviales, visant en premier lieu la maîtrise du ruissellement et des pollutions de temps de pluie, ceci afin de prévenir les inondations urbaines et la dégradation de la ressource en eau et des milieux aquatiques.

En sites urbains denses, soumis à de fortes pressions foncières, les structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) peuvent constituer une réponse adaptée pour la réalisation d'ouvrages de stockage enterrés des eaux pluviales, d'infiltration ou de rétention. L'opportunité de recourir aux SAUL est liée à leurs propriétés intrinsèques : taux de vide supérieur à 90%, légèreté et modularité. Leur domaine d'emploi est aujourd'hui très vaste, tant dans la taille des ouvrages mis en oeuvre (de quelques mètres cubes à la parcelle à plusieurs milliers de mètres cubes en espaces publics), que dans le type d'ouvrages réalisés (bassins de retenue, tranchées drainantes, etc.).

L'offre de produits SAUL pour la gestion des eaux pluviales s'est récemment diversifiée et représente en 2009 près d'une vingtaine de références sur le marché français afin de répondre aux besoins des acteurs, chaque produit offrant ses propres spécificités.

Ainsi, ce guide, fruit de travaux de recherche, de retours d'expériences et de partage des connaissances par les différents acteurs, permet d'apporter des éléments nouveaux pour l'aide à la décision, la conception, le dimensionnement hydraulique et mécanique, la mise en oeuvre et la maintenance des ouvrages de stockage en SAUL.

L'attention portée aux phases préalables de définition des besoins est essentielle pour obtenir des ouvrages fonctionnels, c'est-à-dire bien conçus, bien réalisés et bien entretenus, actions essentielles pour assurer leur pérennité. Ce guide s'adresse ainsi à l'ensemble des acteurs, depuis les maîtres d'ouvrage qui définissent leurs besoins et leurs maîtres d'oeuvre aux bureaux d'études qui conçoivent les ouvrages, entreprises qui les réalisent et exploitants d'ouvrages en SAUL.

Des retours d'expériences à différentes étapes permettront de poursuivre l'enrichissement et le partage des savoirs. Ainsi, pour aller plus loin, des travaux se poursuivront pour développer la multi-fonctionnalité des ouvrages, l'optimisation du dimensionnement mécanique et leur exploitation.

Liste des sigles et acronymes

ASQUAL	Association Qualité dans la filière textile-habillement
ASTEE	Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement
BB	Béton Bitumineux
BBDR	Béton Bitumineux Drainant
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CERTU	Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques
CETE	Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CFG	Comité Français des Géosynthétiques
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales
CSR	Chaussée à Structure Réservoir
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CSTR	Centre de la Sécurité, des Transports et de la Route (SETRA)
DBO5	Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
DCE	Directive Cadre sur l'Eau / Dossier de Consultation des Entreprises
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DDEA	Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture
DDT	Direction Départementale des Territoires
DEG	Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane
DICT	Déclaration d'Intention de Commencement des Travaux
DRAAF	Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DTA	Directive Territoriale d'Aménagement
EPDM	Éthylène Propylène Diène Terpolymère
ERP	Établissement Recevant du Public
GB	Grave Bitume
GBP	Grave Bitume Poreuse
GNT	Grave Non Traitée
GNTP	Grave Non Traitée Poreuse
GRAIE	Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau
GTR	Guide des Terrassements Routiers
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IDF	Intensité-Durée-Fréquence (courbes)

IGN	Institut Géographique National
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (devenu IFSTTAR)
MES	Matières En Suspension
MISE	Mission Inter-Service de l'Eau
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MVS	Matières Volatiles en Suspension
NTK	Azote Kjeldahl (azote ammoniacal et organique)
OPN	Optimum Proctor Normal
PAQ	Plan Assurance Qualité
PE	Polyéthylène
PEHD	Polyéthylène Haute Densité
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PPR	Plan de Prévention des Risques
PTAC	Poids Total Autorisé en Charge
PVC	Polychlorure de Vinyle
RUTP	Rejets Urbains de Temps de Pluie
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SAUL	Structure Alvéolaire Ultra-Légère
SCoT	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SETRA	Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements
SIE	Système d'Information sur l'Eau
SOPAQ	Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité
SRU	Solidarité et Renouvellement Urbains (loi)
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté

Références bibliographiques

Ouvrages et recommandations techniques

- ASTEE (2009). **Recommandations pour la réalisation et la gestion des branchements à l'assainissement – Dispositions constructives**, TSM n°10, pp. 74-100.
- Azzout Y., Barraud S., Grés E.N., Alfakih E. (1994). **Techniques alternatives en assainissement pluvial : choix, conception, réalisation et entretien**, TEC et DOC, 372 p.
- Barraud S., Le Coustumer S., Perrodin Y., Delolme C., Winiarski T., Bedell J.-P., Gibert J., Malard F., Mermillod-Blondin F., Gourdon R., Desjardins V., Brelot E., Bacot L. (2006). **Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain - Guide technique**, Programme MGD Infiltration – RGCU, 62 p.
- Barraud S., De Becdelièvre L., Clozel B., Gaboriau H., Seron A., Come J.-M., Kaskassian S., Verjat J.-L., Bedell J.-P., Delolme C., Perrodin Y., Winiarski T., Bacot L., Soares I., Bertrand-Krajewski J.-L., Cherqui F., Desjardin-Blanc V., Lipeme-Kouyi G., Herbreteau B., Malard F., Mermillod-Blondin F. (2009). **L'infiltration en questions - Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain**. Programme MGD Infiltration – RGCU, version 2, 63 p.
- Cassan M. (2005). **Les essais de perméabilité sur site dans la reconnaissance des sols**, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 568 p.
- Castany G. (1998). **L'hydrogéologie : principes et méthodes**. Editions DUNOD, 236 p.
- Certu, LCPC, Agence de l'eau (1998). **Les structures alvéolaires ultra légères en assainissement pluvial**, Dossier Certu n° 83, 92 p.
- Certu (1999). **Chaussées Poreuses Urbaines**, Guide technique, 150 p.
- Certu & al. (2008). **L'Assainissement pluvial intégré dans l'aménagement – Éléments clés pour le recours aux techniques alternatives**, édition 2008, 196 p.
- CFG (1991). **Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes**, Fascicule 10, 47 p.
- CIM Béton & al. (2001). **Voiries et aménagements urbains en béton – Revêtements et structures réservoirs**, Collection technique, 177 p.
- CIRIA (2008). **Structural design of modular geocellular drainage tanks**, CIRIA C680, 96 p.
- Citeau S. (2008). **Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines - Rapport de synthèse**. Rapport définitif, Agence de l'Eau Seine-Normandie, INRA, CERREVE, LCPC, INSA Lyon, 49 p.

Conseil Régional Rhône-Alpes (2006). **Pour la gestion des eaux pluviales – Stratégie et solutions techniques**, plaquette de sensibilisation, 29 p.

DGUHC, Certu (2006). **Prendre en compte le développement durable dans un projet – Guide d'utilisation de la grille RST₀₂**, 66 p.

DGUHC, Certu (2007). **L'ingénierie d'appui territorial au service du développement durable – Manuel de recommandations pour la prise en compte du développement durable dans la gestion du cycle de l'eau – Fascicule 1 : assainissement urbain**, 107 p.

GRAIE (2004). **Les hydrocarbures dans les eaux pluviales. Solutions de traitement et perspectives**, Support de la réunion d'échanges, 8 décembre 2004, Annemasse, 25 p.

GRAIE (2009). **Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme**, Version 1, 81 p.

Grand Lyon (2008). **Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du Grand Lyon - Guide à l'usage des professionnels**, 51 p.

Kastner R. (1975), **Les techniques de rabattements provisoires**, Support de cours de mécanique des sols, École Nationale Supérieure de Mécanique de Nantes, 50 p.

Le Nouveau N., Wagner R., Balades J.D., Gomez A., Montaut M. (2008). **Ouvrages de stockage des eaux pluviales en structures alvéolaires ultra-légères : retours d'expériences, du choix de la solution technique à la maintenance de l'ouvrage**, Colloque ASTEE-SHF "Entretien et gestion des bassins d'orage", 18-19 novembre 2008, Marne la Vallée, 10 p.

LCPC (1992). **Utilisation de structures alvéolaires ultra-légères en remblai routier - Guide technique**. 29 p.

LCPC (2006). **Recommandations pratiques pour la gestion des produits de l'assainissement – Guide technique**, 55 p.

LCPC (2009). **Les sédiments de l'assainissement pluvial routier et urbain : caractérisation, risques pour l'environnement, traitement et valorisation**, 154 p.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Certu (2003). **La ville et son assainissement : principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau**, 513 p.

SETRA (2006). **Assainissement routier**, Guide technique, 92 p.

SETRA (2006). **Calcul des charges de pollution chronique des eaux de ruissellement issues des plates-formes routières - Note d'information**, 12 p.

SETRA (2007). **Pollution d'origine routière – Conception des ouvrages de traitement des eaux**, Guide technique, 84 p.

SETRA, LCPC (1994). **Remblayage des tranchées et réfection des chaussées**, Guide technique, 82 p.

SETRA, LCPC (1984). **Mémento des spécifications françaises chaussées**, 70 p.

SETRA, LCPC (1992). **Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR)**, Guide technique. Fascicule I – Principes généraux, fascicule II – Annexes techniques.

SETRA, LCPC (1998). **Catalogue des structures types de chaussées neuves**, 304 p.

SETRA, LCPC (1981). **Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic**, 44 p.

SETRA, LCPC (2001). **Étanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier**, Guide technique, 2 volumes, 170 p.

SETRA, LCPC (2007), **Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Compléments au guide SETRA – LCPC de mai 1994**, Note d'information n°117, 10 p.

SETRA (2008). **Traitement des eaux de ruissellement routières – Opportunité des ouvrages industriels : débourbeurs, déshuileurs et décanteurs-déshuileurs**, Note d'information, 12 p.

STU, Agences de l'Eau (1994). **Guide Technique des bassins de retenue d'eaux pluviales**, TEC et DOC, 275 p.

Rapports et mémoires de thèse

Le Coustumer S. (2008). **Colmatage et rétention des éléments traces métalliques dans les systèmes d'infiltration des eaux pluviales**, Thèse réalisée à l'INSA de Lyon et Monash University, 427 p.

Proton A. (2008). **Etude hydraulique des tranchées de rétention / infiltration**, Thèse réalisée à l'INSA de Lyon, 299 p.

Présentations

Aires N. (2004). **Conférences professionnelles de l'Agence de l'Eau Artois Picardie**, 7 décembre 2004.

Aires, N. (2005). **Séminaire ASTEE/ENGEES « La pluie et la ville »**, 4 février 2005, Strasbourg.

Fascicules du CCTG

Bulletin officiel (2003), **Fascicule 70 du CCTG – Ouvrages d'assainissement : Titre I – Réseaux – Titre II - Ouvrages de recueil, de stockage et de restitution des eaux pluviales**.

Bulletin officiel (2003), **Fascicule 2 du CCTG – Terrassements généraux**.

Normes

AFNOR NF P84-500. **Géomembranes – Terminologie**, juin 1998.

AFNOR XP P16-374. **Structures alvéolaires ultra-légères modulaires en thermoplastiques destinées aux ouvrages de génie civil – Détermination des propriétés en compression simple à court terme**, octobre 2009, 15 p.

AFNOR XP P94-041. **Sols : reconnaissance et essais - Identification granulométrique - Méthode de tamisage par voie humide**, décembre 1995, 12 p.

AFNOR NF EN ISO 9863-1. **Géosynthétiques – Détermination de l'épaisseur à des pressions spécifiées – Partie 1 : couches individuelles**, février 2006, 13 p.

AFNOR NF EN ISO 9864. **Géosynthétiques – Méthode d'essai pour la détermination de la masse surfacique des géotextiles et produits apparentés**, octobre 2005, 10 p.

AFNOR NF EN ISO 10319. **Géotextiles – Essai de traction des bandes larges**, août 2008, 17 p.

AFNOR NF EN ISO 11058. **Géotextiles et produits apparentés – Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau normalement au plan, sans contrainte mécanique**, juin 2010, 18 p.

AFNOR NF EN ISO 12956. **Géotextiles et produits apparentés – Détermination de l'ouverture de filtration caractéristique**, juin 2010, 12 p.

AFNOR NF EN ISO 13433. **Géotextiles – Essai de perforation dynamique (essai de chute de cône)**, juin 2007, 13 p.

AFNOR, NF EN 752. **Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments**, mars 2008, 102 p.

AFNOR NF EN 933-1. **Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1 : détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage**, décembre 1997, 16 p.

AFNOR NF EN 933-2. **Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 2 : détermination de la granularité. Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures**, mai 1996, 12 p.

AFNOR NF EN 1997-1. **Eurocode 7 : calcul géotechnique – Partie 1 : règles générales**, juin 2005, 145 p.

AFNOR NF EN ISO 12236. **Géotextiles et produits apparentés – Essai de poinçonnement statique (essai CBR)**, décembre 2006, 12 p.

AFNOR NF EN 12613. **Dispositifs avertisseurs à caractéristiques visuelles, en matière plastique, pour câbles et canalisations enterrés**, août 2009, 18 p.

AFNOR NF EN 13285. **Graves non traitées - spécifications**, mai 2004, 31 p.

AFNOR NF G38-019. **Textiles – Articles à usages industriels – Essais des géotextiles – Détermination de la résistance au poinçonnement**, décembre 1988, 8 p.

AFNOR NF G38-060. **Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Mise en œuvre – Spécifications – Contrôle des géotextiles et produits apparentés**, juin 1994, 16 p. (*en révision*).

AFNOR NF G38-061. **Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés – Détermination des caractéristiques hydrauliques et mise en œuvre des géotextiles et produits apparentés utilisés dans les systèmes de drainage et filtration**, février 1993, 20 p. (*en révision*).

AFNOR NF P11-300. **Exécution des terrassements – Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d’infrastructures routières**, septembre 1992, 24 p.

AFNOR NF P16-351. **Plastiques - Systèmes de canalisations en plastique pour drainage enterré - Spécification pour le génie civil**, juillet 1998, 24 p.

AFNOR NF P94-056. **Sols : reconnaissance et essais – Analyse granulométrique – Méthode par tamisage à sec après lavage**, mars 1996, 16 p.

AFNOR NF P94-117-1. **Sols : reconnaissance et essais – Portance des plates-formes – Partie 1 : module sous chargement statique à la plaque (EV2)**, avril 2000, 8 p.

AFNOR NF P94-117-2. **Sols : reconnaissance et essais – Portance des plates-formes – Partie 1 : module sous chargement dynamique**, octobre 2004, 17 p.

AFNOR NF P98-331. **Chaussées et dépendances – Tranchées : ouverture, remblayage, réfection**, février 2005, 28 p.

DIN 1072. **Road and foot bridges – design loads**, décembre 1985, 14 p. (version traduite de l’allemand).

Projets de normes (à la date de publication de ce guide)

Pr XP P16-375. **Structures alvéolaires ultra-légères modulaires en thermoplastiques destinées aux ouvrages de génie civil – Détermination des propriétés en compression combinée à court terme.**

Pr XP P16-376. **Structures alvéolaires ultra-légères modulaires en thermoplastiques destinées aux ouvrages de génie civil – Détermination des propriétés en compression à long terme.**

Annexe 1 : Paramètres de caractérisation des performances d'un drain

Cette annexe fait référence au paragraphe 3.4.5 du présent guide.

Performances	Caractéristiques / Paramètres	Observations / Recommandations
Résistance	<ul style="list-style-type: none"> - classe de rigidité annulaire, fluage, résistance aux chocs, - résistance à l'abrasion, - résistance à la corrosion. 	<ul style="list-style-type: none"> - pour les applications SAUL, les tubes de drainage routiers thermoplastiques⁸⁶ sont généralement mis en œuvre ; - la justification de tenue mécanique des drains s'effectue selon les règles habituelles de dimensionnement des canalisations⁸⁷.
Capacité d'injection et d'écoulement	<ul style="list-style-type: none"> - forme: cylindrique ou à cunette⁸⁸, c'est à dire à fond plat (les canaux de diffusion équipés de parois diffusantes peuvent suivre d'autres formes) ; - dimensions nominales : diamètre (cylindrique), hauteur, diamètre extérieur (drain à cunette) ; - parois internes⁸⁹: annelées ou lisses ; la partie inférieure des drains à cunette n'est généralement pas perforée et de surface lisse ; - rugosité. 	<ul style="list-style-type: none"> - les cunettes sont généralement lisses ; - les dimensions usuelles sont : 100, 125, 160, 200, 250 315, 355, 400, 500 mm (D_e des drains cylindriques) et 80, 100, 160, 200, 250, 315, 355 (D_e des drains à cunette) ; - les drains à cunette ou drains cylindriques partiellement perforés (1/3 ou 2/3) sont privilégiés pour la fonction d'évacuation, la partie inférieure non perforée jouant le rôle de collecteur.
Capacité de diffusion / de captage	<ul style="list-style-type: none"> - circonférence perforée (1/3, 2/3, 3/3), déterminant généralement le nombre de rangées de fentes transversales par section ou annelure ; - ouverture des perforations : forme de fentes, de largeur comprise entre 0,8 mm et 1,4 mm (DN < 355 mm) ; nombre de rangées de fentes ; - surface captante ou diffusante : elle est au moins de 50 cm²/m. 	<ul style="list-style-type: none"> - les drains de diffusion doivent offrir une grande surface d'échange, disposant de fentes sur toute leur longueur et leur circonférence afin d'assurer une bonne diffusion de l'eau dans toutes les directions ; - les surfaces perforées doivent être capables de diffuser instantanément le débit de pointe d'entrée éventuellement délesté du débit de vidange ; - s'ils n'assurent pas de double fonctions diffusion / évacuation, les drains cylindriques perforés 3/3 sont alors privilégiés.

⁸⁶ NF P 16-351 : Juillet 1998 - Plastiques – Systèmes de canalisations en plastique pour drainage enterré – Spécification pour le génie civil

⁸⁷ Fascicule 70 du CCTG – Titre I – Chapitre IV (2004).

⁸⁸ Le terme « drain tunnel » est également couramment employé pour parler des drains à cunette, présentant un fond plat.

⁸⁹ Les parois externes peuvent également être lisses ou annelées.

Performances	Caractéristiques / Paramètres	Observations / Recommandations
Rétention de particules en suspension	<ul style="list-style-type: none"> - position des perforations sur la circonférence : absence de fentes en partie inférieure ; - ouverture des fentes : modulée selon la taille des particules à retenir. 	<ul style="list-style-type: none"> - les drains dont seuls 1/3 ou 2/3 de la circonférence est perforé sont privilégiés ; - pour les drains d'évacuation, les drains à cunette perforés 1/3 ou 2/3 seront utilisés de préférence : ils permettent que les matières en suspension soient transportées à l'exutoire, sous réserve qu'une continuité hydraulique soit assurée avec les drains de diffusion (également 1/3 ou 2/3) ; partie inférieure collecteur, jonction étanche.
Inspectabilité	<ul style="list-style-type: none"> - section : valeur minimale à respecter. 	<ul style="list-style-type: none"> - leur section ouverte minimale doit être de 75 cm², avec une dimension minimale intérieure de 100 mm⁹⁰ (une dimension minimale de 150 mm pourra être privilégiée⁹¹).
Facilité de mise en œuvre	<ul style="list-style-type: none"> - légèreté : PVC-U (polychlorure de vinyle non plastifié), PE (polyéthylène) ; - conditionnement : généralement unités de 6 m, sur palettes. 	<ul style="list-style-type: none"> - les drains thermoplastiques sont généralement pré-équipés de manchons d'assemblage emboîtables pour les raccords.

⁹⁰ Fascicule 70 – Titre I – Chapitre II (2003) : pour permettre le passage d'une caméra ou d'une hydrocureuse.

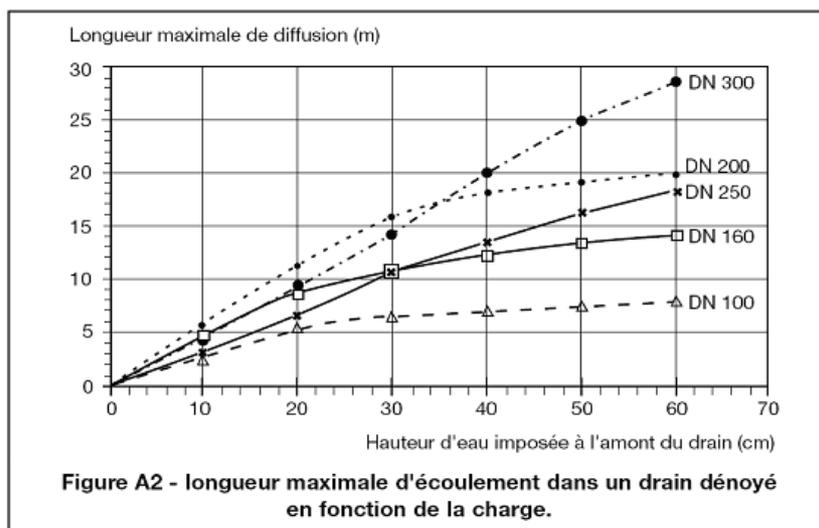
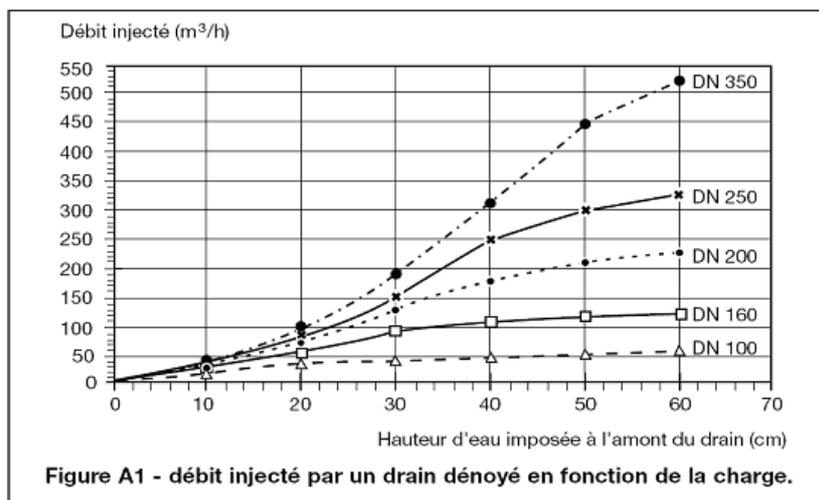
⁹¹ C'est le diamètre minimal des branchements à l'assainissement généralement retenu (on pourra se référer à ASTEE (2009). **Recommandations pour la réalisation et la gestion des branchements particuliers à l'assainissement – Dispositions constructives**. TSM n°10, pp 74-100).

Annexe 2 : Outil de simulation des conditions d'écoulement dans un drain

Le LCPC a développé un logiciel HYDRODIF pour simuler les conditions d'écoulement et de diffusion dans un drain en régime permanent et uniforme.

Un exemple de courbes de fonctionnement obtenues pour un régime d'écoulement dénoyé d'un drain est présenté ci-dessous.

Une synthèse des hypothèses utilisées dans la construction de ce logiciel est disponible dans (Proton, 2008).



Source : LCPC, Certu, 1998

Annexe 3 : Nature et fonctions principales des géosynthétiques

Terminologie

Géosynthétique est un terme générique désignant un produit dont au moins l'un des constituants est un polymère synthétique ou naturel, se présentant sous forme de feuilles, bandelettes ou d'une structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Les géosynthétiques recouvrent deux grandes familles de produits : les **géotextiles et produits apparentés** et les **geomembranes**.

Qu'est-ce qu'un géotextile ?

Un géotextile est un assemblage technique de fibres, de bandelettes ou/et de fils sous forme de nappes. La matière constituante est généralement du polypropylène, mais peut aussi être le polyester ou le polyéthylène.

On distingue deux grands **modes d'assemblage** : les géotextiles tissés de fils ou bandelettes, et les non tissés. Les non tissés sont assemblés soit par thermoliage, soit par aiguilletage, avec éventuellement un calandrage.

Les géotextiles peuvent, selon les ouvrages dans lesquels ils sont employés, remplir plusieurs fonctions :

- **Séparation** : le géotextile assure la séparation de deux matériaux ; il permet de mettre en œuvre un matériau de bonne qualité sur de plus mauvais matériaux en évitant de les mélanger et en conservant au bon matériau ses qualités intrinsèques (par exemple, mise en œuvre d'une couche de grave sur un matériau sensible à l'eau (argile, limon, tourbes, etc.)).
- **Renforcement** : le géotextile peut, à travers sa résistance en traction et sa capacité à les mobiliser par frottement, reprendre des efforts qui se développent dans les sols.
- **Drainage** : par ses caractéristiques (perméabilité, épaisseur, etc.), le géotextile peut favoriser la circulation de l'eau dans son épaisseur ; la fonction de drainage est indissociable de la fonction de filtration.
- **Filtration** : la filtration est la capacité d'un géotextile à jouer le rôle de filtre à savoir d'empêcher des particules d'une certaine taille de le traverser ; il remplace avantageusement les filtres granulaires.
- **Protection** : dans les dispositifs d'étanchéité par geomembrane (DEG), les géotextiles sont utilisés pour protéger la geomembrane du poinçonnement des matériaux du sol support et également du matériau de remblaiement.

Dans un ouvrage de stockage en SAUL, un géotextile utilisé seul aura principalement pour vocation de séparer les SAUL du sol environnant et de les protéger du poinçonnement.

Qu'est-ce qu'une géomembrane ?

Une géomembrane a une seule fonction qui est **l'étanchéification**. Le terme géomembrane implique deux conditions :

- une épaisseur minimale de 10/10 de mm,
- un flux passant inférieur à $10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$.

Les géomembranes peuvent être réalisées à partir de cinq **polymères** : le PVC, le PEHD, le PE, le PP et l'EPDM. Il existe également des membranes bitumineuses dont l'emploi (poids des rouleaux) nécessite des moyens mécanisés et sont donc plus adaptées à certains types de chantiers.

Le choix de la matière qui les compose doit être réalisé en fonction de la nature des fluides stockés, et/ ou du risque de pollution accidentelle.

Selon la matière qui la compose, la **souplesse** de la géomembrane est plus ou moins importante.

Une géomembrane ne s'emploie jamais seule ; elle doit au moins être protégée par un géotextile dont la principale fonction est la protection. L'ensemble, avec éventuellement la structure support, forme le **DEG** (dispositif d'étanchéité par géomembrane).

Dans un ouvrage de stockage en SAUL, utilisée systématiquement avec des géotextiles de protection, elle aura alors vocation à assurer l'étanchéité de l'ouvrage.

Les **assemblages** des géomembranes doivent être réalisés par soudures. Ils doivent être réalisés par des personnels certifiés et la qualité des assemblages doit être contrôlée par des outils appropriés.

Certifications

L'**ASQUAL** gère une certification volontaire des géotextiles garantissant des valeurs nominales (performances) annoncées par le fabricant et les plages de variation associées.

L'ASQUAL certifie à la fois des produits, des entreprises de pose et des applicateurs.

Pour la mise en œuvre et les contrôles des géomembranes, on se reportera utilement aux recommandations du Comité Français des Géosynthétiques (CFG).

Annexe 4 : SAUL - normes et certifications

Les textes et instructions de référence

Le CCTG (fascicule 70) consacré aux « Ouvrages d'assainissement »

Le CCTG (fascicule 70), référentiel d'application volontaire pour les collectivités et aménageurs privés, spécifie la qualité des produits préfabriqués utilisés dans les ouvrages d'assainissement par l'application de normes et d'Avis Techniques. Il renvoie aux marques de qualité pour l'attestation de la conformité de ces produits.

Le fascicule 70 distingue deux cas principaux :

- **si le produit fait l'objet d'une norme française** (ou d'une norme étrangère reconnue équivalente), alors le produit doit être conforme à ces dites normes en vigueur ; cette conformité peut être prouvée :
 - soit par la certification NF (ou ASQUAL en ce qui concerne les géotextiles et les géomembranes),
 - soit à défaut de certification, au moyen d'une réception sur chantier, par lot, effectuée par le maître d'ouvrage, sur la base d'un échantillonnage ; dans ce cas, la réception porte sur toutes les caractéristiques figurant dans la norme de référence.
- **si le produit ne fait pas l'objet d'une norme française mais d'un Avis Technique**⁹² en cours de validité, alors le produit doit être conforme à cet Avis Technique ; cette conformité peut être prouvée par la certification CSTBat associée à l'Avis Technique.

La recommandation TI-99 aux maîtres d'ouvrage publics

La « recommandation TI-99 aux maîtres d'ouvrage publics, relative à l'utilisation des *normes et des certifications dans les spécifications, et à l'appréciation des équivalences* »⁹³ a pour objet d'apporter aux maîtres d'ouvrage les indications utiles pour leur permettre d'adapter leurs pratiques au contexte en évolution, et de faire face à leurs responsabilités d'acheteur public au sein du marché unique européen.

Il y a tout intérêt à s'y référer, ainsi que le fait le CCTG (fascicule 70).

⁹² Délivré par la Commission interministérielle instituée à cet effet par l'arrêté interministériel du 2 décembre 1969.

⁹³ Préparée par le GPEM-TMO et adoptée par la section technique de la Commission Centrale des Marchés, le 7 octobre 1999.

Les normes et les Avis Techniques

Les normes

Les normes permettent de définir précisément les prescriptions et les exigences techniques d'un projet.

On distingue les normes de produits qui définissent les caractéristiques du composant, les normes d'essais qui fixent les méthodologies à respecter pour mesurer les caractéristiques du composant, les normes de conception, de mise en oeuvre et d'organisation.

Une norme est toujours le fruit d'un consensus entre différents intervenants : fabricants, maîtres d'ouvrage, utilisateurs, etc.

À ce jour, une part importante des normes de conception et de produits courants destinés à la réalisation des ouvrages d'assainissement est d'origine européenne. La liste de ces normes est disponible sur le site www.afnor.fr.

Le fascicule 70 contient la liste des normes applicables aux opérations d'assainissement (au moment de sa publication). Il est indispensable de vérifier la liste des normes applicables au moment du projet.

Le site relatif à la directive des produits de construction renseigne sur l'état actuel des normes européennes relatives aux produits de construction : <http://www.dpcnet.org/>

En ce qui concerne les SAUL, le référentiel normatif est en cours de construction au niveau français et européen pour les essais de caractérisation mécanique. Par contre, il n'existe pas à la date de publication de ce guide de norme produit.

Les Avis Techniques

L'Avis Technique évalue l'aptitude à l'emploi d'un produit ou d'un procédé de construction non traditionnel. Il indique la qualité des matériaux constitutifs, les performances du produit, ainsi que les règles de conception et de mise en oeuvre à respecter.

Il permet de vérifier la pertinence des informations délivrées par le promoteur d'un produit ou procédé innovant.

L'Avis Technique constitue une évaluation basée sur la connaissance et la compréhension des phénomènes physiques à partir d'essais réalisés en laboratoires et d'observations de réalisations et chantiers.

L'avis est formulé par le Groupe Spécialisé n° 17 (réseaux) du CSTB, constitué d'experts représentant la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'oeuvre, les bureaux d'études et de contrôle, les fabricants et entreprises de pose.

La validité de l'Avis Technique est limitée (en général 3 à 5 ans), afin de prendre en compte l'évolution des produits et celle des connaissances sur l'état de l'art.

Les Avis Techniques sont des documents publics qui peuvent être consultés et téléchargés librement à partir du site www.cstb.fr.

Le marquage CE

La Directive Produits de Construction (DPC) a instauré l'obligation réglementaire du marquage CE afin de favoriser la libre circulation des produits de construction sur le marché européen.

Le marquage CE des produits de la construction se développe progressivement au fur et à mesure de la parution des normes européennes harmonisées ou agréments techniques européens.

Les informations sur le marquage CE des produits de la construction, notamment les références des textes réglementaires parus au journal officiel, figurent sur le site www.btp.developpement-durable.gouv.fr.

Les marques de qualité

La conformité du produit aux conditions du marché peut être prouvée par une certification, dite certification de qualité. Celle-ci est de nature volontaire et fait intervenir un organisme tierce partie.

Elle atteste de la conformité des produits aux exigences figurant dans le référentiel de certification.

Chaque usine certifiée est régulièrement auditée. Des essais sont réalisés tant en usine qu'en laboratoire tierce partie afin de vérifier les performances ainsi que la constance des fabrications.

Les modalités des contrôles effectués dans le cadre d'une marque de qualité figurent dans le référentiel de la marque.

Un logo propre à la marque de qualité est apposé sur les produits titulaires de cette marque.

La plupart des composants d'assainissement utilisés pour la réalisation de réseaux d'assainissement peut être certifiée dans le cadre des marques NF ou CSTBat.

Les géotextiles et géomembranes font l'objet de la certification ASQUAL.

À ce jour, les SAUL peuvent être certifiées dans le cadre de la marque CSTBat. La liste des usines certifiées est disponible auprès de l'organisme certificateur.

Annexe 5 : Crédits photographiques

Crédits photographiques

Photo 1.1	CETE de l'Est	Photo 3.1	CETE de l'Est
Photo 1.2	CETE de l'Est	Photo 3.2	Nidaplast
Photo 1.3	Certu	Photo 3.3	Funke
Photo 1.4	Polypipe	Photo 3.4	Rehau
Photo 2.1	LCPC	Photo 3.5	CETE de l'Est
Photo 2.2	Nidaplast	Photo 3.6	Hamon
Photo 2.3	Hamon	Photo 3.7	Funke
Photo 2.4	Nidaplast	Photo 3.8	Rehau
Photo 2.5	Hamon	Photo 3.9	Hauraton
Photo 2.6	Hamon	Photo 5.1	Wavin
Photo 2.7	Hamon	Photo 5.2	Rehau
Photo 2.8	<i>De g. à d., de h. en b. : Nidaplast, Hauraton, Polypipe, Funke, Graf, Nicoll, Frankische, Rehau, Wavin</i>		
Photo 2.9	Hauraton	Photo 5.3	Frankische
Photo 2.10	Wavin	Photo 5.4	Nidaplast
Photo 2.11	Funke	Photo 5.5	Rehau
Photo 2.12	Professeur Axel Paul	Photo 5.6	Nidaplast
Photo 2.13	CIRIA	Photo 5.7	Frankische
		Photo 5.8	Nidaplast
		Photo 7.1	Rehau

Illustrations

Illustrations originales : CETE de l'Est

Figure 3.8	Wavin
Figure 3.11	Nidaplast
Figure 3.12	Funke
Figure 3.13	Rehau
Figure 5.3	Wavin



Pour la gestion des eaux pluviales en zones urbaines à fortes contraintes, l'emploi de structures alvéolaires ultra-légères pour la réalisation d'ouvrages de stockage enterrés est une solution technique bénéficiant d'un retour d'expériences de plus de vingt ans en France. Sur la base d'un état de l'art établi en 2009, ce document actualise un premier guide technique publié en 1998.

Les recommandations portent sur l'aide à la décision, la conception, le dimensionnement hydraulique et mécanique, la mise en oeuvre, la réception, l'exploitation et la maintenance de ces ouvrages, en intégrant la diversité de produits aujourd'hui disponibles sur le marché.

Ce guide s'adresse donc à la fois à la maîtrise d'ouvrage, à la maîtrise d'oeuvre et aux bureaux d'études ainsi qu'aux entreprises de pose et futurs exploitants.

In the field of stormwater management in urban areas, the use of ultra-light cellular structures benefits from more than 20 years of experience in France. Based on a state-of-the-art-approach, this document updates a previous guidance document published in 1998.

The recommendations relate to decision-making, hydraulic and structural design, construction, commissioning and ongoing maintenance considering the variety of products available.

These guidelines are thus intended for both contractors and project managers, engineers, public works offices and future operators.