

RÈGLES

PROFESSIONNELLES

pour la conception
et la réalisation des
**terrasses et toitures
végétalisées**

Edit° N°3 / Mai 2018



L'ENVELOPPE
MÉTALLIQUE
DU BÂTIMENT

ASSOCIATION DES FABRICANTS
DE PANNEAUX, PROFILS ET SYSTÈMES



L'Association des Toitures
à Façades Végétales

ISBN 978-2-9535882-1-7 - Dépôt légal : juillet 2018 - Prix vente : 25 € TTC

APME – PROMETHEE – CSFE

6-14 rue La Pérouse 75784 PARIS CEDEX 12

Tel : 33 (1) 56 62 13 20

Imprimé par HAWAI COMMUNICATION 1 rue de la Pommeraie 78310 Coignières

RÈGLES PROFESSIONNELLES

Edition N°3 / Mai 2018

pour la conception et la réalisation des
terrasses et toitures végétalisées



Mail : contact@adivet.net

Web : www.adivet.net



Mail : contact@enveloppe-metallique.fr

Web : www.enveloppe-metallique.fr



Mail : contact@csfe.ffbatiment.fr

Web : www.etancheite.com

COMMISSION DE RÉDACTION / RELECTURE

M. DARNIS (CRITT horticole)	M. JORET (SOPREMA)
M. DE BRAY (ISOCHAPE)	M. LAMÉ (LE PRIEURÉ)
M. DECOODT (ETANDEX)	M. LACAILLE (ADIVET)
M. DECORNIQUET (SMAC)	M. LASSALLE (SOPREMA)
M. DOMANGE (SIKA)	M. MARESCHAL (paysagiste-concepteur, PHYTOLAB)
M. DRIAT (CSFE)	M. RAGUET (OPTIGREEN)
M. FÉVRIER (DYNERGIS)	M. ROUX (SIPLAST)
M. GEORGEL (ÉCOVÉGÉTAL)	M. SINDT (SOPREMA)
Mme GARDNER (AXA)	M. SWISTEK (LE PRIEURÉ)
Mme GROSBELLET (LA FLORENTEISE)	M. VERMANDEL (MEPLE)
M. HOUSSIN (SIPLAST)	M. ZEMMOUR (ETANCHECO)
M. IZABEL (Enveloppe Métallique du Bâtiment)	

Mmes Marthe JACQUEAU-GRAMAGLIA (SOCOTEC), Carole LE BLOAS (QUALICONSULT) et Virginie MERLIN (APAVE) et M. François MICHEL (BUREAU VERITAS CONSTRUCTION) ont fait bénéficier la commission de leur expérience professionnelle et de leur compétence technique par une relecture critique de ce document. Qu'ils en soient vivement remerciés.

AVERTISSEMENT

Des croquis sont joints au présent document pour aider à la compréhension du texte. Ils constituent des exemples indicatifs et non limitatifs de réalisation des ouvrages auxquels ils se rapportent.

Fort de l'expérience des dix millions de m² de végétalisation posée à ce jour et dix ans après la précédente, voici la troisième édition des Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées.

L'Adivet a été à l'origine de cette démarche de réécriture en mettant sur pied un groupe de travail associant des acteurs du paysage et du bâtiment.

Celui-ci a produit un document auquel la CSFE et l'Enveloppe Métallique du Bâtiment ont apporté leur expérience et leur expertise propres sur l'intégration de cette protection vivante du revêtement d'étanchéité dans les ouvrages.

Le travail collégial s'est poursuivi réunissant les acteurs de la végétalisation (fournisseurs de composants et fournisseurs de système, entrepreneurs), les organisations professionnelles du bâtiment et paysage, les représentants des contrôleurs techniques, experts et assureurs pour aboutir à un document largement enrichi.

Avec une très forte croissance depuis les années 2000, la végétalisation du bâtiment sur toitures et terrasses est devenue un véritable défi pour l'urbanisme et la construction, eu égard aux attentes économiques, sociétales et environnementales des habitants et citoyens. Cela a attiré de nombreux nouveaux acteurs pas toujours au fait des exigences de la technique.

Il convenait donc de réviser l'édition 2007 dans une optique pédagogique en termes de conception, de réalisation, de contrôle et d'entretien des toitures terrasses végétalisées, dans un souci de pérennité de leur aspect et de leurs fonctionnalités.

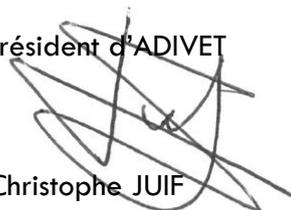
L'acceptation du document par le Conseil des Professions de la Fédération Française du Bâtiment (FFB) d'une part et par la Commission Prévention Produits (C2P) de l'Agence Qualité Construction (AQC) d'autre part consacre la traditionnalité des techniques qui sont évoquées et leur prise en considération par les assureurs au titre de techniques courantes.

La connaissance et le respect de ces Règles Professionnelles sont ainsi un gage de sécurité et de qualité pour tous les donneurs d'ordres et la filière professionnelle.

Que tous les contributeurs qui y ont travaillé avec opiniâtreté soient très sincèrement remerciés au nom de nos professions.

Le Président d'ADIVET

Christophe JUIF



Le Président de la CSFE

Philippe MESLAGE



Le Président de l'Enveloppe
Métallique du Bâtiment

Jean-Christophe KENNEL



TABLE DES MATIÈRES

COMMISSION DE RÉDACTION / RELECTURE	2
AVANT-PROPOS	3
TABLE DES MATIÈRES	4
1. PRÉAMBULE.....	7
2. OBJET.....	7
3. DOMAINE D'APPLICATION.....	8
4. TEXTES DE RÉFÉRENCE ET DOCUMENTS TECHNIQUES DE RÉFÉRENCE	9
5. VOCABULAIRE - TERMINOLOGIE.....	10
5.1 Toitures.....	10
5.1.1 Toitures inaccessibles	10
5.1.2 Toitures multi-usages	10
5.1.3 Toitures destinées à la retenue temporaire des eaux pluviales avec évacuation d'eau à deux niveaux	10
5.1.4 Climat de montagne	10
5.2 Types de végétalisation.....	10
5.2.1 Toiture-terrasse jardin (végétalisation intensive).....	10
5.2.2 Terrasses et toitures végétalisées	11
5.3 Système de végétalisation	12
5.3.1 Le complexe de culture.....	13
5.3.2 La couche végétale	13
5.4 Mode de végétalisation.....	14
5.4.1 Semis.....	14
5.4.2 Plantations	14
5.4.3 Solutions précultivées	14
5.4.4 Installation de la végétation.....	14
5.5 Propriétés du système de végétalisation.....	15
5.5.1 CME (Capacité Maximale en Eau)	15
5.5.2 Poids à CME	15
5.5.3 Poids à sec	15
5.5.4 Perméabilité.....	15
5.6 Ouvrages annexes	15
5.6.1 Chemin ou aire de circulation.....	15
5.6.2 Dispositif de séparation	15
5.6.3 Dispositif de retenue.....	15
5.6.4 Zone stérile	15
5.7 Etapes post-mise en oeuvre.....	16
5.7.1 Période de parachèvement	16
5.7.2 Réception.....	16
5.7.3 Confortement.....	16
5.7.4 Période d'entretien courant	16
6. CONCEPTION / PRESCRIPTIONS TECHNIQUES.....	16
6.1 Constitution de l'élément porteur et du complexe d'étanchéité	16
6.1.1 Élément porteur et charges à prendre en compte.....	16
6.1.2 Complexe d'étanchéité.....	18

6.2	Constitution du système de végétalisation.....	19
6.2.1	Généralités.....	19
6.2.2	Couche drainante.....	19
6.2.3	Couche filtrante.....	20
6.2.4	Substrat.....	20
6.2.5	Couche végétale.....	21
6.2.6	Le cas des systèmes « tout-en-un ».....	22
6.2.7	Autocontrôles.....	22
7.	MISE EN OEUVRE.....	24
7.1	Mise en oeuvre du complexe d'étanchéité.....	24
7.2	Mise en œuvre du système de végétalisation.....	24
7.2.1	Mise en œuvre de la couche drainante.....	24
7.2.2	Mise en œuvre de la couche filtrante.....	24
7.2.3	Mise en œuvre du substrat.....	24
7.2.4	Mise en œuvre de la végétation.....	24
8.	OUVRAGES PARTICULIERS.....	26
8.1	Dispositions à respecter sur l'implantation des émergences.....	26
8.2	Zone dite stérile.....	26
8.2.1	Généralités.....	26
8.2.2	Présence de la zone stérile (toutes pentes).....	27
8.2.3	Spécificités des toitures (3 % ≤ pente ≤ 20 %).....	27
8.2.4	Récapitulatif relatif à la présence de la zone stérile.....	28
8.3	Relevés d'étanchéité.....	29
8.3.1	Reliefs.....	29
8.3.2	Relevés d'étanchéité.....	29
8.4	Dispositif de séparation.....	30
8.5	Dispositifs de retenue.....	31
8.6	Ouvrages annexes isolés.....	32
8.6.1	Evacuations pluviales.....	32
8.6.2	Autres ouvrages annexes isolés (ventilation, crosses de passage de câbles).....	33
8.7	Joint de dilatation.....	33
8.8	Chemin de circulation.....	34
8.9	Cas des terrasses et toitures partiellement végétalisées.....	35
9.	ORGANISATION DE CHANTIER ET RÉALISATION DES TRAVAUX.....	35
10.	PRÉVENTION ET SÉCURITÉ.....	36
10.1	Généralités.....	36
10.2	Moyens de protection à mettre en œuvre en phase chantier.....	37
10.3	Moyens de protection pour l'entretien du système de végétalisation.....	37
11.	ARROSAGE.....	37
11.1	Arrosage à l'installation de la végétalisation.....	37
11.2	Arrosage pour couvrir les besoins des végétaux en phase d'entretien.....	37
12.	ENTRETIEN.....	38
12.1	Entretien de l'étanchéité.....	38
12.2	Entretien du système de végétalisation.....	38

12.2.1	Cas de la végétalisation extensive	39
12.2.2	Cas de la végétalisation semi-intensive	40
12.3	Entretien du système d'arrosage	41
ANNEXE A		
	OBLIGATION D'ASSURANCE	42
ANNEXE B		
	AIDE À LA CONCEPTION POUR LA RÉALISATION DE LA VÉGÉTALISATION ET SON ENTRETIEN	43
ANNEXE C		
	LES TOITURES VÉGÉTALISÉES, OUTIL DE GESTION DES EAUX PLUVIALES	45
ANNEXE D		
	Liste des végétaux couramment utilisés en végétalisation extensive et semi-intensive des toitures avec retours d'expérience positifs.....	48
ANNEXE E		
	Liste de plantes interdites en toitures végétalisées.....	52
ANNEXE F		
	LES BESOINS EN ARROSAGE DES TERRASSES ET TOITURES VÉGÉTALISÉES.....	53
ANNEXE G1		
	PROCOLES DE MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE, DE LA CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU ET DE LA PERMÉABILITÉ POUR LES SUBSTRATS ET LES MATÉRIAUX GRANULAIRES	58
ANNEXE G2		
	MASSE À SEC ET À CME DES GÉOTEXTILES UTILISÉS EN COUCHE FILTRANTE ET MOUSSES SYNTHÉTIQUES UTILISÉES EN DRAIN OU EN RÉSERVE D'EAU.....	65
ANNEXE G3		
	MASSE À SEC ET À CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU (CME) DE PRODUITS SYNTHÉTIQUES MOULÉS, THERMOFORMÉS OU CALANDRÉS UTILISÉS EN DRAIN OU EN RÉSERVE D'EAU	67
ANNEXE G4		
	MASSE À SEC ET À CME ET CAPACITÉ DE RÉTENTION EN EAU DES SYSTÈMES « TOUT-EN-UN » PRÉCULTIVÉS, UTILISÉS EN TOITURES TERRASSES VÉGÉTALISÉES.....	70
ANNEXE G5		
	MASSE À CME ET CAPACITÉ DE RÉTENTION EN EAU DES TAPIS PRÉCULTIVÉS UTILISÉS EN TOITURES TERRASSES VÉGÉTALISÉES	72
ANNEXE H		
	COURBES GRANULOMÉTRIQUES INDICATIVES DES SUBSTRATS.....	74
ANNEXE I		
	PRESCRIPTIONS TECHNIQUES-TYPES DU CONTRAT D'ENTRETIEN DES TERRASSES ET TOITURES VÉGÉTALISÉES.....	75
ANNEXE J		
	INFORMATIONS À FOURNIR PAR L'ENTREPRISE POUR TOUT PROJET DE VÉGÉTALISATION, EN PHASE EXÉCUTION.....	77
ANNEXE K		
	TENEUR DE L'ÉTUDE PARTICULIÈRE À EFFECTUER DANS LE CAS DE VÉGÉTALISATION AVEC ÉLÉMENT PORTEUR EXISTANT EN TÔLES D'ACIER NERVURÉES (TAN)	78
ANNEXE L		
	CONSTITUTION D'UN DOCUMENT TECHNIQUE DE RÉFÉRENCE D'UN SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION.....	79
	LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	80

1. PRÉAMBULE

La réalisation de toitures végétales nécessite une conception technique qui doit répondre aux prescriptions formulées dans le présent document. Elle requiert de bien anticiper l'insertion de l'ouvrage dans son environnement au sens large, conformément à la réglementation et aux attentes des maîtres d'ouvrage, des usagers et des gestionnaires.

Lorsque le caractère paysager de la végétalisation est particulièrement important (forte visibilité, environnement particulier, etc.), l'intervention, le plus en amont possible dans la conception du projet, d'un paysagiste-concepteur est vivement recommandée.

L'intégration de toiture-terrasse végétalisée dans un ouvrage de bâtiment, et donc d'organismes vivants, a des conséquences directes dans la planification du chantier, ceci résultant des éléments suivants :

- certaines périodes de l'année sont inappropriées à la mise en œuvre de la couche végétale (gel, fortes chaleurs) ;
- des points d'eau en fonctionnement sont nécessaires pour assurer la mise en place et la pérennité de la végétalisation ;
- les zones ainsi traitées sont réputées inaccessibles et leur accès limité à l'entretien. L'entrepreneur peut être conduit à demander de différer la mise en œuvre du système de végétalisation ou de la couche végétale pour en éviter le piétinement par d'autres corps d'état.

S'agissant d'ouvrages destinés à être entretenus par la suite, la problématique des protections collectives définitives vis-à-vis des chutes de hauteur doit être prise en compte en amont (voir chapitre 10).

Bien que les toitures-terrasses végétalisées contribuent à la gestion des eaux pluviales, elles ne constituent pas des « toitures-terrasses à rétention temporaire d'eaux pluviales » au sens du NF DTU 43.1. Par ailleurs, sans dispositions constructives spécifiques, la rétention temporaire d'eaux pluviales en toiture est préjudiciable à la pérennité de la végétalisation.

2. OBJET

Les présentes règles professionnelles concernent les travaux relatifs à la mise en œuvre, en France européenne, d'un procédé d'étanchéité avec végétalisation légère, ensemble comprenant :

- un complexe d'étanchéité qui comporte un revêtement d'étanchéité résistant à la pénétration des racines placé sur ou sous un isolant thermique éventuel ;
- un système de végétalisation composé de végétaux adaptés et de l'ensemble des matériaux qui permettent le développement pérenne de la couche végétale qui assure la protection du revêtement d'étanchéité et a les fonctions complémentaires suivantes :
 - une fonction environnementale (amélioration de la qualité de l'air en ville, climat de ville / limitation du réchauffement climatique, amélioration de la biodiversité) ;
 - une fonction de régulation des eaux pluviales urbaines (voir annexe C) ;
 - une fonction de confort (thermique, acoustique, esthétique).

Cet ensemble fait partie des travaux à réaliser sous la responsabilité de l'entreprise d'étanchéité, avec la possibilité de co-traitance ou sous-traitance avec une entreprise du paysage.

Comportant de larges références aux normes NF-DTU et Avis Techniques (et Documents Techniques d'Application), ce document constitue donc un complément dans la mesure où les cas de figure qu'il évoque ne sont pas traités par ces textes. S'inspirant des dispositions constructives des documents précités, il a pour objet de caractériser les règles de conception et de réalisation des toitures et terrasses végétalisées à destination des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, constructeurs et entrepreneurs.

Ce document constitue une mise à jour de la précédente édition n°2 datée de novembre 2007.

3. DOMAINE D'APPLICATION

Les présentes règles s'appliquent aux terrasses et zones dites inaccessibles, c'est-à-dire qui reçoivent une circulation réduite à l'entretien normal des ouvrages d'étanchéité, de végétalisation et d'appareils ou installations nécessitant des interventions peu fréquentes.

Dans le cas de zones végétalisées, associées à des zones techniques ou accessibles sur un même ouvrage, les toitures deviennent des toitures-terrasses multi-usages, les zones végétalisées demeurant strictement inaccessibles.

Ces règles concernent les procédés d'étanchéité avec végétalisation extensive et semi-intensive pour différents éléments porteurs : béton, béton cellulaire, tôles d'acier nervurées (TAN) et bois ou panneaux à base de bois.

Ces règles s'appliquent aux terrasses et toitures, en France européenne en climat de plaine, de pente inférieure ou égale à :

- 5 % en cas de végétalisation semi-intensive ;
- 20 % en cas de végétalisation extensive, avec les limitations suivantes :
 - pente > 5 % et ≤ 10 % : longueur de rampant ou longueur entre deux dispositifs de retenue ≤ 20 m ;
 - pente > 10 % et ≤ 20 % : longueur de rampant ou longueur entre deux dispositifs de retenue ≤ 10 m.

Ce document ne traite pas :

- des systèmes de végétalisation qui seraient mis en œuvre sur d'autres ouvrages que ceux d'étanchéité décrits ci-après ;
- des systèmes de végétalisation destinés à la réalisation de zones de cultures en toiture, généralement désignées par « agriculture urbaine sur toiture », qui impliquent une circulation spécifique et régulière liée à l'activité agricole, en complément de la circulation liée à l'entretien normal des ouvrages d'étanchéité. Ces toitures sont hors référentiel à la date de publication des présentes règles et sont réputées accessibles.
- des toitures-terrasses jardins (concept de végétalisation intensive), dont les dispositions propres, caractérisées par des épaisseurs de mélange de plantation (terre et substrats) plus importantes et des charges plus élevées que les toitures végétalisées, sont indiquées dans le NF DTU 43.1 et dans le NF DTU 43.11 pour le climat de montagne. Les toitures-terrasses jardins sont réputées accessibles.

Elles concernent les travaux neufs et les travaux de réfection de l'étanchéité après études notamment celle de stabilité de l'élément porteur existant, comme spécifié dans le NF DTU 43.5.

La mise en œuvre en climat de montagne n'est pas visée par les présentes règles.

En tout état de cause, la dépression maximale admissible au niveau du système de végétalisation extensive en œuvre ne peut pas dépasser, en fonction de sa masse surfacique à sec, celle indiquée dans le tableau 1.

Tableau 1 – Dépression maximale admissible sur chantier au vent extrême au sens des règles NV 65 modifiées

Hors cas des systèmes « tout-en-un »	
Masse surfacique à sec du système de végétalisation (kg/m ²)	Dépression admissible au vent extrême au sens des NV65 modifiées (Pa)
≥ 64	3927
≥ 60	3682
≥ 55	3375
≥ 50	3068
≥ 45	2761
≥ 40	2464

Systèmes « tout-en-un »	
Masse surfacique à sec du bac précultivé (kg/m ²)	Dépression admissible au vent extrême au sens des NV65 modifiées (Pa)
≥ 55	3927
≥ 50	3682
≥ 45	3375
≥ 40	3068
≥ 35	2761

Note : il est rappelé comme le mentionne le paragraphe 2 des présentes règles professionnelles que celles-ci concernent des travaux d'étanchéité et de végétalisation. Le cas de la mise en place d'un système de végétalisation sur une toiture terrasse existante sans réfection complète du complexe d'étanchéité n'est donc pas envisagé dans le présent document.

L'attention est attirée sur le fait que dans ce cas, le revêtement d'étanchéité existant, dans le cas où la destination de la terrasse n'était pas "jardin", au sens du NF DTU 43.1, présente une très forte probabilité de ne pas être résistant à la pénétration des racines.

4. TEXTES DE RÉFÉRENCE ET DOCUMENTS TECHNIQUES DE RÉFÉRENCE

En sus des prescriptions techniques figurant dans les chapitres suivants, les présentes règles maintiennent toutes les prescriptions figurant dans les documents de référence.

Les documents de référence sont :

- les normes-DTU de la série 43 : NF DTU 43.1 (référence NF P 84-204) pour les éléments porteurs en maçonnerie, NF DTU 43.3 (référence NF P 84-206) pour les éléments porteurs en tôles d'acier nervurées, NF DTU 43.4 (référence NF P 84-207) pour les éléments porteurs en bois et panneaux à base de bois et NF DTU 43.5 (référence NF P 84-208) pour les travaux de réfection ;
- le cahier du CSTB n° 3537-V2 « Panneaux isolants non porteurs supports d'étanchéité mis en œuvre sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées dont l'ouverture haute de nervure est supérieure à 70 mm » ;
- le Cahier de prescriptions techniques (CPT) « étanchéité de toiture par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatible avec le bitume faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application » (cahier du CSTB n° 3502 d'avril 2004) ;
- les règles relatives à la sécurité des personnes : manuel CSFE (prévention des risques professionnels sur les chantiers) et décret 2004-924 (travaux en hauteur) ;
- la norme NF U44-551 : Support de culture : dénomination, spécification, marquage. Cette norme est d'application obligatoire.

Chaque procédé d'étanchéité doit faire l'objet d'un Document Technique d'Application.

Chaque système de végétalisation pour toitures-terrasses doit faire l'objet d'un document technique de référence établi par le tenant du procédé. Ce document doit caractériser et spécifier le procédé en conformité avec les présentes Règles Professionnelles et faire l'objet d'une évaluation spécifique favorable.

Note : les Avis Technique ou Documents Techniques d'Application répondent à cette exigence.

Les documents techniques de référence devront fixer les limites d'utilisation du procédé d'étanchéité et du système de végétalisation en fonction de l'exposition au vent (zone et site de vent, hauteur du bâtiment, traitement des rives et angles de la toiture, etc.) en respectant la limitation générale indiquée au chapitre 3.

Le document technique de référence du système de végétalisation doit préciser au minimum les informations justifiées (valeurs moyennes avec tolérances) reprises en annexe L.

Dans le cas d'un procédé complet, le procédé d'étanchéité et le système de végétalisation font l'objet d'un seul et même document technique de référence.

5. VOCABULAIRE - TERMINOLOGIE

La terminologie du vocabulaire technique utilisé dans le présent document, lorsqu'elle n'est pas reprise ci-après, est identique à celle définie dans les DTU de la série 43.

5.1 TOITURES

5.1.1 TOITURES INACCESSIBLES

Toitures qui ne reçoivent qu'une circulation réduite à l'entretien normal des ouvrages d'étanchéité et, dans le cas d'élément porteur en maçonnerie, d'appareils ou installations nécessitant des opérations peu fréquentes tels que lanterneaux, exutoires de fumées, dispositifs de VMC, antennes, enseignes. Ces toitures peuvent comporter des chemins de circulation ou des aires de circulation dans le cas d'élément porteur en maçonnerie.

5.1.2 TOITURES MULTI-USAGES

Toitures-terrasses qui comportent des zones aménagées différemment (inaccessibles, techniques, végétalisées, accessibles) avec un revêtement d'étanchéité continu dans les conditions du paragraphe 8.9. Pour rappel, les zones végétalisées au sens du présent texte sont considérées comme inaccessibles.

5.1.3 TOITURES DESTINÉES À LA RETENUE TEMPORAIRE DES EAUX PLUVIALES AVEC ÉVACUATION D'EAU À DEUX NIVEAUX

Toitures-terrasses avec une évacuation d'eau à deux niveaux (évacuation d'eau permanente à section réduite au niveau du revêtement d'étanchéité et évacuation déversoir surélevée). Défini dans le NF DTU 43.1 avec une protection gravillons, ce concept n'est pas visé dans le cas de ces règles (voir chapitre 1).

5.1.4 CLIMAT DE MONTAGNE

Les présentes règles ne visent pas la mise en œuvre en climat de montagne défini conventionnellement par une implantation du bâtiment à une altitude supérieure à 900 m.

5.2 TYPES DE VÉGÉTALISATION

5.2.1 TOITURE-TERRASSE JARDIN (VÉGÉTALISATION INTENSIVE)

C'est la forme classique des toitures (dites) vertes¹. Décrite dans les NF DTU 43.1 et 43.11, ses caractéristiques sont les suivantes : fortes épaisseurs de substrat ou terre végétale (> 30 cm), fortes charges, entretien comparable à celui d'un espace vert ou d'un jardin classique. La végétation, souvent de type horticole, peut être très diversifiée et de grande hauteur (arbres). Le complexe de culture est généralement composé de terre végétale², associé à une couche drainante et filtrante.

Elles peuvent être accessibles aux piétons.

¹ Elle peut être soit une toiture-terrasse jardin, soit une terrasse ou toiture végétalisée (voir ces notions ci-après)

² Support de plantation constitué de terre végétale amendée de matières organiques et/ou de produits minéraux au sens de la norme NF U44-551

5.2.2 TERRASSES ET TOITURES VÉGÉTALISÉES

Il s'agit de terrasses (pente < 3 % au sens du présent texte) ou toitures (≥ 3 % au sens du présent texte) recevant un système de végétalisation légère semi-intensive ou extensive.

Les charges permanentes rapportées restent limitées. Ces terrasses et toitures sont inaccessibles (voir paragraphe 5.1.1).

Les spécificités des systèmes de végétalisation des terrasses et toitures sont les suivantes :

VÉGÉTALISATION EXTENSIVE

- Système de végétalisation léger comprenant un complexe de culture de faible épaisseur (de 4 à 12 cm) ;
- Entretien après installation de la végétation très faible à faible (voir chapitre 12) ;
- L'apport d'eau par les précipitations naturelles est en général suffisant. Il peut être complété par un arrosage d'appoint en fonction des contraintes climatiques et de la période (parachèvement, confortement, entretien courant). Voir chapitres 11 et 12.

Les systèmes de végétalisation extensive constituent un tapis végétal permanent qui s'adapte progressivement à son milieu et fonctionne de façon quasi autonome. Ce tapis végétal est obtenu par une association de plantes spécialement adaptées qui se reproduisent *in situ*.

VÉGÉTALISATION SEMI-INTENSIVE

- Système de végétalisation spécifique comprenant un complexe de culture d'épaisseur moyenne (de 12 à 30 cm) ;
- Entretien après installation de la végétation modéré (voir chapitre 12) ;
- Arrosage régulier généralement nécessaire.

Les systèmes de végétalisation semi-intensive permettent une large utilisation de la palette végétale procurant floraisons, volumes, couleurs, odeurs et sont assujettis à un entretien régulier.

Les présentes règles ne visent que le cas des pentes maximales de 5 %.

Une toiture végétalisée peut combiner des zones de végétalisation extensive et semi-intensive.

Ces types de végétalisation peuvent évoluer. Ils constituent un écosystème.

Un écosystème est un ensemble dynamique d'organismes vivants (plantes, animaux et micro-organismes) qui interagissent entre eux et avec le milieu (sol, climat, eau, air, lumière, interventions humaines, etc.) dans lequel ils vivent. Les végétalisations extensives de toiture se conçoivent comme pouvant évoluer vers une situation d'équilibre. Dans ce contexte, certaines espèces peuvent progressivement disparaître au profit d'une flore spontanée. Cette évolution phyto-sociologique doit inspirer une vision dynamique de la végétation de la toiture et être plutôt considérée comme un atout (enrichissement de la biodiversité) plutôt que comme un inconvénient.

Note : l'entretien obligatoire (voir chapitre 12) a notamment pour objectif de supprimer les plantes interdites qui se seraient développées de manière spontanée (voir annexe E) ou à trop fort développement dont les charges seraient supérieures aux hypothèses retenues ou dont l'absence de stabilité pourrait nuire à celle du bâti.

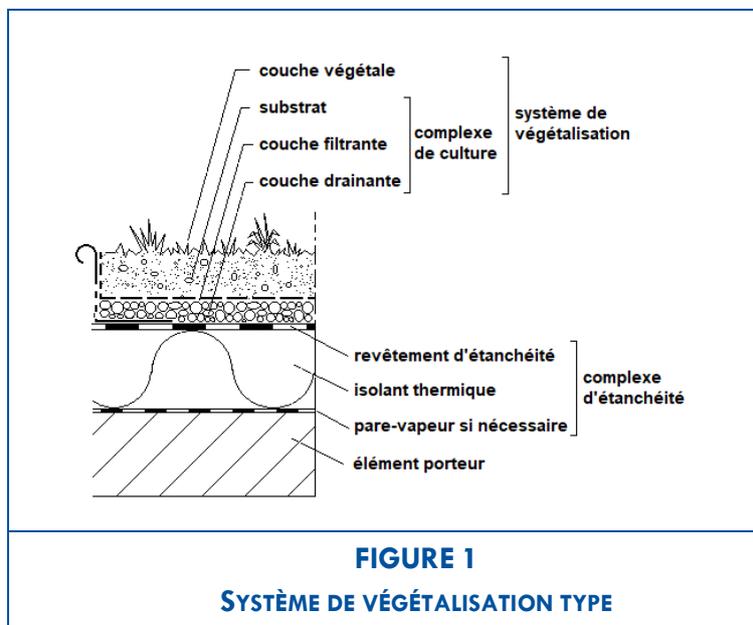
Tableau 2 – Grandes caractéristiques des différentes toitures végétalisées

	TOITURES-TERRASSES			
	VEGETALISEES		« AGRICULTURE ^a URBAINE »	JARDINS ^a
Végétation	Extensive	Semi-intensive	De semi-intensive à intensive	Intensive
Destination des toitures (ou zones)	Toitures inaccessibles		Toitures accessibles	Toitures accessibles
Circulation	Strictement réduite à l'entretien normal des ouvrages d'étanchéité et de végétalisation		Régulière, liée à l'exploitation	Piétonne
Élément porteur	Béton, béton cellulaire, tôles d'acier nervurées, bois ou panneaux à base de bois		Béton	Béton
Nature du support de culture	Substrat léger	Substrat léger	Terre ou substrat léger	Terre ou substrat léger
Épaisseur du complexe de culture	4 à 12 cm	12 à 30 cm ^b	Hors référentiel à la date de publication des présentes règles professionnelles	> 30 cm
Ordre de grandeur de la charge totale (daN/m ²) ^{c e}	80 à 180	150 à 350		> 600
Documents de référence	Le présent document			NF-DTU 43.1 / 43.11
Arrosage	Voir annexe F			Voir DTU 43.1
Pente maximale	20 % ^d	5 % ^d		5 %

^a Cette application ne fait pas l'objet des présentes règles.
^b Des épaisseurs plus importantes peuvent être ponctuellement requises pour des plantations ligneuses à grand développement.
^c Charge totale du système de végétalisation à capacité maximale en eau. La charge à l'état sec, si elle est trop faible, peut dans certains cas, constituer une limite d'utilisation du procédé en fonction des effets du vent. Cette charge à l'état sec est indiquée dans le document technique de référence du procédé.
^d Admises par les présentes règles professionnelles.
^e Les ordres de grandeur annoncés ne permettent pas de calculer le dimensionnement des ouvrages

5.3 SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION

Il s'agit d'un ensemble composé d'une couche végétale et d'un complexe de culture qui permet le développement pérenne des végétaux.



5.3.1 LE COMPLEXE DE CULTURE

Ensemble des couches explorées par les racines, c'est-à-dire le substrat, la couche filtrante et la couche drainante.

5.3.1.1 COUCHE DRAINANTE

La couche drainante assure l'évacuation de l'eau en excès, évitant ainsi l'asphyxie des racines.

5.3.1.2 COUCHE FILTRANTE

Elle a pour fonction de retenir les particules du substrat pour éviter le lessivage et le colmatage de la couche drainante mais n'est pas destinée à empêcher le passage des racines dans la couche drainante.

5.3.1.3 SUBSTRAT

Support de culture, léger à dominante minérale, permettant l'ancrage de la couche végétale et son alimentation hydrique et minérale. Il se substitue à la terre végétale des terrasses jardins.

Il peut contenir de la matière organique, composé hydrocarboné constitué d'organismes vivants, de résidus végétaux et de produits en décomposition.

Note : sous l'action de l'oxydation naturelle et des micro-organismes, la matière organique se transforme en éléments minéraux assimilables par les plantes.

5.3.2 LA COUCHE VÉGÉTALE

Ensemble des végétaux adaptés au complexe de culture, aux conditions climatiques et à leur environnement en toiture. Sans entrer dans une approche botanique complète, se trouvent ci-dessous quelques éléments de vocabulaire particulièrement utilisés en toitures végétalisées.

- Vivaces succulentes : représentées majoritairement par les *Sedum* (ou orpins), plantes de la famille des Crassulacées, capables d'accumuler des réserves en eau sous forme de sucs mucilagineux. Leurs fleurs sont en forme d'étoiles à cinq branches.
- Vivaces herbacées : plantes dont la durée de vie est supérieure à deux ans. Leur organe de réserve peut être par exemple un bulbe, un tubercule, un rhizome, un bourgeon caché sous le sol.
- Graminées : catégories de plantes monocotylédones, à feuilles engainantes, simples, généralement longues et étroites, à fleurs disposées en épis ou en panicules à l'extrémité d'une tige le plus souvent creuse. Les Graminées forment une famille dont les herbes des prairies et gazons et les Graminées dites ornementales qui sont presque toutes vivaces.
- Vivaces ligneuses : petites plantes de 15 à 50 cm qui, en poussant, produisent du bois.

- Flore spontanée : c'est la végétation qui s'implante et croît dans un lieu réunissant les conditions propices à son développement. Elle se rencontre dans les milieux à caractère « naturel » mais aussi dans les rebords des routes, les friches et des espaces délaissés.
- Plantes indigènes : flore qui pousse spontanément à proximité du lieu où on se trouve.
- Adventices : ce sont des espèces végétales indésirables à l'endroit où elles se trouvent. Elles sont accidentellement introduites ou poussent spontanément et s'installent, le plus souvent, au détriment de la végétation en place. Elles sont communément appelées « mauvaises herbes ».
- Rhizome : c'est la partie souterraine de la tige de certaines plantes vivaces.
- Palette végétale : c'est une association harmonieuse de plantes sélectionnées sur la base de critères esthétiques, écologiques et agronomiques et adaptées aux conditions du milieu où elles évoluent.

Certaines plantes ne peuvent pas être utilisées sur les toitures terrasses végétalisées. Voir annexe E.

5.4 MODE DE VÉGÉTALISATION

5.4.1 SEMIS

Semis de graines/semences : action consistant à déposer des graines ou des semences sur un substrat préparé à cet effet. Le semis relève de la multiplication sexuée des végétaux. Le semis peut se faire soit manuellement, soit par projection (ensemencement hydraulique).

Semis de fragments (boutures) : action consistant à déposer des fractions végétales susceptibles de s'enraciner sur un substrat préparé à cet effet. Le semis peut se faire soit manuellement, soit par projection (ensemencement hydraulique).

5.4.2 PLANTATIONS

Micromottes/minimottes : jeunes plants cultivés en plaques de culture alvéolées (diamètre 15/40 mm; hauteur 30/50 mm).

Godets : jeunes plants cultivés en contenants appropriés (diamètre 40/80 mm, hauteur 40/90 mm).

Conteneurs : plants cultivés en pots de volume d'un litre et plus.

5.4.3 SOLUTIONS PRÉCULTIVÉES

Elles sont composées d'éléments cultivés en pépinières destinés à être installés sur un ouvrage en vue d'obtenir une couverture végétale immédiate :

- *Éléments précultivés à installer sur le substrat ou sur la couche drainante (tapis, rouleaux, plaques/dalles, etc.)*. Ces systèmes renferment deux couches (couche végétale + substrat) et viennent se positionner sur un substrat lui-même posé sur les couches drainante et filtrante ou directement sur elles pour former un système végétalisé complet.
- *Systèmes « tout-en-un » à installer directement sur le revêtement d'étanchéité (bacs, caissettes,....)*. Il s'agit de solutions de végétalisation complètes, précultivées en pépinière, qui rassemblent, dans un même module, l'ensemble des composants d'un système de végétalisation multicouches, c'est-à-dire une couche végétale sur un complexe de culture : couche drainante, couche filtrante et substrat. Ils constituent des solutions extensives ou semi-intensives complètes de végétalisation permettant l'obtention d'une couverture végétale dès l'installation.

5.4.4 INSTALLATION DE LA VÉGÉTATION

5.4.4.1 TAUX DE COUVERTURE

Surface foliaire projetée au sol mesurée en période de végétation (mai à novembre hors période de sécheresse).

5.4.4.2 REPRISE DE LA VÉGÉTATION

Suite à leur installation, enracinement et signes visibles de développement des plantes.

5.5 PROPRIÉTÉS DU SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION

5.5.1 CME (CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU)

Quantité d'eau (volume/m² de toiture) retenue par les matériaux constitutifs du complexe de culture après saturation en eau pendant 24 heures puis ressuyage pendant deux heures selon les protocoles en annexes G.

5.5.2 POIDS À CME

Selon les protocoles en annexes G, il est déterminé par la somme des poids à CME de chaque élément du complexe de culture, à laquelle est ajouté un poids forfaitaire pour la couche végétale (voir paragraphe 6.2.5).

Il est pris en compte dans le calcul de l'évaluation de la charge permanente.

5.5.3 POIDS À SEC

Le poids à sec est exprimé en grammes. Il est obtenu après séchage de l'échantillon selon les protocoles en annexes G. Il est pris en compte dans le choix du système de végétalisation vis-à-vis des sollicitations de vent.

5.5.4 PERMÉABILITÉ

Vitesse d'infiltration de l'eau au travers d'un complexe de culture après mise à saturation. Elle est exprimée en cm/s ou mm/min.

5.6 OUVRAGES ANNEXES

Les ouvrages annexes dans le présent document, lorsqu'ils ne sont pas repris ci-après, sont identiques à ceux définis dans les DTU de la série 43.

5.6.1 CHEMIN OU AIRE DE CIRCULATION

Aménagement circulaire pour accéder à des équipements techniques. Une largeur de 0,80 m est généralement admise pour constituer un chemin de circulation. Les chemins ou aires de circulation ne sont pas réalisés directement sur la couche végétale.

5.6.2 DISPOSITIF DE SÉPARATION

Élément de séparation vertical qui sert à retenir tout ou partie du complexe de culture tout en laissant passer l'eau (exemples : pare-gravier, bordure en béton, en brique, en bois, galets, etc.).

5.6.3 DISPOSITIF DE RETENUE

Dispositif qui, dans le cas de pentes supérieures à 5 %, joue le rôle de butée en bas de pente, de retenue du système de végétalisation et éventuellement de séparation, en permettant l'écoulement de l'eau.

5.6.4 ZONE STÉRILE

La zone stérile est un espace aménagé sur la toiture, dont le but est de :

- faciliter l'accès aux relevés d'étanchéité et aux évacuations d'eaux pluviales, pour l'entretien ;
- permettre une hauteur des relevés conforme aux normes DTU les concernant, quelle que soit l'épaisseur du complexe de végétalisation en partie courante ;
- se prémunir d'une détérioration des relevés d'étanchéité, lors des opérations d'entretien, en l'absence de protection dure.

Suivant les cas, elle est obligatoire ou facultative (voir paragraphe 8.2). Elle n'est considérée ni comme une zone accessible, ni comme un chemin de circulation pour assurer l'entretien d'éventuels équipements.

5.7 ETAPES POST-MISE EN OEUVRE

5.7.1 PÉRIODE DE PARACHÈVEMENT

Période comprise entre la mise en place de la végétation (semis, plantation, éléments précultivés) et la réception de l'ouvrage (voir chapitre 12).

5.7.2 RÉCEPTION

Acte par lequel le maître de l'ouvrage déclare accepter l'ouvrage avec ou sans réserve.

5.7.3 CONFORTEMENT

Période comprise entre la date de réception de l'ouvrage et le démarrage de l'entretien courant, lequel commence dès obtention d'un taux de couverture ≥ 80 %. Cette durée varie d'un à trois ans en fonction notamment du mode d'installation (semis, plantation, éléments précultivés).

Voir chapitre 12.

5.7.4 PÉRIODE D'ENTRETIEN COURANT

Période suivant celle de confortement (voir chapitre 12).

6. CONCEPTION / PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

6.1 CONSTITUTION DE L'ÉLÉMENT PORTEUR ET DU COMPLEXE D'ÉTANCHÉITÉ

6.1.1 ÉLÉMENT PORTEUR ET CHARGES A PRENDRE EN COMPTE

6.1.1.1 CHARGES A PRENDRE EN COMPTE

Quel que soit l'élément porteur, en béton, en béton cellulaire, en tôles d'acier nervurées, en bois et panneaux à base de bois, les charges de calcul spécifiques à prendre en compte sont les suivantes :

- les charges permanentes qui correspondent à la somme :
 - o du poids propre du complexe d'isolation-étanchéité (pare-vapeur, isolant, revêtement d'étanchéité) ;
 - o du poids propre du système de végétalisation à capacité maximale en eau (couche drainante, couche filtrante, substrat, végétaux suivant paragraphes 6.2.5.1 et 6.2.5.2). Il est indiqué par le tenant du système de végétalisation sur la base d'essais réalisés par un laboratoire indépendant (annexes G).

Note : dans le cas où le couvert végétal n'est pas uniforme, la valeur maximale sera prise en considération sur toute la zone végétalisée pour le calcul sous charges descendantes et sans complexe de végétalisation pour le calcul sous charges ascendantes.

- o une charge de sécurité fixée forfaitairement à 15 daN/m². Une charge complémentaire forfaitaire de 85 daN/m² (soit 100 daN/m² au total) sera ajoutée pour le dimensionnement des seuls éléments à base de bois supports d'étanchéité pour tenir compte de leur fluage naturel, lorsque la pente est inférieure à 7 % sur plan.

Note : cette charge de 85 daN/m² n'est donc pas à prendre en compte pour le calcul des éléments structuraux tels que poutres, solives, etc.

Elle n'est pas non plus à prendre en compte dans le cas de panneaux faisant l'objet d'Avis Technique dimensionnés suivant l'Eurocode 5, le fluage ayant déjà été pris en compte.

- les charges d'exploitation à prendre en compte, à défaut de dispositions plus contraignantes dans les documents particuliers du marché, sont de 100 daN/m² pour les zones végétalisées.

Les charges descendantes et ascendantes de calcul sont définies :

- lorsque les éléments porteurs se vérifient aux « états limites », en combinant et pondérant les charges permanentes, climatiques, d'exploitation, d'entretien, etc.
- lorsque les éléments porteurs se vérifient aux « contraintes admissibles » et pour les complexes d'étanchéité, en additionnant les charges permanentes, climatiques, d'exploitation, d'entretien, etc.

Pour les tôles d'acier nervurées, les charges permanentes peuvent être beaucoup plus élevées que dans le cas du NF DTU 43.3. De ce fait, il est important que les extrapolations des portées et charges de la fiche technique du profil respectent les spécifications du paragraphe A.3 du NF DTU43.3, P1-2. Dans ces conditions, comme prescrit par le 3^{ème} alinéa du paragraphe A.4 du NF DTU 43-3 P1-2, pour des charges supérieures à 2,4 kN/m², l'extrapolation est admise par « règle de trois » simple sur la portée utile correspondant à 2,4 kN/m² mais avec une vérification particulière des fixations. Cette vérification s'effectue avec l'assistance technique du fabricant du profil et du fabricant de fixations.

Pour les éléments porteurs en bois massif ou en panneaux à base de bois lorsqu'ils ne bénéficient pas d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application qui précise les conditions de vérifications des portées sous charges, on se limitera à des charges permanentes de 200 daN/m².

6.1.1.2 ÉLÉMENTS PORTEURS EN TRAVAUX NEUFS

Les éléments porteurs suivants sont admis avec une pente maximale de 20 % :

- maçonnerie conforme au NF DTU 20.12 ;
- béton cellulaire autoclavé défini par Avis Technique, avec pente minimale de 1 % ;
- en tôles d'acier nervurées conformes à la norme NF P 84-206 (réf. DTU 43.3), sous avis technique ou définies dans le CPT 3537_V2 du CSTB (dites TAN grandes portées) avec pente minimale de 3 %, fixées à l'ossature comme si elles recevaient un revêtement autoprotégé ;
- en bois ou panneaux à base de bois avec pente minimale de 3 % :
 - conformes à la norme NF P 84-207 (réf. DTU 43.4) ;
 - ou panneaux bénéficiant d'un Avis Technique visant favorablement son emploi en élément porteur pour terrasses et toitures végétalisées ;
 - ou panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB), définis dans la norme NF EN 300. Leurs tolérances dimensionnelles sont données dans la norme NF EN 300. Ils doivent satisfaire au minimum aux exigences de la norme NF EN 300, type OSB/3 ou OSB/4 et relever respectivement des marques de qualité CTB-OSB 3 et CTB-OSB 4. A épaisseur égale et à module d'élasticité longitudinal supérieur ou égal, les portées à retenir sont celles prévues pour les panneaux de particules dans le NF DTU 43-4 P1-1. Les panneaux OSB sont posés dans le sens de leur module d'élasticité le plus élevé. L'épaisseur minimale des panneaux OSB est de 15 mm. Leurs longueur et largeur maximales sont respectivement de 2500 mm et de 910 mm.

Tableau 3 – Pentes admissibles par rapport à l'élément porteur et au type de revêtement d'étanchéité

Élément porteur	Climat de plaine		
	Pente 0 %	Pente 1 à 3 %	Pente ≥ 3 à 20 % ^a
Maçonnerie	Oui	Oui	Oui
Dalles en béton cellulaire auto-clavé armé	Non	Oui	Oui
Tôles d'acier nervurées	Non	Non	Oui
Bois et panneaux à base de bois	Non	Non	Oui

^a Non admis pour les revêtements d'étanchéité à base d'asphalte conformes au DTU ; admis jusqu'à 5 % pour certains revêtements à base d'asphalte dans le cadre de leur Document Technique d'Application.

6.1.1.3 ÉLÉMENTS PORTEURS DANS LE CAS D'OUVRAGES EXISTANTS

Généralités

Une étude de stabilité générale est requise comme le précise le NF DTU 43.5 pour les éléments porteurs. Cette étude est à la charge du maître d'ouvrage, l'entreprise d'étanchéité n'étant pas compétente pour la réaliser.

Le cas de la mise en place d'un système de végétalisation sur une toiture existante est possible sous réserve d'une étude spécifique menée par une entreprise qualifiée suivant les dispositions du NF DTU 43.5 en tenant compte du changement éventuel de destination de la toiture en toiture végétalisée.

Le changement de destination en terrasse « accessible » n'est pas visé dans ce document.

Cas spécifique des éléments porteurs souples

Compte tenu des charges permanentes importantes ramenées par le système de végétalisation, et pour tenir compte du changement de destination de toiture-terrasse, les dispositions suivantes devront être respectées pour les toitures dites légères, c'est-à-dire les toitures sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées et en panneaux bois ou à base de bois.

Support en tôles d'acier nervurées

Voir annexe K

Support bois et à base de bois

Compte tenu de la difficulté à caractériser précisément la capacité portante du voligeage bois ou des panneaux à base de bois existants, le remplacement systématique de l'élément porteur bois (au sens du NF DTU 43.4) est à prévoir.

6.1.2 COMPLEXE D'ÉTANCHÉITÉ

6.1.2.1 ISOLATION THERMIQUE

Sur ouvrages neufs

Les panneaux isolants supports d'étanchéité admis sont de classe C (compressibilité selon le Cahier CSTB n°2662_V2) et sont visés, sur l'élément porteur considéré, pour un emploi en support de revêtement de toiture-terrasse jardin, végétalisée ou sous protection lourde par leur Document Technique d'Application.

Sur pente $\leq 5\%$, l'utilisation de panneaux isolants en isolation inversée est également admise selon leur Document Technique d'Application auquel il conviendra de se référer pour la pose du système de végétalisation.

Sur ouvrages existants

Une étude de l'existant doit être effectuée suivant les modalités définies dans le NF DTU 43.5.

A l'issue, si on n'est pas certain d'avoir un isolant de classe C, il y a lieu de refaire un nouveau complexe.

Dans le cas d'une isolation complémentaire, avec application définie par le NF DTU 43.5, les panneaux isolants répondent aux mêmes spécifications qu'en travaux neufs.

6.1.2.2 REVÊTEMENT D'ÉTANCHÉITÉ

Seuls sont admis les revêtements d'étanchéité visés sous-utilisation en terrasse jardin ou toitures végétalisées dans leur Document Technique d'Application. Le revêtement doit être résistant à la pénétration des racines selon NF EN 13948 pour toute la surface de la terrasse (parties courantes, zones stériles, relevés) et présenter un classement I5 (classement FIT, suivant cahier CSTB 2358_V2).

Note : la norme NF EN 13948 relative à la pénétration des racines définit la caractéristique de résistance à la pénétration des racines de la manière suivante : « Une feuille (d'étanchéité) est considérée comme résistante à la pénétration des racines lorsqu'à la fin de la période de l'essai³, on ne constate aucune perforation par les racines ni aucune pénétration des racines dans la surface courante de la feuille ou des joints, ni aucune pénétration de racines dans les joints. Il est entendu que les plantes d'essai aient montré une performance de croissance suffisante pendant toute la durée de l'essai ».

Les revêtements d'étanchéité à base d'asphalte coulé sont réputés résistants à la pénétration des racines.

³ Cet essai a une durée de deux ans

6.2 CONSTITUTION DU SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION

6.2.1 GÉNÉRALITÉS

Les différents constituants du système de végétalisation sont définis dans le document technique de référence du système.

Les modalités d'autocontrôle, notamment des substrats et des matériaux de drainage granulaires, y sont également indiquées. La teneur minimale en est donnée au paragraphe 6.2.7.

La figure 1 présente une coupe-type.

La constitution du complexe dépend de nombreux paramètres : localisation, pente, charges que l'élément porteur peut reprendre, exigences esthétiques, niveau d'entretien accepté par le maître d'ouvrage,... (voir annexe B).

En zones ou situations exposées à des vents forts (zone 3 et plus), des systèmes précultivés sont à privilégier. Les constituants sont mis en œuvre directement sur le revêtement d'étanchéité. Dans le cas d'une toiture inversée, le système de végétalisation est posé sur l'isolation thermique avec éventuellement une couche d'interposition décrite dans le Document Technique d'Application.

6.2.2 COUCHE DRAINANTE

6.2.2.1 OUVRAGES DE PENTE INFÉRIEURE À 3 %

Elle assure l'évacuation de l'eau en excès et évite l'asphyxie des racines. Elle est obligatoire.

Différents types de matériaux peuvent assurer la fonction drainage. A noter que celle-ci peut être associée à une fonction rétention d'eau :

- granulats minéraux poreux : roches volcaniques, argiles ou schistes expansés, concassés ou non ;
- granulats non poreux (graviers roulés uniquement par exemple cf. NF-DTU 43.1) ;
- éléments alvéolaires et poreux : panneaux à base de mousses plastiques ;
- géotextiles et composites spécifiques pour l'utilisation en drainage ;
- éléments drainants à réserve d'eau : ils assurent la récupération des eaux de pluie de manière homogène sous toute la surface de la toiture végétalisée, ainsi que le drainage des eaux excédentaires.

Les caractéristiques de la couche drainante sont indiquées dans une fiche technique rédigée par son fournisseur sur la base d'analyses réalisées conformément aux protocoles en annexes G par un laboratoire indépendant. Elles sont déterminées lors de la constitution du document technique de référence.

Les caractéristiques requises pour les matériaux de drainage en situation dans le complexe de végétalisation sont les suivantes :

- perméabilité verticale $\geq 0,3$ cm/s (180 mm/min) ; cette valeur, pour les couches drainantes non granulaires type géotextile se réfère à la norme NF EN ISO 11058 (VH50). Pour les plaques alvéolaires, celles-ci devront être conformes au NF DTU 43.1. Pour les matériaux granulaires, cette valeur se réfère à l'annexe G1.
- en pente nulle ou inférieure à 2%, une épaisseur minimale permettant d'assurer le drainage (prise en compte de la tolérance de planéité ou d'horizontalité du NF DTU 43.1) de 2 cm en œuvre pour les plaques alvéolaires, les géotextiles et composites spécifiques, ou de 4 cm pour un matériau granulaire (dont la granulométrie sera ≥ 4 mm) ;
- en pente supérieure à 0 %, débit dans le plan (parallèle au plan) supérieur ou égal à 0,1 L/m/s avec gradient d'au moins 0,1 et sous pression de 20 kPa ; elle se réfère à la norme NF EN ISO 12958 portant sur les débits ;
- poids à CME et à sec : ils sont calculés conformément aux protocoles de mesure de la CME, annexes G1 à G3.

Les spécifications concernant ces caractéristiques sont précisées dans le document technique de référence (voir chapitre 4).

6.2.2.2 OUVRAGES DE PENTE ENTRE 3 % ET 20 % INCLUS

Dans le cas des systèmes de végétalisation extensive et dans la mesure où la perméabilité et la rétention d'eau du substrat répondent aux exigences du tableau 5, alors la couche drainante peut être facultative.

Elle est obligatoire dans le cas de végétalisation semi-intensive, quelle que soit la pente.

Les caractéristiques en termes de perméabilité doivent au moins être les mêmes que celles énoncées au paragraphe 6.2.2.1.

6.2.3 COUCHE FILTRANTE

Elle retient le substrat et participe au maintien des propriétés de celui-ci. Elle s'interpose :

- entre le substrat et la couche drainante pour éviter leur mélange et un colmatage éventuel de la couche drainante ;
- entre le substrat et le dispositif de séparation ajouré (voir paragraphe 8.4) pour éviter le passage du substrat au travers des ouvertures, au droit des entrées d'eaux pluviales (EEP), et ceci même en l'absence de couche drainante. En l'absence de couche drainante (voir paragraphe 6.2.2.2), elle reste obligatoire sur au moins 1,50 m au droit des dispositifs de séparation.

Les caractéristiques de la couche filtrante sont définies dans le tableau 4 ci-après.

Tableau 4 - Caractéristiques des couches filtrantes

Caractéristiques	Norme	Seuils
Perméabilité perpendiculaire au plan	EN ISO 11058	$\geq 15 \text{ L/m}^2/\text{s}$
Grammage	EN ISO 9864	$\geq 100 \text{ g/m}^2$ si constituée de non-tissé polypropylène $\geq 170 \text{ g/m}^2$ pour les autres non-tissés synthétiques
Résistance à la traction	EN ISO 10319	$\geq 1 \text{ kN/m}$
Résistance au poinçonnement statique	EN ISO 12236	$\geq 200 \text{ N}$
Ouverture de filtration	EN ISO 12956	$50 \mu\text{m} \leq \text{et} \leq 200 \mu\text{m}$

La couche filtrante ne constitue pas une barrière aux racines.

Les spécifications concernant ces caractéristiques sont précisées dans les documents techniques de référence (voir chapitre 4).

Les caractéristiques de la couche filtrante sont indiquées dans une fiche technique rédigée par son fournisseur sur la base d'analyses réalisées conformément aux protocoles en annexes G par un laboratoire indépendant. Elles sont réalisées lors de la constitution du document technique de référence

6.2.4 SUBSTRAT

Ses caractéristiques agronomiques permettent l'ancrage des racines, l'alimentation hydrique et minérale des plantes pour assurer leur développement.

Le substrat est une couche déterminante pour assurer la rétention en eau du système de végétalisation.

Les caractéristiques du substrat sont analysées par un laboratoire indépendant selon les protocoles de références du tableau 5. Elles doivent être reportées dans le document technique de référence. Les matériaux admis sont des mélanges de matières minérales et organiques (roches volcaniques, tourbes,...). D'autres couches de culture (sur base de matériaux synthétiques ou autres) sont envisageables ; elles ne font pas l'objet du présent document.

Tableau 5 - Caractéristiques du substrat

Caractéristiques		Unité	Protocoles de référence	Substrats extensifs	Substrats semi-intensifs
Physiques	Masse volumique à CME	kg/m ³	Annexes G	≥ 950	≥ 1050
	Masse volumique à sec	kg/m ³	Annexes G	≥ 600	≥ 600
	Perméabilité verticale	cm/s mm/min	Annexes G	≥ 0,01 ≥ 6	≥ 0,005 ≥ 3
	Rétention maximale en eau	% vol	Annexes G	≥ 35	≥ 45
	Porosité à l'air à CME	% vol	Annexes G	≥ 10	≥ 10
	Granulométrie	-	NF EN 933-1	comprise entre 0 et 20 mm selon courbes en annexe H	
	Fines (< 0,063 mm)	% masse sèche (ms)	NF EN 933-1	≤ 15	≤ 20
Chimiques	Conductivité électrique	mS/m	NF EN 13 038	≤ 150	
	pH (eau)	-	NF EN 13 037	5,5 à 9,5	
	Matière organique	% masse sèche (ms)	NF EN 13 039	≤ 10	≤ 15

La pérennité de la stabilité structurale du substrat est assurée par le respect des caractéristiques du tableau ci-avant et des courbes granulométriques indicatives jointes en annexe H.

L'utilisation de la terre végétale ou terre support, telles que définies dans la norme NF U44-551, n'est pas autorisée. Par ailleurs, il est à noter qu'il est interdit de mettre sur le marché un support de culture hors du cadre défini par le Code Rural (articles L.255 et suivants). Les substrats sont mis sur le marché sous la norme d'application obligatoire NF U44-551, et doivent être accompagnés de documents (bon de livraison, étiquette, sac imprimé) qui incluent les informations obligatoires citées au chapitre 6.1 de cette norme. Le mélange doit permettre de satisfaire aux critères définis dans le tableau 5.

6.2.5 COUCHE VÉGÉTALE

Le choix des végétaux et de leurs modes de mise en œuvre doit tenir compte des données climatiques locales, de l'exposition de la toiture et du complexe de culture (voir liste des végétaux en annexe D). En aucun cas, on ne pourra faire appel à des végétaux dont la liste figure à l'annexe E.

Des zones très localisées, subissant des contraintes particulières (absence de pluie, couloir de vent, réflexion solaire intense, zone ombragée en permanence, etc.) sont à considérer comme des zones singulières qui ne rentrent pas dans l'appréciation du taux de couverture global (voir tableau 10). Elles devront être aménagées en zone stérile ou faire l'objet de dispositions particulières (végétaux adaptés, arrosage, etc.)

6.2.5.1 SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION EXTENSIVE

En fonction de l'aspect souhaité et du programme d'entretien et d'arrosage accepté par le maître d'ouvrage, le choix des végétaux et leur mode de mise en œuvre relève de la responsabilité conjointe du maître d'œuvre, de l'entreprise et du tenant du procédé de végétalisation en prenant en compte les besoins des plantes.

Il est rappelé (voir paragraphe 5.2.2) que les systèmes de végétalisation extensive constituent un tapis végétal permanent qui s'adapte progressivement à son milieu et fonctionne de façon quasi autonome. Ce tapis végétal est obtenu par une association de plantes spécialement adaptées qui se reproduisent *in situ*. Dans ce contexte d'adaptation tendant vers un écosystème, il est normal que certaines espèces disparaissent partiellement ou totalement au profit d'autres espèces (sélection naturelle).

Les caractéristiques des végétaux concernant ces systèmes sont les suivantes :

- aptitude à couvrir le sol ;
- résistance au gel ;
- résistance à la sécheresse ;
- capacité d'auto-régénération ou de colonisation.

Moyennant une épaisseur de substrat adaptée et un programme d'entretien accepté par le maître d'ouvrage, les catégories de végétaux à utiliser sont principalement des plantes vivaces (parmi lesquelles les espèces du genre *Sedum* occupent une place importante) et éventuellement des annuelles, des bisannuelles, des bulbeuses et rhizomateuses, des bryophytes (mousses) ou des plantes ligneuses à petit développement.

Le poids propre des végétaux à « CME » utilisés en végétalisation extensive est pris forfaitairement égal à 10 daN/m². Il fait partie du poids du système de végétalisation à CME communiqué par le tenant du procédé.

6.2.5.2 SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION SEMI-INTENSIVE

En fonction de l'aspect souhaité et du programme d'entretien et d'arrosage accepté par le maître d'ouvrage, le choix des végétaux relève de la responsabilité conjointe du maître d'œuvre, de l'entreprise et du tenant du procédé de végétalisation en prenant en compte les besoins des plantes.

Les caractéristiques des végétaux concernant ces systèmes sont les suivantes :

- intérêt ornemental ;
- résistance au gel ;
- résistance à la sécheresse.

Les présentes règles ne visent ces systèmes que pour des pentes maximales de 5 %.

Tableau 6 - Poids propre des végétaux en système de végétalisation semi-intensive

Catégorie de végétaux	Poids propre des végétaux ^a
Plantes arbustives à faible développement ^b	20 daN/m ²
Vivaces et Graminées (gazons et prairie)	10 daN/m ²
^a le poids propre des végétaux fait partie du poids du système de végétalisation	
^b jusqu'à 1,50 m de haut	

6.2.6 LE CAS DES SYSTÈMES « TOUT-EN-UN »

Ces systèmes doivent répondre aux spécifications de l'ensemble des couches telles que définies dans le paragraphe 6.2.

Ils se posent directement sur le revêtement d'étanchéité.

La surface d'appui sur le complexe d'étanchéité est telle que la pression exercée sur ce dernier ne dépasse pas la valeur admise pour le revêtement d'étanchéité et pour l'isolant thermique (se reporter à leurs DTA, avec limitation du tassement à 2 mm dans le cas des isolants).

Les bacs doivent permettre l'évacuation des eaux vers les dispositifs de collecte d'eaux.

6.2.7 AUTOCONTRÔLES

La teneur du plan d'autocontrôle est au minimum celle définie dans les paragraphes suivants.

6.2.7.1 SUBSTRATS

- Traçabilité des lots par numéro de fabrication (« numéro de lot »)
- Vérification des critères spécifiques aux toitures végétalisées (voir tableau 7 ci-dessous)
- Vérification des critères définis dans la NF U44-551 : l'annexe F de ladite norme prévoit les analyses et leur fréquence.

Tableau 7 – Autocontrôle minimal des substrats

Caractéristiques	Fréquence ^a	Unités	Méthode d'essai
Liste de matières premières	A la création de la référence	-	
Masse volumique à sec	Une fois par an	kg/ m ³	Annexe G1
Masse volumique à CME	Une fois par an	kg/m ³	Annexe G1
CME	Une fois par an	% vol.	Annexe G1
Perméabilité verticale	Une fois par an	cm/s ou mm/min	Annexe G1
^a : sur les références commercialisées durant la période			

Les autres critères établis dans le tableau 5 sont à faire vérifier par un laboratoire extérieur à chaque création de nouvelle formulation de substrat et en routine au minimum une fois tous les 4 ans pour les formulations existantes.

6.2.7.2 COUCHES DRAINANTES GRANULAIRES

- Traçabilité des lots par numéro de fabrication (« numéro de lot »).
- Vérification des critères spécifiques aux toitures végétalisées (tableau 8 ci-dessous).

Tableau 8 – Autocontrôle minimal des couches drainantes granulaires

Caractéristiques	Fréquence ^a	Unités	Méthode d'essai
Liste de matières premières	A la création de la référence	-	
Masse volumique à sec	Une fois par an	kg/m ³	Annexe G1
Masse volumique à CME	Une fois par an	kg/m ³	Annexe G1
CME	Une fois par an	% vol.	Annexe G1
Perméabilité verticale	Une fois par an	cm/s ou mm/min	Annexe G1
Masse volumique apparente selon méthode 'volume CEN'	A chaque fabrication	kg/m ³	NF EN 12580
Granulométrie	Une fois par an ou tous les 20 000 m ³	-	NF EN 933-1
^a : sur les références commercialisées durant la période			

6.2.7.3 COUCHES DRAINANTES NON GRANULAIRES

Les autocontrôles sont décrits dans le document technique de référence du système de végétalisation.

6.2.7.4 COUCHES FILTRANTES

Suivant tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9 – Autocontrôle minimal des couches filtrantes

Caractéristiques	Fréquence de contrôle	Unité	Méthode d'essais
Résistance à la traction	au moins une fois par an	kN/m	EN ISO 10319
Résistance au poinçonnement statique (essai CBR)	au moins une fois par an	N	EN ISO 12236
Ouverture de filtration caractéristique	au moins une fois par an	µm	EN ISO 12956
Perméabilité normale au plan	au moins une fois par an	L/m ² /s	EN ISO 11058

7. MISE EN OEUVRE

7.1 MISE EN OEUVRE DU COMPLEXE D'ÉTANCHÉITÉ

Les revêtements d'étanchéité sont posés soit en adhérence totale, soit en semi-indépendance, soit fixés mécaniquement conformément à leur document technique de référence. Ce complexe doit résister aux efforts dus à la dépression du vent spécifique à l'ouvrage objet des travaux, quel que soit le taux de couverture de la végétalisation.

La pose des revêtements d'étanchéité peut se faire en indépendance dans le seul cas des revêtements à base d'asphalte.

7.2 MISE EN ŒUVRE DU SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION

7.2.1 MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE DRAINANTE

Le document technique de référence doit indiquer la nature, l'épaisseur ainsi que les prescriptions de mise en œuvre spécifiques de la couche drainante, tout en respectant les spécifications du paragraphe 6.2.2.

7.2.2 MISE EN ŒUVRE DE LA COUCHE FILTRANTE

Le document technique de référence doit indiquer la présence ou non, la nature, le grammage ainsi que les prescriptions de mise en œuvre spécifiques de la couche filtrante, tout en respectant les spécifications du paragraphe 6.2.3.

7.2.3 MISE EN ŒUVRE DU SUBSTRAT

Le document technique de référence doit indiquer l'épaisseur de substrat à mettre en œuvre et à titre indicatif l'épaisseur de substrat après tassement naturel.

7.2.4 MISE EN ŒUVRE DE LA VÉGÉTATION

Pendant la phase chantier, l'arrosage est obligatoire pour permettre le démarrage de la végétation. Il est à adapter à la technique retenue de mise en œuvre de la végétation, à la saison et aux conditions climatiques. Pour ce qui concerne les apports d'eau ultérieurs, on se reportera au chapitre 11.

Jusqu'à réception du chantier, la reprise de la végétation est assurée par l'installateur du système de végétalisation. Après réception, un contrat d'entretien est obligatoire pour assurer la pérennité du couvert végétal (voir chapitre 12).

7.2.4.1 SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION EXTENSIVE

Différents modes de mise en œuvre sont possibles :

- par semis (manuel, hydraulique) :
 - de graines de plantes vivaces ou de Graminées ;
 - de fragments de *Sedum* (valeurs usuelles 80 à 100 g/m² selon les espèces).
- par plantation de micro-mottes à raison de 15 à 25 unités/m² ou godets (12 à 15 unités/m²) ;
- par pose d'éléments précultivés (plaques, tapis, bacs).

Le recours à un mélange des modes de mise en œuvre est également possible.

En fonction du mode de mise en œuvre retenu et de l'entretien (voir chapitre 12), le taux de couverture à prévoir est variable (voir tableau 10).

Tableau 10 - Taux de couverture en fonction du mode de mise en œuvre

Mode de mise en œuvre	Période de mise en œuvre ^a	Taux initial après mise en œuvre	Taux de couverture à 1 an	Taux de couverture à 3 ans
Éléments précultivés (plaques, tapis, systèmes « tout-en-un »)	Toutes saisons	≥ 70 %	≥ 80 %	≥ 80 %
Plantation de micro-mottes ou godets	Printemps ou automne	≥ 5 %	≥ 60 %	≥ 80 %
Semis de fragments ou de graines	Printemps ou automne	0 %	≥ 40 %	≥ 80 %

^a : sauf périodes de sécheresse ou de gel

7.2.4.2 SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION SEMI-INTENSIVE

Différents modes de mise en œuvre sont possibles :

- le plus généralement par plantation de micro-mottes, godets, conteneurs, mottes. Les densités au m² sont différentes en fonction des espèces retenues.
- par semis (manuel, hydraulique) de graines de plantes vivaces ou de Graminées.

Le choix du conditionnement des plantes et des espèces et variétés dépend en partie de l'épaisseur de substrat.

Le recours à un mélange des modes de mise en œuvre est également possible.

L'évolution du taux de couverture est variable en fonction des espèces plantées, du mode de mise en œuvre et de la densité de plantation.

Dans le cas où le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre souhaite une composition particulière, le maître d'œuvre devra fournir un plan de plantation détaillé. Celui-ci devra préciser les espèces et variétés des végétaux, leur force ou taille, leur densité de semis ou plantation, la délimitation et la composition des différentes zones.

Le maître d'œuvre pourra se faire assister par l'entreprise en charge de la végétalisation, le concepteur du système de végétalisation ou un bureau d'étude spécialisé ; ceux-ci fourniront un plan détaillé.

8. OUVRAGES PARTICULIERS

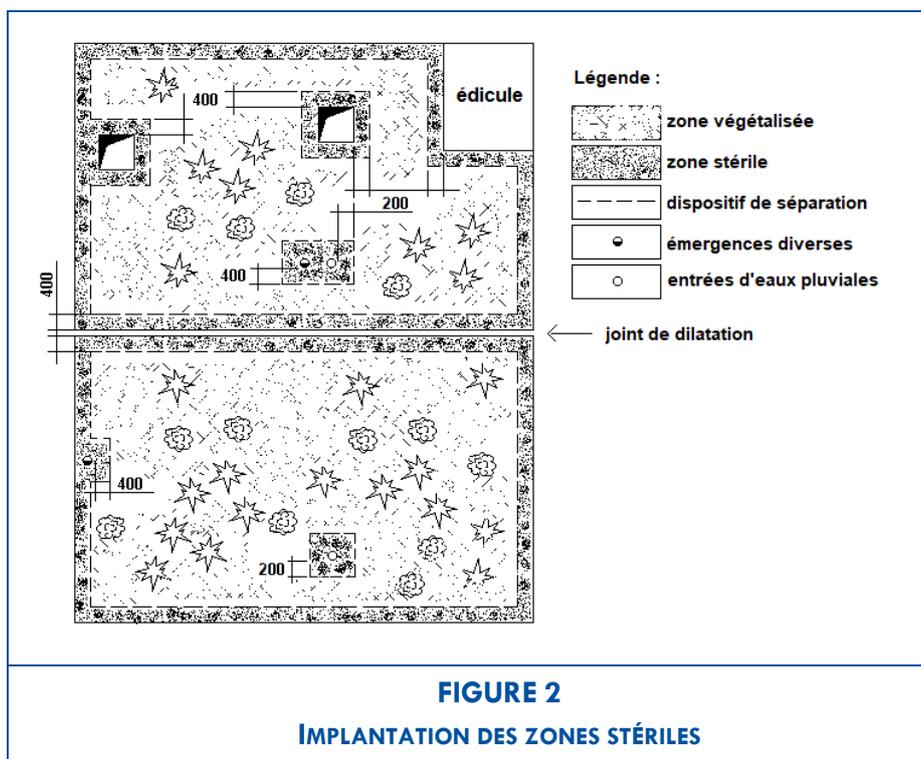
8.1 DISPOSITIONS À **RESPECTER SUR L'IMPLANTATION DES ÉMERGENCES**

Ce sont celles des NF DTU 20.12, 43.1, 43.3, 43.4 selon l'élément porteur ou de son Avis Technique particulier.

8.2 ZONE DITE STÉRILE

8.2.1 GENERALITES

Sa définition est donnée au paragraphe 5.6.3. La figure 2 en donne l'implantation courante.



La largeur de cette zone stérile est au minimum de 400 mm à partir des bords extérieurs des émergences et en périphérie.

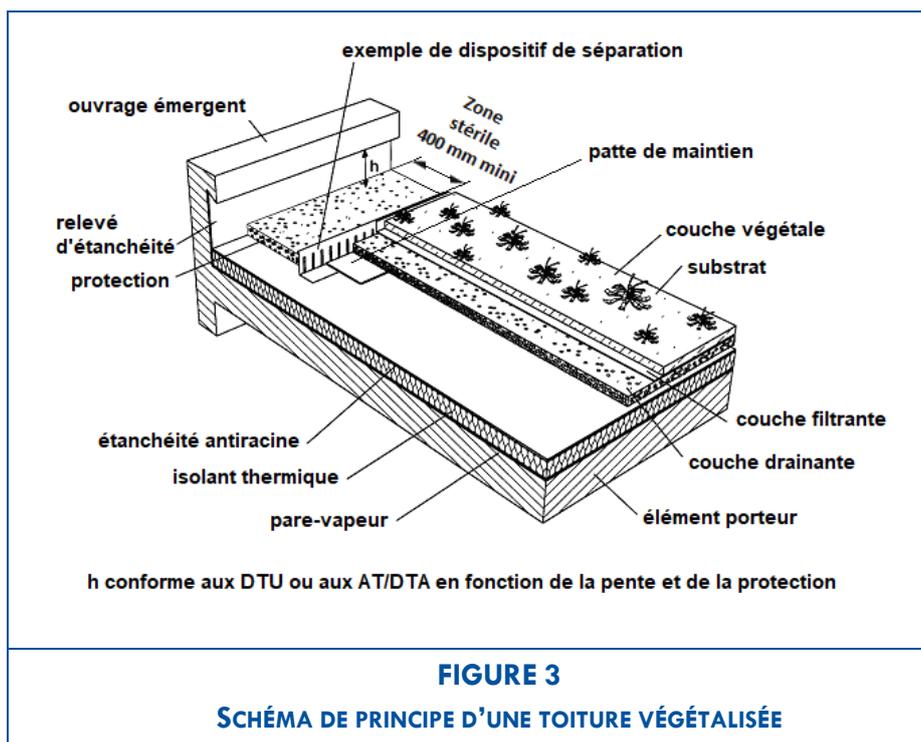
Dans l'emprise de la zone stérile, le revêtement d'étanchéité est le même revêtement résistant aux racines que celui de la zone végétalisée (voir paragraphe 6.1.2.2).

La protection du revêtement d'étanchéité est réalisée ainsi :

- couche de 40 mm minimum de gravillons de granulométrie supérieure à 15 mm (les granulométries inférieures favorisant l'installation d'une végétation indésirable), éventuellement recouverts de dalles béton préfabriquées (suivant exposition au vent : voir NF-DTU 43.1), pour les-pentes jusqu'à 10 % ;
- revêtement d'étanchéité apparent (toutes pentes admises), si le document technique d'application l'admet ;
- dalles préfabriquées en béton ou en pierre posées sur la couche drainante (pente jusqu'à 10 %) ou sur plots (pente jusqu'à 5 %) ;
- dalles préfabriquées en bois posées sur plots dans les conditions du DTA du revêtement d'étanchéité (pente jusqu'à 5 %).

Note : La mise en œuvre de dalles sur plots n'est possible que dans le cas d'élément porteur en maçonnerie ou relevant d'un Avis Technique permettant cette pratique, avec un complexe d'étanchéité adapté.

La zone stérile et la zone végétalisée sont délimitées par un dispositif de séparation (voir paragraphe 8.4).



8.2.2 PRÉSENCE DE LA ZONE STÉRILE (TOUTES PENTES)

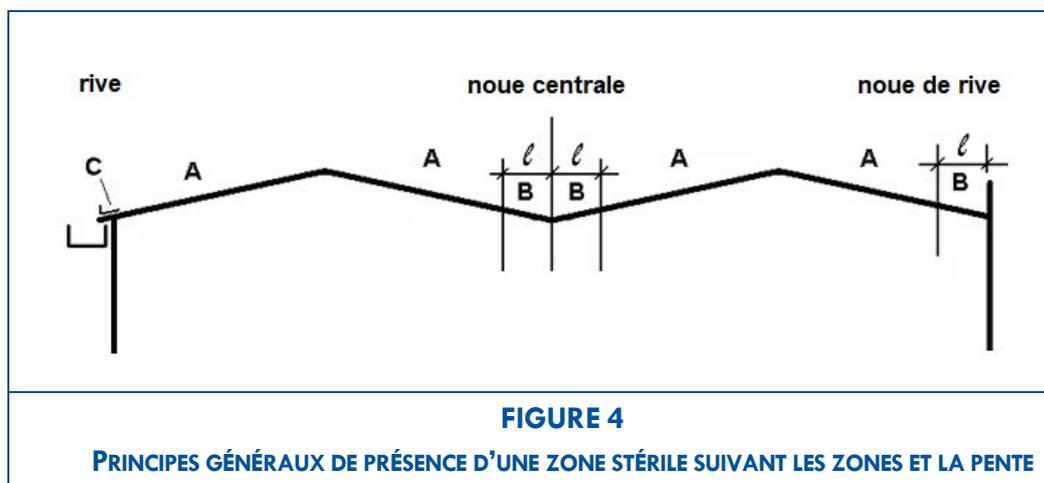
En aucun cas, cette zone stérile ne peut être supprimée au pourtour des entrées d'eaux pluviales et dans les noues courantes ou noues de rives de fil d'eau de pente inférieure à 2 %.

Sa présence est obligatoire en pieds des relevés d'étanchéité :

- en végétalisation semi-intensive ;
- en végétalisation extensive si la végétalisation n'est pas constituée de *Sedum* uniquement.

En l'absence de zone stérile, les hauteurs des relevés d'étanchéité sont comptées à partir de la surface du substrat. L'entretien (voir paragraphe 12.2), qui comprend notamment l'arrachage des adventices, est déterminant.

8.2.3 SPÉCIFICITÉS DES TOITURES (3 % ≤ PENTE ≤ 20 %)



Pour assurer une bonne durabilité de la toiture végétalisée, il y a lieu de distinguer les zones de partie courante (zones A) à pente supérieure ou égale à 3 % des zones de noue centrale ou de rive (zones B ou C).

- Zone A : traitement identique à celui décrit au paragraphe 6.2. Cependant, la couche drainante (voir paragraphe 6.2.2) et la couche filtrante (voir paragraphe 6.2.3) sont facultatives (la couche filtrante reste indispensable au droit des dispositifs de séparation et des EEP).
- Zone B : traitement selon la pente du fil d'eau de la noue :
 - si pente du fil d'eau de la noue $\leq 2\%$, traitement de la zone B en zone stérile (dispositif tel que défini en zone C) ;
 - si pente du fil d'eau de la noue $> 2\%$, traitement de la zone B en zone stérile (dispositif tel que défini en zone C) ou à l'identique du paragraphe 6.2.2.1 (configuration de la partie courante) avec mise en œuvre d'une couche drainante.

Largeur ℓ minimale de la zone B (à considérer deux fois pour les noues centrales) :

- 0,4 m en partant du fil d'eau pour les pentes de versants comprises entre 10 et 20 % ;
 - 1 m en partant du fil d'eau pour les pentes de versants de 3 à 10 %.
- Zone C : un dispositif, défini dans le document technique de référence du procédé, situé en bas de pente doit permettre l'écoulement des eaux (voir paragraphes 8.4 et 8.5), le maintien en place du substrat. Les simples pattes d'étanchéité ne suffisent pas lorsque la pente est supérieure à 5 %.

8.2.4 RÉCAPITULATIF RELATIF A LA PRÉSENCE DE LA ZONE STÉRILE

Le tableau 11 ci-après récapitule les dispositions des précédents paragraphes.

Tableau 11 - Cas de la présence de la zone stérile

Ouvrages ou points singuliers			Zone stérile	
Contre les relevés sur émergences, en périphérie et le long des joints de dilatation	Végétalisation extensive	Avec Graminées, vivaces (autres que <i>Sedum</i>) et plantes ligneuses	Indispensable sur une largeur minimale de 400 mm	
		Sans Graminées, vivaces (autres que <i>Sedum</i>) et plantes ligneuses	Facultative	
	Végétalisation semi-intensive		Indispensable sur une largeur minimale de 400 mm	
Entrées des eaux pluviales			Indispensable sur une largeur minimale de 200 mm au pourtour de l'EEP ^a	
Noues	Pente du fil d'eau $\leq 2\%$	Pente de versants $< 3\%$ (support en maçonnerie uniquement)		Indispensable sur une largeur minimale de 400 mm depuis le fil d'eau
		Pente des versants de 3 à 10 %	Cas du support en maçonnerie	Indispensable sur une largeur minimale de 400 mm depuis le fil d'eau
			Autres supports	Indispensable sur une largeur minimale de 1 m depuis le fil d'eau
		Pente de versants de 10 à 20 %		Indispensable sur une largeur minimale de 400 mm depuis le fil d'eau
	Pente du fil d'eau $> 2\%$		Voir paragraphe 8.2.3 (zone B)	
^a un regard de visite est aussi possible dans le cas du support en maçonnerie (voir paragraphe 8.6.1)				

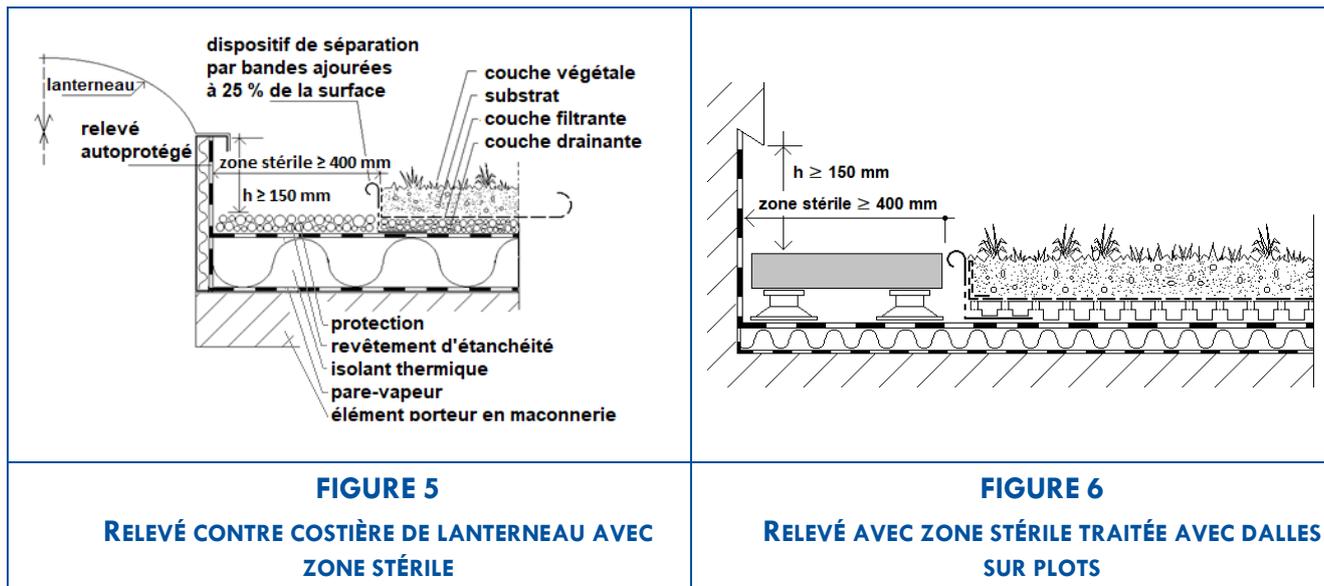
8.3 RELEVÉS D'ÉTANCHÉITÉ

8.3.1 RELIEFS

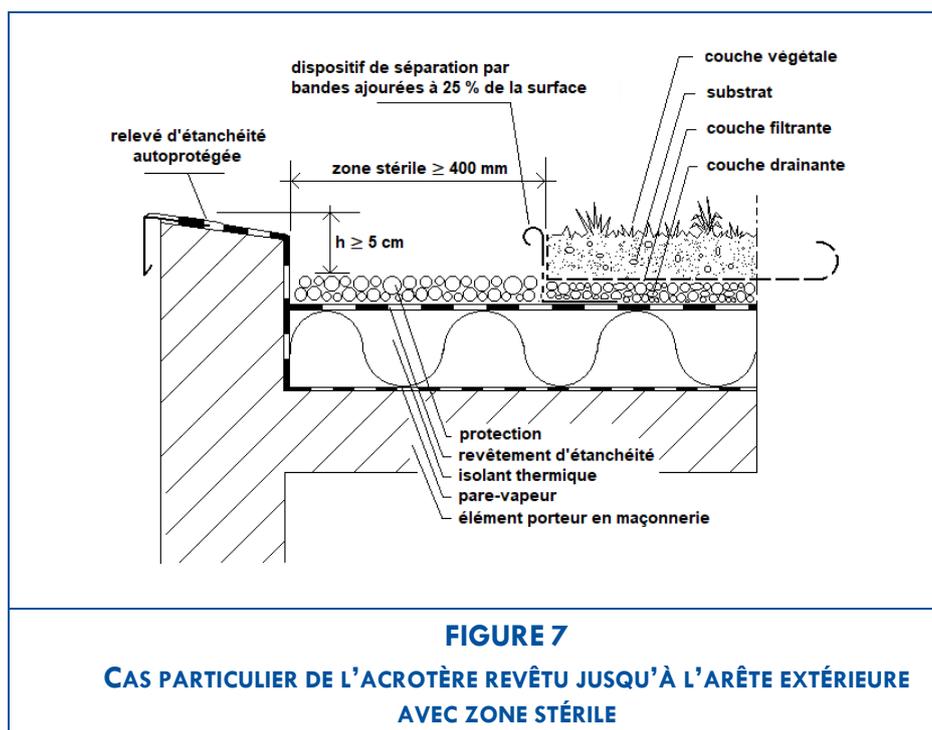
La conception et la constitution des reliefs sont conformes aux normes NF-DTU 20.12 et aux NF-DTU de la série 43.

8.3.2 RELEVÉS D'ÉTANCHÉITÉ

Dans le cas où une zone stérile est prévue (voir paragraphe 8.2.2), la hauteur des relevés d'étanchéité est donnée par les NF DTU (ou cahier du CSTB n°3502 dans le cas des membranes en PVC-P) suivant le type de protection de la zone stérile. Voir exemples sur les figures 5 et 6.



Dans le cas où il n'y a pas de zone stérile, la hauteur des relevés au-dessus du substrat est de 15 cm minimum (terrasse sur élément porteur en maçonnerie à pente nulle). Si le revêtement d'étanchéité revêt l'acrotère jusqu'à l'arête extérieure, dans le cas d'élément porteur en maçonnerie (pente ≤ 5 %), la hauteur du relevé peut être ramenée à 5 cm (voir figure 7).



Dans le cas particulier d'élément porteur en maçonnerie, les prescriptions sont rappelées dans le tableau 12.

Tableau 12 - Hauteur minimale des relevés avec élément porteur en maçonnerie

	Hauteur minimale	
	Cas général	Lorsque le revêtement d'étanchéité revêt l'acrotère jusqu'à l'arête extérieure dans le cas d' <u>élément porteur en maçonnerie</u> (pour les pentes $\leq 5\%$)
Présence d'une zone stérile	15 cm ^a minimum à partir de la couche de protection (cf. NF DTU) – Voir figures 5 et 6	5 cm minimum à partir de la couche de protection Voir figure 7
	Dans le cas de dalles sur plots dans la zone stérile : 10 cm minimum à partir du revêtement d'étanchéité ou de l'isolant dans le cas d'isolation inversée	
Absence de zone stérile	15 cm ^a minimum à partir de la couche de substrat (cf. NF DTU) – Voir figure 8	5 cm minimum à partir de la couche de substrat Voir figure 9

^a hauteur minimale ramenée à 10 cm lorsque la pente est comprise entre 1 et 5 %

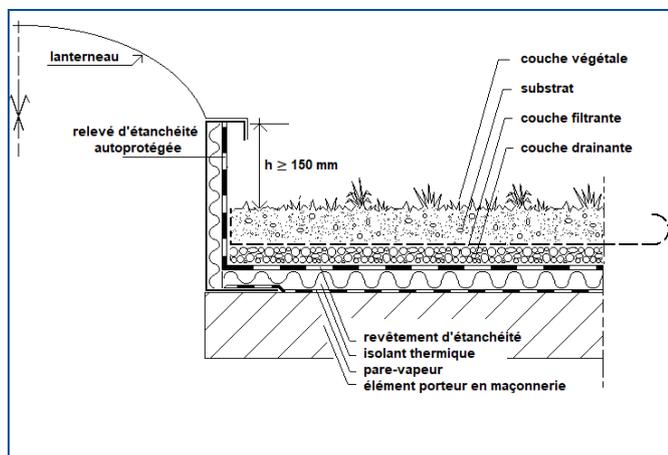


FIGURE 8
CAS GÉNÉRAL : HAUTEUR DE RELEVÉ EN L'ABSENCE DE ZONE STÉRILE

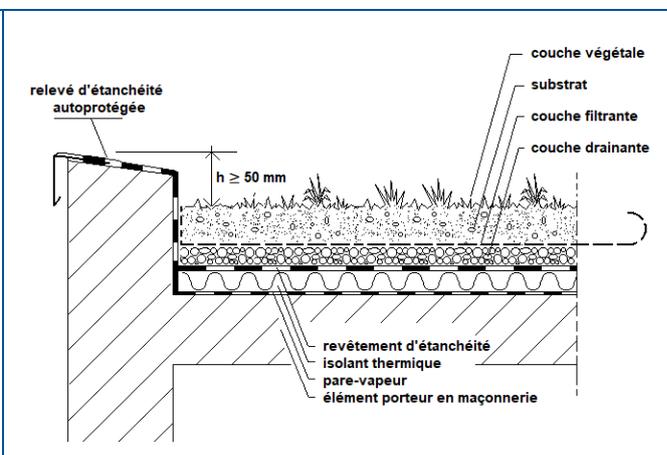


FIGURE 9
CAS OÙ L'ÉTANCHÉITÉ REVÊT L'ACROTÈRE : HAUTEUR DE RELEVÉ EN L'ABSENCE DE ZONE STÉRILE

8.4 DISPOSITIF DE SÉPARATION

Mis en œuvre dans le cas de pente maximale 5 %, le dispositif de séparation permet :

- de délimiter le substrat ; il est stable et de hauteur telle que sa partie supérieure arrive au minimum au niveau de la surface du substrat. Un filtre de séparation est également prévu, remonté sur la partie verticale du dispositif sur la hauteur du substrat.
- le passage de l'eau.

Il doit être muni d'ouvertures sur sa partie verticale.

Les matériaux constituant le dispositif de séparation sont définis dans le document technique de référence; ils peuvent être par exemple :

- des bandes métalliques ajourées, en alliage d'aluminium type 3003 ou en acier inoxydable austénitique CrNi 18-10. La surface ajourée doit représenter au minimum 25 % de la surface du dispositif sur la hauteur de la couche drainante (couche drainante interrompue ou fonction drainante assurée par le substrat). Il n'est pas nécessairement muni d'ouvertures si la couche drainante est continue. Les bandes ajourées doivent être maintenues en place sur l'étanchéité à l'aide de pattes en membrane d'étanchéité collée ou soudée (ou, dans le cas de membranes d'étanchéité PVC-P, de dispositifs de montage spécifiques, soudés à l'air chaud sur la membrane), le talon en contact avec l'étanchéité étant disposé sous le système de végétalisation (voir fig. 10).
- des bordures (voir fig.11) en béton, en brique, uniquement dans le cas des couches drainantes continues.

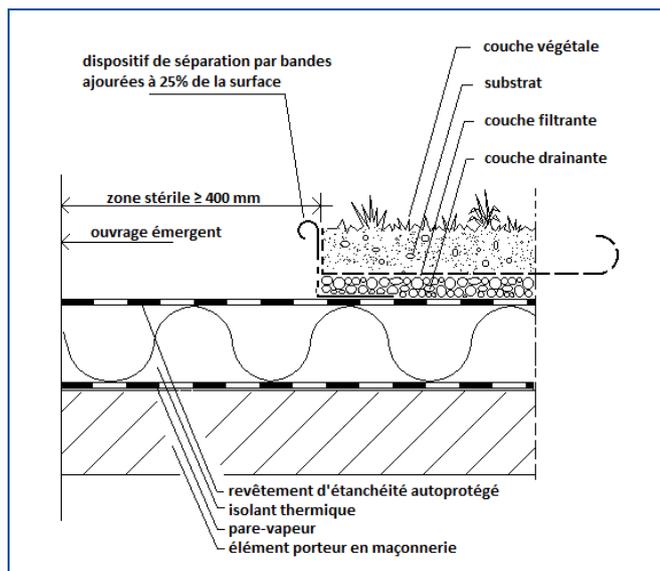


FIGURE 10

EXEMPLE DE DISPOSITIF DE SÉPARATION PAR BANDE MÉTALLIQUE

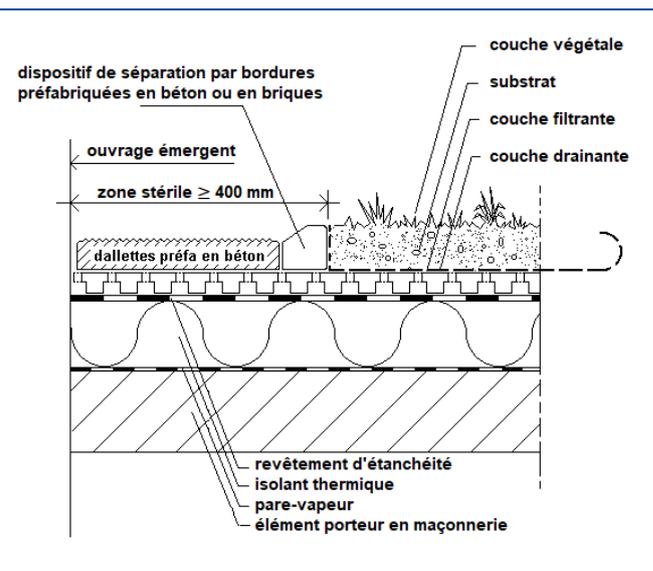


FIGURE 11

EXEMPLE DE DISPOSITIF DE SÉPARATION PAR BORDURE PRÉFABRIQUÉE EN BÉTON OU EN BRIQUES

8.5 DISPOSITIFS DE RETENUE

Dans le cas de pentes supérieures à 5 % et pour les systèmes de végétalisation extensive, seuls visés favorablement (voir paragraphe 6.2.5.2) dans ces règles, une butée rigide est indispensable en bas de rampant. Dans ce cas, l'un des dispositifs ci-dessous est requis :

- l'acrotère lui-même, si existant, en l'absence de zone stérile ; un dispositif complémentaire (voir ci-après) sera mis en œuvre
 - tous les 20 m pour des pentes > 5 % et ≤ 10 % ;
 - tous les 10 m pour des pentes > 10 % et ≤ 20 %.
- des chevrons en bois de classe d'emploi 3b selon la norme FD P 20-451 de longueur 3 m et de section minimale 80 mm x hauteur ≥ à 10 mm du niveau fini du substrat. Chaque chevron, posé sur le complexe d'étanchéité, est fixé mécaniquement à la structure porteuse (élément porteur maçonnerie, panne acier ou bois ; plancher de type D et plancher chauffant exclus) à raison de 3 fixations par ml. Les chevrons sont disposés de façon discontinue en laissant un espace entre deux chevrons consécutifs compris entre 30 et 50 cm pour assurer le ruissellement des eaux pluviales. Après avoir été fixé, chaque chevron est étanché par une pièce du même revêtement que celui de partie courante, y compris les fermetures en about. Les espaces entre chevrons sont complétés par un dispositif de séparation (d'une longueur de 20 cm supérieure à celle de l'espacement) tel que décrit et liaisonné au paragraphe 8.4.

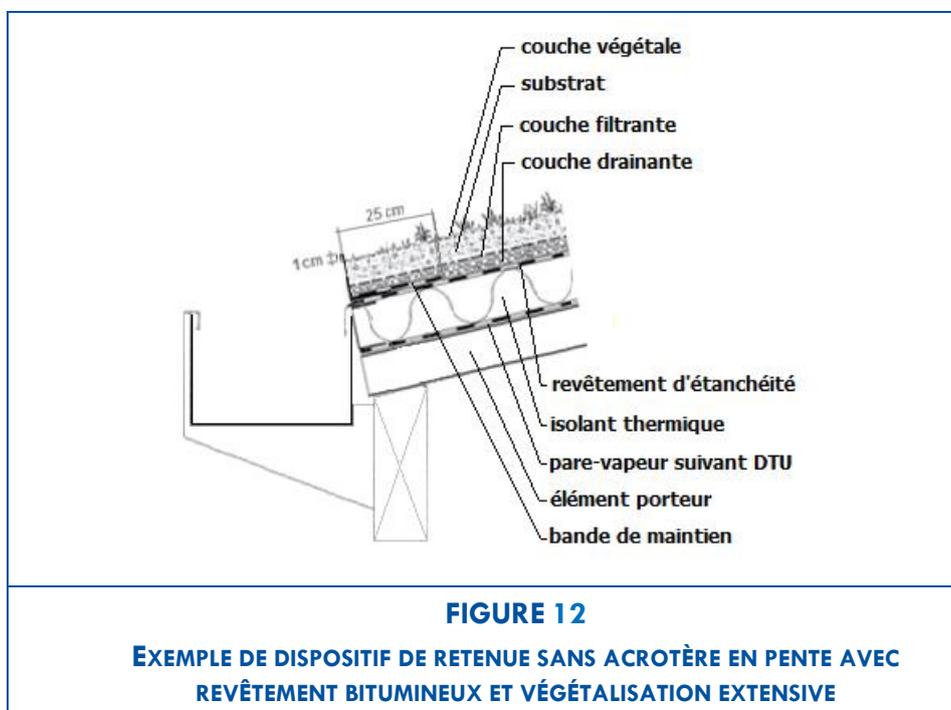
Conformément au chapitre 3, en fonction de la pente et de la longueur des rampants, ce même dispositif est mis en œuvre :

- tous les 20 m pour des pentes $> 5 \%$ et $\leq 10 \%$;
- tous les 10 m pour des pentes $> 10 \%$ et $\leq 20 \%$.
- des bandes ajourées métalliques décrites au paragraphe 8.4. Elles doivent être maintenues en place sur l'étanchéité à l'aide de bandes continues en membrane d'étanchéité de même nature que celle de partie courante (cf. figure 12) de 25 cm de largeur au minimum, dans le cas d'étanchéité bitumineuse, soudées à cheval sur le talon métallique et le revêtement de partie courante ou selon les dispositions particulières prévues dans le DTA du revêtement.

Conformément au paragraphe 3, en fonction de la pente et de la longueur des rampants, ce même dispositif est mis en œuvre :

- tous les 20 m pour des pentes $> 5 \%$ et $\leq 10 \%$;
- tous les 10 m pour des pentes $> 10 \%$ et $\leq 20 \%$.

Note : dans le cas de membranes synthétiques, le dispositif et sa mise en œuvre sont décrits dans le DTA du revêtement.



8.6 OUVRAGES ANNEXES ISOLÉS

8.6.1 ÉVACUATIONS PLUVIALES

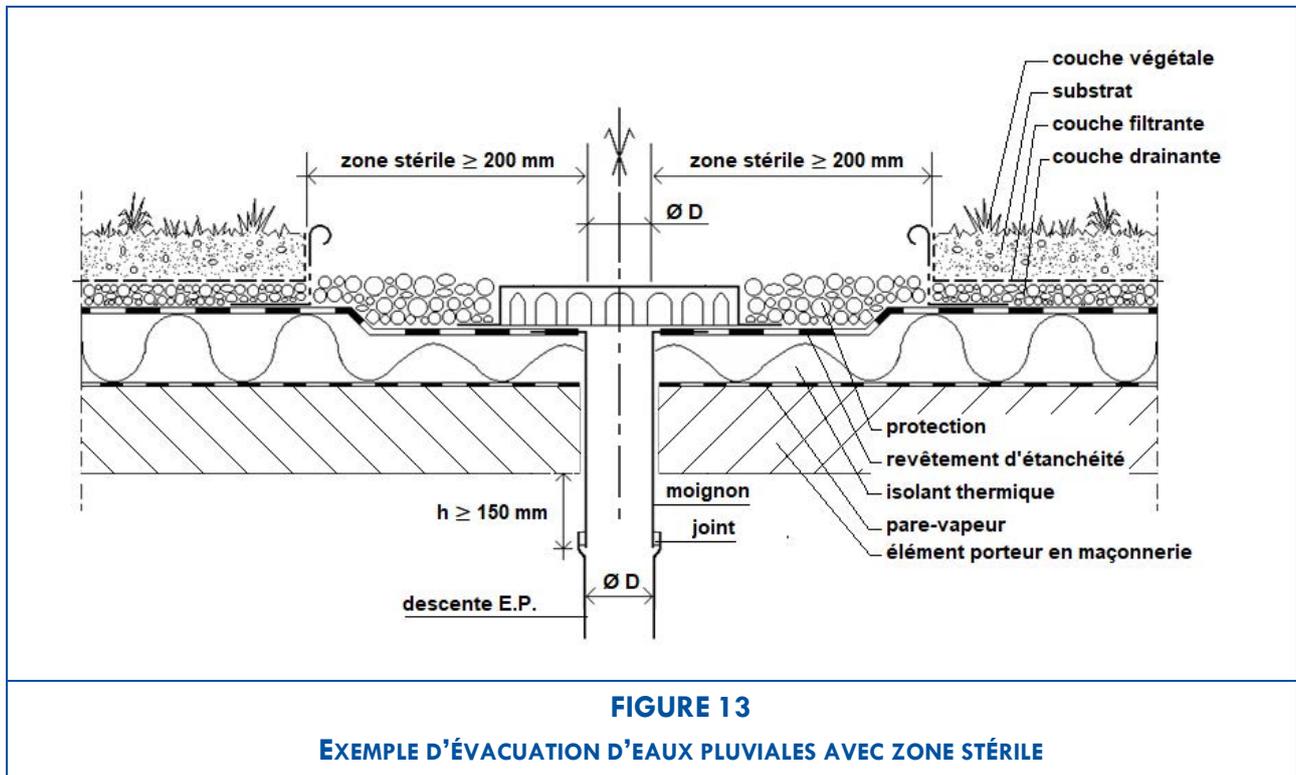
Les entrées d'eaux pluviales sont réalisées conformément aux NF-DTU de la série 43.

Leur section est déterminée conformément à ces NF-DTU.

Note : la capacité de retenue d'eau dans le système de végétalisation ne doit pas être prise en compte dans le dimensionnement des EEP qui doit rester conforme aux exigences des DTU de la série 43.

Elles sont :

- soit bordées par une zone stérile sur 200 mm minimum ; elles sont alors équipées d'un garde-grève visitable dont la section des perforations est conforme aux NF-DTU de la série 43.
- soit protégées par un regard de visite (cas de l'élément porteur en maçonnerie) dont les parois sont ajourées à la base pour permettre le libre écoulement de l'eau. La section des ajours est au minimum 1,5 fois celle de l'EEP. Le regard est installé au droit de la naissance des eaux pluviales et adapté à la hauteur du substrat. Le regard est de section supérieure ou égale à 0,30 m x 0,30 m (dimensions intérieures). Leur contrôle pour l'entretien reste identique à celui des terrasses inaccessibles habituelles.



8.6.2 AUTRES OUVRAGES ANNEXES ISOLÉS (VENTILATION, CROSSES DE PASSAGE DE CÂBLES)

Ils sont réalisés conformément aux NF-DTU de la série 43.

Un chemin de circulation doit être aménagé (voir paragraphe 8.8) pour l'accessibilité aux équipements techniques (VMC,...).

8.7 JOINTS DE DILATATION

Ils sont réalisés conformément aux NF DTU de la série 43 et dans le cas d'éléments porteurs en maçonnerie ou en bois et à base de bois, s'il est utilisé un dispositif spécifique d'étanchéité de joint de dilatation, selon l'Avis Technique dont ce dernier relève.

Ils peuvent être :

- soit apparents, avec ou sans zone stérile de part et d'autre (voir figure 14 – schéma avec zone stérile) ; ce cas est le seul possible avec les éléments porteurs en tôles d'acier nervurées, bois et béton cellulaire (voir tableau 11).
- soit, uniquement lorsque l'élément porteur est en maçonnerie, recouverts de végétalisation extensive (voir figure 15) en gardant une épaisseur identique de substrat.

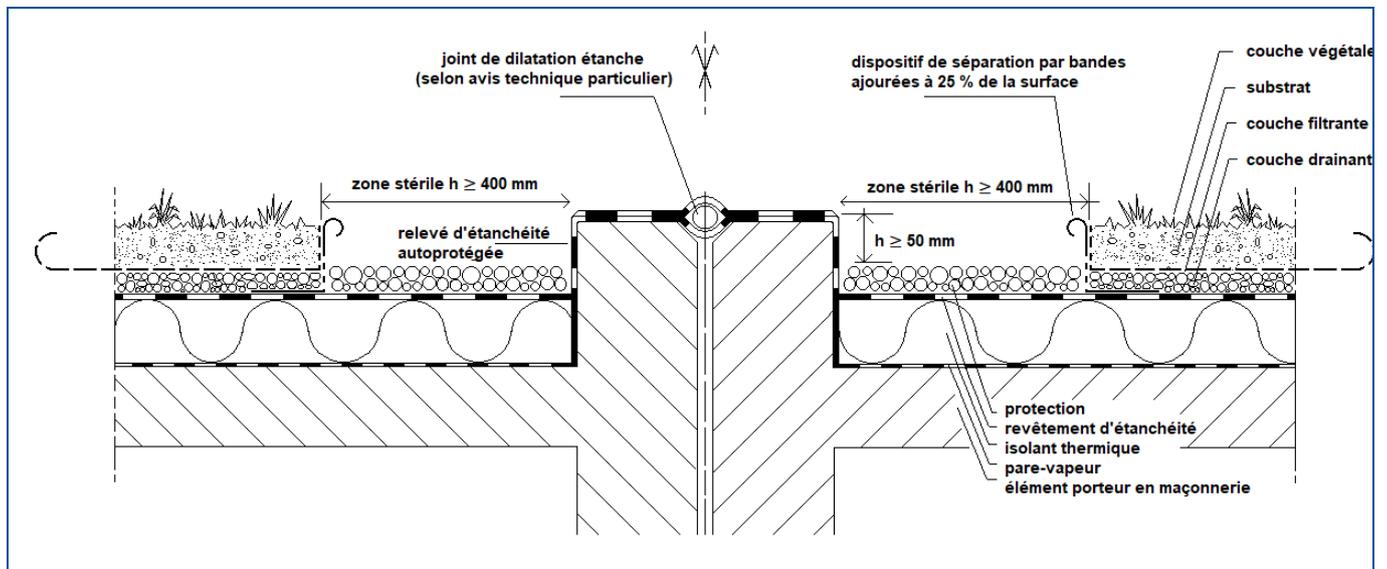


FIGURE 14

JOINT DE DILATATION APPARENT AVEC ZONE STÉRILE

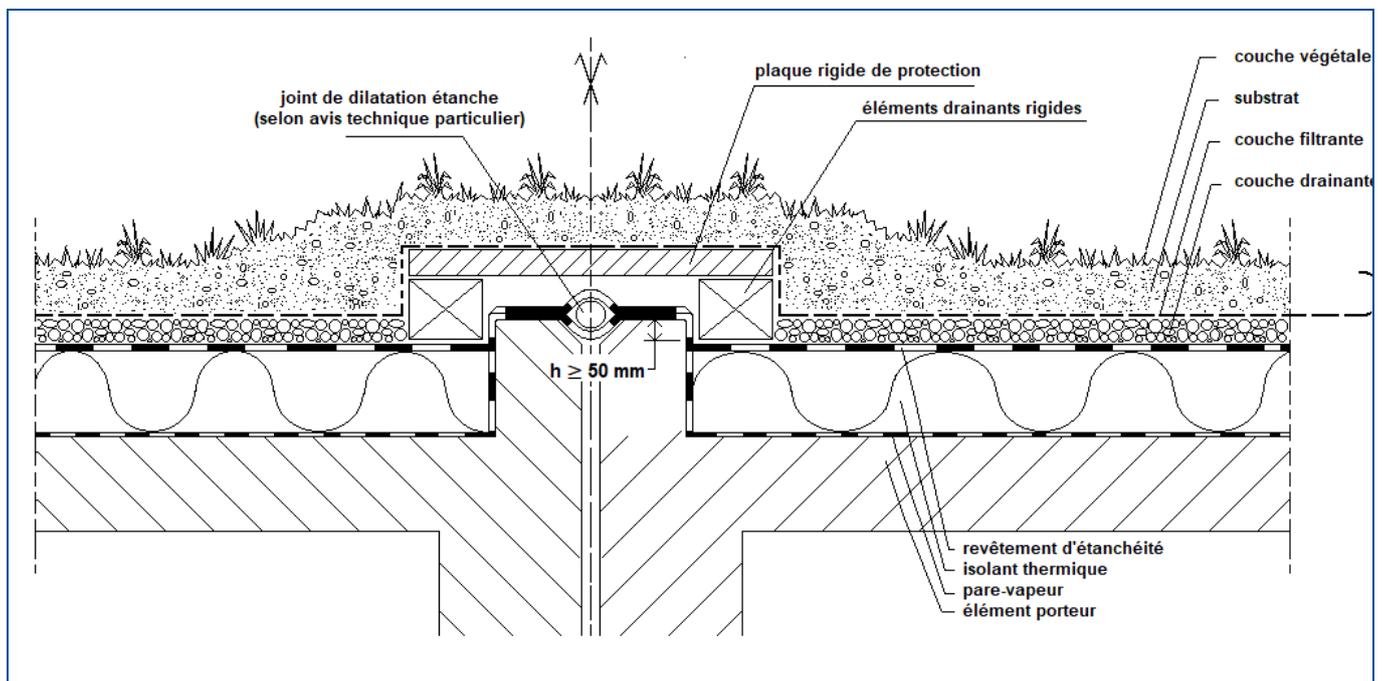


FIGURE 15

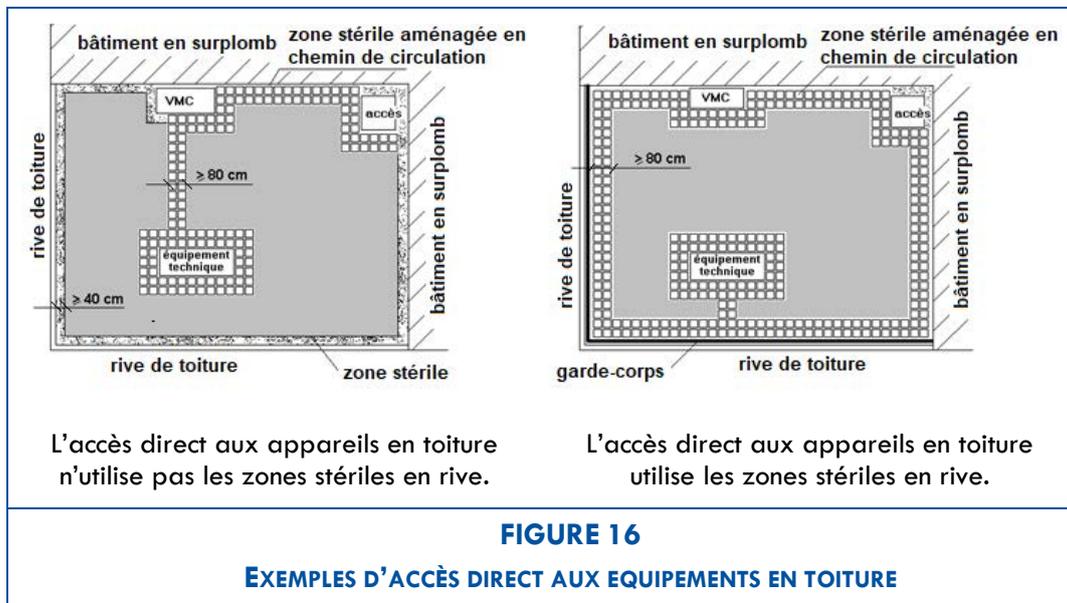
JOINT DE DILATATION RECOUVERT DE VÉGÉTALISATION

8.8 CHEMIN DE CIRCULATION

Pour accéder aux équipements techniques, des chemins de circulation doivent être aménagés ; ceux-ci ne doivent pas constituer un obstacle à l'écoulement des eaux. Ils sont constitués comme indiqué dans les NF DTU ou traités en toiture accessible piétons.

Pour conférer la fonction de « chemin de circulation » à la zone stérile, sa largeur doit être portée à 0,80 m et constituée suivant les NF DTU de la série 43.

La réglementation relative aux travaux en hauteur s'applique (voir chapitre 10).



8.9 CAS DES TERRASSES ET TOITURES PARTIELLEMENT VÉGÉTALISÉES

Les terrasses et toitures végétalisées peuvent côtoyer des zones non végétalisées représentant des surfaces plus ou moins importantes et traitées selon leur destination, en terrasses :

- inaccessibles (tous éléments porteurs) ;
- accessibles (éléments porteurs en maçonnerie).

La partie de la terrasse ou de la toiture qui reçoit la végétation fait l'objet de toutes les exigences du système de végétalisation correspondant, y compris pour les zones stériles (voir paragraphe 8.2).

Sur les autres zones (hors végétalisation et à partir de 1 m au-delà de celle-ci pour le revêtement d'étanchéité résistant à la pénétration des racines), on applique les exigences des NF-DTU et des documents techniques de référence concernant l'isolant thermique, le revêtement d'étanchéité et la protection.

Les parties accessibles doivent être séparées des zones recouvertes de végétation, qui restent inaccessibles. Néanmoins, les Documents Particuliers du Marché (DPM) peuvent prévoir d'autres dispositions.

9. ORGANISATION DE CHANTIER ET RÉALISATION DES TRAVAUX

L'organisation des travaux est définie au chapitre 2, l'annexe A rappelant les prescriptions en matière d'assurance obligatoire.

L'entreprise contractante transmettra au maître d'œuvre, lors de la phase d'exécution, une fiche synthétique relative au complexe de végétalisation comme indiqué en annexe J.

Le revêtement d'étanchéité est mis en œuvre pour assurer la mise hors d'eau du bâtiment.

Les différentes couches du système de végétalisation (couche drainante, couche filtrante et substrat) doivent être mises en œuvre après intervention des différents corps d'état (climatisation, ventilation, électricité, façade, etc.) susceptibles d'intervenir sur la toiture. L'objectif est d'éviter tout piétinement ou entreposage sur le système de végétalisation (compactage du substrat, dégradation des végétaux, souillures, etc.).

La charge des engins de manutention pour la mise en œuvre des matériaux devra être compatible avec la résistance de l'élément porteur, du support et du complexe d'étanchéité notamment sur l'élément porteur en tôles d'acier nervurées (voir NF DTU 43.3) ou en bois ou panneaux à base de bois (voir NF DTU 43.4).

L'installation de la couche végétale est réalisée dans la période appropriée en fonction des exigences liées au procédé d'étanchéité et au mode de mise en œuvre de la végétation (voir paragraphe 7.2.4). Du fait des risques encourus par les végétaux en attente de plantation, l'organisation du chantier doit permettre leur mise en œuvre dès la livraison. Tous les éléments précultivés (plaques, tapis et bacs) doivent être mis en œuvre dans les 24 heures suivant leur livraison ; sinon ils doivent être étalés en une seule couche et arrosés. Les micro-mottes, les godets et les fragments de *Sedum* doivent être mis en œuvre dans les 48 heures.

Si cela n'est pas possible, l'entreprise doit demander au tenant du procédé les instructions pour leur bonne conservation.

Dès le début des travaux d'installation de la végétalisation, un ou plusieurs point(s) d'eau de débit dimensionné(s) à la surface végétalisée doit(vent) être disponible(s) et en état de fonctionnement au niveau de la terrasse (voir chapitre 11).

10. PRÉVENTION ET SÉCURITÉ

10.1 GÉNÉRALITÉS

Dès la conception d'un bâtiment, l'ensemble des intervenants, sous l'autorité du maître d'ouvrage, (architectes, maîtres d'œuvre, coordonnateurs, entreprises, travailleurs indépendants et sous-traitants) sont soumis à une obligation d'organisation et de coordination de la prévention contre les risques de chute de hauteur à la mise en œuvre et durant la vie de l'ouvrage (entretien).

Le maître d'ouvrage est, quant à lui responsable civilement et pénalement de la sécurité du bâtiment avant, pendant et après sa construction.

Le décret n°2004-924 du 1^{er} septembre 2004 rappelle les règles applicables à l'exécution de travaux temporaires en hauteur, propres à assurer la prévention des chutes de hauteur.

Il convient de porter à la connaissance des maîtres d'ouvrage l'importance de prévoir au stade de la conception, la mise en place de protections collectives permanentes fixées à la structure de l'ouvrage. Il convient d'appliquer les dispositions suivantes :

- intégration de la sécurité dans les ouvrages afin de faciliter les interventions ultérieures sur l'ouvrage (article L.4531-1 du code du travail) ;
- obligation de prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle (article L.4212-2 du code du travail) ;
- assurer la prévention des chutes de hauteur à partir d'un plan de travail :
 - soit par des garde-corps intégrés ou fixés de manière sûre, rigides et d'une résistance appropriée, placés à une hauteur comprise entre 1 mètre et 1,10 mètre et comportant au moins :
 - une plinthe de butée de 10 à 15 cm en fonction de la hauteur retenue pour les garde-corps ;
 - une main courante ;
 - une lisse intermédiaire à mi-hauteur.
 - soit par tout autre moyen assurant une sécurité équivalente (article R.4323-59 du code du travail).

Les garde-corps conformes à la norme NF P01-012 ou métalliques conformes à la norme NF E85-015 répondent à ces exigences.

Note : il est rappelé qu'un travailleur ne doit jamais rester seul, afin de pouvoir être secouru dans un délai compatible avec la préservation de sa santé.

10.2 MOYENS DE PROTECTION À **METTRE EN ŒUVRE EN** PHASE CHANTIER

La mise en place des protections collectives permanentes prévue au chapitre ci-dessus devrait être effectuée avant les travaux d'étanchéité et de végétalisation.

Dans le cas contraire, l'entreprise titulaire ou le mandataire du groupement assure les protections collectives pendant toute la durée des interventions.

Celles-ci peuvent être réalisées par la mise en place de potelets et filets périphériques répondant à la norme NF P93-355 « Protection périphérique temporaire pour travaux d'étanchéité en toiture » spécifique aux travaux en toiture terrasse.

Il est en outre obligatoire de prévoir les accès et zones de réception sécurisées pour les approvisionnements en matériaux.

10.3 MOYENS DE PROTECTION POUR L'**ENTRETIEN DU SYSTÈME DE** VÉGÉTALISATION

Pour répondre à cette obligation, le maître d'ouvrage doit mettre à la disposition des intervenants le Dossier d'Intervention Ultime sur l'Ouvrage (DIUO), indiquant notamment les moyens d'accès et de prévention des risques liés à la circulation sur la toiture.

D'une manière générale la circulation pour l'entretien doit être possible sur l'ensemble de la toiture moyennant les dispositions préventives légales vis-à-vis du risque de chute de hauteur.

Note : pour rappel, la zone stérile n'est pas une zone de circulation sauf à être conçue à cet effet (voir paragraphes 8.2 et 8.8)

11. ARROSAGE

L'annexe F décrit les besoins éventuels d'arrosage et précise l'ensemble des critères de choix et de mise en place d'un système d'arrosage et les caractéristiques des points d'eau.

11.1 **ARROSAGE A L'INSTALLATION DE LA VÉGÉTALISATION**

Quel que soit le mode de plantation, toute toiture végétalisée nécessite un arrosage à l'installation des végétaux à partir des points d'eau disponibles en toiture et dimensionnés à la surface végétalisée jusqu'à saturation du substrat.

Durant la période de parachèvement, on se référera au paragraphe 12.2.

Ensuite, dans le cas de mise en œuvre par semis de graines, semis de fragments de *Sedum*, plantation de micro-mottes, de godets ou encore de tapis pré-cultivés, l'arrosage devra se poursuivre jusqu'à enracinement suffisant des plantes dans le substrat.

11.2 ARROSAGE POUR COUVRIR LES BESOINS DES VÉGÉTAUX EN **PHASE D'ENTRETIEN**

Selon la région et l'épaisseur du substrat, l'arrosage peut être nécessaire lorsque la pluviométrie seule ne suffit pas à combler les besoins des plantes.

12. ENTRETIEN

L'entretien des végétaux démarre à leur installation, lors des phases de parachèvement et de confortement (voir paragraphe 12.2).

L'entretien courant des terrasses et toitures végétalisées est obligatoire et défini dans le Dossier d'Intervention Ulérieure sur l'Ouvrage (DIUO). Il doit être formalisé au plus tard à la réception de l'ouvrage à l'aide :

- soit d'un contrat unique entre l'entreprise d'étanchéité et le maître d'ouvrage portant sur l'étanchéité et la végétalisation, sur l'ensemble de la toiture y compris les zones stériles ;
- soit de deux contrats séparés « étanchéité » et « végétalisation » : dans ce cas le maître d'ouvrage transmettra à l'entreprise en charge de l'entretien de la végétalisation le détail du système de végétalisation mis en œuvre avec sa fiche d'entretien.

Sans contrat d'entretien dès la réception de l'ouvrage, la pérennité du couvert végétal ne peut être exigée. L'accès à la toiture nécessaire aux futures opérations d'entretien est prévu par le maître d'œuvre dès sa conception.

Lors des opérations d'entretien, et comme pour toute toiture inaccessible, la sécurité du personnel doit être assurée vis-à-vis des chutes de hauteur.

12.1 ENTRETIEN DE L'ÉTANCHÉITÉ

Les dispositions relatives à l'entretien des ouvrages d'étanchéité sont décrites dans les DTU de la série 43.

12.2 ENTRETIEN DU SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION

Trois périodes sont à différencier :

Sous la responsabilité de l'entreprise titulaire du marché afférent :

- la période de parachèvement : c'est la période comprise entre l'installation de la végétalisation et la réception de l'ouvrage. Sa durée est variable en fonction des conditions de coordination du chantier. Les travaux de parachèvement font partie intégrante du marché de travaux.

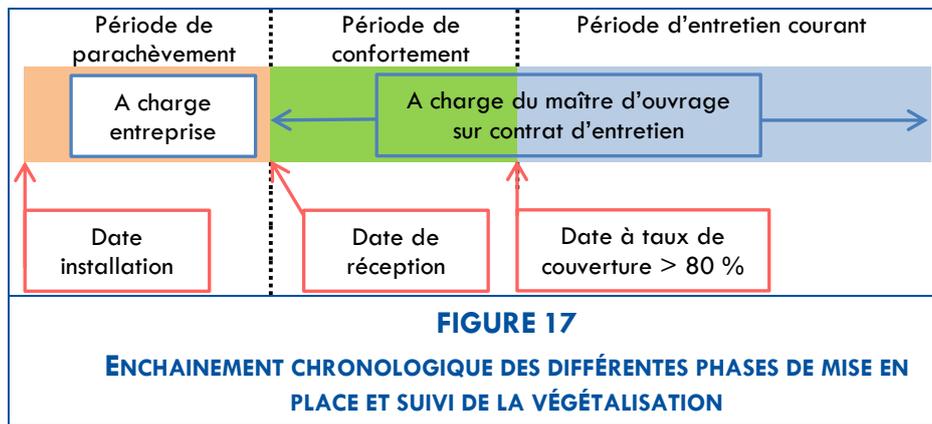
Quelle que soit la date prévisionnelle de la réception de travaux il est recommandé de procéder à une réception partielle dès l'achèvement des travaux de végétalisation, du fait du caractère vivant des végétaux.

Cette réception partielle ou, à minima, constat d'achèvement des travaux de végétalisation doit être réalisée, à la demande de l'entreprise, de façon contradictoire entre le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise.

Ce document vise d'une part, à vérifier les engagements contractuels de l'entreprise (qualité des matériaux, conformité avec le plan, respect des essences, variétés, de leur densité, etc.) et d'autre part à constituer un document opposable en cas de dégradation accidentelle par des tiers de la couche végétale.

Sous la responsabilité du maître d'ouvrage :

- la période de confortement : c'est la période entre la réception de l'ouvrage et le démarrage de l'entretien courant (celui-ci commence dès obtention d'un taux de couverture $\geq 80\%$). Sa durée pourra varier en fonction de la mise en œuvre de la végétation retenue (voir tableau 13).
- la période d'entretien courant : elle commence après l'obtention d'un taux de couverture $\geq 80\%$.



L'entretien (concernant le confortement et l'entretien courant) est formalisé par un seul contrat d'entretien (selon annexe I) accompagné de la notice technique du système de végétalisation (récapitulatif des opérations à réaliser à demander au tenant du système). L'objectif de l'entretien de la végétalisation est :

- d'obtenir et conserver un taux de couverture végétale supérieur à 80 % (voir paragraphe 7.2 pour le délai de couverture en fonction des modes de végétalisation) ;
- de maîtriser le développement des adventices ;
- d'assurer le développement durable de la végétation.

12.2.1 CAS DE LA VÉGÉTALISATION EXTENSIVE

12.2.1.1 PARACHÈVEMENT

Les préconisations générales d'entretien sont les suivantes :

- enlèvement des déchets apportés sur les surfaces végétalisées et les zones stériles ;
- remise en place du substrat en cas de déplacement par le vent ou la pluie ;
- désherbage manuel des végétaux indésirables ;
- en cas de défaut de reprise (partiel ou total), opération complémentaire de semis (graines ou fragments) ou de plantation (de micro-mottes ou godets) ou d'installation d'éléments préculтивés ;
- fertilisation d'appoint selon les recommandations du tenant du système de végétalisation ;
- nettoyage des dispositifs d'évacuation d'eaux pluviales ;
- arrosage si nécessaire en relation avec les conditions climatiques à partir du point d'eau mis à disposition par le maître d'ouvrage ;
- hivernage, purge et remise en eau du système d'arrosage éventuel ;
- autres travaux spécifiques prescrits par le tenant du système de végétalisation.

Notes :

- La notion de parachèvement telle que définie ci-avant est propre aux présentes règles professionnelles ; elle ne doit pas être confondue avec l'année de parfait achèvement.

- Ne font pas partie des travaux en période de parachèvement, l'enlèvement des débris, les réparations de dégâts non imputables à l'entreprise ayant réalisé les travaux de végétalisation.

- Cette période est à la charge de l'entreprise qui chiffrera cette prestation de parachèvement en fonction du planning prévisionnel du marché.

12.2.1.2 CONFORTEMENT

En période de confortement, les préconisations d'entretien sont identiques à celles prévues pour la période de parachèvement. L'objectif des travaux de confortement est d'obtenir au terme de ceux-ci un taux de couverture au moins égal à 80 %. Hors prescription spécifique du tenant du système de végétalisation, la durée de la période de confortement est indiquée dans le tableau 13.

Tableau13 – Durée de la période de confortement et fréquence minimale d'interventions suivant le mode d'installation de la couche végétale (végétalisation extensive)

Type de végétalisation	Eléments précultivés		Plantation micro-mottes, godets, conteneurs	Semis
	Système «tout-en-un »	Tapis/rouleaux et plaques/dalles		
Durée de la période de confortement	0	3 à 6 mois	1 à 2 ans	1 à 3 ans
Fréquence ^a minimale d'intervention	0 ^b	1 à 2 ^c /an	3 à 4/an	3 à 4/an
^a selon zone climatique ^b voir entretien courant ^c en cas de toiture ombragée				

12.2.1.3 ENTRETIEN COURANT

Lors de la période d'entretien courant, les préconisations d'entretien sont les suivantes :

- enlèvement des déchets sur les surfaces végétalisées et les zones stériles ;
- remise en place du substrat en cas de déplacement par le vent ou la pluie ;
- désherbage manuel des végétaux indésirables (adventices) et à fort potentiel de développement ;
- fertilisation d'appoint selon les recommandations du tenant du système de végétalisation ;
- nettoyage des dispositifs d'évacuation d'eaux pluviales ;
- arrosage si nécessaire en relation avec les conditions climatiques à partir du point d'eau mis à disposition par le maître d'ouvrage ;
- hivernage, purge et remise en eau du système d'arrosage éventuel ;
- autres travaux spécifiques prescrits par le tenant du système de végétalisation.

Hors prescription spécifique du tenant du système de végétalisation, la fréquence minimale d'entretien est de deux passages par an, quel que soit le mode d'installation de la végétation (semis, plantation, éléments précultivés).

12.2.2 CAS DE LA VÉGÉTALISATION SEMI-INTENSIVE

Les préconisations générales d'entretien pour les végétalisations semi-intensives lors des périodes de parachèvement, de confortement et d'entretien courant sont identiques à celles des végétalisations extensives (voir paragraphe 12.2.1), avec les compléments suivants :

- un arrosage fréquent et régulier est le plus souvent nécessaire (voir annexe F) dans le cas des gazons, la fréquence des tontes est définie par le tenant du procédé ;
- les plantes semi-ligneuses et ligneuses peuvent faire l'objet de tailles, au même titre que si elles étaient plantées dans un sol naturel ;
- les déchets de tontes, tailles et nettoyage doivent être évacués.

La fréquence est en général de quatre interventions par an minimum. Elle peut être accrue selon les préconisations du tenant du système et en fonction de la zone climatique.

Tableau14 – Durée de la période de confortement et fréquence minimale d'interventions suivant le mode d'installation de la couche végétale (végétalisation semi-intensive)

Type de végétalisation	Semis	Plantation micro-mottes, godets, conteneurs
Durée de la période de confortement	1 à 3 ans	1 à 2 ans
Fréquence minimale ^a d'interventions	3 à 6/an	3 à 4/an
^a selon zone climatique		

12.3 ENTRETIEN DU SYSTEME D'ARROSAGE

Voir annexes F et I.

ANNEXE A

OBLIGATION D'ASSURANCE

La garantie décennale est due par le professionnel titulaire d'un marché de travaux passé directement avec le maître d'ouvrage et comportant des travaux d'étanchéité et/ou de végétalisation de toiture-terrasse.

Lorsqu'elle participe à la réalisation d'un ouvrage relevant de l'obligation d'assurance décennale en vertu de l'article L.243-1-1 du code des assurances (voir note 2), les entreprises liées directement au maître d'ouvrage sont obligées de :

- souscrire un contrat d'assurance comportant les clauses de l'annexe 1 de l'article [A243-1](#) du code des assurances ;
- fournir une attestation établie conformément aux exigences de l'article [A243-2](#) et [A243-3](#) du code des assurances, comportant notamment les activités assurées (étanchéité de toiture-terrasse, végétalisation sur étanchéité de toitures-terrasses) en concordance avec son marché et, pour des montants assurés en adéquation avec l'opération de construction.

Cela revient à dire en fonction de l'organisation des marchés de travaux évoquée au chapitre 2 que :

- pour un lot unique comprenant l'étanchéité et la végétalisation, ou pour un lot unique confié à un groupement d'entreprises solidaire, l'entreprise titulaire doit être assurée en responsabilité civile décennale (RCD) pour l'ensemble de son marché (étanchéité et végétalisation) ;
- pour un lot unique confié à un groupement d'entreprises conjoint, chacune d'elles est assurée en RCD pour l'ensemble de son marché (étanchéité ou végétalisation).

Note 1 L'obligation de s'assurer en responsabilité civile décennale pour les différents acteurs de l'acte de construire, dont les entreprises d'étanchéité titulaires d'un lot, a pour but la protection du maître d'ouvrage puis des propriétaires successifs vis-à-vis des risques pouvant affecter la solidité de l'ouvrage ou le rendant impropre à sa destination. La garantie du couvert végétal relève de dispositions contractuelles supplémentaires éventuelles.

Note 2 : Ne sont pas soumis aux obligations d'assurance édictées par les articles [L. 241-1](#), [L. 241-2](#), et [L. 242-1](#) les ouvrages maritimes, lacustres, fluviaux, les ouvrages d'infrastructures routières, portuaires, aéroportuaires, héliportuaires, ferroviaires, les ouvrages de traitement de résidus urbains, de déchets industriels et d'effluents (extrait de l'article L.243-1-1 du code des assurances).

ANNEXE B

AIDE A LA CONCEPTION POUR LA RÉALISATION DE LA VÉGÉTALISATION ET SON ENTRETIEN

La prise en compte d'un certain nombre de caractéristiques du chantier permet de réaliser des ouvrages durables. En tout état de cause, le maître d'œuvre doit indiquer dans les Documents Particuliers du Marché que le système de végétalisation doit faire l'objet d'un document technique de référence conformément au chapitre 4 des présentes Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées (Edition n° 3, 2018).

En amont du projet, la concertation du concepteur avec les professionnels qualifiés est hautement recommandée.

Un modèle de « fiche projet » dans laquelle sont rassemblées les informations nécessaires à la bonne réalisation de l'opération, est présenté ci-après.

L'incontournable : Élément porteur et capacité portante

La nature de l'élément porteur est déterminante pour le type de système de végétalisation qu'il est possible d'installer. La capacité portante doit tenir compte du poids du système de végétalisation à CME (capacité maximale en eau).

Les charges permanentes sont limitées à 200 daN/m² pour le bois ou les panneaux à base de bois lorsqu'ils ne bénéficient pas d'un Avis Technique (voir paragraphe 6.1.1.1).

Les scénarios de végétalisation

Selon les attentes du maître d'ouvrage, le concepteur peut proposer différentes options :

- végétation à effet immédiat ou différé selon le mode de mise en œuvre : semis de fragments, de semences, micromottes, godets, éléments préculтивés,
- choix dans la gamme de plantes et type d'agencement : caduques, persistantes, dates/périodes de floraison, couleurs des feuillages, volume, port, texture. La liste de plantes (cf. annexe D) donne des exemples d'espèces et de variétés.
- association des végétaux selon différents agencements paysagers qui varient suivant la nature de la toiture.

Les dispositions obligatoires

Il convient de rappeler au maître d'ouvrage qu'il est nécessaire de prévoir :

- un moyen d'accès aisé en toiture ;
- les moyens de sécurité liés aux interventions sur toiture (voir chapitre 10) ;
- un(des) point(s) d'eau avec un débit en toiture comme indiqué aux chapitres 1, 9 et paragraphe F1.2 ;
- des chemins de circulation pour accès aux équipements techniques (VMC, climatisation,...).

L'ensemble des éléments de l'exemple de fiche projet ci-après doivent être pris en compte pour la bonne conception du projet.

La gestion des eaux pluviales urbaines constitue un enjeu important pour les collectivités qui, de fait, doivent faire face à une multitude de problématiques telles que les débordements sur voirie, les déversements vers le milieu naturel, la dégradation des eaux superficielles et souterraines, et l'impact sur le traitement des stations d'épuration.

Les projets de construction sont désormais soumis aux exigences locales de gestion des eaux pluviales et doivent faire l'objet d'une étude préalable et d'une prise en compte de l'ensemble des acteurs impliqués dans la conception, la réalisation, l'exploitation et l'entretien (fabricants, services des eaux, services techniques / espaces verts ou bâtiment, concessionnaire/ régie des eaux, etc.).

Avertissement : les dispositions présentées dans cette annexe ne s'appliquent pas aux systèmes de toitures à rétention temporaire des eaux pluviales.

C.1. LA GESTION A LA PARCELLE

En France, la réglementation concernant les eaux pluviales impose la maîtrise des rejets vers les réseaux et encourage les techniques de gestion des eaux pluviales à la parcelle conduisant à la déconnexion complète du réseau par différents moyens dont l'abattement volumique, la limitation des débits ruisselés ou l'infiltration au plus près de là où elles tombent, réduisant ainsi le « tout tuyau ».

Les règlements d'urbanisme imposent dans de nombreux cas la limitation des débits de fuite connectés au réseau d'assainissement, principalement dans le cas de l'unitaire (par ex. à 10 L/s/ha) ou l'abattement des premiers millimètres de pluie (par ex. abattement des 8 premiers millimètres de pluie). Dans le cas d'une exigence indiquée dans les Documents particuliers du marché, le calcul du débit de fuite sera réalisé par un bureau d'études spécialisé, à la charge du maître d'ouvrage.

Les contraintes réglementaires auxquelles les concepteurs doivent se conformer figurent dans :

- les règlements d'urbanisme ;
- le plan local d'urbanisme (PLU) / PLU Intercommunal ;
- les règles de ZAC ;
- le zonage pluvial.

C.2. LE RÔLE DES TOITURES VÉGÉTALISÉES

Dans ce contexte réglementaire, les toitures végétalisées ont un rôle important dans la gestion quantitative et qualitative des eaux pluviales, elles font partie des techniques qui peuvent contribuer au respect de ces règlements.

Une partie de l'eau interceptée sur une toiture végétalisée lors d'un événement pluvieux est conservée dans l'épaisseur du système (notamment dans le substrat). Disponible pour la plante, l'eau est éliminée par évapotranspiration de la plante et du sol. L'excédent est évacué au réseau.

L'épaisseur du système végétalisé conditionne directement la capacité volumique de stockage, dite CME (Capacité Maximale en Eau).

La nature des constituants d'un système végétalisé contribue également aux performances d'absorption et de stockage des eaux de pluie (CME du substrat notamment).

Le choix des plantes, établi en cohérence avec les deux critères précédents, contribue à l'utilisation de l'eau stockée.

Ces critères techniques de dimensionnement participent :

- à l'abattement volumique des premiers millimètres de pluie ;
- au retardement à l'évacuation des eaux pluviales dans les réseaux collecteurs ;
- à la réduction des débits de fuite pendant et après le pic de pluie ;
- à la réduction des coefficients de ruissellement.

Les fournisseurs de systèmes végétalisés indiquent les caractéristiques minimales d'épaisseur (en cm) et de capacité maximale en eau (en L/m²) des systèmes proposés permettant l'évaluation des performances hydriques pour chaque système.

Les règles de dimensionnement des EEP et des bassins de rétention ne sont pas modifiées par l'ajout d'une toiture végétalisée. Celle-ci permet de réduire les risques de débordement de bassins lors des pics de pluie, mais ne se substitue en aucun cas aux EEP, même partiellement.

C.3. LES PERFORMANCES HYDRIQUES D'UNE TOITURE VÉGÉTALISÉE

Le coefficient de ruissellement (C_R) : il s'agit du rapport de la quantité d'eau ruisselée sur la quantité de pluie reçue pendant une période considérée.

Ce C_R peut être calculé pour un événement pluvieux donné, ou être une moyenne annuelle sur l'ensemble des précipitations reçues.

$$C_R = Q \text{ ruisselée (mm)} / Q \text{ pluie (mm)}$$

L'abattement : le critère d'abattement correspond à la quantité d'eau (en mm) retenue puis évapotranspirée par le système. Cela s'obtient par la différence entre la pluie et le ruissellement.

L'abattement (AB) peut être calculé à l'événement ou sur une période annuelle pour l'ensemble des précipitations reçues.

$$AB \text{ (mm)} = \text{Pluie (mm)} - Q \text{ ruisselée (mm)}$$

Le débit de fuite : il correspond au débit de vidange d'un ouvrage recevant des eaux pluviales.

C.4. OUTIL FAVEUR

L'outil FAVEUR (outil Fonctionnel pour l'estimAtion de l'impact des toitures VEGétalisées sur le ruissellement URbain) est la déclinaison opérationnelle du modèle développé par le CEREMA d'Île-de-France. Il permet une estimation des performances hydriques des TTV en fonction des caractéristiques physiques du système, et constitue un outil d'aide au dimensionnement des systèmes de végétalisation en fonction des objectifs de gestion des eaux pluviales prédéfinis dans les documents d'urbanisme.

Il est disponible à l'adresse <http://faveur.cerema.fr/Faveur>

Tableau15 – Performances hydriques de différentes TTV sous deux climats français distincts d'après l'outil FAVEUR obtenues avec 15 années de chroniques de pluie Météo France

Climat océanique dégradé							
	Epaisseur du substrat (cm)	Couvert végétal	CME du substrat (%)	Cr annuel (-)	Cr événement^b (-)	Abattement annuel (mm)	Abattement événement (mm)
Végétalisation extensive	5	<i>Sedum</i>	35	0,5	0,5	303	7
Végétalisation extensive	10	<i>Sedum</i> + vivaces	40	0,4	0,4	380	14
Végétalisation semi-intensive	15	Graminées	45	0,3	0,3	431	30
Toiture avec étanchéité apparente^a				0,95	0,95	0	1
Toiture étanchée avec protection gravillons^a				0,9	0,9	70	1

Climat méditerranéen							
	Epaisseur du substrat (cm)	Couvert végétal	CME du substrat (%)	Cr annuel (-)	Cr événement^b (-)	Abattement annuel (mm)	Abattement événement (mm)
Végétalisation extensive	5	<i>Sedum</i>	35	0,6	0,4	227	9
Végétalisation extensive	10	<i>Sedum</i> + vivaces	40	0,4	0,3	317	18
Végétalisation semi-intensive	15	Graminées	45	0,3	0,2	378	31
Toiture avec étanchéité apparente^a				0,95	0,95	0	1
Toiture étanchée avec protection gravillons^a				0,9	0,9	70	1

^a Valeurs généralement prises en compte.

^b Un évènement pluvieux est délimité par la période comprise entre le début de la pluie et la fin de cette pluie séparée d'une autre par une période de 6 h sans aucune précipitation. Ici, les éléments pluvieux supérieurs à 5 mm sont pris en compte pour établir les moyennes.

Références :

Les modèles et outil FAVEUR ont été développés dans le cadre du projet de recherche TVGEP (Programme C2D2 du ministère de l'écologie lancé en 2009 ; partenaires : laboratoire LEESU de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, le CSTB, l'Adivet, le Conseil Départemental des Hauts-de-Seine, et le CEREMA Île-de-France).

Berthier E., Ramier D., Pinta P., Safitri L. (2014). FAVEUR : un outil d'aide à la conception des toitures végétalisées pour la gestion des eaux pluviales urbaines. Congrès ASTEE-SHF : «Optimisation de la gestion des systèmes d'assainissement pour la protection des milieux aquatiques». Bordeaux, France.

ANNEXE D

LISTE DES VÉGÉTAUX COURAMMENT UTILISÉS EN VÉGÉTALISATION EXTENSIVE ET SEMI-INTENSIVE DES TOITURES AVEC RETOURS D'EXPÉRIENCE POSITIFS

Le choix des végétaux doit prendre en compte :

- la localisation géographique du projet avec ses paramètres (sécheresse, gel, ensoleillement, altitude, ...)
- la présence ou non d'un arrosage automatique sur la toiture ;
- la disponibilité des plantes selon la saison ;
- l'adéquation entre conditionnement des végétaux, épaisseur de substrat et densité de plantation.

Les épaisseurs de substrat ne sont données qu'à titre indicatif. Au-delà des prescriptions du tableau 2 et du paragraphe 7.2.3, elles peuvent varier selon les caractéristiques du substrat du système de végétalisation, la localisation géographique du projet, la nature de la couche drainante et sa capacité à stocker de l'eau, la pente de la toiture, la présence ou non d'un arrosage.

Végétalisation extensive à dominante Sedum - Epaisseur de substrat 4 cm à 6 cm

Nom botanique	Nom commun	Exposition	Catégorie
<i>Jovibarba</i>	Petit rosette		Vivace succulente
<i>Sedum album</i> 'Murale'	Orpin blanc		Vivace succulente
<i>Sedum floriferum</i> 'Weihenstephaner Gold'	Orpin floriferum 'Weihenstephaner Gold'		Vivace succulente
<i>Sedum hispanicum</i>	Orpin d'Espagne		Vivace succulente
<i>Sedum hybridum</i> 'Immergrünchen'	Orpin hybride		Vivace succulente
<i>Sedum sexangulare</i>	Orpin doux		Vivace succulente
<i>Sedum spurium</i> 'Purpurteppich'	Orpin bâtard 'Purpurteppich'		Vivace succulente
<i>Sempervivum arachnoideum</i>	Joubarbe à toile d'araignée		Vivace succulente
<i>Sempervivum montanum</i>	Joubarbe des montagnes		Vivace succulente

Végétalisation extensive à dominante Sedum - Epaisseur de substrat 6 cm à 8 cm

Nom botanique	Nom commun	Exposition	Catégorie
<i>Allium schoenoprasum</i>	Ciboulette		Vivace à bulbe
<i>Delosperma congestum</i>	Pourpier vivace		Vivace succulente
<i>Delosperma cooper</i>	Pourpier vivace de Cooper		Vivace succulente
<i>Delosperma lineare</i>	Pourpier vivace à fleurs jaune		Vivace succulente
<i>Hieracium pilosella</i>	Epervière piloselle - Oreille de souris		Vivace herbacée
<i>Sedum album</i> 'Art'	Orpin blanc 'Art'		Vivace succulente
<i>Sedum album</i> 'Coral Carpet'	Orpin blanc 'Coral carpet'		Vivace succulente
<i>Sedum bithynicum</i>	Orpin bithynicum		Vivace succulente
<i>Sedum cauticola</i>	Orpin cauticola		Vivace succulente
<i>Sedum ellacombianum</i>	Orpin ellacombianum		Vivace succulente
<i>Sedum kamtschaticum</i> 'Variegatum'	Orpin du Kamtchatka		Vivace succulente

Légende		
	espèce adaptée au plein soleil	
	espèce adaptée à une exposition mi-ombre	
	espèce adaptée à une exposition ombragée	

Végétalisation extensive à dominante sedum - Epaisseur de substrat 6 cm à 8 cm

Nom botanique	Nom commun	Exposition	Catégorie
<i>Sedum lydium</i>	Orpin lydium		Vivace succulente
<i>Sedum reflexum</i>	Orpin des rochers ou Orpin réfléchi		Vivace succulente
<i>Sedum spurium</i> 'Album Superbum'	Orpin bâtard 'Album Superbum'		Vivace succulente
<i>Sedum spurium</i> 'Fuldaglut'	Orpin bâtard 'Fuldaglut'		Vivace succulente
<i>Sedum spurium</i> 'Roseum Superbum'	Orpin bâtard 'Roseum Superbum'		Vivace succulente
<i>Sedum spurium</i> 'Splendens'	Orpin bâtard 'Splendens'		Vivace succulente
<i>Sedum spurium</i> 'Variegatum'	Orpin bâtard 'Variegatum'		Vivace succulente

Végétalisation extensive à dominante vivaces non ligneuses - Epaisseur de substrat 8 cm à 12 cm

Nom botanique	Nom commun	Exposition	Catégorie
<i>Alyssum montanum</i>	Alysson des montagnes		Vivace herbacée
<i>Anthemis carpatica</i>	Camomille 'Karpatschnee'		Vivace herbacée
<i>Arabis caucasica</i>	Corbeille d'argent		Vivace herbacée
<i>Aster alpinus</i>	Aster des Alpes		Vivace herbacée
<i>Campanula portenschlagiana</i>	Campanule des murailles		Vivace herbacée
<i>Campanula rotundifolia</i>	Campanule à feuilles rondes		Vivace herbacée
<i>Cerastium arvense</i>	Céaiste des champs		Vivace herbacée
<i>Cerastium tomentosum</i>	Céaiste oreille de souris		Vivace herbacée
<i>Crocus flavus</i>	Crocus jaune		Vivace à bulbe
<i>Crocus violet Purpurea</i>	Crocus à grandes fleurs pourpre violet		Vivace à bulbe
<i>Dianthus alpinus</i>	Œillet des Alpes		Vivace herbacée
<i>Dianthus anatolicus</i>	Œillet d'Anatolie		Vivace herbacée
<i>Dianthus arenarius</i>	Œillet des sables		Vivace herbacée
<i>Dianthus carthusianorum</i>	Œillet des chartreux		Vivace herbacée
<i>Dianthus deltoides</i>	Œillet à delta		Vivace herbacée
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Euphorbe petit-cyprès		Vivace herbacée
<i>Festuca glauca</i>	Fétuque bleue		Graminée
<i>Gypsophila repens</i>	Gypsophile rampant		Vivace herbacée
<i>Helianthemum nummularium</i>	Hélianthème à feuilles arrondies		Vivace herbacée
<i>Hieracium aurantiacum</i>	Epervière orangée		Vivace herbacée
<i>Hypericum perforatum</i>	Millepertuis		Vivace herbacée
<i>Hyssopus officinalis</i>	Hysoppe officinale		Vivace herbacée
<i>Iris Barbata-Nana</i>	Iris des jardins		Vivace à rhizome
<i>Linaria cymbalaria</i>	Cymbalaire ou Ruine de Rome		Vivace herbacée
<i>Linum perenne</i>	Lin vivace		Vivace herbacée
<i>Liriope muscari</i>	Liriope muscari		Vivace à bulbe
<i>Origanum vulgare</i>	Origan commun		Vivace ligneuse
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	Œillet saxifrage		Vivace herbacée
<i>Potentilla argentea</i>	Potentille argentée		Vivace herbacée
<i>Potentilla aurea</i>	Potentille vivace jaune		Vivace herbacée

Végétalisation extensive à dominante vivaces non ligneuses - Epaisseur de substrat 8 cm à 12 cm

Nom botanique	Nom commun	Exposition	Catégorie
<i>Prunella vulgaris</i>	Prunelle		Vivace herbacée
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	Anémone pulsatile		Vivace herbacée
<i>Saponaria ocyroides</i>	Saponaire de Montpellier		Vivace herbacée
<i>Saponaria officinalis</i>	Saponaire officinale		Vivace herbacée
<i>Satureja montana</i>	Sarriette des montagnes		Vivace herbacée
<i>Saxifraga paniculata</i>	Saxifrage paniculée		Vivace herbacée
<i>Saxifraga stolonifera</i>	Saxifrage araignée		Vivace herbacée
<i>Sedum spurium 'Atropurpureum'</i>	Orpin bâtard 'Atropurpureum'		Vivace succulente
<i>Sempervivum tectorum</i>	Joubarbe des toits		Vivace succulente
<i>Teucrium chamaedrys</i>	Germandrée petit chêne		Vivace herbacée
<i>Thymus officinalis</i>	Thym officinale		Vivace ligneuse
<i>Thymus pulegioides</i>	Thym pouillot		Vivace herbacée
<i>Thymus serpyllum</i>	Thym serpolet		Vivace ligneuse
<i>Thymus vulgaris</i>	Thym commun		Vivace ligneuse
<i>Viola arvensis</i>	Pensée des champs		Vivace herbacée

Végétalisation semi-intensive - Epaisseur de substrat 12 cm à 30 cm

Nom botanique	Nom commun	Exposition	Catégorie
<i>Achillea millefolium</i>	Achillée millefeuille		Vivace herbacée
<i>Achillea tomentosa</i>	Achillée tomenteuse		Vivace herbacée
<i>Allium christophii</i>	Ail de Perse		Vivace à bulbe
<i>Allium karataviense</i>	Ail d'ornement à feuilles larges		Vivace à bulbe
<i>Anaphalis triplinervis</i>	Immortelle de l'Himalaya		Vivace herbacée
<i>Antennaria dioica</i>	Antennaire dioïque - Pied de chat		Vivace herbacée
<i>Anthemis tinctoria</i>	Anthémis des teinturiers		Vivace herbacée
<i>Armeria maritima</i>	Gazon d'Espagne		Vivace herbacée
<i>Calamintha nepeta</i>	Petit calament		Vivace herbacée
<i>Carex buchananii</i>	Laîche de Buchanan		Graminée
<i>Carex comans 'Bronze Form'</i>	Laîche 'Bronze Form'		Graminée
<i>Carex flacca</i>	Laîche glauque		Graminée
<i>Carex humilis</i>	Laîche basse		Graminée
<i>Carex montana</i>	Laîche des montagnes		Graminée
<i>Centaurea scabiosa</i>	Centaurée scabieuse		Vivace herbacée
<i>Chamaemelum nobile 'Plena'</i>	Camomille Romaine		Vivace herbacée
<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>	Marguerite		Vivace herbacée
<i>Crocus tommasinianus</i>	Crocus de Thomas		Vivace à bulbe
<i>Caespitosa</i>	Canche		Graminée
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Euphorbe petit-cyprès		Vivace herbacée
<i>Euphorbia myrsinites</i>	Euphorbe de Corse		Vivace herbacée
<i>Euphorbia polychroma</i>	Euphorbe polychrome		Vivace herbacée
<i>Festuca amethystina</i>	Fétuque améthyste		Graminée

Végétalisation semi-intensive - Epaisseur de substrat 12 cm à 30 cm

Nom botanique	Nom commun	Exposition	Catégorie
<i>Festuca ovina</i>	Fétuque des moutons		Graminée
<i>Festuca punctoria</i>	Fétuque punctoria		Graminée
<i>Fragaria vesca</i>	Fraisier des bois		Vivace herbacée
<i>Geranium dalmaticum</i>	Géranium vivace nain - Bec de grue		Vivace herbacée
<i>Geranium macrorrhizum</i>	Géranium à gros rhizome		Vivace herbacée
<i>Geranium sanguineum</i>	Géranium sanguin		Vivace herbacée
<i>Hieracium x rubrum</i>	Epervière à grappes		Vivace herbacée
<i>Hypericum polyphyllum</i>	Millepertuis nain		Vivace herbacée
<i>Inula ensifolia</i>	Aunée à feuilles récurvées		Vivace herbacée
<i>Iris Barbata-Media</i>	Iris des jardins		Vivace à rhizome
<i>Koeleria glauca</i>	Koelérie bleue		Graminée
<i>Lavandula angustifolia</i>	Lavande vraie		Vivace ligneuse
<i>Matricaria caucasica</i>	Matricaire du Caucase		Vivace herbacée
<i>Melica ciliata</i>	Mélique ciliée		Graminée
<i>Nepeta mussinii</i>	Chataire mussinii		Vivace herbacée
<i>Nepeta x faasenii</i>	Chataire - Herbe à chat		Vivace herbacée
<i>Oenothera missouriensis</i>	Oenothère du Missouri		Vivace herbacée
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	Herbe aux écouvillons		Graminée
<i>Poa alpina</i>	Pâturin des Alpes		Graminée
<i>Poa compressa</i>	Pâturin à tiges aplaties		Graminée
<i>Potentilla fruticosa</i>	Potentille arbustive		Vivace herbacée
<i>Potentilla verna</i>	Potentille printanière		Vivace herbacée
<i>Prunella grandiflora</i>	Brunelle à grandes fleurs		Vivace herbacée
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	Anémone pulsatile		Vivace herbacée
<i>Rosa pimpinellifolia</i>	Rosier pimprenelle		Arbrisseau
<i>Rosmarinus prostratus</i>	Romarin 'Prostratus' prostré		Arbrisseau
<i>Salvia officinalis</i>	Sauge officinale		Vivace herbacée
<i>Sanguisorba minor</i>	Petite pimprenelle		Vivace herbacée
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	Santoline petit cyprès		Vivace herbacée
<i>Sedum spectabile</i>	Orpin d'automne		Vivace succulente
<i>Stipa calamagrostis</i>	Stipa calamagrostis		Graminée
<i>Stipa tenuifolia</i>	Cheveux d'anges		Graminée
<i>Thymus doerfleri</i>	Thym		Vivace ligneuse
<i>Thymus montanus</i>	Thym pouillot 'Montanus'		Vivace ligneuse
<i>Verbascum nigrum</i>	Molène noire		Vivace herbacée
<i>Verbascum phoeniceum</i>	Molène de Phénicie		Vivace herbacée
<i>Verbascum thapsus</i>	Molène Bouillon blanc		Vivace herbacée
<i>Veronica teucrium</i>	Véronique germandrée		Vivace herbacée

A titre indicatif, on pourra aussi se reporter aux résultats du programme « Florilège Toitures » conduit par Plante & Cité en partenariat avec l'ADIVET et l'UNEP, programme soutenu par VALHOR dont l'objectif est d'étudier l'évolution des plantes de toitures in situ.

ANNEXE E

LISTE DE PLANTES INTERDITES EN TOITURES VÉGÉTALISÉES

Les végétaux ci-dessous sont interdits à la plantation dans la mesure où leur développement racinaire peut porter atteinte à l'ouvrage d'étanchéité.

L'attention des utilisateurs est attirée sur le risque d'installation spontanée de ces espèces et d'autres pouvant également porter atteinte à l'ouvrage d'étanchéité.

Voir chapitre 12 : entretien.

Nom commun	Genre	Espèce
Toutes les espèces de bambou dont :	<i>Arundinaria</i>	
	<i>Fargesia</i>	
	<i>Phyllostachys</i>	
	<i>Pleioblastus</i>	
	<i>Pseudosasa</i>	
	<i>Sinarundinaria</i>	
	<i>Oligostachyum</i>	
	<i>Drepanostachyum</i>	
	<i>Chimonobambusa</i>	
	<i>Brachystachium</i>	
	<i>Borinda</i>	
	<i>Olmecca</i>	
	<i>Otatea</i>	
	<i>Ochlandra</i>	
	<i>Sasa</i>	
<i>Yushania</i>		
<i>Shibataea</i>		
Canne de Provence	<i>Arundo</i>	<i>donax</i>
Roseau (noms synonymes)	<i>Phragmites</i>	<i>australis</i> <i>communis</i> <i>vulgaris</i> <i>longivalvis</i>
	<i>Arundo</i>	<i>phragmites</i> <i>australis</i> <i>vulgaris</i>
Elime / Lime grass	<i>Leymus</i>	<i>racemosus</i>
Spartine	<i>Spartina</i>	<i>pectinata</i>
Renouée du Japon	<i>Reynoutria</i>	<i>japonica</i>
Renouée amphibie	<i>Polygonum</i>	<i>amphibium</i>
Renouée maritime	<i>Polygonum</i>	<i>maritimum</i>
Renouée à épis	<i>Polygonum</i>	<i>polystachyum</i>

Préambule

L'eau est une ressource précieuse qu'il s'agit de préserver. Si les possibilités techniques ont évolué en permettant de différencier les sources d'approvisionnements, l'eau potable reste la ressource principale alimentant les toitures et terrasses végétalisées. Les enjeux environnementaux liés à cette ressource doivent inciter les maîtres d'ouvrage à étudier d'autres possibilités : récupération d'eaux pluviales par exemple.

En tout état de cause, l'utilisation de l'eau doit être raisonnée afin d'éviter tout gaspillage y compris par un choix adapté des espèces végétales. De ce fait, l'arrosage sur les toitures et terrasses végétalisées (TTV) doit être réalisé uniquement dans l'optique de compléter les besoins des plantes qui ne sont pas satisfaits par la pluviométrie. Parfois, il s'agit simplement d'améliorer l'aspect du végétal dans un but esthétique, de diversifier la gamme végétale ou encore de contribuer au « confort d'été ».

Dans les régions à période sèche et lors de périodes prolongées de canicule et/ou de sécheresse, un arrosage raisonné vise à optimiser la ressource en eau.

On pourra se référer aux règles professionnelles « conception des systèmes d'arrosage » P.C.6-R0 AFDJEVP/AITF/FFP/SYNAA/UNEP.

F.1. GÉNÉRALITÉS

F.1.1. BESOINS EN EAU

Sur les terrasses et toitures végétalisées, le but de l'arrosage est de compenser un éventuel déficit hydrique non couvert par les eaux de pluies ou d'apporter la quantité d'eau couvrant les besoins de pérennité des végétaux.

Lorsque l'arrosage est nécessaire (voir tableau 17 et carte), le concepteur du système de végétalisation doit communiquer les informations suivantes :

- la Capacité Maximale en Eau (CME) du complexe de culture ;
- les doses et fréquences saisonnières d'arrosage en fonction de la localisation du projet et des caractéristiques hydriques du système de végétalisation.

Les volumes d'eau apportés doivent permettre de reconstituer la réserve en eau du substrat. Ils ne doivent pas être supérieurs à la capacité de rétention du substrat afin de ne pas entraîner son lessivage et d'éviter les pertes d'eau. Il est ainsi préconisé de fractionner les apports d'eau et de maîtriser les doses d'arrosage en fonction des capacités de rétention en eau des systèmes végétalisés.

Note : une mini station météo capable d'extrapoler l'ETP ¹ peut permettre d'optimiser la gestion de l'arrosage.

F.1.2. LE POINT D'EAU

Au moins un point d'eau est obligatoire sur toute terrasse ou toiture végétalisée. Tout point de la terrasse devra être situé à moins de 30 mètres de ce point d'eau. Les caractéristiques en sont données dans le tableau 16. Lorsque la terrasse ou toiture végétalisée est constituée de plusieurs surfaces indépendantes, plusieurs alimentations en eau doivent être prévues.

Dans le cas d'arrosage automatique, l'installation en amont devra être pourvue d'un disconnecteur et d'un système de régulation de pression des différentes terrasses.

¹ Voir définition au paragraphe F.5

Notes

L'installation amont et les points d'eau font généralement partie du lot plomberie.

Si on choisit de recourir à l'arrosage automatique, il est conseillé de munir les terrasses ou toitures d'une alimentation électrique (230V, 10A) pour sa programmation (lot électricité).

Tableau 16 - Débit et pression dynamique¹ recommandés pour l'arrosage en fonction de la surface de la toiture végétalisée.

Surface ^a par secteur arrosé (m ²)	Débit (m ³ /h) (au point d'eau en toiture)	Pression dynamique (bars) (au point d'eau en toiture)	Diamètre recommandé du point d'eau en toiture (mm)
0 à 200	2,5	3,0	32
200 à 500	3,5	3,5	40
500 à 3 000	5,0	4,0	50
> 3 000	Une étude hydraulique doit être réalisée		

^a Ces surfaces correspondent au dimensionnement d'un seul point d'eau. En présence de plusieurs points d'eau, il conviendra, pour le dimensionnement, de considérer les surfaces arrosées par chaque point d'eau.

F.1.3. LES DIFFÉRENTES TYPOLOGIES D'ARROSAGE

- Arrosage soit manuel avec un simple tuyau d'arrosage branché sur le point d'eau, soit avec lance ou asperseurs mobiles ;
- Arrosage intégré à déclenchement automatique ou manuel par :
 - aspersion ;
 - goutte à goutte ou toile d'irrigation ;
 - capillarité ou toile d'irrigation.

F.1.4. QUELQUES RECOMMANDATIONS

- Ne pas arroser en plein soleil (sauf période d'installation des végétaux).
- Ne pas arroser en pleine journée, l'été ; arroser en début ou fin de journée ou de nuit.
- Eviter d'arroser dès que la vitesse du vent dépasse 20 km/h lorsque la solution d'arrosage par aspersion est retenue.
- Ne pas sur-arroser pour éviter les excès d'eau.

F.2. TECHNIQUES D'ARROSAGE

L'arrosage requiert de veiller à la bonne uniformité de la répartition de l'eau sur toute la surface :

- arrosage manuel : cela nécessite le déplacement régulier de la source d'arrosage sur toute la surface, ce qui présente des limites à partir d'une certaine surface.
- arrosage intégré : l'installation d'un système d'arrosage automatique (à déclenchement manuel ou programmé) nécessite en préalable une étude technique (voir règles professionnelles citées en préambule) :
 - **par aspersion** : dans ce cas il est recommandé d'implanter les arroseurs de sorte que le coefficient d'uniformité ¹ soit supérieur à 80 % sur toute la surface ;

¹ Voir définition au paragraphe F.5

- **par goutte à goutte :**
 - en surface : dans ce cas, il est recommandé de faire en sorte que les bulbes hydriques¹ se rejoignent afin d'obtenir un coefficient d'uniformité de 100 % sur toute la surface.
 - avec tuyaux enterrés ou nappe de sub-irrigation : l'application en goutte à goutte sous-surfacique nécessite obligatoirement des goutteurs anti-siphon pour éviter l'intrusion de particules de sol à l'arrêt de l'arrosage ou lors de pluies importantes.
- **par capillarité :** dans ce cas, il est recommandé de ne pas dépasser 30 cm d'épaisseur de substrat.

F.3. L'ARROSAGE DES TERRASSES ET TOITURES VÉGÉTALISÉES

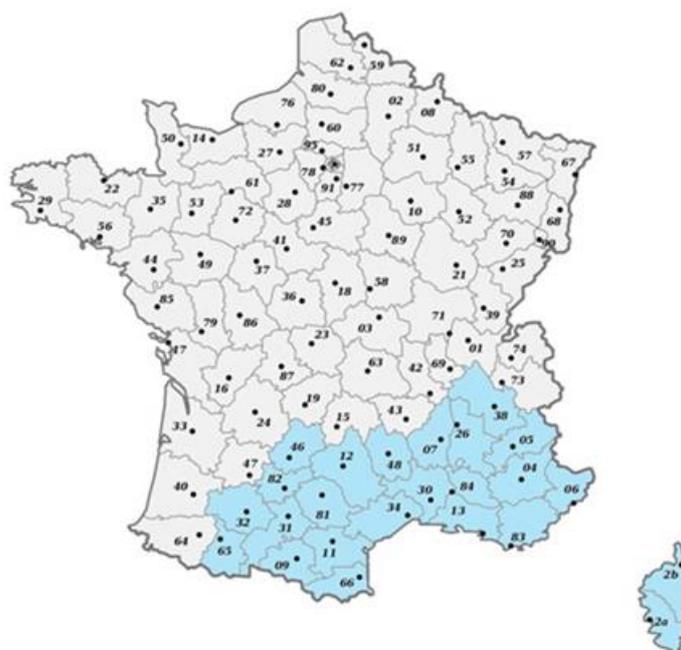
F.3.1. L'ARROSAGE DES SYSTÈMES DE VÉGÉTALISATION EXTENSIVE

D'une façon générale en France européenne, les systèmes de végétalisation extensive sont conçus pour permettre la pérennité des végétaux sélectionnés par le fournisseur du système de végétalisation, et ceci d'une façon autonome sous le climat et la pluviométrie naturelle locale. Cependant, dans certaines régions, la fréquence des pluies pendant la période végétative impose de compléter la pluviométrie naturelle.

Aussi, deux zones se dessinent en France européenne (voir carte simplifiée des besoins en arrosage des toitures végétalisées extensives) :

- une zone (en blanc) où la pluviométrie suffit aux besoins hydriques des plantes sauf données spécifiques nécessitant d'arroser (voir paragraphe F.3.1.1) ;
- une zone (en bleu) où l'arrosage en période estivale est nécessaire pour compléter la pluviométrie peu fréquente, zone correspondant essentiellement au pourtour méditerranéen (voir paragraphe F.3.1.2).

Carte simplifiée des besoins en arrosage des toitures végétalisées extensives



- Arrosage nécessaire
- Arrosage optionnel

La décision d'arroser une toiture végétalisée extensive est avant tout liée à la situation climatique de la toiture. Cependant, d'autres critères sont à prendre en compte afin de décider ou non de mettre en place un système d'arrosage.

C'est de l'analyse des différents critères par le concepteur du système de végétalisation que ressort la décision. Ces critères, rappelés dans le tableau 17, sont de deux ordres :

- critères liés à des attentes spécifiques du maître d'ouvrage ;
- critères liés à une situation particulière de la toiture, aux caractéristiques propres du système de végétalisation ou aux préconisations du concepteur du système.

Tableau 17 - Critères de décision de mise en place d'un système d'arrosage

Critères liés au site, à la toiture et au système de végétalisation	Critères liés aux attentes du maître d'ouvrage
Réserve d'eau du système de végétalisation	Esthétique
Pente du système de végétalisation	Confortement de la période de floraison
Exposition des versants de la toiture	Elargissement de la palette végétale
Zone locale de faible pluviométrie	Confort d'été et rafraîchissement urbain
Microclimat du site (zone ventée, fréquence des pluies, ombre...)	

Ces critères permettront de déterminer les besoins éventuels en arrosage d'un projet (périodes, doses et fréquences) ainsi que les techniques d'arrosage appropriées (voir paragraphes F.1.3 et F.2).

F.3.1.1. ARROSAGE PONCTUEL OU TEMPORAIRE

Toute toiture végétalisée extensive peut nécessiter de prévoir de compléter la pluviométrie ponctuellement ou temporairement à partir des points d'eau (voir paragraphe F.1.2) disponibles en toiture :

- à la mise en œuvre des végétaux (semis, plantés ou précultivés) ;
- jusqu'à enracinement suffisant des plantes ou des tapis précultivés dans le substrat ;
- en période de sécheresse et/ou de canicule.

F.3.1.2. ARROSAGE PONCTUEL

Il est obligatoire dans les cas où le système de végétalisation ne permet pas aux végétaux de couvrir leurs besoins en eau pour résister au stress hydrique :

- dans les régions de France européenne (zone en blanc sur carte) après analyse des critères de décision ;
- dans les régions de France européenne, correspondant essentiellement au pourtour méditerranéen (zone en bleu sur carte), l'arrosage est nécessaire.

Ces arrosages pourront être mis en œuvre suivant les différentes techniques présentées aux paragraphes F.1.3 et F.2.

F.3.2. L'ARROSAGE DES SYSTÈMES DE VÉGÉTALISATION SEMI-INTENSIVE

Hors la période hivernale, un arrosage est le plus souvent nécessaire en végétalisation semi-intensive. Il est généralement mis en œuvre à l'aide d'un système d'arrosage automatique (à déclenchement manuel ou programmé).

A noter cependant que selon les propriétés de rétention d'eau du système de végétalisation (épaisseur du substrat, stockage d'eau...), le choix des végétaux et la région d'implantation de la toiture, certains systèmes de végétalisation semi-intensive peuvent assurer la pérennité des végétaux de façon autonome. Dans tous les cas et partout en France, un arrosage ponctuel ou temporaire doit être assuré comme pour les systèmes de végétalisation extensive (voir paragraphe F.3.1.1).

F.4. LA MAINTENANCE DU SYSTEME D'ARROSAGE AUTOMATIQUE

La maintenance du système d'arrosage est essentielle pour sa pérennité. Cet entretien procède d'une démarche rigoureuse (mise en hivernage, remise en route, contrôle du fonctionnement des tuyères ou asperseurs, vérification de la pression d'eau et de la bonne trajectoire du jet ou orientation, etc.). Se reporter aux règles professionnelles P.E.4-RO « Travaux de maintenance des systèmes d'arrosage » AFDJEVP/AITF/FFP/SYNAA/UNEP et à l'annexe I.

F.5. VOCABULAIRE

Bulbes hydriques

Dans l'irrigation goutte à goutte, zone humide qui se forme dans le sol autour de chaque goutteur.

Coefficient d'uniformité

Coefficient qui mesure l'homogénéité de la quantité d'eau apportée par unité de surface.

Evapotranspiration potentielle (ETP ou ET)

Quantité maximale d'eau susceptible d'être évapotranspirée sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend l'évaporation du sol et la transpiration de la végétation dans une région donnée pendant une période de 24h. Elle s'exprime en hauteur d'eau (mm) et est donnée pour une culture de référence (couvert de Graminées non arrosées).

Pression dynamique

Pression exercée par un liquide en mouvement sur les parois d'une canalisation ou à la buse d'un asperseur. Elle se mesure en pascals ou en bars ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$). Elle est la pression de référence utilisée pour le dimensionnement du réseau.

ANNEXE G1

PROTOCOLES DE MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE, DE LA CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU ET DE LA PERMÉABILITÉ POUR LES SUBSTRATS ET LES MATÉRIAUX GRANULAIRES

G1.1. **OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION**

Ces protocoles concernent les matériaux constitutifs des :

- couches de substrats en végétalisation extensive et semi-intensive de toiture ;
- couches de drainage.

Ces matériaux sont constitués de matières minérales, pures ou amendées, avec des granulométries allant généralement jusqu'à un diamètre de 20 mm.

Ces protocoles ne sont valides que pour des matériaux dont la teneur en matière organique est inférieure à 15 % massique (teneur maximale autorisée en toiture végétalisée semi-intensive, voir tableau 5).

En revanche, il ne concerne pas les matériaux de drainage ou supports de culture constitués de matériaux synthétiques qui font l'objet des protocoles spécifiques.

G1.2. TERMES ET VOCABULAIRE

Densité apparente

Encore appelée masse volumique apparente, c'est le rapport de la masse au volume total de l'échantillon (espace poral compris), exprimé en kilogramme par mètre cube.

Porosité / espace poral

Volume total des vides remplis d'air et/ou d'eau, mesuré dans des conditions spécifiques. La porosité est le plus souvent exprimée en pourcentage du volume apparent total.

Capacité maximale en eau (CME)

Volume d'eau maximal retenu par l'échantillon dans les conditions définies au présent protocole, exprimé en pourcentage volumique.

Perméabilité / Conductivité hydraulique

Vitesse de circulation de l'eau dans un matériau, exprimée en cm/s. On distingue perméabilité verticale (encore appelée vitesse de percolation) et perméabilité horizontale, encore appelée débit dans le plan exprimé en L/m/s.

Note : les protocoles sont décrits de façon complète, de manière à pouvoir être réalisés de façon indépendante. En revanche, il est possible de les réaliser à la suite, en utilisant les mêmes échantillons dans l'ordre suivant :

- 1- préparation
- 2- mesure de la densité apparente fraîche mais pas de passage à l'étuve
- 3- mesure de la CME
- 4- mesure de la perméabilité (verticale)
- 5- mesure de la teneur en eau et de la densité apparente sèche par passage à l'étuve

G1.3. MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

G1.3.1. PRINCIPE DE LA MESURE

Compactage standardisé de 2 100 à 2 500 ml de volume meuble de matériaux à l'état frais dans des récipients cylindriques définis. Calcul de la masse volumique apparente à partir du volume de l'échantillon compacté et calcul de la masse volumique apparente sèche après détermination de la teneur en eau de l'échantillon.

G1.3.2. PROTOCOLE DE MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

Réaliser la mesure trois fois, en parallèle si on dispose du matériel nécessaire, et calculer une densité apparente moyenne.

G1.3.2.1. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- 20 litres de substrat ou matériau de drainage à tester.
- Récipients cylindriques d'une matière résistant à 105 °C, diamètre intérieur 150 mm, hauteur 165 mm à fond comportant des perforations définies :
 - écart des rayons de perforations : 15° ;
 - écart des cercles de perforations : 10 mm ;
 - diamètre des perforations : 5 mm ;
 - nombre de perforations :
 - au centre 1x1=1
 - division 90° 4 x 7 = 28
 - division 30°/60° 8 x 6 = 48
 - division 15°/45°/75° 12 x 4 = 48soit total des perforations = 125
- Grille métallique de diamètre 150 mm et d'ouverture de maille 600µm (doit pouvoir se glisser à plat au fond du cylindre).
- Plaque d'acier, épaisseur 7 mm, diamètre 148 mm (essai Proctor DIN 18 127).
- Masse Proctor, 4,5 kg de masse, hauteur de chute 450 mm (essai Proctor DIN 18 127).
- Etuve.
- Balance de précision 0,1 g.

G1.3.2.2. MESURE DE LA DENSITÉ APPARENTE

Protocole de mesure

1. Mesurer précisément la hauteur intérieure du cylindre : faire 4 mesures et établir une moyenne.
2. Déterminer la masse du récipient cylindrique muni du fond perforé et de la grille métallique posée à plat au fond. S'assurer que le matériel est sec et à température ambiante avant d'effectuer la pesée. On note m_{cg} la masse du dispositif.
3. Introduire le matériau à analyser à l'état frais sur une hauteur de 120 à 140 mm de haut de manière à obtenir après compactage une épaisseur de matériau tassé de $100 \text{ mm} \pm 5 \%$.
4. Placer la plaque d'acier Proctor sur l'échantillon. Compacter le matériau introduit avec 6 coups de masse Proctor.
5. Déterminer la hauteur de l'échantillon à l'état compacté par mesure de la hauteur entre le haut du cylindre et le haut de l'échantillon, en 4 points différents. Soustraire cette valeur à la hauteur intérieure du cylindre. On obtient h (hauteur de l'échantillon) en cm.

6. Passer l'échantillon à l'étuve à 105 °C pendant 48 h jusqu'à stabilisation complète du poids de l'échantillon. Peser l'échantillon quand il est à température ambiante.

Calcul de la masse volumique apparente

Calculer le volume total de l'échantillon :

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

avec : V volume total de l'échantillon compacté en cm^3

r rayon du cylindre en cm

h hauteur préalablement obtenue en cm

Puis :

- la masse fraîche (m_f) de l'échantillon, exprimée en grammes, est obtenue par pesée et soustraction de la masse vide du dispositif (m_{cg}) ;
- la masse sèche (m_s) de l'échantillon, exprimée en grammes, est obtenue par pesée de l'échantillon séché en étuve et soustraction de la masse vide du dispositif (m_{cg}) ;
- la masse volumique apparente sèche est obtenue par la formule suivante :

$$S_s = \frac{m_s}{V}$$

avec : S_s masse volumique apparente sèche en g/cm^3 (x 1 000 pour obtenir des kg/m^3)

Remarque : la teneur en eau du substrat (par rapport à la masse sèche) est obtenue par la formule suivante :

$$\%H = \frac{m_f - m_s}{m_s} \times 100$$

où $\%H$ représente le pourcentage massique d'eau contenu dans le substrat.

Note : voir protocole de CME pour le calcul de la masse volumique apparente à CME (ci-après)

G1.4. MASSE À CME DES MATÉRIAUX GRANULAIRES UTILISÉS COMME SUBSTRATS OU MATÉRIAUX DE DRAINAGE DES TOITURES TERRASSES VÉGÉTALISÉES

G1.4.1. PRINCIPE DE LA MESURE DE CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU

Une colonne de substrat compactée est saturée en eau puis ressuyée. On considère ainsi que toute l'eau gravitaire s'est écoulée et que l'eau restante est retenue par le substrat ou le système de drainage.

G1.4.2. MESURE DE LA CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU

G1.4.2.1. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- 20 litres de substrat ou matériau de drainage à tester.
- Récipients cylindriques d'une matière résistant à 105 °C, diamètre intérieur 150 mm, hauteur 165 mm à fond comportant des perforations définies :
 - écart des rayons de perforations : 15 ;
 - écart des cercles de perforations : 10 mm ;
 - diamètre des perforations : 5 mm ;

- nombre de perforations :
 - au centre $1 \times 1 = 1$
 - division 90° : $4 \times 7 = 28$
 - division $30^\circ/60^\circ$: $8 \times 6 = 48$
 - division $15^\circ/45^\circ/75^\circ$: $12 \times 4 = 48$
 soit total des perforations : 125 ;
- Plaque d'acier, épaisseur 7 mm, diamètre 148 mm (essai Proctor DIN 18 127).
- Masse Proctor, 4,5 kg de poids de chute, hauteur de chute 450 mm (essai Proctor DIN 18 127).
- Etuve.
- Balance, précision 0,1 g.
- Deux grilles métalliques de diamètre 150 mm et d'ouverture de maille 600 μm (doivent pouvoir se glisser à plat au fond du cylindre).
- Masse de 1 à 2 kg environ (à poser sur échantillon pour empêcher le gonflement) – diamètre environ 10 cm.
- Récipient étanche suffisamment haut pour contenir les cylindres d'échantillons.
- Cuvette munie d'une plaque de drainage ou grille sur laquelle on pourra laisser égoutter les cylindres.

G1.4.2.2. MESURE DE LA CME

Protocole de mesure

Remarque : si on utilise le même échantillon que lors de la mesure de la densité apparente, passer alors directement à l'étape 7.

Réaliser la mesure 3 fois, en parallèle si on dispose du matériel nécessaire, et calculer une CME moyenne.

1. Mesurer précisément la hauteur intérieure du cylindre : faire 4 mesures et établir une moyenne.
2. Déterminer la masse du récipient cylindrique muni du fond perforé. S'assurer que le matériel est sec et à température ambiante avant d'effectuer la pesée. On note m_c la masse du cylindre.
3. Insérer au fond du cylindre une grille métallique. Peser l'ensemble : cylindre + grille + fond perforé. On note m_{cg} la masse du dispositif.
4. Introduire le matériau à analyser à l'état frais sur une hauteur de 120 à 140 mm de haut de manière à obtenir après compactage une épaisseur de matériau tassé de $100 \text{ mm} \pm 5 \%$.
5. Placer la plaque d'acier Proctor sur l'échantillon. Compacter le matériau introduit avec 6 coups de masse Proctor.
6. Déterminer la hauteur de l'échantillon à l'état compacté par mesure de la hauteur entre le haut du cylindre et le haut de l'échantillon, en 4 points différents. Soustraire cette valeur à la hauteur intérieure du cylindre. On obtient h en cm.
7. Placer l'échantillon dans le récipient étanche, le munir d'une grille ou toile de tamisage et placer une masse dessus. Le rôle de ce dispositif est d'empêcher l'échantillon de se soulever lors de la réhumectation.
8. Placer le récipient sous un filet d'eau, de telle sorte que l'eau ne tombe pas directement sur l'échantillon mais dans l'espace entre le bord extérieur du cylindre et le bord du récipient. La réhumectation de l'échantillon se fait ainsi par le fond du cylindre et doit être lente de manière à permettre de chasser tout l'air compris dans l'espace poral. Compter au moins 15 à 20 min de phase d'immersion. L'immersion est complète lorsque la hauteur finale de l'eau dépasse la surface de l'échantillon de 10 mm.
9. Laisser l'échantillon immergé pendant 24 h tout en contrôlant qu'il y ait toujours de l'eau au-dessus du substrat, au besoin ajuster.

10. Sortir l'échantillon du récipient; le poser sur une cuvette munie d'une plaque de drainage ou sur une grille et laisser égoutter pendant 2 h.
11. Vérifier que les parois extérieures sont sèches. Peser l'échantillon avec le cylindre, déduire le poids des toiles.
12. Vérifier la hauteur h de l'échantillon en la remesurant. Si malgré la masse, un gonflement est apparu, mesurer à nouveau la hauteur de l'échantillon par mesure de la hauteur entre le haut du cylindre et le haut de l'échantillon en 4 points différents. Dans ce cas, on note h_e la hauteur corrigée.
13. Passer l'échantillon à l'étuve à 105 °C pendant 48 h jusqu'à stabilisation complète du poids de l'échantillon. Peser l'échantillon quand il est à température ambiante. Noter m_{sc} la masse sèche de l'ensemble "échantillon + cylindre".

Calcul de la CME

On a :

$$CME = \frac{m_e - m_{sc}}{V \text{ (ou } V_e)} \times 100$$

avec : CME capacité maximale en eau, exprimée en % volumique¹

m_e masse de l'échantillon (substrat + cylindre) à capacité maximale en eau en g

m_{sc} masse sèche de l'échantillon (substrat + cylindre) après passage à l'étuve à 105 °C

V volume de l'échantillon en cm³

V_e volume corrigé en cas de gonflement de l'échantillon en cm³

Calcul de la densité apparente à CME

$$S_{CME} = \frac{m_e - m_{cg}}{V \text{ (ou } V_e)}$$

avec : S_{CME} densité apparente à CME en g/cm³

m_e masse de l'échantillon (substrat + cylindre) à capacité maximale en eau en g

m_{cg} masse du dispositif vide en g (cylindre + toile + fond perforé)

V volume de l'échantillon en cm³

V_e volume corrigé en cas de gonflement de l'échantillon en cm³

¹ Commentaire : le résultat de l'équation donne bien un résultat en g/cm³ ; cependant, la masse obtenue étant une masse d'eau, on « convertit » en cm³ en utilisant implicitement la masse volumique réelle de l'eau (1 g/cm³).

G1.5. PERMÉABILITÉ A L'EAU

G1.5.1. PRINCIPE DE LA MESURE DE PERMÉABILITÉ

Mesure de la vitesse de circulation de l'eau dans un matériau à l'état compacté et à l'état de capacité maximale en eau. La mesure s'effectue dans un récipient cylindrique par abaissement d'un niveau d'eau dans une unité de temps.

G1.5.2. MESURE DE LA CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU

G1.5.2.1. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- 20 litres de substrat à tester.
- Récipients cylindriques en matière plastique, diamètre intérieur 150 mm, hauteur 165 mm à fond comportant des perforations définies :
 - écart des rayons de perforations : 15° ;
 - écart des cercles de perforations : 10 mm ;
 - diamètre des perforations : 5 mm ;
 - nombre de perforations :
 - au centre $1 \times 1 = 1$
 - division 90° : $4 \times 7 = 28$
 - division 30°/60° : $8 \times 6 = 48$
 - division 15°/45°/75° : $12 \times 4 = 48$soit total des perforations : 125
- Grille métallique, de diamètre 150 mm (doit pouvoir se glisser à plat à l'intérieur du cylindre), maillage de 0,6 mm.
- Evier équipé dans le fond d'une plaque de drainage ou d'une grille sur laquelle on positionnera le cylindre.
- Réhausse à positionner sur le cylindre, de diamètre intérieur 150 mm ; sa hauteur est d'au moins 10cm. Trouver un système pour étanchéifier (joint silicone, bande caoutchouc, feuille de plastique fin) à glisser à l'intérieur pour solidariser le cylindre et sa réhausse et empêcher les fuites d'eau.
- Système de repérage de 2 hauteurs d'eau : marques au feutre si le plastique du cylindre est transparent ou anneau à pointes de mesures. Dans tous les cas, la différence de hauteur entre les 2 repères est de 100 mm, et la plus basse se situe entre 20 et 30 mm au-dessus de la surface de l'échantillon.
- Chronomètre.

G1.5.2.2. MESURE DE LA PERMÉABILITÉ

Protocole de mesure

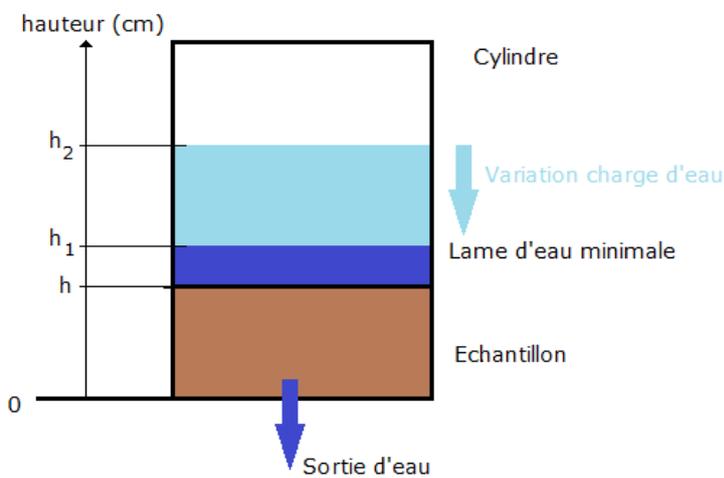
Note : il est proposé d'utiliser les mêmes échantillons que ceux de la CME ; sinon, reprendre tout le protocole de préparation des échantillons pour une mesure de CME.

Réaliser la mesure sur **trois échantillons différents**, en parallèle si on dispose du matériel nécessaire, et calculer une perméabilité moyenne.

1. L'échantillon dans son cylindre est remis à saturer pendant au moins 12 h : placer le récipient sous un filet d'eau, de telle sorte que l'eau ne tombe pas directement sur l'échantillon mais dans l'espace entre le bord extérieur du cylindre et le bord du récipient. La réhumectation de l'échantillon se fait ainsi par le fond du cylindre et doit être lente de manière à permettre de chasser tout l'air compris dans l'espace poral. Compter au moins 15 à 20 min de phase d'immersion L'immersion est complète lorsque la hauteur finale de l'eau dépasse la surface de l'échantillon de 10 mm.
2. Installer la rehausse sur le cylindre, la fixer de telle sorte qu'elle soit étanche.

3. Installer les repères de hauteur (sur l'échantillon et verser soigneusement de l'eau par le haut dans le cylindre, de façon à obtenir une hauteur d'eau supérieure de 10 à 20 mm à la surface de l'échantillon.
4. L'échantillon doit être légèrement surélevé sur une grille ou plaque de drainage afin de ne pas ralentir l'écoulement de l'eau.
5. Ajouter continuellement de l'eau au fur et à mesure que le niveau d'eau baisse de façon à ce que cette hauteur d'eau reste constante, et ce pendant au moins 5 min. Les mesures proprement dites commencent dès que l'eau s'écoule régulièrement par le fond. Rajouter de l'eau jusqu'au-dessus du repère de mesure supérieur. Observer la baisse du niveau d'eau et mesurer le temps d'abaissement du niveau d'eau du repère supérieur au repère inférieur, c'est-à-dire une variation totale de 100 mm de hauteur.
6. Recommencer la mesure en réajustant le niveau d'eau au repère supérieur au moins 2 fois, de manière à vérifier la répétabilité de la mesure.

G1.5.3. CALCUL DE LA PERMÉABILITÉ A L'EAU K



$$K = \frac{h}{t} \times \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right)$$

avec h : hauteur de l'échantillon en cm

h_1 : hauteur minimale de la lame d'eau en partant de la base de l'échantillon (du point 0) en cm

h_2 : hauteur maximale de la lame d'eau en partant de la base de l'échantillon (du point 0) en cm

t : le temps mis pour que la lame d'eau passe du point h_2 au point h_1 en s

Indiquer le résultat K en cm/s sous forme de moyenne de toutes les mesures.

ANNEXE G2

MASSE A SEC ET A CME DES GÉOTEXTILES UTILISÉS EN COUCHE FILTRANTE ET MOUSSES SYNTHÉTIQUES UTILISÉES EN DRAIN OU EN RÉSERVE D'EAU

G2.1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent protocole ne concerne que les matériaux non granulaires à base de fibres ou mousses synthétiques, utilisés en tant que couche filtrante et/ou matériaux de drainage des toitures végétalisées extensives et semi-intensives.

G2.2. PROTOCOLE DE MESURE

Cinq mesures sont réalisées pour une matière première donnée.

G2.2.1. CONDITIONS D'AMBIANCE DU LABORATOIRE

Les conditions à l'intérieur du laboratoire sont de (23 ± 2) °C et (50 ± 5) % d'humidité relative.

G2.2.2. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Plaque de mousse ou géotextile à tester.
- Système de découpe pour mousses : ciseau, cutter ou emporte-pièce.
- Eau déminéralisée (5 L).
- Agent mouillant non ionique.
- Balance avec un degré de précision à 0,01 g.
- Récipient étanche suffisamment grand pour contenir un échantillon.
- Grille inox rigide de dimensions 12 cm x 12 cm.
- Plaque de répartition rigide en inox de 1,5 mm à 3 mm d'épaisseur de 10 cm x 10 cm.
- Charge ayant une surface plane (sur laquelle elle repose) de 25 à 100 cm². Sa masse est telle que celle de la plaque de répartition avec cette charge complémentaire soit de 1000 ± 10 g.

G2.2.3. MESURE DE LA MASSE SURFACIQUE À CME

Prélèvement des échantillons et mesure de la masse surfacique sèche

1. Sur un produit issu du stock sous emballage d'origine et au sec, prélever 5 échantillons carrés de 10 cm x 10 cm (± 1 mm) par découpe au ciseau, cutter ou emporte-pièce.
2. Conditionner les échantillons pendant 24 h à (23 ± 2) °C et (50 ± 5) % d'humidité relative.
3. Déterminer la masse surfacique : réalisé conformément à la norme NF EN ISO 9864. On note m_s la valeur obtenue, exprimée en g/m² avec 2 décimales.

Détermination de la masse surfacique à CME des géotextiles et mousses

1. Immersion : les 5 échantillons sont placés en immersion pendant au moins 1 heure dans une solution contenant 1 g d'agent mouillant non ionique par litre d'eau déminéralisée maintenue à (23 ± 2) °C.
2. Egoutter chaque échantillon en ambiance à Les conditions à l'intérieur du laboratoire sont de (23 ± 2) °C et (50 ± 5) % d'humidité relative, à l'horizontale sur une grille inox rigide (à définir maille et planéité) de dimensions minimales de 12 cm x 12 cm.
3. Après dépose sur la grille, appliquer immédiatement, dans un délai de 5 min maximum, une plaque de répartition rigide en inox de 1,5 mm à 3 mm d'épaisseur de 10 cm x 10 cm, placée de manière

à recouvrir totalement l'échantillon et déposer une charge complémentaire au centre de la plaque. Celle-ci a un contact avec la plaque de répartition compris entre 25 et 100 cm², et est placée au centre de la plaque sans en dépasser les contours.

4. Laisser égoutter pendant 30 ± 1 min.
5. Les charges complémentaires et les plaques de répartition sont successivement retirées et les échantillons pesés conformément à la norme EN ISO 9864 avec une précision de 10 mg dans un délai de 5 min pour l'ensemble. On note m_e la masse de l'échantillon ressuyé ramenée au m², en g avec 2 décimales.

G2.2.4. MESURES COMPLÉMENTAIRES SOUS DES CHARGES MINIMALE ET MAXIMALE

Afin d'être dans des conditions proches de la réalité d'utilisation des mousses ou géotextiles, et de leur appliquer une charge correspondante, deux mesures supplémentaires sont réalisées, sous charge minimale, et sous charge maximale, estimées comme suit :

Condition	Substrat	Plantes
Charge minimale	Masse correspondant à la masse d'un substrat extensif de l'épaisseur la plus faible à CME	Charge forfaitaire de 10 kg/m ²
Charge maximale	Masse correspondant à la masse d'un substrat semi-intensif de l'épaisseur la plus élevée à CME	Charge forfaitaire de 20 kg/m ²

Note 1

Les charges des substrats et des plantes sont « simulées » à l'aide de poids de mesure, en prenant un ratio correspondant à la surface de la mousse ou du géotextile testé.

Les mesures sont faites de la même manière que décrit au paragraphe G2.2.3, seule change la contrainte de poids appliquée : elle correspond à la somme des charges représentées par le substrat et les plantes.

Cinq mesures sont réalisées pour chaque contrainte de charge appliquée.

Note 2

Dans le cas de la mesure sur la trame d'un tapis précultivé, une seule charge est à prendre en compte : masse correspondant à la masse du substrat à l'épaisseur mise en œuvre sur la trame + charge forfaitaire de 10 kg/m² correspondante aux plantes (voir protocole correspondant en annexe G5).

G2.3. EXPRESSION DES RÉSULTATS ET RAPPORT D'ESSAI

La capacité de rétention en eau représente la masse surfacique de rétention en eau du produit, et elle est égale à la différence entre la masse surfacique à saturation en eau et la masse surfacique à sec :

$$m_{CME} = 1000 \times (m_e - m_s)$$

avec : m_{CME} : masse à capacité de rétention en eau maximale en kg/m² ;

m_e : masse à saturation en eau de l'échantillon ramenée au m², en g/m² ;

m_s : masse sèche de l'échantillon ramenée au m², en g/m².

Le résultat est la moyenne des cinq mesures de masse faites sur les cinq échantillons, assortie de son écart-type. Cette valeur correspond à la valeur de caractérisation sous charge de 100 kg/m² du produit.

Les valeurs obtenues sous charge minimale et sous charge maximale permettent d'obtenir, par extrapolation linéaire, toute autre valeur de CME pour une charge intermédiaire. Il est donc possible de déterminer la masse à CME et la capacité de rétention d'eau maximale pour un système de végétalisation donné, qui utilise ces mousses ou géotextiles.

ANNEXE G3

MASSE À SEC ET À CAPACITÉ MAXIMALE EN EAU (CME) DE PRODUITS SYNTHÉTIQUES MOULÉS, THERMOFORMÉS OU CALANDRÉS UTILISÉS EN DRAIN OU EN RÉSERVE D'EAU

G3.1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'emploi de cet essai vise des produits rigides ou semi-rigides obtenus :

- par moulage sous injection ou thermoformage de matériaux imputrescibles de synthèse de polymères. Ils sont livrés en plaques ou bacs présentant des reliefs ;
- par calandrage à partir de feuilles en matériaux imputrescibles de synthèse de polymères. Ces produits sont livrés en rouleaux ou en plaques présentant des reliefs répétant un motif régulier. La présente méthode est adaptée à des motifs de surface inférieure à 0,04 m².

Ces produits sont destinés au drainage ou à la rétention d'eau sur toiture végétalisée.

Sont exclus du présent protocole, les plaques et bacs précultivés.

G3.2. PROTOCOLE DE MESURE

5 mesures sont réalisées pour une matière première donnée.

G3.2.1. CONDITIONS D'AMBIANCE DU LABORATOIRE

Les conditions à l'intérieur du laboratoire sont de (23 ± 2) °C et (50 ± 5) % d'humidité relative.

G3.2.2. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Matériau à tester en quantité suffisante pour pouvoir prélever 5 échantillons représentatifs.
- Cutter ou système de découpe.
- Plaque plane en acier, verre ou matériaux de synthèse étanche de taille suffisante pour accueillir la surface totale de l'échantillon sans déformation supérieure à 2 mm en tout point (y compris sous charge d'eau de l'échantillon).
- Balance de précision à 1 g.
- Eau du réseau.
- Système à air comprimé.

G3.2.3. MESURE DU POIDS À CME

Prélèvement des échantillons

1. Les produits sont identifiés (inscription sur le produit lui-même ou sur son emballage). Concernant les prescriptions de mise en œuvre (notamment sens de pose), elles figurent en impression sur le produit (haut/bas ou surface/sous-face) ou sur l'emballage ou à défaut sur son document technique de référence.

Dans le cas de produits réversibles (pour lequel les deux faces peuvent être placées en contact avec le support), les prélèvements seront doublés pour réaliser les mesures dans les deux sens de pose admis par le document technique de référence.

2. **Pour les produits moulés** : les échantillons au nombre minimum de cinq (par sens de pose admis) sont prélevés dans le conditionnement groupé sur stock (sur palette par exemple en évitant les éléments endommagés ou déformés).

3. **Pour les produits calandrés** : les échantillons au nombre minimum de cinq (par sens de pose admis) sont découpés selon une répartition équilibrée sur la surface d'un produit prélevé sur stock. La découpe est ajustée sur une surface minimum de 0,04 m², de manière à respecter un nombre entier de modules et à contenir le volume maximum de liquide versé pour cette même surface.
4. Les dimensions des échantillons sont relevées avec une précision de 1 mm et la surface « hors tout » (S) déterminée par calcul selon l'équation mathématique correspondant à la forme géométrique de l'échantillon. Elle est exprimée en m².
5. La surface utile (S_u) de l'échantillon (exprimée en m²) est déterminée comme suit :
 - pour les produits s'installant bord à bord (sans recouvrement), la surface utile de l'échantillon est égale à sa surface hors tout.
 - pour les produits s'installant avec un recouvrement, la surface de recouvrement est déterminée et exprimée en pourcentage de la surface hors tout du produit. La surface utile de l'échantillon est prise égale à sa surface hors déduction faite du pourcentage de surface de recouvrement à prendre en compte.
6. Dans le cas où le produit est installé avec un matériau de remplissage (type gravillons, argile expansé, matériau granulaire) à l'intérieur des modules, l'essai doit être conduit dans la situation reproduisant à l'identique cette utilisation. La masse du matériau de remplissage est intégrée dans la masse à sec de l'échantillon (m_s).

Détermination de la masse à sec des échantillons

Après conditionnement à la verticale pendant 24 h à (23 ± 2) °C et (50 ± 5) % d'humidité relative, la détermination de la masse est réalisée par pesée avec une précision de 1 g. On note m_s la masse mesurée, en kg avec deux décimales.

Détermination de la masse à CME des échantillons

1. La plaque rigide servant de support à l'échantillon est pesée à vide. La plaque doit être propre et sèche, la pesée s'effectue avec une précision de 1 g. On note m_p cette valeur exprimée en kg avec 2 décimales.
2. L'échantillon sec est posé sur la plaque support et l'ensemble est pesé (m_{sp}) puis retiré.
3. Un remplissage complet à l'eau est vérifié par débordement et l'excès d'eau sur la plaque est chassé à l'air comprimé (ou absorbé). L'ensemble est pesé avec une précision de 1 g et noté m_{spe} (en kg).
4. L'opération est renouvelée pour chaque échantillon.

G3.3. EXPRESSION DES RÉSULTATS ET RAPPORT D'ESSAI

La masse à CME de l'échantillon correspond à celle relevée pour l'échantillon rempli d'eau sur son support en retranchant la masse du support. Elle est exprimée avec une précision de 1 g :

$$m_{CME} = m_{spe} - m_p$$

Pour un même sens de pose du produit et pour chaque échantillon, calculer :

- mS_{sec} : masse surfacique de l'échantillon à sec exprimée en kg/m² à l'aide de l'équation suivante :

$$mS_{sec} = \frac{m_s}{S_u}$$

avec : m_s : masse à sec de l'échantillon, en kg
S_u : surface utile de l'échantillon, en m²

- mS_{CME} : masse surfacique de l'échantillon à Capacité Maximale en Eau (CME) exprimée en kg/m² à l'aide de l'équation suivante :

$$mS_{CME} = \frac{m_{CME}}{S_u}$$

avec : m_{cme} : Masse de l'échantillon à CME en kg ;
S_u : surface calculée de l'échantillon, en m².

- CME : Volume d'eau maximal retenu par m²

$$CME = mS_{CME} - mS_{sec}$$

avec : CME : capacité maximale en eau exprimée en L/m².

Ces valeurs, mesurées pour chacun des 5 échantillons, permettent de calculer les valeurs moyennes de masse surfacique à sec, masse surfacique à CME, et masse surfacique de rétention d'eau du produit testé. Chacune de ces valeurs est présentée sous la forme d'une moyenne assortie de son écart-type.

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes :

- une mention que l'essai a été effectué conformément au présent document ;
- le nombre d'échantillons soumis à l'essai avec leur sens de pose ;
- l'atmosphère de conditionnement utilisée ;
- la fiche technique du produit soumis à l'essai ;
- la valeur moyenne de la masse surfacique à sec et à CME pour chaque sens de pose testé, en grammes par mètre carré ;
- le coefficient de variation ;
- les détails relatifs à tout écart par rapport au mode opératoire d'essai spécifié ;
- la date de l'essai.

ANNEXE G4

MASSE À SEC ET À CME ET CAPACITÉ DE RÉTENTION EN EAU DES SYSTÈMES « TOUT-EN-UN » PRÉCULTIVÉS, UTILISÉS EN TOITURES TERRASSES VÉGÉTALISÉES

G4.1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent protocole ne concerne que les bacs (ou caissettes) précultivés servant de système complet de végétalisation tout-en-un, et assurant les fonctions des 4 couches caractéristiques des toitures végétalisées extensives et semi-intensives.

G4.2. PROTOCOLE DE MESURE

Trois mesures sont réalisées pour chaque référence de bac.
L'expression du résultat est détaillée au paragraphe G4.3.

G4.2.1. CONDITIONS D'AMBIANCE DU LABORATOIRE

Les conditions à l'intérieur du laboratoire sont de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et $(50 \pm 5) \%$ d'humidité relative.

G4.2.2. MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Échantillons de bac à tester = 3 bacs non végétalisés (n'ayant jamais été cultivés).
- Balance avec un degré de précision à 1 g.
- Récipient étanche suffisamment grand pour contenir un bac complet, présentant une profondeur supérieure à la hauteur du bac. Ce bac est muni en partie basse d'une vanne permettant de le vidanger.
- Grille d'ouverture de maille ≤ 1 mm.
- Un « portique » permettant de positionner au-dessus du bac un cadre de soutien du bac, équipé d'un peson ou d'un dynamomètre ou grille inox rigide ou plaque de drainage de dimension supérieure à la surface du module sur laquelle on pourra laisser égoutter l'échantillon.

G4.2.3. PROCÉDÉ DE MESURE DE POIDS À CME

Les 3 bacs sont préparés par le fabricant au laboratoire de façon identique à la mise en culture avec un compactage reproduisant l'effet de tassement après culture.

1. Peser la grille sèche. On note m_g sa masse (g).
2. Mesurer la surface S du bac en partie haute (au nu extérieur du bac).
3. Placer l'échantillon dans le récipient étanche, le couvrir de la grille et placer une masse dessus. Le rôle de ce dispositif est d'empêcher des particules de l'échantillon de se soulever et de quitter le bac lors de la mise en eau.
4. Placer le récipient sous un filet d'eau faible, de telle sorte que l'eau ne tombe pas directement sur l'échantillon mais dans l'espace entre l'échantillon et le bord intérieur du récipient. La réhumectation de l'échantillon est progressive et se fait par le dessous du bac de manière à permettre de chasser tout l'air compris dans l'espace poral. Compter au moins 15 à 20 min de phase d'imbibition.
L'immersion est complète lorsque la hauteur finale de l'eau dépasse la surface de l'échantillon de 10 mm, et qu'il n'y a plus de bulles d'air qui remontent.
5. Laisser le bac immergé pendant 24 h tout en contrôlant qu'il y ait toujours de l'eau au-dessus du substrat, au besoin ajuster.
6. Vider le récipient étanche par le fond.

7. Laisser ressuyer le bac pendant 2 h.
8. A l'issue des 2 heures de ressuyage :
 - lire la masse m_{be} du bac sur le peson.
 ou
 - sortir le bac du récipient étanche et le peser avec la grille (m_{bg}) en déduisant la masse de la grille m_g .

La masse à CME du bac notée $m_{be}=m_{bg}-m_g$ est exprimée en kg avec deux décimales.

A partir de la surface S du bac, déduire le nombre de bacs (u) au m^2 tels que mis en œuvre, exprimé avec deux décimales.

La masse à saturation en eau m_e du système « tout-en-un » au m^2 s'exprime par :

$$m_e = u \times m_{be} \text{ avec } m_e \text{ en kg/m}^2$$

Les résultats sont exprimés sous forme de moyennes calculées sur les trois échantillons, assorties de leur écart-type.

G4.2.4. MESURE DE LA MASSE SÈCHE

Passer le bac issu de la manipulation précédente (mesure de la masse à CRE) à l'étuve à 80 °C jusqu'à stabilisation complète de la masse de l'échantillon. Peser l'échantillon quand il est à température ambiante.

La masse sèche notée m_s est exprimée en kg/m² de produit :

$$m_s = u \times m_{bac \text{ sec}}$$

Les résultats sont exprimés sous forme de moyennes calculées sur les trois échantillons, assortie de leur écart-type.

G4.2.5. CALCUL DE LA CAPACITÉ DE RETENTION EN EAU DU BAC HORS VEGETAL

La capacité de rétention en eau (CRE) se calcule comme suit :

$$CRE = m_e - m_s$$

avec CRE : capacité maximale en eau, exprimée en litres/m² avec deux décimales

Les résultats sont exprimés sous forme de moyennes calculées sur les trois échantillons, assorties de leur écart-type.

G4.3. EXPRESSION DES RÉSULTATS ET RAPPORT D'ESSAI

Afin d'exprimer la masse à CME (m_{CME}) du système « tout-en-un » (c'est-à-dire avec végétal), il convient de rajouter le poids forfaitaire de 10 kg/m² de végétaux à m_e . Cette valeur prend en compte les poids des appareils racinaires et aériens.

Grandeur mesurée	Formule	Commentaire
Masse à CME	$m_{CME} = m_e + 10$ (kg/m ²)	
Masse sèche	$m_{sv} = m_s + 1$ (kg/m ²)	On considère que 90 % des plantes est constitué d'eau
Capacité maximale de rétention eau	$CRE_{max} = m_e - m_{sv}$ (L/m ²)	On considère que 90 % des plantes est constitué d'eau

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes :

- une mention que l'essai a été effectué conformément au présent document ;
- la référence exacte du produit testé ;
- le nombre d'échantillons soumis à l'essai ;
- l'atmosphère de conditionnement utilisée ;
- la fiche technique du produit soumis à l'essai : constitution du système « tout-en-un » ;
- la hauteur de l'échantillon à l'état frais hors végétation, et avec végétation ;
- la masse fraîche de la végétation ramenée à une unité de surface ;
- la valeur moyenne de la masse à sec et à CME en kg/m^2 ;
- la capacité maximale en eau en L/m^2 ;
- le coefficient de variation entre les 2 mesures ;
- les détails relatifs à tout écart par rapport au mode opératoire d'essai spécifié ;
- la date de l'essai ;
- le nom de l'opérateur.

ANNEXE G5

MASSE À CME ET CAPACITÉ DE RETENTION EN EAU DES TAPIS PRÉCULTIVÉS UTILISÉS EN TOITURE TERRASSE VÉGÉTALISÉE

G5.1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent protocole ne concerne que les rouleaux/tapis précultivés sur support/trame de culture naturelle/biodégradable et/ou imputrescible recouverte le cas échéant d'un substrat de culture, l'ensemble servant de support à une végétation caractéristique des toitures végétalisées extensives et semi-intensives.

G5.2. PROTOCOLE DE MESURE

Le tapis non végétalisé est constitué d'une trame et d'un substrat éventuel.

- **Trame** : La mesure de la masse à CME, de la masse à sec et de la capacité maximale de rétention en eau de la trame est déterminée à partir du protocole de mesure "masse à sec et à CME des géotextiles utilisés en couche filtrante et mousses synthétiques utilisées en drain ou réserve en eau".
- **Substrat** : La mesure de la masse à CME, de la masse à sec et de la capacité maximale de rétention en eau du substrat est déterminée à partir du protocole de mesure de "masse à CME des matériaux granulaires utilisés comme substrats ou matériaux de drainage des toitures terrasses végétalisées".

G5.3. EXPRESSION DES RÉSULTATS ET RAPPORT D'ESSAI

La masse m_{CME} est la somme des masses à CME de la trame, du substrat et de la masse forfaitaire de 10 kg/m² de végétaux (appareil racinaire et aérien) exprimée en kg/m².

Grandeur mesurée	Formule	Commentaire
Masse à CME	$m_{CME} = m_{trame\ CME} + m_{substrat\ CME} + 10$ (kg/m ²)	
Masse à sec	$m_{Sv} = m_{trame\ sec} + m_{substrat\ sec} + 1$ (kg/m ²)	On considère que 90 % du poids des végétaux est de l'eau
Capacité maximale de rétention en eau	$CRE_{max} = m_{CME} - m_{Sv}$ (L/m ²)	Idem ci-dessus

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes :

- une mention que l'essai a été effectué conformément au présent document ;
- la référence exacte du produit testé ;
- le nombre d'échantillons soumis à l'essai (au moins 3) ;
- l'atmosphère de conditionnement utilisée ;
- la fiche technique du produit soumis à l'essai ;
- la valeur de la masse à sec et à CME en kg/m² ;
- la capacité maximale en eau en L/m² ;
- le coefficient de variation de mesure entre les différents échantillons ;
- les détails relatifs à tout écart par rapport au mode opératoire d'essai spécifié ;
- la date de l'essai ;
- le nom de l'opérateur.

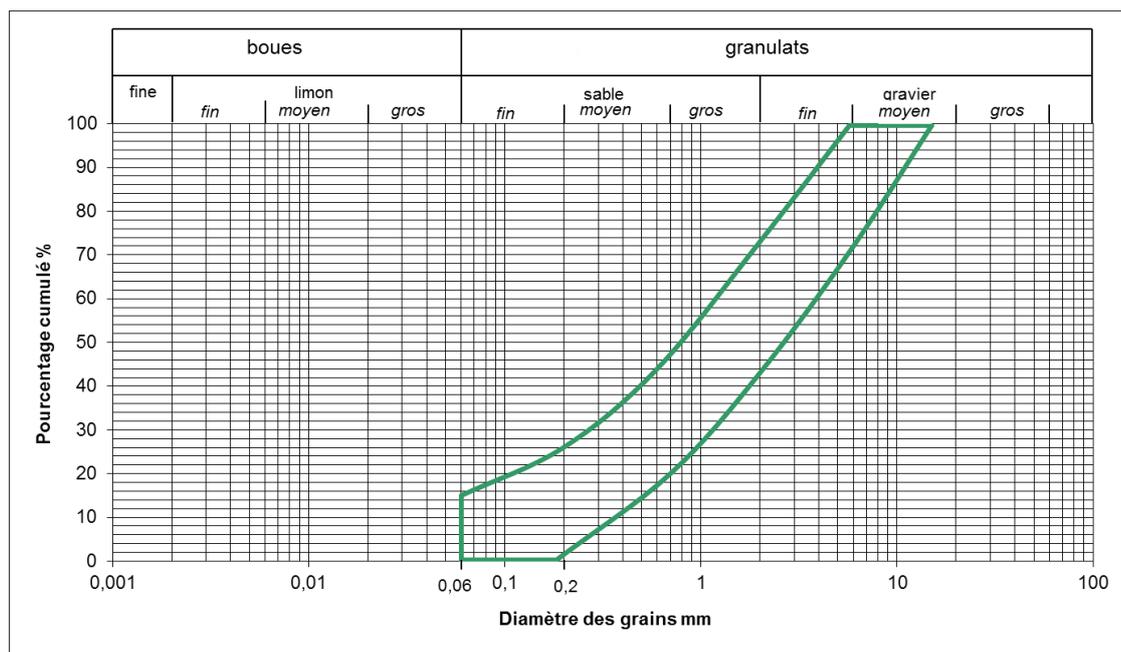
ANNEXE H

COURBES GRANULOMÉTRIQUES INDICATIVES DES SUBSTRATS

La présente annexe vise à donner des informations complémentaires aux tenants de procédés de végétalisation.

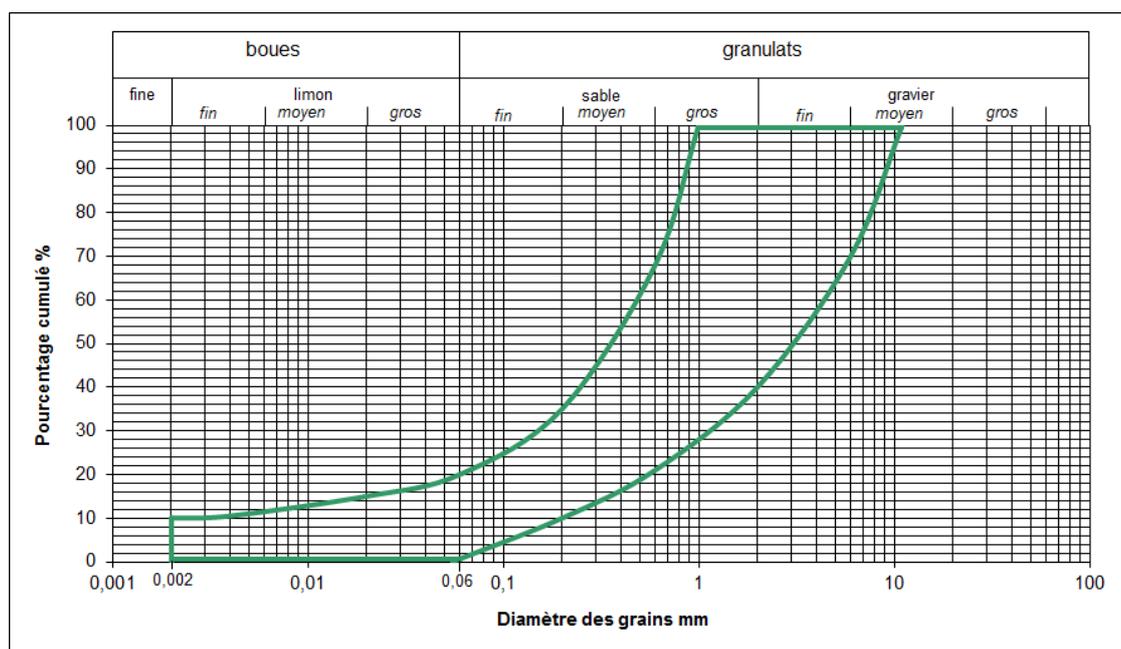
Substrats extensifs

A titre indicatif, la courbe granulométrique des substrats extensifs granulaires couramment rencontrés s'insère dans le fuseau ci-dessous.



Substrats semi-intensifs

A titre indicatif, la courbe granulométrique des substrats semi-intensifs granulaires couramment rencontrés s'insère dans le fuseau ci-dessous.



ANNEXE I

PRESCRIPTIONS TECHNIQUES-TYPES DU CONTRAT D'ENTRETIEN DES TERRASSES ET TOITURES VÉGÉTALISÉES

I.1. ENTRETIEN DU COMPLEXE D'ÉTANCHÉITÉ ET DE LA TOITURE

Voir NF DTU, et notamment :

- examen des ouvrages d'étanchéité visibles ;
- inspection des ouvrages complémentaires directement visibles, notamment : bandeaux, murs en élévation, acrotères, garde-corps, pénétrations, etc. ;
- nettoyage des orifices d'évacuation des eaux pluviales ;
- enlèvement des mousses, herbes, feuilles mortes, végétations et débris au droit des zones stériles, nettoyage des joints.

I.2. ENTRETIEN DU SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION EXTENSIVE

- Enlèvement des déchets apportés par le vent sur les surfaces végétalisées.
- Désherbage manuel des végétaux indésirables (adventices).
- Opération complémentaire de semis (graines ou fragments de sedum) ou de plantation (de micromottes ou godets) pour atteindre un taux de couverture ≥ 80 %.
- Fertilisation d'appoint éventuelle pour soutenir le développement des végétaux.
- Dans le cas où un système d'arrosage automatique est installé, vérification et entretien du système avec purge du réseau avant l'hiver et remise en service en fin de printemps.
- Tonte ou fauchage (graminées).
- Taille (plantes vivaces à feuillage élevé, hampes florales).

I.3. ENTRETIEN DU SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION SEMI-INTENSIVE

- Ramassage et évacuation des déchets apportés par le vent (feuilles mortes, papiers...).
- Enlèvement des mousses, feuilles mortes, débris et toute végétation au droit des zones stériles (l'utilisation d'herbicides complets est interdite).
- Suppression le plus tôt possible par arrachage manuel des plantes (saule, ailante, peuplier, etc.) issues de semences apportées par le vent ou les oiseaux et susceptibles d'endommager les ouvrages.
- Suppression par arrachage manuel des plantes adventices pouvant nuire au développement des espèces introduites initialement ou porter préjudice à l'aspect esthétique de l'aménagement. Il est admis que certaines adventices peuvent participer ponctuellement au maintien d'un couvert végétal continu. L'utilisation d'herbicides sélectifs est interdite.
- Maintien de l'équilibre entre les différentes espèces de façon à pérenniser la composition d'origine ou de la faire évoluer harmonieusement.
- Opérations complémentaires de semis ou de plantation, conformément au projet d'origine, pour maintenir un couvert végétal supérieur à 80 %.
- Taille des fleurs fanées sur les espèces à floraison érigée et taille rase des graminées à la sortie de l'hiver.

- Tonte des zones engazonnées de façon à maintenir une hauteur maximum moyenne de 10 à 12 cm et ramassage systématique des déchets de tonte. Les tontes rases en été sont fortement déconseillées.
- Fauchage des zones de prairie, après épiaison. Un fauchage fractionné peut être effectué. Les déchets de fauche doivent être évacués après séchage notamment dans le cas de prairies à fleurs. L'utilisation de la débroussailleuse à fil est proscrite le long des émergences, des relevés d'étanchéité et des zones stériles.
- Mise en œuvre d'engrais complet si nécessaire en début de printemps sur l'ensemble de la surface végétalisée en prenant soin de ne pas épandre sur les zones stériles.
- Remise en place de la couche de culture en cas de déplacement (migration du substrat) par le vent ou par la pluie et rétablissement de la couche végétale le cas échéant.
- Contrôle des systèmes d'arrosage : principalement l'état hydrique des substrats, mais aussi les capteurs météo. Entretien du système d'arrosage automatique, comprenant :
 - le réglage éventuel des arroseurs ;
 - la modification des durées d'arrosage en fonction de la pluviométrie ;
 - les opérations d'hivernage (notamment de purge du réseau) et de remise en fonction au printemps.
- Arrosage manuel, sur proposition de l'entreprise et acceptation du maître d'ouvrage, pour sauvegarder le couvert végétal en cas de sécheresse prolongée.
- Etablissement d'un rapport d'intervention à chaque passage.

Note : l'utilisation d'outils pouvant porter atteinte au complexe d'étanchéité, à la couche filtrante et aux systèmes d'arrosage éventuels est interdite.

ANNEXE J

INFORMATIONS À FOURNIR PAR L'ENTREPRISE POUR TOUT PROJET DE VÉGÉTALISATION, EN PHASE EXÉCUTION

L'entreprise contractante transmettra au maître d'œuvre, lors de la phase d'exécution, une fiche synthétique rappelant au minimum les données suivantes :

- l'adresse du chantier ;
- le nom du système de végétalisation ;
- la composition du système de végétalisation avec les références des composants ;
- le document technique de référence ;
- le mode de végétalisation (voir paragraphe 5.4) ;
- le type d'élément porteur ;
- la pente (%) ;
- l'épaisseur totale à la mise en œuvre (mm) ;
- l'épaisseur totale estimée après tassement (mm) ;
- le poids à CME (kg/m²) avec la justification (n° rapport d'essai) et le nom du laboratoire ;
- le poids à sec (kg/m²) ;
- la perméabilité des différents composants.

ANNEXE K

TENEUR DE L'ÉTUDE PARTICULIÈRE À EFFECTUER DANS LE CAS DE VÉGÉTALISATION AVEC ÉLÉMENT PORTEUR EXISTANT EN TÔLES D'ACIER NERVURÉES (TAN)

Une étude particulière doit être effectuée afin de vérifier les capacités des TAN existantes à reprendre l'ensemble des actions. Elle prendra notamment en compte :

- la géométrie du bâtiment (y compris bâtiments ouverts ou fermés) ;
- le plan de charpentes existantes et de calepinage des bacs existants ;
- la nature et l'intensité de l'ensemble des charges existantes ;
- la nature et l'intensité de l'ensemble des actions finales envisagées (permanentes, variables, accidentelles) ;
- la mesure des portées et le relevé des continuités des TAN ;
- le relevé géométrique complet et précis des profilés ;
- la mesure de l'épaisseur de la tôle ;
- les largeurs et nature des appuis ;
- la qualification du module élastique de l'acier en effectuant au moins trois essais de traction selon le norme EN 10002-1 sur des prélèvements représentatifs de tôle ou en alternative disposer des certificats matière 3.1 ou l'étiquette CE ou la DoP (déclaration de performance au sens du règlement (UE) n°305/2011) ;
- les nature, nombre, types, diamètres des fixations ;
- l'identification des points singuliers (pénétration, etc.) ;
- la compatibilité des nouveaux isolants éventuels avec les TAN ;
- la justification de la portée et de la flèche des TAN en fonction des efforts agissant et des capacités résistantes des bacs suivant l'annexe A du NF DTU 43.3 P1-2, le cas échéant suivant modélisation aux éléments minces (NF EN 1993-1-3 et annexes nationales qui sont à mentionner dans les pièces du marché).

CONSTITUTION D'UN DOCUMENT TECHNIQUE DE RÉFÉRENCE D'UN SYSTÈME DE VÉGÉTALISATION

Le dossier technique de référence reprendra au minimum les éléments suivants :

- la référence explicite aux présentes règles professionnelles ;
- le domaine et les limitations d'emploi ;
- la dépression au vent extrême à laquelle le système résiste ;
- la description de l'élément porteur et du complexe d'étanchéité sur lesquels le système peut être mis en œuvre ;
- la description du système de végétalisation, avec ses caractéristiques techniques et celles de ses constituants, y compris les charges à sec et à CME, avec référence aux justificatifs afférents ;
- les dispositions de mise en œuvre des couches drainantes, filtrantes, du substrat et des végétaux ;
- les dispositifs d'arrosage enterrés ;
- le taux de couverture envisagé ;
- les dispositions pour l'aménagement des zones stériles ;
- le dispositif de séparation entre zones plantées et non plantées ;
- les dispositions relatives à l'arrosage ;
- les dispositions relatives à l'entretien durant l'exploitation, lors des différentes phases (parachèvement, confortement, entretien courant ;
- les services que le demandeur propose (assistance à la conception, à la réalisation, etc.) ;
- les conditions de contrôle de fabrication (spécifications, référentiel, fréquence) ;
- la liste des rapports d'essais de type, avec la date, le numéro de rapport, le nom de l'organisme, le référentiel d'essai, le résultat ;
- les références et surfaces déjà réalisées avec le système.

Note : un même document technique de référence peut viser plusieurs systèmes de végétalisation.

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1	Dépression maximale admissible sur chantier au vent extrême au sens des règles NV 65 modifiées	p. 8
Tableau 2	Grandes caractéristiques des différentes toitures végétalisées	p. 12
Tableau 3	Pentes admissibles par rapport à l'élément porteur et au type de revêtement d'étanchéité	p. 17
Tableau 4	Caractéristiques des couches filtrantes	p. 20
Tableau 5	Caractéristiques du substrat	p. 21
Tableau 6	Poids propre des végétaux en système de végétalisation semi-intensive	p. 22
Tableau 7	Autocontrôle minimal des substrats	p. 23
Tableau 8	Autocontrôle minimal des couches drainantes granulaires	p. 23
Tableau 9	Autocontrôle minimal des couches filtrantes	p. 24
Tableau 10	Taux de couverture en fonction du mode de mise en œuvre	p. 25
Tableau 11	Cas de la présence de la zone stérile	p. 28
Tableau 12	Hauteur minimale des relevés avec élément porteur en maçonnerie	p. 30
Tableau 13	Durée de la période de confortement et fréquence minimale d'intervention suivant le mode d'installation de la couche végétale (végétalisation extensive)	p. 40
Tableau 14	Durée de la période de confortement et fréquence minimale d'intervention suivant le mode d'installation de la couche végétale (végétalisation semi-intensive)	p. 41
Tableau 15	Performances hydriques de différentes TTV sous 2 climats français distincts	p. 47
Tableau 16	Débit et pression dynamique recommandés pour l'arrosage en fonction de la surface de la toiture végétalisée	p. 54
Tableau 17	Critères de décision de mise en place d'un système d'arrosage	p. 56
Figure 1	Système de végétalisation type	p. 13
Figure 2	Implantation des zones stériles	p. 26
Figure 3	Schéma de principe d'une toiture végétalisée	p. 27
Figure 4	Principes généraux de présence d'une zone stérile suivant les zones et la pente	p. 27
Figure 5	Relevé contre costière de lanterneau avec zone stérile	p. 29
Figure 6	Relevé avec zone stérile traitée avec dalles sur plots	p. 29
Figure 7	Cas particulier de l'acrotère revêtu jusqu'à l'arête extérieure avec zone stérile	p. 29
Figure 8	Cas général : hauteur de relevé en l'absence de zone stérile	p. 30
Figure 9	Cas où l'étanchéité revêt l'acrotère : hauteur de relevé en l'absence de zone stérile	p. 30
Figure 10	Exemple de dispositif de séparation par bande métallique	p. 31
Figure 11	Exemple de dispositif de séparation par bordure préfabriquée en béton ou en briques	p. 31
Figure 12	Exemple de dispositif de retenue sans acrotère en pente avec revêtement bitumineux et végétalisation extensive	p. 32
Figure 13	Exemple d'évacuation d'eaux pluviales avec zone stérile	p. 33
Figure 14	Joint de dilatation apparent avec zone stérile	p. 34
Figure 15	Joint de dilatation recouvert de végétalisation	p. 34
Figure 16	Exemples d'accès direct aux équipements en toiture	p. 35
Figure 17	Enchaînement chronologique des différentes phases de mise en œuvre et suivi de la végétalisation	p. 39

