
Structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) en assainissement pluvial : vers une classification des produits et retours d'expériences

Ultra-light cellular structures for use in stormwater storage : towards a classification of products and case studies

Nathalie LE NOUVEAU*, Michel MONTAUT*, Agnès GOMEZ*

*CETE de l'Est - LRPC de Nancy
71 rue de la Grande Haie
54510 Tomblaine, France

RESUME

Pour la réalisation d'ouvrages enterrés de stockage des eaux pluviales, les matériaux de type structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) sont utilisés depuis une vingtaine d'années. Ces blocs thermoplastiques manportables, qui offrent 95% de vides, sont de mise en œuvre simple et rapide. Face au développement des besoins, de nombreux produits aux caractéristiques très diverses sont récemment apparus. Par ailleurs, peu de retours d'expériences sont disponibles sur l'emploi des SAUL. Dans ce contexte, une étude a été réalisée afin de dresser un panorama des produits disponibles et de réaliser un retour d'expériences. Après une présentation de l'intérêt des SAUL en assainissement pluvial, une classification des produits est proposée. Ensuite sont présentés les résultats d'une enquête sur l'emploi des SAUL. Enfin des besoins sont définis, en termes de dimensionnement mécanique, de recommandations et d'évaluation des performances et de la pérennité des ouvrages.

ABSTRACT

To build underground rainwater storage tanks, ultra-light cellular structures materials (ULCS) have been used for the past twenty years. These portable thermoplastic blocks, with 95% void, are easily and quickly installed. Due to increasing needs, numerous products, with a wide variety of characteristics, recently appeared. Besides, few case studies dealing with ULCS use are available. In this context, a study has been carried out to draw up a state of the art about available ULCS products and to realize case studies. After a presentation of the ULCS interests for rainwater drainage, a classification of products is suggested. Afterwards results of a survey about ULCS uses are presented. Lastly needs are defined, in terms of mechanical structure, technical recommendations and testing of the performance and of the lifetime of the systems.

MOTS CLES

Eaux pluviales, retour d'expériences, stockage, SAUL.

1 SAUL ET GESTION DES EAUX PLUVIALES : CONTEXTE ET ENJEUX

1.1 Objectifs de gestion des eaux pluviales

Le cadre législatif mis en place depuis une quinzaine d'années vise une gestion équilibrée, intégrée et durable de la ressource en eau. Alors que la directive eaux résiduaires urbaines de mai 1991 et la loi sur l'eau de janvier 1992 ont fixé essentiellement des objectifs de moyens, la directive cadre sur l'eau d'octobre 2000 a fixé des objectifs de résultats traduits par l'atteinte d'un bon état écologique de toutes les masses d'eau d'ici 2015.

Désormais, le dispositif mis en place pour une meilleure gestion de l'eau dans les aménagements s'appuie sur un ensemble d'outils relevant de :

- la planification : schéma d'aménagement des eaux, plan de prévention des risques, zonage d'assainissement, plan d'urbanisme,
- la réglementation : déclaration / autorisation, règlement d'assainissement,
- et l'incitation financière prochainement¹ : taxe « eaux pluviales », crédit d'impôt pour des ouvrages de réutilisation des eaux de pluie.

L'ensemble de ces évolutions concourt à une meilleure prise en compte des eaux pluviales dans les aménagements. Elle repose sur une gestion à la source qui vise non seulement la maîtrise du ruissellement, mais aussi la limitation de la pollution apportée par les eaux pluviales au milieu naturel.

1.2 Ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales

1.2.1 Principales familles d'ouvrages

La gestion à la source requiert la réalisation d'ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales. Ils permettent de retenir temporairement les eaux pluviales, avant de les restituer au milieu récepteur, soit par infiltration, soit par l'intermédiaire d'un réseau enterré ou superficiel. Ces ouvrages contribuent ainsi à :

- maîtriser les risques d'inondation en limitant les débits ruisselés, voir les volumes en cas d'infiltration,
- limiter la pollution apportée par les eaux pluviales au milieu récepteur, par décantation et/ou la filtration,
- intercepter une éventuelle pollution accidentelle.

Les principales familles d'ouvrages recouvrent les bassins de retenue, les fossés et les noues, les tranchées et puits d'infiltration, les chaussées à structure réservoir (CSR) et les toitures-stockantes. En France, leur réalisation est désormais encadrée par le fascicule 70-II du CCTG, qui constitue un guide pour aider maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre à élaborer leurs marchés de travaux [Bulletin officiel, 2003].

1.2.2 Différents matériaux de stockage enterré

Différents matériaux peuvent être mis en œuvre pour la réalisation de stockage enterré des eaux pluviales (figure 1), hors ouvrages en génie civil et canalisations surdimensionnées. Ils sont caractérisés par leur porosité utile et par leurs propriétés mécaniques le cas échéant. Parmi les différents matériaux disponibles, les structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) sont des matériaux thermoplastiques qui offrent une porosité utile de 95%. Leur coût de mise en œuvre est de l'ordre de 200 à 300 €/m³.

¹ Projet français de loi sur l'eau et les milieux aquatiques (septembre 2006).

Matériaux	Porosité utile	Applications principales	Coût/m ³ d'eau stockée
Graves non traitées poreuses	30 à 40 %	CSR, tranchée, bassin enterré, puits...	+
Graves bitumes poreuses	10 à 20%	CSR	+++
Béton de ciment poreux	10 à 20%	CSR	+++
Produits creux en béton	50 à 60%	CSR à faible trafic, tranchée...	++
Structures alvéolaires ultra-légères	~ 95 %	CSR, tranchée, bassin enterré, puits	++
Pneumatiques	60 à 70 %	Tranchée non circulée, bassin enterré...	+

Figure 1 : Matériaux de stockage des eaux pluviales (d'après [CERTU & al., 1999] modifié)

1.3 SAUL en assainissement pluvial

1.3.1 Origine des SAUL

Les structures alvéolaires ultra-légères ont été développées en France dans les années 1980 pour des applications telles que la réalisation de remblais allégés (figure 2). Ces premières applications en constructions routières ont fait l'objet d'un guide technique, « *Utilisation de structures alvéolaires ultra-légères en remblai routier* » [LCPC, 1992]. Il précise les domaines et conditions d'emploi des deux matériaux alors disponibles sur le marché, qui offrent une structure en nid d'abeilles.

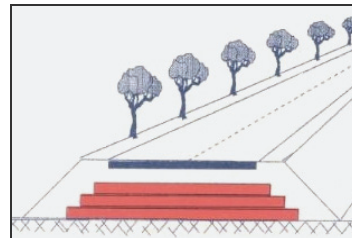


Figure 2 : Allègement d'un remblai sur sol compressible [LCPC, 1992]

Des expérimentations portant sur le comportement de ces matériaux en zone de marnage (remblai en zone submersible ou sous nappe phréatique) ont montré qu'ils laissent bien circuler l'eau, sans générer de surpression et de soulèvement du remblai. De ce constat est née l'idée d'employer également ces matériaux pour le stockage des eaux pluviales.

1.3.2 Intérêts des SAUL pour le stockage des eaux pluviales

Pour cette application, les SAUL présentent plusieurs intérêts [LCPC & al., 1998]. Ils offrent une capacité de stockage de 95%, ce qui permet de limiter les terrassements à volume de stockage donné. Ils se présentent généralement sous forme de blocs qui sont manportables du fait de leur faible poids volumique. Leur mise en œuvre modulaire ne requiert pas d'engin de levage et s'adapte aux contraintes topographiques. Leur résistance mécanique peut rendre possible leur utilisation sous charges roulantes. Ainsi les SAUL sont adaptées à la réalisation d'ouvrages enterrés de stockage d'eaux pluviales en site contraint [Faram M.G. & al., 2004].

1.3.3 Enjeux associés à l'emploi des SAUL en assainissement pluvial

Les SAUL sont employées depuis près d'une vingtaine d'années en assainissement pluvial [Andoh R.Y.G. & al., 2001]. La caractérisation, la conception et la mise en œuvre des deux premiers produits disponibles ont fait l'objet d'un guide technique en 1998 [LCPC & al. 1998]. Près de 100 000 m³ de stockage en SAUL avaient déjà été réalisés. Depuis, de nombreux produits sont apparus face au développement des besoins. Par ailleurs peu de retours d'expériences sont disponibles sur ces ouvrages. Dans ce contexte, une étude financée par le LCPC a été menée, visant trois objectifs :

- dresser un état des connaissances sur les produits disponibles,
- réaliser un retour d'expériences sur les ouvrages de stockage en SAUL,
- préciser les besoins vis à vis des ouvrages en SAUL, en vue notamment d'une éventuelle refonte du guide de 1998.

2 VERS UNE CLASSIFICATION DES PRODUITS

2.1 Panorama des produits de type SAUL disponibles

2.1.1 Méthodologie de recensement et de caractérisation des produits

Le recensement et l'analyse des caractéristiques des produits de type SAUL disponibles ont été réalisés sur la base d'une étude bibliographique et d'un questionnaire adressé aux producteurs identifiés. Ce questionnaire a porté essentiellement sur la gamme de produits distribués, leurs caractéristiques, leur mise en œuvre, les études de qualification réalisées et des références de réalisation. Neufs producteurs ont été consultés, six ont répondu. Pour les autres produits, seule la documentation commerciale et technique disponible a pu être analysée. Une base « produits » a été constituée.

2.1.2 Offre de SAUL pour l'assainissement pluvial

Aujourd'hui quatorze producteurs de SAUL sont identifiés, proposant dix-sept produits (hors différence de gamme de résistance mécanique). Seulement trois à quatre produits ont été commercialisés à partir des années 1980-1990. Près d'une dizaine de produits n'ont été commercialisés que très récemment, en 2005 et 2006. Les pays producteurs sont principalement la France et l'Allemagne, viennent ensuite la Grande-Bretagne, les Pays-Bas et les Etats-Unis. Les produits sont généralement désignés d'un nom commercial, précisé par une caractérisation. Ces caractérisations sont très diverses : nid d'abeille, structure alvéolaire ultra-légère, module pour la rétention et l'épandage, système modulaire de stockage et d'infiltration, système d'infiltration, système casier ou alvéolaire, cellule de récupération, chambre haute capacité, etc. Les produits sont proposés pour un emploi sous espace vert, sous aire de stationnement et/ou sous surface circulée.

2.1.3 Principales caractéristiques des produits de type SAUL

Les polymères constitutifs sont le polypropylène (PP) mono ou copolymère pour une majorité de produits, le polyéthylène haute densité (PEHD) ou le polychlorure de vinyle (PVC). Quelques produits sont susceptibles de contenir de la résine recyclée. Les éléments sont obtenus principalement par moulage des pièces constitutives assemblées mécaniquement, et ponctuellement par extrusion ou par collage de feuilles thermoformées.

Les caractéristiques dimensionnelles des SAUL sont très variables. La majorité d'entre elles se présentent sous forme de blocs parallélépipédiques : longueur L de 0,80 à 2,40 m, largeur l de 0,44 à 1,20 m, hauteur H de 0,30 à 0,60 m. Le rapport L/l est généralement de 2, ce qui facilite le plan de calepinage. Les poids unitaires varient d'une dizaine à une soixantaine de kilogrammes. Plusieurs SAUL offrent une forme de tunnel. Du point de vue hydraulique, les capacités de stockage varient de 135 à 1420 litres par unité selon les dimensions des éléments. Le sens de circulation de l'eau peut être vertical, horizontal et vertical ou tri-dimensionnel (cas de nombreux produits à la structure très ouverte).

Les caractéristiques mécaniques sont inégalement cernées sur la base des informations collectées. Les deux produits décrits par [LCPC & al., 1998] ont fait l'objet d'une qualification, notamment mesure de la résistance en compression verticale selon la norme NF T56-101 modifiée [AFNOR, 1976]. Cette méthode d'essai n'est pas adaptée aux autres produits, plus proches d'une structure que d'un matériau. C'est pourquoi les producteurs développent leur propre essai. Les caractéristiques mécaniques précises, en dehors d'avis technique, apparaissent partiellement accessibles. Ainsi pour les SAUL parallélépipédiques, il est nécessaire de connaître la résistance en compression verticale et latérale et la contrainte permanente

admissible, qui permet de tenir compte du fluage du matériau. Parfois sont indiqués, de manière inégale, l'épaisseur maximale de remblai sus-jacent, le nombre maximum d'éléments superposables, la profondeur maximale du fil d'eau ou la hauteur minimale de remblai selon le trafic.

2.2 Proposition d'une classification des produits

2.2.1 Cinq classes de SAUL

Une classification des produits de type SAUL peut être proposée (figure 3), basée sur la conception et le fonctionnement hydraulique des ouvrages de stockage :

- SAUL à diffuseur externe : la circulation d'eau dans les blocs est verticale et/ou horizontale, la diffusion de l'eau est assurée par des drains placés dans des matériaux granulaires, positionnés sous les blocs ou latéralement;
- SAUL à diffuseur interne : certains blocs, connectés aux ouvrages d'injection d'eaux pluviales, sont pré-équipés de drains de diffusion intégrés, la circulation de l'eau dans les blocs est ensuite tridimensionnelle ;
- SAUL sans diffuseur : l'eau circule dans toutes les directions dans les blocs à partir des ouvrages d'injection d'eaux pluviales ;
- SAUL à canal de curage : les blocs sont constitués de canaux longitudinaux, voire transversaux, éventuellement équipés de parois diffusantes ; ces canaux sont susceptibles d'être inspectés et curés s'ils sont accessibles par un puits d'inspection ;
- SAUL de type tunnel de stockage.

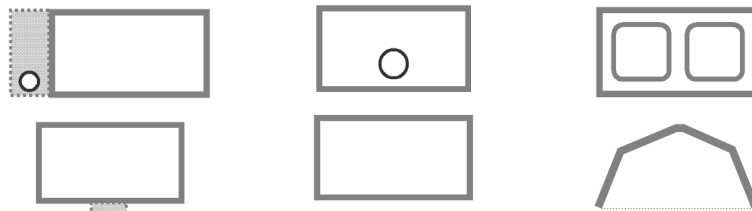


Figure 3 : Schémas de principe des différentes classes de SAUL

2.2.2 Limites de cette classification

Cette classification 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 ne tient pas du tout compte des caractéristiques et du comportement mécaniques des SAUL, qu'il convient également de considérer dans la conception de l'ouvrage et le choix du produit. Certains producteurs proposent différentes gammes de résistance mécanique.

3 RETOURS D'EXPERIENCES SUR L'EMPLOI DES SAUL

3.1 Enquête auprès des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre

3.1.1 Méthodologie d'enquête

Afin de faire un retour d'expériences, une enquête a été réalisée auprès de maîtres d'ouvrage et bureaux d'études. Le questionnaire a porté sur les motivations d'emploi des SAUL en assainissement pluvial, les caractéristiques d'ouvrages réalisés, les problèmes éventuels rencontrés et les voies de progrès. Sur les 200 organismes ayant répondu, une vingtaine répartis entre collectivités locales (60%) et bureaux d'études (40%) ont déjà réalisé un ou plusieurs ouvrages (figure 4).

Le nombre de réalisations ainsi identifiées peut être estimé entre cinquante et cent ouvrages (possibilité de redondance entre les références des maîtres d'ouvrage et celles de leurs maîtres d'œuvre). Une fiche détaillée a été renseignée pour vingt trois ouvrages, représentant près de 10 000m³ de stockage.

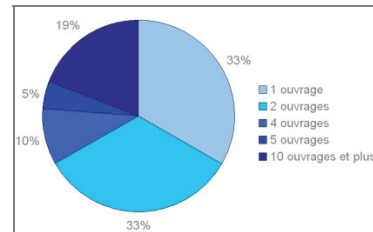


Figure 4 : Répartition des vingt organismes selon le nombre d'ouvrages réalisés

3.1.2 Analyse de l'emploi des SAUL

Les ouvrages sont en très grande majorité réalisés pour prévenir les inondations, dans une moindre mesure pour dépolluer les eaux pluviales et réalimenter les nappes. Un des ouvrages référencés a vocation à permettre la réutilisation des eaux de pluie pour l'arrosage d'un parc public. L'enterrement des ouvrages de stockage des eaux pluviales est d'abord motivé par des contraintes foncières, puis par le parti d'aménagement et enfin par les contraintes topographiques. Les matériaux de type SAUL sont choisis principalement pour leur forte porosité, mais aussi pour la rapidité et la simplicité de leur mise en œuvre.

Les ouvrages sont majoritairement publics (75%). Ils sont réalisés dans différents types d'aménagement : habitat (21%), zones d'activités (17%), voiries (30%) et équipements publics (26%). Ils sont implantés sous espaces verts (35%) et sous chaussées (26%) et sous aires de stationnement (26%). Les ouvrages caractérisés par l'enquête sont âgés de moins d'un an à une quinzaine d'années (figure 5).

3.1.3 Conception des ouvrages en SAUL

Le volume de stockage utile des ouvrages est compris entre 10 m³ et 1300 m³ (figure 6), la période de retour de dimensionnement pouvant varier de 1 à 2 ans à plusieurs dizaines d'années. A noter que pour un ouvrage à diffuseur externe, au volume utile des SAUL est ajouté le volume de vides utiles des matériaux granulaires constituant le diffuseur, ce qui représente dans ce cas près de 10% de la capacité de stockage.

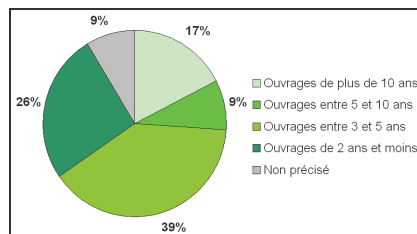


Figure 5 : Âge des ouvrages

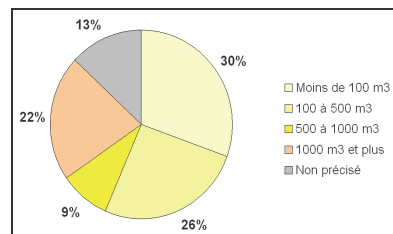


Figure 6 : Volume des ouvrages

L'épaisseur de SAUL mise en œuvre varie de 0,50 à 2,50 m, la hauteur de remblai surmontant les SAUL de 0,50 à 3,70m, et la profondeur du fil d'eau des ouvrages de 1 à 5,70m. Sur les vingt-trois ouvrages, quatre produits recouvrant trois classes de sont ont été mis en œuvre: SAUL à diffuseur externe (65%), SAUL à diffuseur interne (25%) et SAUL tunnel (10%).

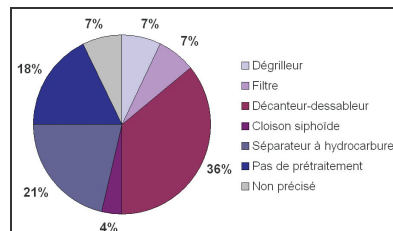


Figure 7 : Nature et fréquence des pré-traitements

Le recueil des eaux pluviales se fait à 80% par seul ruissellement en surface puis diffusion depuis un ouvrage d'injection. De même la restitution des eaux pluviales s'effectue par seule évacuation à débit régulé vers un exutoire pour 80 % des ouvrages. Les dispositifs de prétraitement mentionnés sont variables (figure 7).

3.1.4 Principaux enseignements

Les SAUL sont appréciées pour leur rapidité et leur simplicité de conception et de réalisation. Sur cet aspect, les produits mis en œuvre apparaissent donner satisfaction. De manière ponctuelle, des problèmes liés à la conception ont pu être rencontrés :

- difficulté de remplissage d'un bassin (1200 m³) en raison d'événements sous-dimensionnés et mal positionnés : les écarts entre événements ont été modifiés et les orifices dans les regards amont-aval multipliés ;
- diffusion insuffisante de l'eau dans les SAUL par les diffuseurs ;
- effondrement d'un ouvrage quatre mois après la mise en service (hauteur de remblai surmontant les SAUL et profondeur de fil d'eau très importantes).

Sur la base des éléments recueillis, l'exploitation des ouvrages donne également satisfaction d'une manière générale. Aucun problème de fonctionnement (hors problèmes liés à la conception pré-cités) n'a été signalé, même sur les ouvrages les plus anciens. Concernant la maintenance, les opérations de contrôle, lorsqu'elles sont réalisées, consistent principalement en une inspection des ouvrages amont/aval, plus fréquente que celle des diffuseurs. De même les opérations d'entretien réalisées consistent à curer les ouvrages amont / aval, voire les diffuseurs.

3.2 Limites du retour d'expériences et besoins d'approfondissement

3.2.1 Limites de ce retour d'expériences

Les retours proviennent en grande majorité de maîtres d'ouvrage publics, alors qu'il semblerait que ces matériaux soient employés de manière équivalente en domaine privé et en domaine public. Ils ne reposent que sur la connaissance du fonctionnement des ouvrages détenue par les maîtres d'ouvrages et bureaux d'études, et non sur une véritable évaluation de leurs performances par des campagnes de mesures. Par ailleurs le point de vue des entreprises de pose n'a pas été recueilli. Enfin ce retour d'expériences porte principalement sur les ouvrages réalisés avec les produits les plus anciens. Peu de retours sont encore disponibles sur les produits récents.

3.2.2 Besoins de connaissance et d'approfondissement complémentaires

Les besoins exprimés lors de l'enquête et cernés à partir du retour d'expériences réalisés sont de trois ordres. Il est d'abord essentiel de compléter les méthodes de justification de la tenue mécanique des ouvrages en SAUL et des structures les surmontant (figure 8). Ceci repose sur la mise au point d'essais de caractérisation harmonisés (approche pré-normative).

Ensuite il convient de compléter le retour d'expériences sur l'exploitation des ouvrages, en particulier ceux conçus avec les classes de SAUL les plus récentes. De même il sera nécessaire d'enrichir les connaissances sur leur pérennité : les ouvrages en SAUL sont-ils plus ou moins sensibles au colmatage selon leur conception, le colmatage étant susceptible réduire de la capacité de stockage [Faram M.G. & al., 2004], voire d'infiltration le cas échéant ? Il serait également intéressant d'évaluer la conception globale des ouvrages (SAUL, équipements connexes et pré-traitement) vis à vis de la maîtrise de la pollution apportée par les eaux pluviales au milieu naturel.

Enfin il apparaît nécessaire de refondre le guide technique de 1998, afin d'intégrer l'évolution des exigences en matière de gestion des eaux pluviales, le développement de différentes classes de SAUL et le retour d'expériences. Ce guide aidera les techniciens dans les choix de conception, la définition de spécifications, le dimensionnement des ouvrages, leur conception, leur mise en œuvre, leur réception et leur maintenance.

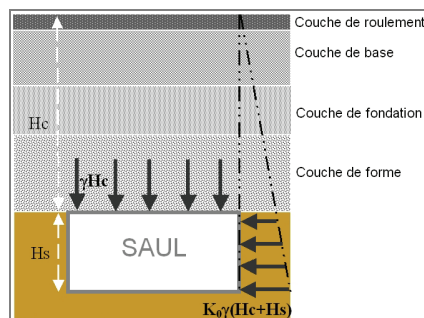


Figure 8 : Principe de détermination des charges permanentes appliquées sur un ouvrage parallélépipédique : poids du remblai et poussée latérale des terres (d'après [LCPC &al, 1998] modifié).

A noter que lors d'une pose sous chaussée, il est nécessaire d'obtenir la qualité de plate-forme support requise (constituée par le complexe SAUL/couche de forme) avant réalisation de la couche de fondation.

4 CONCLUSIONS

Pour la réalisation d'ouvrages enterrés de stockage des eaux pluviales, les matériaux de type structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) sont utilisés depuis une vingtaine d'années. Ces éléments thermoplastiques manportables, qui offrent 95% de vides, sont de mise en œuvre simple et rapide. Face au développement des besoins, de nombreux produits aux caractéristiques diverses sont récemment apparus. Par ailleurs, peu de retours d'expériences sont disponibles leur emploi. Dans ce contexte, l'étude a d'abord permis de dresser un panorama des produits disponibles et de proposer une classification. Le retour d'expériences, réalisé sur vingt-trois ouvrages âgés de moins d'un an à une quinzaine d'années, est assez favorable, tant sur la conception que sur le fonctionnement des ouvrages. Des besoins ont été définis, en terme de justification de la tenue mécanique, de recommandations et d'évaluation des performances et de la pérennité des ouvrages.

5 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les organismes qui ont répondu aux enquêtes, maîtres d'ouvrage et bureaux d'études d'une part et producteurs d'autre part.

6 BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR (1976). NF T56-101 : Produits alvéolaires à base d'élastomères ou de matières plastiques – Essai de compression des matériaux rigides, décembre 1976, 4 p.
- Andoph, R.Y.G., Stephenson, A., Kane, A. (2001). *A novel integrated system for stormwater management*, NOVATECH'2001, Lyon, pp. 433-440.
- Bulletin officiel – Fascicule spécial n°2003-10 (2003), *Marchés publics de travaux. Cahier des clauses techniques générales. Fascicule 70 – Ouvrages d'assainissement – Titre I – les réseaux – Titre II – Ouvrages de recueil, de stockage et de restitution des eaux pluviales.*
- CERTU, AIVF, LCPC (1999), *Chaussées poreuses urbaines.*
- Faram, G. M., Guymier, I., Saul, A. J. (2004). *Assessment of modular block stormwater storage systems*, NOVATECH'2004, Lyon, pp. 235-242.
- LCPC, CERTU, Agences de l'eau (1998). *Les structures ultra-légères (SAUL) en assainissement pluvial*, Dossier Environnement n°82, éditions CERTU.
- LCPC (Perrier, H.) (1992). *Utilisation de structures alvéolaires ultra-légères en remblai routier, Guide technique*, 24 p.