

COMMUNAUTÉ URBAINE DE LYON
DIRECTION DE L'EAU
Service études

Conception : ERANTHIS
Atelier V.MOINEAU
BUISSON

Aménagement et eaux pluviales

Préconisations relatives aux toitures végétalisées

GRAND LYON

GUIDE



REDACTION	VERIFICATION	APPROBATION
Nom : ERANTHIS Date : 07/11/2011 Visa :	Nom : Date : Visa :	Nom : Date : Visa

PREAMBULE

Le Grand Lyon a pour ambition une urbanisation responsable et durable. Le volet gestion des eaux pluviales se doit d'être naturellement en adéquation avec cette politique. Le Grand Lyon a défini une politique volontariste pour maîtriser au plus près les effets de l'imperméabilisation des sols et redonner à l'eau sa place dans la ville ; une volonté traduite dans les différents règlements encadrant la gestion des eaux pluviales (PLU, Règlement d'assainissement, Zonages ruissellements)

L'approche est de favoriser la dépollution de manière douce, la limitation des flux et l'infiltration des eaux de pluie ou leur retour vers les ruisseaux avec une ambition forte d'intégration des ouvrages de gestion de l'eau de pluie dans le cadre de vie. L'ensemble de cette démarche est mené dans un souci de respect du milieu naturel en zone urbaine et de protection de la ressource en eau.

Cette politique portée depuis presque deux décennies a permis de mener à bien de nombreux projets collectifs ou individuels. Le suivi de ces installations au fil du temps avec le partenariat de structures diverses et variées (associations, groupes de travail, écoles....) a montré que les solutions retenues étaient écologiquement pertinentes avec la volonté affichée. Ce suivi a aussi mis en évidence la réappropriation spontanée par le monde vivant (Hommes et nature) des espaces dédiés à la gestion des eaux pluviales. Les aménagements ont pu démontrer leur fiabilité et les expériences acquises profiteront aux aménagements futurs.

Cette connaissance a été mise à disposition des citoyens et des professionnels (promoteurs, constructeurs....) au travers de guides techniques dès 2008.

Le présent guide sur les techniques de toitures végétalisées vise à compléter les outils existants et à vous proposer une aide et des conseils pour bâtir votre projet.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
DEFINITIONS	6
1. ETANCHEITE :.....	6
2. SUBSTRAT :	7
3. ECOSYSTEME :.....	8
4. TOITURE EXTENSIVE :	8
5. TOITURE SEMI-INTENSIVE :	9
6. TOITURE INTENSIVE :	9
7. TOITURE JARDIN :	10
ENJEUX.....	11
1. LE CLIMAT :	11
2. L'ECOSYSTEME :.....	11
3. L'ESTHETIQUE :	11
4. L'EAU :.....	11
5. L'AIR ET LE BRUIT:	12
6. LE FEU :.....	12
7. STRUCTURE ET COUTS :	13
8. L'ACCESSIBILITE :	13
9. LA SECURITE :	13
10. L'ENTRETIEN :	14
TOITURE AVEC COUCHE DE GRAVIERS	15
1. STRUCTURE	15
2. MISE EN ŒUVRE	15
3. COUT	16
4. ENTRETIEN ET SECURITE	16
5. INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES	16
TOITURE EXTENSIVE (4 A 12 CM DE SUBSTRAT).....	17
1. STRUCTURE	17
2. MISE EN ŒUVRE	18
3. SUBSTRAT ET PLANTATIONS.....	18
4. COUT	18
5. ENTRETIEN ET SECURITE	19
6. INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES	19
TOITURE EN PENTE.....	20
1. STRUCTURE	21
2. MISE EN ŒUVRE	22
3. SUBSTRAT ET PLANTATIONS.....	22

4.	COUT	23
5.	ENTRETIEN ET SECURITE	23
6.	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES	23
TOITURE SEMI INTENSIVE ET INTENSIVE (15 A 50 CM DE SUBSTRAT).....		24
1.	STRUCTURE	24
2.	MISE EN ŒUVRE	25
3.	SUBSTRAT ET PLANTATIONS.....	25
4.	COUT	26
5.	ENTRETIEN ET SECURITE	26
6.	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES	26
TOITURE JARDIN		28
1.	STRUCTURE	28
2.	MISE EN ŒUVRE	29
3.	SUBSTRAT ET PLANTATIONS.....	29
4.	COUT	29
5.	ENTRETIEN ET SECURITE	29
6.	INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES	29
ANNEXE 1 : TABLEAUX SYNTHESSES / COMPARAISON.....		33
ANNEXE 2 : EXEMPLES DE PLANTES CONSEILLEES ET PLANTES INTERDITES		35
ANNEXE 3 : BIBLIOGRAPHIE.....		50

INTRODUCTION

La végétalisation des toitures existe depuis la nuit des temps pour isoler les habitations du froid et de la pluie, notamment en Europe du nord.

C'est en Allemagne que, dès les années 60, on a redécouvert et modernisé ce système ancien qui offre de nombreux avantages. Le premier pour la flore et la faune qui retrouvent un espace disponible précédemment laissé nu par le système d'habitation humain. On peut ainsi voir s'installer des insectes butineurs et des oiseaux, leur variété étant d'autant plus grande que la végétation sera haute et variée. La toiture végétalisée, quelque soit son type, leur offre un espace plus sécurisé et souvent moins pollué.

Pour la cité, les toits représentent environ 50% des surfaces imperméabilisées. Les toitures végétalisées permettent de se rapprocher du cycle naturel de l'eau et limitent les impacts du ruissellement tout en s'intégrant dans le tissu urbain. Les plantes et la couche drainante stockent l'eau lors de sa chute puis la rejette ensuite avec un débit limité. Grâce l'évapotranspiration des feuilles, elles jouent un rôle non négligeable dans la réduction des effets « îlots de chaleur », phénomènes de plus en plus sensibles avec l'accroissement des périodes de canicule. Au niveau individuel, du bâtiment, on note une réduction des écarts de température, une sorte de « climatisation naturelle » qui atténue les pics de chaleur et de froid.

Il faut noter que les petites surfaces sont également facilement végétalisables, dès lors que le support est suffisamment solide et étanche. On peut ainsi transformer un local technique en un espace verdoyant à peu de frais, espace bien adapté pour expérimenter différentes plantes.

On trouve actuellement sur ce marché en plein développement, différents types d'installations préfabriquées de végétalisation. Leur principale avantage réside en l'immédiateté du rendu visuel et à la facilité de conception et installation. Mais ces solutions sont à prendre avec précautions. Leur coût et leur rendu dépendent de la taille et de la localisation de la surface à traiter. Il peut être parfois plus avantageux de faire appel à un paysagiste qui fera une installation en fonction des particularités du site à traiter.

Nous aborderons dans un premier chapitre quelques définitions, puis nous indiquerons les enjeux principaux des toitures végétalisées. Les cinq chapitres suivants détailleront chaque type de toiture, à savoir : toiture gravillon (toiture de référence), toiture extensive, toiture intensive, toiture en pente et toiture jardin.

DEFINITIONS

1. ETANCHEITE :

Partie intégrante de la toiture dont elle constitue une des raisons majeure, l'étanchéité double ou non l'isolation. Elle est réalisée dans le du Lot « bâtiment ». Membrane fragile, elle doit être protégée. **Au préalable à l'installation de n'importe quel type de toiture végétalisée, l'établissement d'un constat d'huissier est recommandé.**

Il doit être établi à la fin de la construction du lot étanchéité afin de dégager la responsabilité de l'installateur et surtout de permettre une durée de vie maximale pour la toiture installée. **La nature de l'isolation et la durabilité des matériaux d'étanchéité sont à la charge du lot bâtiment.**

Différentes études (en Belgique, Allemagne, au Canada, USA, Pays-Bas) démontrent que l'étanchéité a une durée de vie multipliée par deux lorsque le toit est végétalisé, ceci en raison de la réduction des pics de température de surface (on passe de 70 à 30°C en moyenne).

Nous admettons dans les chapitres suivants que le schéma ci-dessous est la base de chaque toiture :

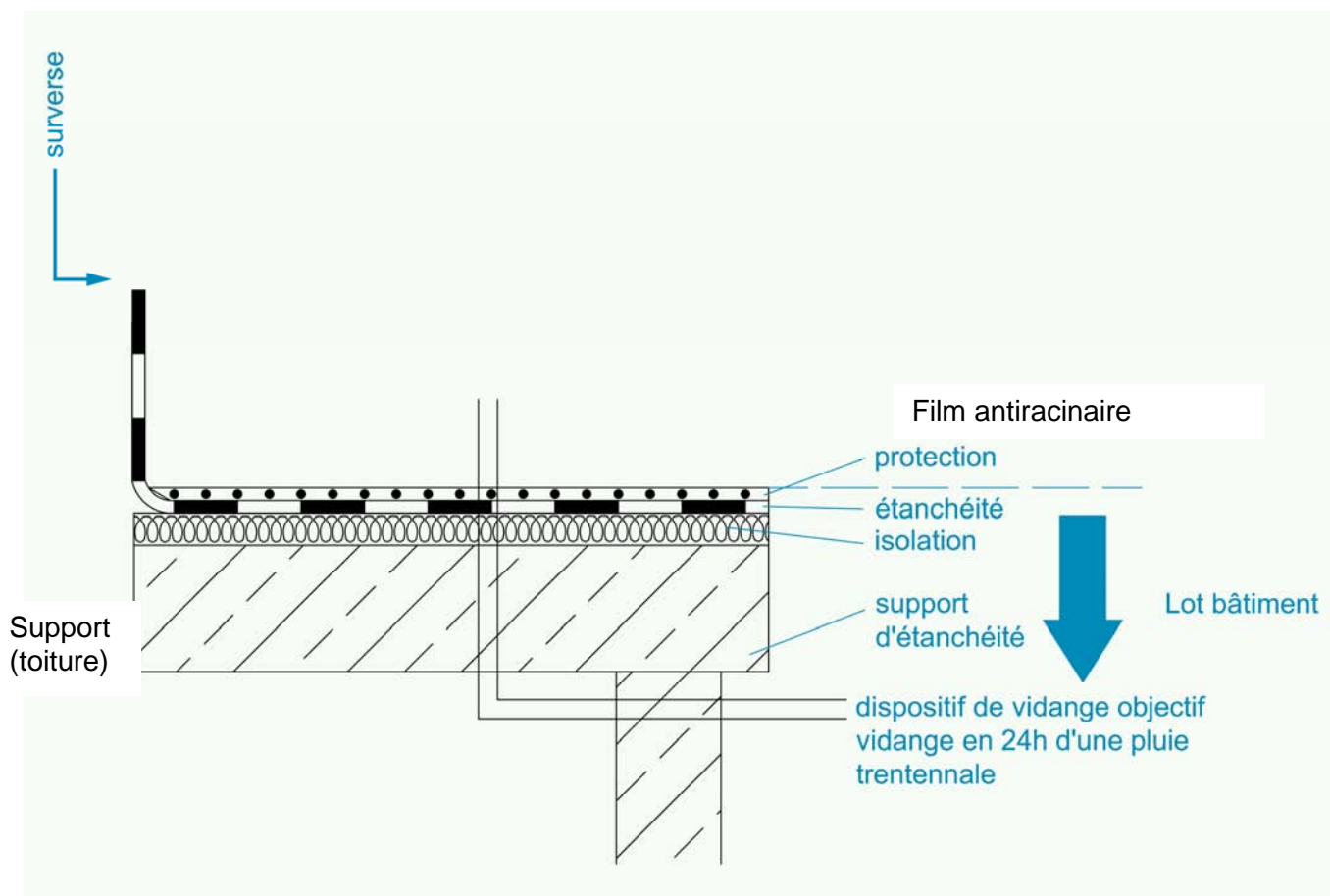


Fig. 1

2. SUBSTRAT :

Le substrat est le support de culture qui doit permettre aux plantes de s'enraciner, de se nourrir, de s'abreuver et de respirer. Il abrite de nombreux micro organismes et constitue un écosystème propre. Son colmatage ou son drainage, son aération, la présence, la persistance d'eau, son pH, la présence et la nature des pollutions sont des facteurs physiques clefs de cet écosystème, particulièrement sensible à toute variation.

La plupart des racines vivent en symbiose avec des micro-organismes et/ou des champignons qui assurent à la fois la résistance à la déshydratation, la régulation de l'apport d'eau, l'apport de sels minéraux, voire la fixation de l'azote de l'air.

Sur un toit, le support de culture doit être en général le plus léger possible ; on emploiera donc différents mélanges à base de pierre volcanique, argile expansée, perlite, laine minérale, etc. auxquels on ajoutera plus ou moins de matières organiques (compost), dont la nature et la proportion seront définies en adéquation avec le type de végétation.

Le substrat stocke temporairement de l'eau, qui s'évapore ou est consommée par les plantes. **Il n'a pas vocation de stockage efficace d'eau, au risque de l'asphyxie racinaire des végétaux.** C'est pourquoi, le substrat vient toujours compléter un « ouvrage » de drainage de la toiture, en général posé directement sur la protection de l'étanchéité.

Parmi tous les substrats possibles, les plus courants sont les suivants (liste non exhaustive) :

- **Sables** : poids important, lié à la roche mère, calcaire (alcalin) ou siliceux (acide). Une granulométrie fine peut créer des problèmes de saturation, une granulométrie grossière risque d'être trop drainante.
- **Pouzzolane** : roche volcanique basaltique, excellente rétention et restitution de l'eau aux plantes, sa structure permet le développement des petites racines (radicelles). De plus, c'est un matériau disponible dans la région proche (Auvergne).
- **Billes d'argile** : bonne rétention d'eau, drainage évitant la stagnation des racines dans l'eau grâce au vide entre les billes.
- **Perlite** : sable siliceux d'origine volcanique, expansé par un traitement industriel à 1200°. C'est un matériau aux nombreux avantages : pérenne, imputrescible, ininflammable, bonne rétention d'eau et faible poids. Il a une légère tendance au tassement avec l'âge.
- **Vermiculite** (argiles d'origine basaltique): relativement chère, très légère, tendance au tassement, retient mal l'eau et les nutriments.
- **Laine de roche** : obtenue par fusion et centrifugation de roches volcaniques, petite tendance au tassement. Bon marché, légère, sa mise en œuvre doit être sécurisée par le port de masques en raison de sa forte nocivité pour les voies respiratoires. Sa rétention d'eau et sa restitution aux plantes sont excellentes et en font un support courant pour les cultures hors sol.
La Communauté Urbaine de Lyon n'est pas favorable à l'utilisation de ce matériaux comme substrat.
- **Mousse de résine organique** : produit industriel à fort pouvoir de rétention d'eau et qui allège le substrat.

- **Matériaux recyclés** : briques et tuiles concassées retiennent eau et nutriments et peuvent être incorporées au substrat ou utilisées comme couche drainante. Leur poids est à prendre en compte lors du dimensionnement de la structure porteuse. La présence de mortier et de ciment augmentent le pH du substrat. Le béton concassé est à éviter en raison de son alcalinité, à moins de choisir des plantes adaptées, type prairie calcaire.
- **Fibre de coco** : matériau peu cher, léger, organique et qui se décompose avec le temps pour se transformer en compost.
- **Terre végétale / de jardin** : la structure, la teneur en éléments nutritifs et le poids varient notablement d'un type de terre à l'autre. La charge peut varier de 50kg/m² pour 10cm d'épaisseur et représente donc un risque difficilement acceptable pour des calculs de résistance faits au plus juste.
- **Compost** : matière organique qui constitue la nourriture des plantes, il peut représenter environ 20% de la totalité du substrat.

Vous trouverez en annexe des tableaux récapitulatifs et comparatifs de ces différents substrats.

Le choix du substrat, ou du mélange de substrats (cas le plus fréquent), doit répondre à la fois à des contraintes de poids, de mise en œuvre mais aussi à des exigences agronomiques de résultat relative à la végétation recherchée. Les contraintes agronomiques sont l'ombre ou la lumière, l'exposition au vent, l'exposition au piétinement, l'eau, l'air et les besoins en sels minéraux et matière organique. Le substrat retenu doit donc faire l'objet d'un consensus entre le maître d'œuvre, l'entreprise de réalisation et la pépinière fournissant les plans et/ou les semences.

3. ECOSYSTEME :

Un écosystème est un groupe de communautés biologiques qui se partagent un milieu physique. L'air, la terre, l'eau et les organismes vivants, de l'infiniment petit à l'espèce humaine, interagissent pour former un écosystème. Autrement dit, il est constitué d'un ensemble d'espèces (biocénose) et du milieu dans lequel il se déploie (biotope) en constante interaction. Tous ces paramètres sont à prendre en compte pour la création ex nihilo d'un écosystème équilibré sur un toit. Il faut choisir avec soin le substrat qui correspond aux plantes adaptées au milieu (ombre, luminosité, pluviométrie, exposition au froid, à la sécheresse, etc.). Grâce à la prise en compte de toutes ses composantes, l'écosystème ainsi créé de façon équilibré ne nécessitera que très peu d'entretien, voire pas du tout.

4. TOITURE EXTENSIVE :

Il s'agit d'une toiture sur laquelle le substrat est de faible épaisseur (de 2 à 15 cm environ) et ayant une végétation basse qui demande peu d'entretien. Grâce à son faible poids (de 40 kg/m² à 150 kg/m²), elle peut être installée sur un bâtiment existant.



Fig.2 - Toiture parking parlement de Sarre – Allemagne

5. TOITURE SEMI-INTENSIVE :

L'épaisseur de substrat est de 12 à 20 cm. On peut y installer des sedums, des bulbes, des graminées et des couvre-sols.



Fig.3 - Toiture Local technique Block 6 à Berlin, garage à Fribourg - Allemagne

6. TOITURE INTENSIVE :

Elle comporte des épaisseurs de substrat de plus de 20 cm et l'installation possible de nombreuses espèces vivaces, voire de quelques arbustes bas. La structure porteuse doit être prévue pour supporter le surpoids du substrat et de la végétation, y compris lorsqu'ils sont gorgés d'eau. Un arrosage intégré est souvent nécessaire pour assurer la pérennité d'un écosystème complexe.



Fig. 4a - Toiture EML – Lyon / Fig. 4b Toiture STEP Feysine

7. TOITURE JARDIN :

On se rapproche des jardins classiques avec des épaisseurs de substrat supérieures à 50 cm et l'installation possible de petits arbres et de nombreuses espèces présentes au sol. En raison d'un surpoids important elle est réservée à des constructions dimensionnées en conséquence. Sa pente doit être inférieure à 5%.



Lyon / Fig. 5b Toiture St Foy

Fig.5 - Toiture gare de Perrache –



Fig. 5c Toiture St Foy

ENJEUX

1. LE CLIMAT :

La végétalisation des toitures diminue les effets d'îlots de chaleur à l'échelle de quartiers urbains denses, parfois de plusieurs degrés selon la densité des installations végétales.

Une étude a été lancée à ce sujet par le GICC et la Région Rhône Alpes, projet Ecclaira, dont on attend les premiers résultats à partir de 2013.

Elle a aussi un effet non négligeable sur la température interne du bâtiment en été. En effet, toutes les plantes, même les plus basses, font de l'ombre grâce à leur feuillage, ce qui atténue la température de la surface du toit. L'eau, grâce à l'évapotranspiration des plantes, va créer un microclimat de quelques centimètres plus humides et plus frais au dessus du bâtiment. De plus, le substrat agit comme un isolant complémentaire, notamment s'il contient des roches expansées. Tout ceci se combine pour créer une sorte de « climatisation naturelle » bien moins gourmande en énergie que la climatisation électrique.

A titre d'exemple, l'agence « Environnement Canada » a pu observer une réduction de 25% de l'énergie consommée pour la climatisation estivale d'un immeuble de bureau ayant un toit végétalisé avec un substrat de 10cm.

L'hiver, la toiture aide également à l'isolation thermique. Elle conserve la chaleur à l'intérieur du bâtiment, mais son efficacité est moindre qu'en été (plantes au repos et substrat parfois gorgé d'eau).

2. L'ECOSYSTEME :

Selon la végétation installée, de véritables écosystèmes complets peuvent s'établir sur les toitures de nos villes. Elles deviennent des zones refuges ou des corridors d'un espace vert à l'autre pour les plantes, insectes, oiseaux et parfois petits mammifères. Attention, la création d'un écosystème attire également ses prédateurs ! Les corbeaux seraient très friands de certains *Sedum* colorés.

3. L'ESTHETIQUE :

Les toitures végétalisées participent fortement à l'esthétisme de la ville, en particulier dans les agglomérations où les hauteurs et les formes des bâtiments sont variées. Lorsqu'il s'agit de toiture jardin, le bâtiment offre de nouveaux lieux de vie, de rencontre et/ou de production vivrière (potager, ruchers...).

4. L'EAU :

Une rétention des eaux de pluie sur les toitures, même partielle, permet de diminuer notablement les risques d'inondations en milieu urbanisé. La réduction du débit va de 30% pour les substrats minces des toitures extensives jusqu'à 70% pour les substrats de 20cm et plus.

Le stockage de l'eau sur les toitures peut ainsi se faire en définissant la hauteur de la surverse de la rétention vers le réseau.

Sur l'agglomération lyonnaise, une pluie de retour trentennale correspond à 25 mm d'eau. On voit directement la conséquence pour les réseaux lorsque la toiture est en capacité de retenir 1 à 3 cm de cette pluie.

Pour éviter l'infiltration de l'eau dans le bâtiment, la toiture de base doit être plane, sans creux ni bosses et, dans l'idéal, avoir une pente continue de 3% (écoulement de l'eau facilité). La couche de drainage doit impérativement être dimensionnée en fonction de la pluviométrie locale et de la pente du toit.

Selon le type de végétation souhaitée, on pourra prévoir une épaisseur de stockage de l'eau sous la couche drainante pour éviter l'asphyxie racinaire. L'évaporation et la remontée capillaire alimentent les plantes en eau et diminuent les besoins en arrosage. L'eau accumulée sous la couche drainante n'est ni à l'air libre, ni à la lumière, le risque sanitaire de propagation d'algues et de bactéries est donc faible.

Le stockage de l'eau induit un poids que le bâtiment doit être à même de supporter.

Comme sur un toit nu, le poids de la neige vient s'ajouter à ce toit d'eau stocké et doit être pris en compte. Pour mémoire, en Région lyonnaise, on dimensionne les toits pour 55 kg / m² minimum, ce qui correspond à l'enneigement local.

5. L'AIR ET LE BRUIT:

La toiture végétalisée va, comme toutes les plantes, consommer du gaz carbonique et libérer de l'oxygène en journée. Elle va aussi fixer les poussières et certains polluants urbains, donc améliorer la qualité de l'air ambiant. Une étude allemande a montré une réduction de 55% en 48h des oxydes de carbone produits par les moteurs Diesel.

Le complexe substrat + végétation va former un écran à la transmission des sons, et notamment atténuer les bruits du trafic et des machineries installées sur les toits (ventilation, climatisation...).

Les effets d'aspiration dus au vent peuvent soulever les couches rigides ou souples se trouvant sous le substrat. Les acrotères installés en pourtour des toitures plates augmentent ce risque, notamment dans les angles. Pour éviter cela, il suffit d'installer sur le pourtour de la toiture une bande d'une largeur de 50cm de dalles (ou de graviers sur une épaisseur de 5cm minimum), avec un élément de séparation entre substrat et zone stérile pour minimiser l'expansion des plantes.

6. LE FEU :

Cette bande périphérique permet aussi de réduire les risques d'incendie. Selon le type de toiture et sa taille, d'autres systèmes de coupe-feu peuvent être nécessaires. Ils seront détaillés dans les chapitres idoines.

7. STRUCTURE ET COUTS :

La végétalisation d'un toit peut se faire sur différentes structures porteuses : bois, tôle, bac acier ou béton armé. Les trois premières doivent avoir une pente de 3% minimum et peuvent supporter un poids assez faible, seules des végétalisations extensives peuvent être envisagées, après vérification de la portance.

Le béton armé utilisé dans les constructions modernes peut recevoir un poids plus important. Très souvent, des modifications structurelles ne sont pas nécessaires pour une végétalisation légère, notamment lorsqu'il s'agit de remplacer une couche de gravier déjà installée sur le toit.

Toute toiture végétalisée additionne à son propre poids la masse d'eau potentiellement stockée temporairement dans son substrat, le poids de la neige et la charge d'exploitation (entretien et/ou visiteurs). A cette charge correspond un dimensionnement de toiture en conséquence. Ainsi, tout projet de végétalisation présente des coûts directs (la végétalisation proprement dite) et des coûts indirects (les renforcements éventuels de structure). Ces renforcements sont liés également à la nature du sol support du bâtiment, de sa structure, du nombre d'étage... Il est donc difficile d'établir une règle générale à ce sujet.

8. L'ACCESSIBILITE :

Ce point conditionne l'installation de végétation sur le toit. Il faut en effet prévoir l'accès aisé à la zone de travail, que ce soit pour l'acheminement des matériaux (drainage, substrat et plantes) et leur mise en œuvre, aussi bien que pour l'entretien ultérieur de la végétation.

Si des arbustes sont installés sur le toit, il faudra pouvoir évacuer aisément les déchets de taille, ce qui est difficilement envisageable lorsque le seul accès se fait par échelle intérieure. Sur Lyon, de plus en plus de toitures de groupes scolaires sont végétalisées. Les problèmes d'accès se révèlent en été : les locaux sont fermés et en l'absence d'accès extérieur, aucune intervention d'entretien n'est possible.

9. LA SECURITE :

Toute toiture végétalisée nécessite un minimum d'interventions pour lesquelles la sécurité des personnes doit être garantie. Il existe différents moyens de pallier les risques de chute.

S'il s'agit d'une toiture non accessible au public, on pourra prévoir des points d'ancrage individuels (sans pénétration de la membrane étanche) afin que le personnel d'entretien puisse travailler en toute sécurité grâce à des baudriers. Une autre solution consiste à installer une ligne de vie : un câble de sécurité sur le pourtour de la zone de travail.

Les gardes corps démontables présentent toujours le risques de la mise en danger du personnel, soit parce que l'intervention est « si rapide », qu'il n'est « pas nécessaire » d'installer le garde corps, ou que ce dernier reste bloqué en position couchée par manque d'usage et d'entretien.

Si le toit reçoit du public, il faudra impérativement installer une rambarde d'une hauteur minimum de 1,20m comme la réglementation le prévoit. Un installateur d'ascenseur, d'antenne de télévision, de climatisation, est en général considéré comme une personne publique ayant accès au toit et qui doit être protégé des chutes par un garde corps. Ce dernier peut être installé uniquement autour de l'ouvrage faisant l'objet d'un contrat de maintenance, et pas en bordure du toit. Dans tous les cas, il est préférable que ces dispositifs de sécurité soient conçus dès l'origine, par ou en partenariat avec l'architecte du bâtiment.

10. L'ENTRETIEN :

La gestion et l'entretien sont très variables : de quasi nuls pour les toitures extensives à complexes pour les toitures jardins. Dans le premier cas, un passage annuel est suffisant une fois les plantes bien installées pour supprimer les plantes pionnières envahissantes (arbres, arbustes...). Dans le second cas, il peut y avoir un arrosage intégré à gérer, des tailles éventuelles, l'apport d'engrais, etc. Des coûts d'entretien indicatifs des différents types de végétalisation sont donnés le tableau de synthèse en annexe. Les grands enjeux de l'entretien restent avant tout l'accessibilité et la sécurité des hommes, du matériel et l'évacuation des déchets verts.

TOITURE AVEC COUCHE DE GRAVIERS

Cette toiture est rapidement décrite ici, comme toiture de référence pour les toitures végétalisées qui font l'objet de ce rapport.

1. STRUCTURE

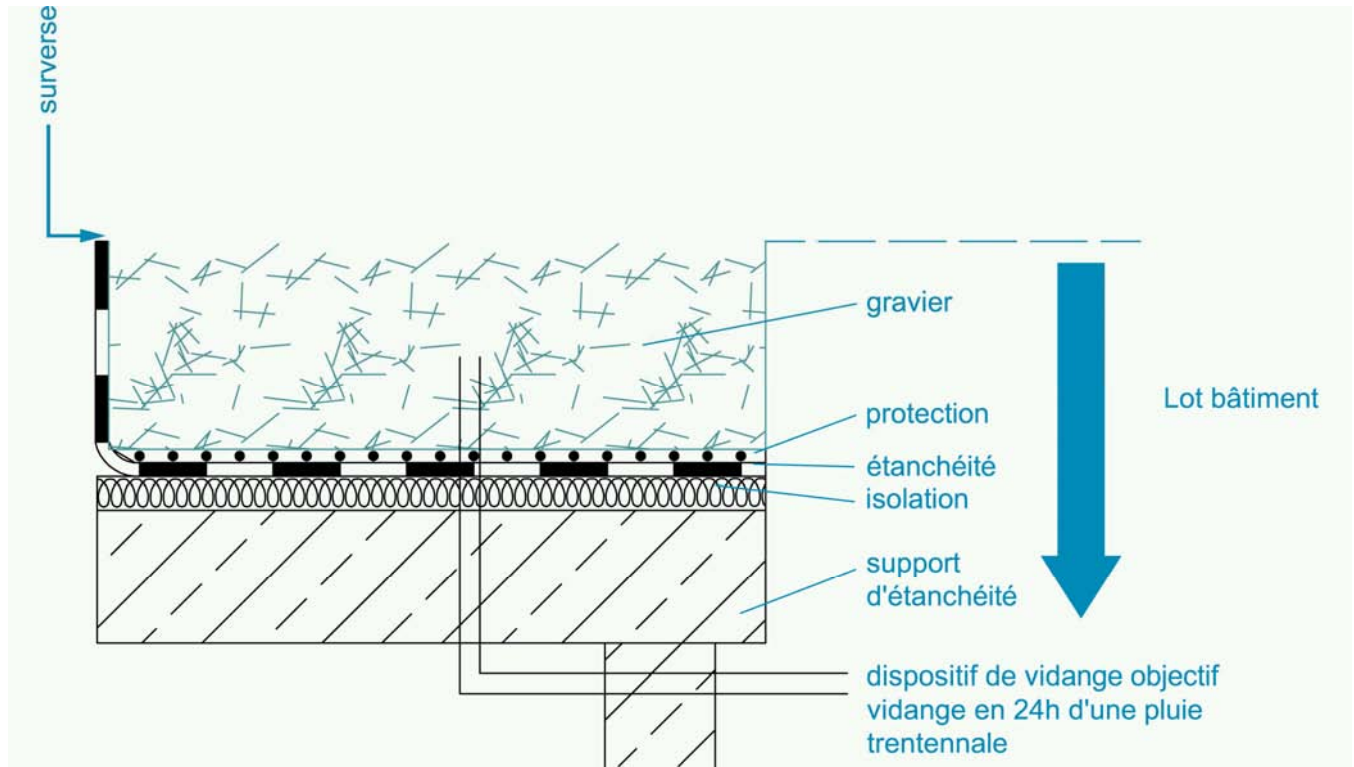


Fig.6

Il s'agit ici d'une toiture, souvent en béton armé qui, après vérification de son étanchéité, va recevoir une couche de graviers d'environ 10cm d'épaisseur pour retenir 2,5cm d'eau. La granulométrie doit être supérieure à 15mm pour ne pas favoriser l'installation de plantes adventices (Buddleia, Ailanthé, Acacia sont très envahissantes). L'installation de graviers est courante sur les structures en béton armé.

Poids : environ 100 kg / m² à sec auxquels il faut ajouter le poids de l'eau.

2. MISE EN ŒUVRE

En fonction des accès, le gravier sera livré en vrac ou en sacs.

3. COÛT

La fourniture et la mise en place de gravier (calibre 15/30) sur une épaisseur de 10 cm représente un coût de 20 €/m² environ, et de 6 € /m² pour l'entretien. – coûts au ratio, juillet 2010.

4. ENTRETIEN ET SECURITE

Un passage annuel suffit pour l'entretien des toitures gravillonnées. Il s'agit surtout de vérifier qu'aucune adventice ne s'est installée.

5. INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES

La couche de graviers va protéger la toiture des effets directs du rayonnement solaire, et donc légèrement atténuer les écarts de températures. Ceci allongera la durée de vie la membrane d'étanchéité mais n'aura que peu d'impact sur la température interne du bâtiment.

Le ruissellement suite aux pluies sera décalé de quelques minutes à plusieurs heures, selon le débit de fuite choisit. Pour avoir une rétention d'eau de 2,5cm (pluie trentennale), la couche de gravier doit avoir une épaisseur minimale de **10cm** (granulométrie 15/20).

TOITURE EXTENSIVE (4 A 12 CM DE SUBSTRAT)

1. STRUCTURE

Au-dessus de l'étanchéité et de sa protection, on installe une couche de drainage composé de billes d'argile, pouzzolane, matériaux recyclés ou de dalles alvéolées préfabriquées (polystyrène, plastique recyclé...). Ces dernières sont les plus légères et les plus indiquées pour des toitures existantes ne pouvant pas subir de modification structurelle quant à leur résistance au poids. En général, elles se montent comme des jeux de construction.

Dans l'idéal, la pente du toit doit être comprise entre 3 et 5% pour éviter la formation de flaches. La couche de drainage peut alors être réduite à 1 ou 2cm. Pour les pentes inférieures à 3%, il est recommandé une épaisseur de 5 à 8cm de couche drainante, avec un matériau peu rétenteur d'eau. Ceci pour éviter que les plantes choisies pour leur résistance à la sécheresse ne meurent noyées.

Selon l'épaisseur du drainage, le stockage de l'eau sera plus ou moins important. Ceci induit un poids plus élevé pour une couche épaisse, mais aussi une meilleure réserve d'eau pour les plantes. Pour éviter le pourrissement des racines, on peut installer un filtre semi-perméable entre la couche de drainage et la couche de réserve d'eau.

On pose ensuite un filtre en non tissé pour éviter que le substrat ne se mélange au drainage, ce qui réduirait son efficacité.

Ce système peut être installé sur des supports en bois ou en acier avec des pentes supérieures à 3% ou sur toiture en béton armé, quelque soit sa pente. Sur cette dernière, la couche de gravier fréquemment installée peut être remplacée facilement par une végétalisation extensive de même poids.

Différents types de structure préfabriquées, incluant drainage, substrat et plantations, sont actuellement disponibles sur le marché, avec une esthétique, une pérennité et des coûts très variables.

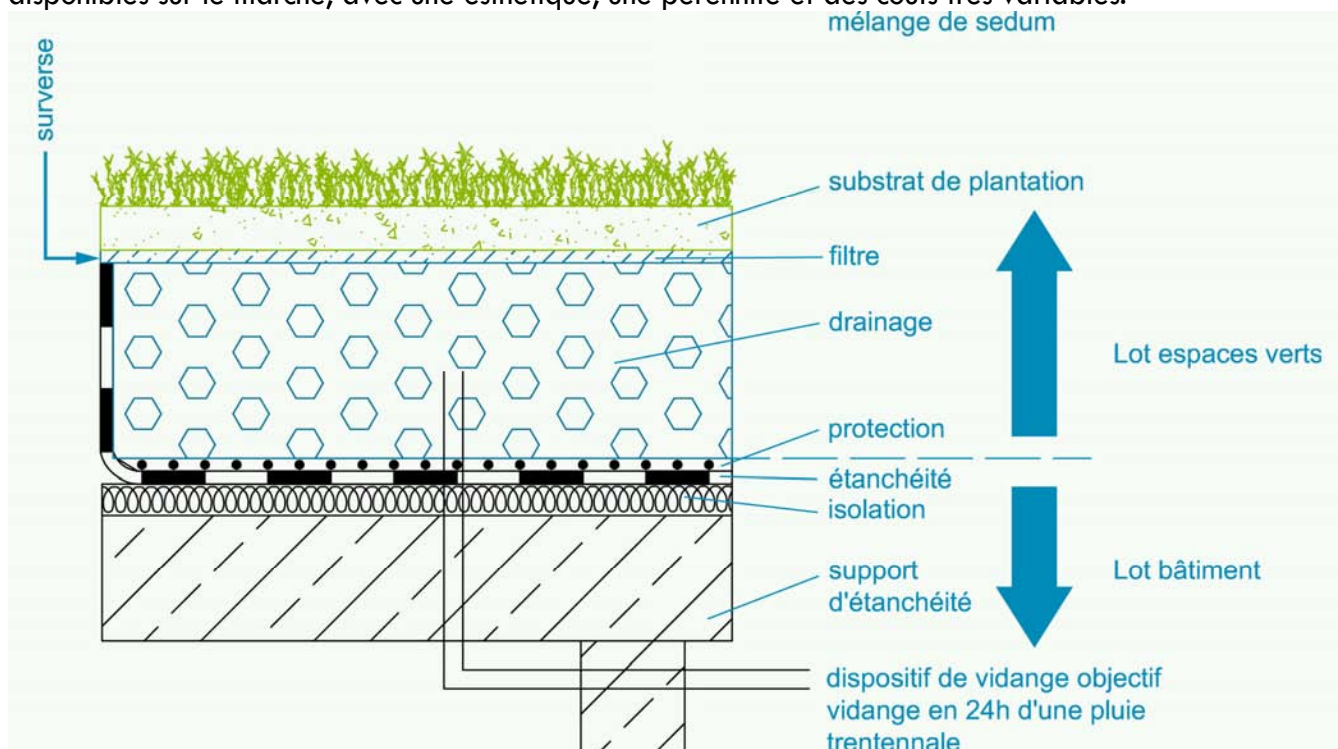


Fig. 7

Poids du complexe saturé d'eau : de 40 kg / m² environ à 150 kg / m² (selon la composition et l'épaisseur du substrat et de la couche drainante).

2. MISE EN ŒUVRE

Il faut prévoir les accès possibles afin d'acheminer couche drainante, substrat, végétaux et outillage. Le conditionnement du substrat (vrac ou sacs) et son installation (manuel ou par soufflage) dépendra de l'accès à la toiture. Certains substrat peuvent être « pompés » ou « soufflés » depuis un camion citerne directement sur la toiture.

Lorsqu'il s'agit d'un bâtiment neuf, il est préférable de prévoir dès la conception un accès à la toiture par l'extérieur du bâtiment afin de faciliter mise en œuvre et entretien.

3. SUBSTRAT ET PLANTATIONS

La meilleure solution réside dans l'emploi d'un mélange de plusieurs types de substrats, en tenant compte des contraintes particulières du projet (poids, coût, etc.).

Les plantes les plus utilisées pour les toitures extensives sont les orpins (*sedum*) et les jubarbes (*sempervivum*). Ces plante poussent naturellement dans des substrats très pauvres, elles se développent parfois spontanément dans les couches de gravier sans amendement organique. Elles ont d'ailleurs tendance à se développer dans le gravier de la bande de pourtour. Pour éviter les désherbages fréquents, les dalles sont à privilégier ou bien l'installation d'un élément de séparation dépassant de quelques centimètres entre les plantations et la zone stérile.

On peut maintenant trouver sur le marché une grande variété de ces plantes, tant au niveau de la couleur de la floraison que du feuillage qui, en plus, varie selon la saison pour certaines espèces. Les orpins sont majoritairement persistants. Il existe dans le département du Rhône des pépinières cultivant des tapis de sédum prêts à la pose.

La ville de Bâle sème directement sur un substrat minéral en galets ou issu de concassage / recyclage de bâtiment. Elle recrée ainsi les écosystèmes des pierriers inondables des berges du Rhin.

Vous trouverez en annexe une liste non exhaustive de différentes plantes pouvant être installées selon l'épaisseur de substrat, avec leurs noms en latin pour éviter toute confusion.

Les services d'espaces verts de la ville de Lyon ont lancé une étude comparative sur plusieurs variétés de Sedum dont les résultats sont attendus à partir de 2014.

4. COÛT

A priori, pas de surcoût de construction.

Entre 35 et 80 €/m² à l'installation, 8 à 30 €/m² pour l'entretien. – coûts au ratio, juillet 2010.

5. ENTRETIEN ET SECURITE

Lors de la première année, la toiture extensive aura besoin de surveillance et d'arrosages, notamment si elle est installée en été ou lors d'un printemps sec. Si le toit est installé en automne, les plantes auront le temps de s'enraciner avant d'avoir à affronter la sécheresse de l'été. Mais en cas de canicule, les jeunes plants auront besoin d'arrosage. Il est donc pratique d'avoir un point d'eau installé sur le toit.

Dans tous les cas, un passage trimestriel au minimum est le plus efficace pour se débarrasser des plantes ligneuses (arbres et arbustes) qui s'installent dans le substrat, surtout si la couverture végétale est inférieure à 60%. Cela permet aussi de regarnir la toiture au fur et à mesure des besoins. En effet, les oiseaux se nourrissent parfois des plantes installées, en particulier celles à feuillage rose.

Pour les années suivantes, un passage annuel sera suffisant. Il permettra de vérifier qu'il n'y a pas de zones dénudées. Pour remédier à ce mitage, on installera des mini-mottes qui recoloniseront rapidement l'espace. Le risque principal pour la toiture est le développement d'adventices, notamment les ailanthes, érables et buddleia, très répandus sur Lyon et dont les racines risquent d'endommager la structure. Au bout de quelques années, le tapis de plantes sera suffisamment dense pour ne plus laisser de place aux « squatteuses ».

Aucun n'arrosage n'est nécessaire une fois les plantes établies, même en période de sécheresse. En effet, les orpins et les jubarbes sont des « plantes grasses » qui stockent l'eau dans leurs feuilles. Par contre, l'eau stagnante en hiver est une cause de dépérissement de ces plantes, le drainage doit donc être dimensionné en fonction de la pente du toit.

Les risques de feu sont très faibles pour ces plantes et pour les substrats contenant moins de 20% de substances organiques (compost).

Si la surface du toit est importante, il faudra étudier l'installation de bandes coupe-feu (en général de 50cm de large, dalles ou graviers tous les 40m) pour respecter la réglementation française. Cet impératif peut être transformé en jeu de lignes esthétiques.

6. INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES

Les matériaux à base de roche expansée présents dans le substrat sont des matériaux couramment utilisés comme isolants thermiques et acoustiques. Ils vont donc ajouter leurs propriétés à l'isolation existante.

La végétation, même basse, fait de l'ombre sur le toit et réduit des pics de température : sans végétalisation la surface du toit peut subir des températures de 60 à 75°C ; avec, la surface ne dépassera pas 25 à 35°C.

Par contre, les plantes grasses stockent l'eau dans leurs feuilles et ont une évapotranspiration limitée. Elles rafraichissent donc moins l'air ambiant que les autres plantes (graminées ou flore alpine).

Pour retenir 2,5cm d'eau, une couche drainante en pouzzolane doit avoir une épaisseur de 8cm. Des dalles alvéolées plus légères et moins encombrantes existent sur le marché.

TOITURE EN PENTE



Fig.8a, b et c - Toiture maison jumelée – Ecolonia – Pays Bas, centre Solen et maisons privés à Berlin

1. STRUCTURE

Il est possible d'installer une toiture végétalisée extensive sur une pente allant jusqu'à 60%.

Les contraintes particulières de ce type d'installation sont liées à la rétention d'eau. En effet, la pente induisant un drainage naturel, il faudra prévoir dans la structure un matériau ayant une bonne rétention d'eau et minimiser la couche de drainage pour ne pas que les plantes meurent de soif. Bien évidemment, il faut également que le complexe « plante / substrat » soit bien « accroché », et que la gestion des eaux au point bas soit efficace.

Concernant l'entretien, en raison des difficultés d'accès, on envisagera le moins d'interventions possibles. Il faut donc prévoir, dès l'installation, un choix de plantes ne nécessitant aucune aide humaine, qui se satisferont des conditions climatiques locales, ayant une grande durée de vie ou une propension à se ressemer d'elles-mêmes (sédums, graminées et vivaces de petite taille).

On installe donc sur ces toits une végétalisation extensive ou semi intensive. En raison de la pente existante, la couche de drainage peut être réduite au minimum (matelas drainant synthétique avec 50% de vides minimum) ou être supprimée si le substrat est assez perméable. Jusqu'à 35% de pente, l'épaisseur de la couche de substrat n'a pas besoin d'être augmentée. Au-delà, il faudra avoir un substrat plus épais (7cm minimum) pour améliorer le volume de rétention en eau et corriger la perte rapide de l'eau de gravité.

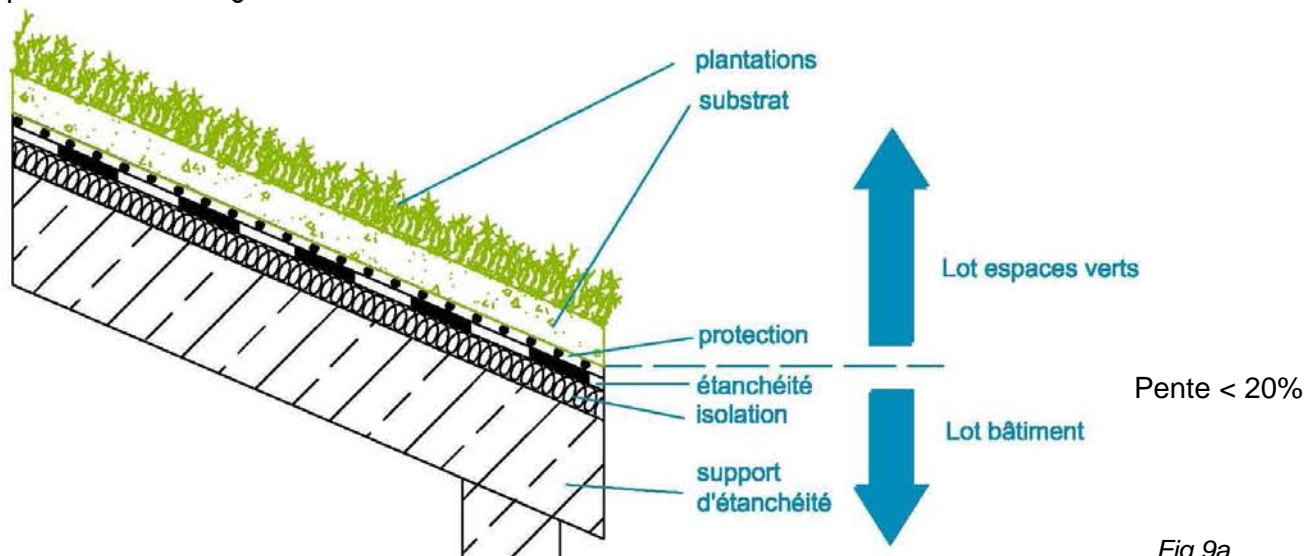


Fig.9a

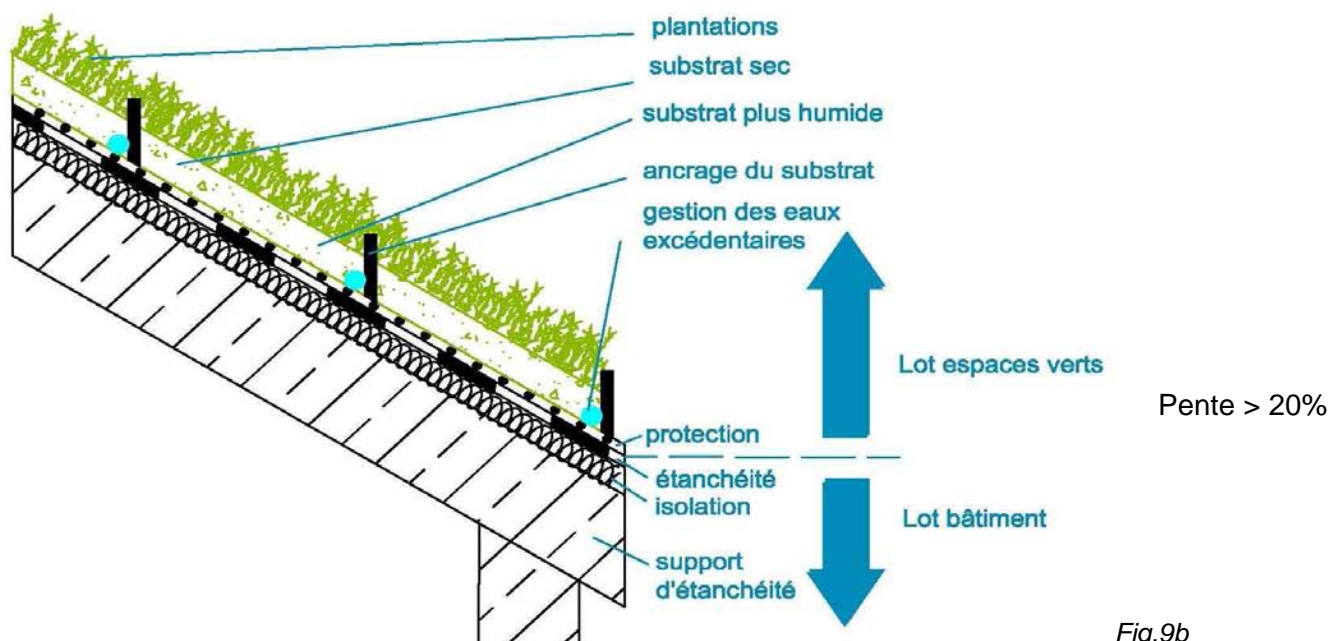


Fig.9b

Poids du complexe saturé d'eau : de 40 à 120 kg / m² selon l'épaisseur du substrat.

2. MISE EN ŒUVRE

Selon la pente, la mise en œuvre sera différente.

Jusqu'à 20%, on devra uniquement s'inquiéter des accès pour la mise en place du substrat et des plantes.

Au-delà, jusqu'à 60%, il faut prévoir un système empêchant le glissement du substrat et de la végétation. On pourra installer des lattes, des planches ou des grilles de façon transversale, parallèlement au bord du toit, espacées de 1 à 3m. Le bois sera recouvert d'une membrane imperméable fixée sur la toiture. Il est conseillé d'installer sur l'étanchéité une couche d'accrochage type géotextile à forte rugosité. Le substrat sera ensuite réparti dans les casiers créés. Au delà d'une certaine pente, cela devient un projet très technique, mais les enjeux restent les mêmes

3. SUBSTRAT ET PLANTATIONS

Pour avoir un substrat dans lequel les plantes ne se dessècheront pas, il faut avoir un matériau qui retienne bien l'eau et la restitue au système racinaire (exemple : 30% de laine de roche en flocons, 50% de pouzzolane, 20% de compost). Afin d'avoir une bonne stabilité structurale, la proportion de fines sera limitée et la courbe granulométrique sera aussi régulière que possible.

Pour un rendu immédiat et pour faciliter l'entretien ultérieur, on peut installer un tapis pré-végétalisé avec des sedums. Ceci diminuera fortement le risque que les plantes adventices (buddleia, etc.) ne trouvent un espace libre pour s'installer et que le substrat à nu ne s'érode. Le tapis doit être lesté à intervalles réguliers le temps que les plantes s'enracinent, ce qui prend environ 4 semaines. Si l'on opte pour le semis, il faudra mettre en place une grille anti-érosion ou utiliser un fixateur. Le mélange sédum / graminées est le plus efficace, ces dernières ayant un chevelu racinaire retenant bien le substrat.

On installera les plantes de sol sec en haut de la toiture et les plantes ayant besoin d'humidité aux endroits d'accumulation d'eau.

D'autre part, il existe sur le marché des bacs pré-cultivés avec réserve d'eau pouvant être installés sur des pentes allant jusqu'à 60%.

4. COUT

De 35 à 150 €/m² selon la pente et le système choisi. – coûts au ratio, juillet 2010.

5. ENTRETIEN ET SECURITE

Quasi aucun entretien, si les plantes installées sont déjà bien développées. Si ce n'est pas le cas, il faudra prévoir les accès pour éliminer les adventices.

Les risques de feu sont très faibles.

6. INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES

Elles seront moindres que pour une toiture plate puisque la couche de drainage est supprimée. On aura un effet retardateur sur l'écoulement des eaux de pluie uniquement lorsque le substrat n'est pas déjà gorgé d'eau.

La surface de la toiture sera toujours protégée des écarts de température, et la durée de vie de la membrane d'étanchéité prolongée.

Pour la rétention d'eau, en l'absence de couche drainante c'est le substrat qui remplira cet office. Pour retenir 2,5cm d'eau, un substrat composé de pouzzolane (30%), laine de roche (50%) et compost (20%) devra avoir une épaisseur de 7cm.

TOITURE SEMI INTENSIVE ET INTENSIVE (15 A 50 CM DE SUBSTRAT)

1. STRUCTURE

En raison du poids de ce type de végétalisation, elle est à réserver à des structures porteuses dimensionnées en conséquence : soit des bâtiments existants avec un diagnostic structurel validant la possibilité de soutenir le surpoids, soit un complément de portance, soit des bâtiments neufs pour lesquels le poids du toit végétalisé est prévu dès la conception.

Au- dessus de l'étanchéité, on installe une couche de drainage composée de pouzzolane, de tuiles concassées ou de dalles de polystyrène alvéolé, plus légères. On pose ensuite un géotextile pour éviter que le substrat ne se mélange au drainage, ce qui réduirait son efficacité.

Pour éviter l'installation d'un arrosage intégré, il est possible d'intercaler une couche de stockage de l'eau entre l'étanchéité et le drainage, faite de billes d'argile recouvertes d'un géotextile par exemple. Ceci induit un poids plus élevé mais aussi une meilleure réserve d'eau pour les plantes.

Selon la palette végétale choisie et l'épaisseur de la couche de drainage/stockage, il faudra ou non installer un arrosage automatique. On peut opter pour un système capillaire avec natte poreuse sur les toitures semi-intensives (épaisseur de substrat de 12 à 20cm). Au-delà, les systèmes à « injecteurs » d'eau, individuels enterrés sont les plus efficaces. La surface reste sèche mais les plantes reçoivent l'eau nécessaire à leur croissance au niveau de leurs racines. S'il s'agit d'un bâtiment neuf, on peut prévoir dès la conception un système de stockage des eaux pluviales ou de recyclage des eaux domestiques (eaux grises) pour arroser la toiture. L'arrosage automatique par aspersion est à éviter en raison de la grande déperdition d'eau qu'il entraîne et de la fragilité racinaire qu'il induit. En effet, les racines se développent en surface, à l'endroit où l'eau se disperse, et elles sont donc beaucoup plus sensibles à l'assèchement rapide de cette première couche en été.

Si le toit végétalisé est destiné à accueillir du public, le surpoids induit par cette fréquentation (charge d'exploitation) doit être pris en compte lors du dimensionnement de la structure porteuse.

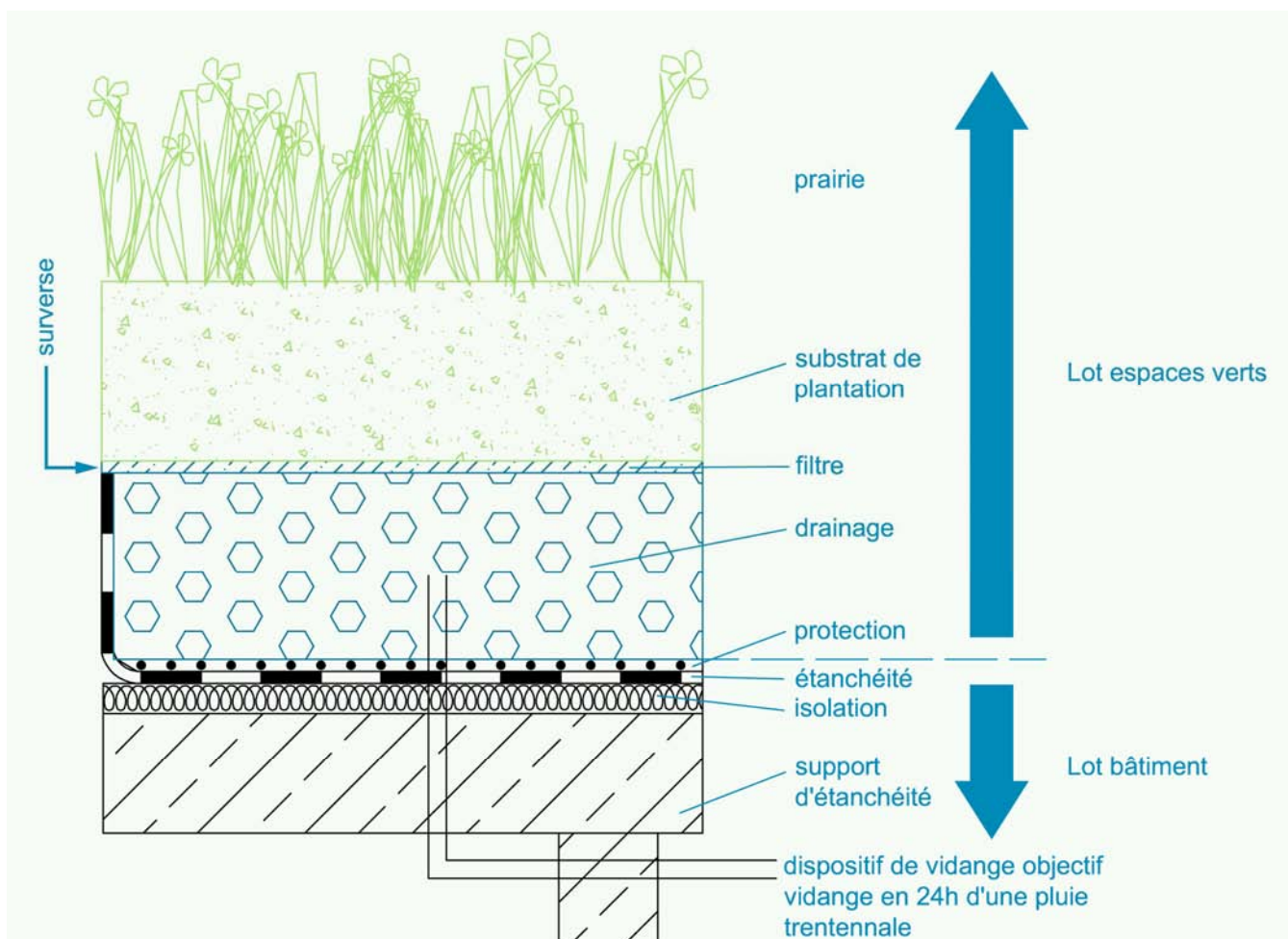


Fig.10

Poids : 200 à 900 kg/m² pour les toitures intensives,
150 à 300 kg/m² pour les toitures semi-intensives (12-20cm de substrat).

2. MISE EN ŒUVRE

Comme pour les autres systèmes, la première chose à faire est de vérifier les accès possibles pour choisir la mise en œuvre la plus adaptée.

Si la toiture est de grande étendue et facilement accessible, on pourra prévoir une mise en œuvre par projection pour le substrat, ce qui revient moins cher que l'acheminement manuel de tous les matériaux.

3. SUBSTRAT ET PLANTATIONS

Le choix du substrat se fait en fonction de la palette végétale voulue. Un substrat du même type que pour la végétation extensive sera suffisante pour une prairie sèche avec des plantes locales. Pour une toiture verte et fleurie sur une grande partie de l'année, il faudra un substrat plus riche et un arrosage intégré ou une couche de stockage de l'eau.

Vous trouverez en annexe une liste des plantes ayant déjà fait leurs preuves sur les différentes épaisseurs de substrat.

4. COÛT

Le coût varie notablement selon l'épaisseur du substrat, les plantes choisies, l'installation ou non d'un arrosage intégré, l'accessibilité de la zone à végétaliser, la nécessité de consolider la structure porteuse existante, la possibilité d'accueillir du public, etc. Pour définir un coût réaliste, il faut tenir compte de chaque situation et faire un devis au cas par cas.

A titre indicatif : installation 50 €/m², entretien 30 €/m² – coûts au ratio, juillet 2010.

5. ENTRETIEN ET SECURITE

Les toitures intensives nécessitent un entretien plus régulier et suivi que les toitures extensives. L'apparition d'arbres pionniers (buddleia, ailanthes et catalpa) et d'adventices (renouée du Japon) est à surveiller. Sur les toitures vertes et fleuries avec des arbustes bas, l'arrosage intégré est à vérifier au moins annuellement. En fonction de la palette végétale installée, il faudra prévoir désherbage, taille, remplacement éventuel de certains végétaux.

L'entretien est facilité par l'existence d'accès à la toiture par l'extérieur du bâtiment ou par monte-charge.

L'installation d'un point d'eau sur le toit est nécessaire pour garder vivante la végétation intensive. Les risques d'incendie sont à étudier. Ces risques peuvent par exemple être atténués par des murs coupe-feu de 30cm de haut tous les 40m (en plus de la bande de gravier de 50cm de large en bord de toiture).

Si la toiture accueille du public, il faudra prévoir impérativement la sécurisation des abords par l'installation de garde-corps d'une hauteur minimale de 1,20m.

6. INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES

En raison de l'épaisseur de son substrat, cette toiture aura une plus grande incidence climatique que les précédentes. Plus la couche est épaisse, plus l'isolation est importante.

La végétation haute et variée procure une ombre qui atténue d'autant plus la chaleur estivale. L'amélioration thermique est meilleure lorsque les végétaux sont verts et toujours en croissance. Avec une irrigation appropriée, on obtient donc une climatisation naturelle pouvant réduire notablement la facture électrique. Une étude réalisée par l'Institut canadien de Recherche en Construction sur un toit végétalisé avec des graminées sur un substrat de 15cm a relevé une réduction de 85% de la chaleur pénétrant dans le bâtiment au printemps et en été et de 70% de la chaleur sortant la nuit.

Si le substrat reste humide en permanence, le toit perd ses propriétés d'isolation thermique. Il faudra donc éviter les systèmes d'arrosage en surface par aspersion. Les systèmes à injecteurs individuels

enterrés sont à privilégier et les réglages de débit sont à caler précisément pour dispenser le minimum vital aux plantes.

L'impact sur la rétention d'eau et la diminution du ruissellement lors des fortes pluies est plus important qu'avec des substrats minces. Une couche drainante de 5cm et un substrat de 15cm retiennent plus de 2,5cm d'eau.

D'autre part, la toiture végétalisée fait office d'isolant acoustique. Le substrat bloque les basses fréquences et les plantes les fréquences plus élevées. On obtient, d'après une étude réalisée sur les toits de l'aéroport de Francfort, une réduction d'au moins 5db par couche de 10cm, ce qui peut être intéressant pour des bâtiments en zone bruyante, à proximité d'autoroute ou de couloir aérien.

TOITURE JARDIN

1. STRUCTURE

L'installation d'un jardin sur un toit nécessite, dès la conception du bâtiment, une étude approfondie du dimensionnement de la portance, à faire faire par un bureau d'étude spécialisé.

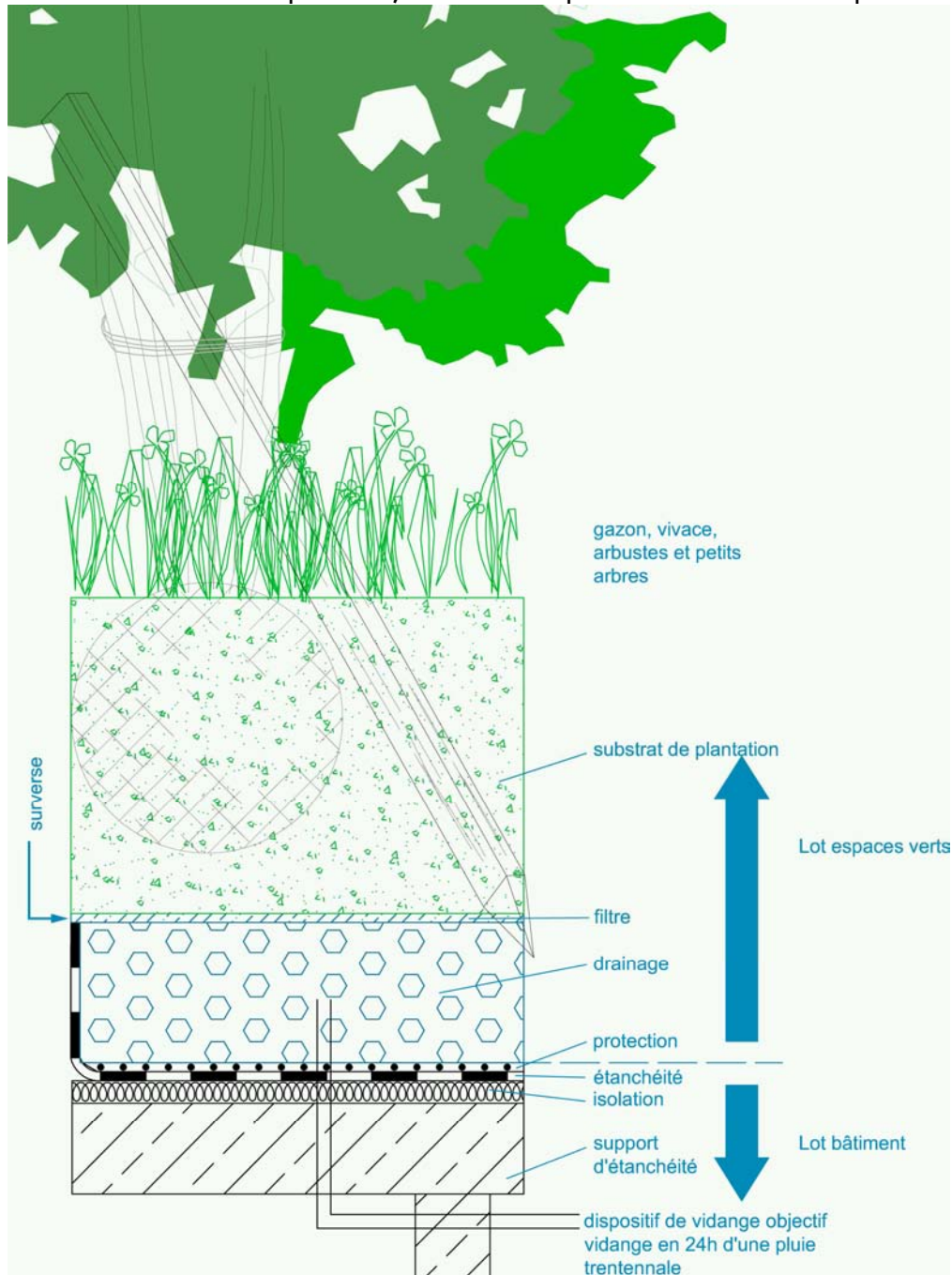


Fig. 11

Poids : plus de 1 200 kg/m²

2. MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre du toit-jardin doit être anticipée dès la conception du bâtiment neuf ou de la modification structurelle d'un bâtiment existant.

L'acheminement d'arbres sur la toiture est conditionné par la possibilité d'installer une grue à proximité du bâtiment. Le conditionnement du drainage et du substrat lors de leur achat dépend des possibilités d'accès (big bag, vrac).

3. SUBSTRAT ET PLANTATIONS

Pour garantir la pérennité des plantes, le substrat sera plus riche que sur les toitures extensives. On installera principalement terre végétale allégée et pouzzolane, amendées en compost, sans oublier une couche drainante plus épaisse.

Avec plus de 50cm d'épaisseur de substrat, la palette végétale devient très large. Il faudra éviter les arbres avec un système racinaire pivotant (conifères notamment) ou offrant une forte prise au vent (persistants et caduques aux feuillages denses). Dans tous les cas, les arbres doivent être haubanés à des structures solides ne perçant pas la membrane d'étanchéité.

4. COÛT

Vu l'étendue des possibilités en terme d'épaisseur de substrat et de choix de plantes, le coût peut varier énormément. Il est nécessaire de faire une étude précise des différents facteurs tels que poids structurellement acceptable, exposition, fréquentation publique, type de plantations, arrosage afin de chiffrer précisément le coût de l'installation et de l'entretien d'une toiture-jardin.

A titre indicatif : installation : 85 €/m², entretien 30 €/m². – coûts au ratio, juillet 2010.

5. ENTRETIEN ET SECURITE

L'entretien représente un poste important à prendre en compte dès la conception. On s'approche ici de l'entretien d'un jardin classique en termes de variété floristique et d'arrosage intégré, mais en moins accessible.

L'accessibilité partielle ou totale au public conditionne l'installation de garde-corps de 1.20m minimum autour de la zone accessible. Sur une grande surface, il faudra mettre en place des murs coupe-feu de 30cm de haut tous les 40m (en plus du dallage de 50cm de large en bord de toiture).

6. INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES

En raison de l'épaisseur de son substrat, c'est ce type de toiture qui aura la plus grande incidence climatique. La surface du toit est complètement protégée des écarts de température, en hiver comme en été. La végétation haute et variée crée un microclimat réduisant l'effet « îlot de chaleur ». On obtient une climatisation naturelle pouvant réduire notablement la facture électrique.

L'arrosage peut avoir un impact sur la gestion de l'eau s'il est prévu dès la conception du bâtiment un recyclage des eaux grises pour alimenter la végétation. Les eaux qui s'évacueront ensuite dans le réseau seront « propres » et équivalentes à des eaux pluviales.

La rétention d'eau par le substrat et la couche drainante aura un impact important sur l'effet retardateur du passage des eaux pluviales dans le réseau urbain, lorsque la toiture n'est pas saturée (pluies non interrompues sur une période étalée). Les pluies trentenales sont facilement absorbées par les toitures jardins.

En terme d'acoustique, on peut observer une réduction de près de 50db des bruits ambiants.

Grâce à sa végétation haute et variée, toute une faune peut profiter de cet espace : oiseaux, abeilles, papillons, nains de jardin, etc.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX :

Tab. 1 : Source synthèse Eranthis issue bibliographie

Tab. 2 : Source Eranthis issue bibliographie

Tab.3 : Source Eranthis issue bibliographie

FIGURES :

Fig. Couverture : Photo - Source Grand Lyon

Fig. 1 : Schéma - Production Eranthis

Fig. 2 : Photo - Source Eranthis

Fig. 3 : Photo - Source Eranthis

Fig. 4a : Photo - Source Eranthis

Fig. 4b : Photo - Source Grand Lyon

Fig. 5a : Photo - Source Eranthis

Fig. 5b : Photo - Source Grand Lyon

Fig. 5c : Photo - Source Grand Lyon

Fig. 6 : Schéma - Production Eranthis

Fig. 7 : Schéma - Production Eranthis

Fig. 8a, 8b et 8c : Photo - Source Eranthis

Fig. 9a et 9b : Schéma - Production Eranthis

Fig. 10 : Schéma - Production Eranthis

Fig. 11 : Schéma - Production Eranthis

Photo végétaux en annexe : source internet – non libre de droits

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Tableaux synthèses / Comparaison

ANNEXE 2 : Exemples de plantes conseillées et plantes interdites

ANNEXE 3 : Bibliographie

ANNEXE 1 : TABLEAUX SYNTHÈSES / COMPARAISON

TABLEAU RECAPITULATIF DES TOITURES

type de toitures	poids saturé d'eau en kg / m ²	impact climatique	prix au m ² 07/2010	Coût d'entretien au m ² 07/2010	impact structure bâtiment neuf R+3	mise en oeuvre	gestion	commentaires
gravier	130	moyenne	10,00 €	6,00 €		facile	évacuation des adventices	5cm de gravier et rétention max. de 3 cm d'eau
extensive	de 40 à 150	bonne	de 35 € à 80 €	de 8€ à 30€		facile	évacuation des adventices	poids variable selon la nature du substrat et son épaisseur
extensive, en pente	de 40 à 120	bonne	de 35 € à 150 €	variable		technique	évacuation des adventices	poids variable selon la nature du substrat et son épaisseur
semi-intensive	de 150 à 300	bonne	de 35 € à 100 €	de 10€ à 30€		facile à complexe	évacuation des adventices et fauches	poids variable selon la nature du substrat et son épaisseur (moins de 20cm)
intensive	de 200 à 900	très bonne	50 à 100 €	30,00 €		complexe	évacuation des adventices et fauches, éventuellement arrosage	poids variable selon la nature du substrat et son épaisseur
jardin sur dalle	plus de 1200	optimum	85 à 300 €	30,00 €		technique et complexe	entretien d'un jardin, avec ou sans arrosage	ajoute un projet de jardin à un projet de toiture

Hypothèse : toitures facilement accessibles pour réalisation et entretien

Tab. 1

TABLEAU RECAPITULATIF DES SUBSTRATS

type de matériaux	poids sec en kg / m ³	poids saturé d'eau en kg / m ³	rétention d'eau en % du poids sec	granulométrie	prix au m ³ 07/2010	durée de vie	mise en oeuvre	pH
sables	1800	2100	0	0/6	20,00 €	très longue	facile	acide ou calcaire
billes d'argile expansée	700	810	15	10/20	700,00 €	très longue	pneumatique	neutre après rinçage
pouzzolane	1400	1820	30	2/16	60,00 €	très longue	facile	neutre
perlite	90	130	35 à 50	3/4	130,00 €	longue	port de masque	basique
vermiculite	70	100	45 à 50	2/5	130,00 €	5 à 10 ans	port de masque	neutre
laine de roche horticoles	60	110	80	flocons	100,00 €	longue	pneumatique, port de masque	neutre après rinçage
fibre de coco	100	300	200	30/50 (longueur fibre)	200,00 €	5 à 20 ans	facile	neutre
terre végétale	1800	2200	20	variable	30,00 €	10 ans	salissante	variable
terre de bruyère	1500	2000	30	variable	40,00 €	10 ans	salissante	acide
tuiles recyclées	1400	1500	10	2/16	20,00 €	très longue	facile	neutre

Tab. 2

TABLEAU COMPARATIF DES SUBSTRATS

type de matériaux	avantages	inconvénients
sables	disponibilité	poids, acidité (ou trop calcaire), tassement
billes d'argile	stabilisation du substrat, drainage et rétention d'eau	coût
pouzzolane	isolation thermique et phonique, favorise l'enracinement	poids
perlite	isolation thermique et phonique, imputrescible	tendance au tassement
vermiculite	isolation thermique, matériau incombustible	tendance au tassement
laine de roche	imputrescible, incombustible, excellente restitution de	tendance au tassement
fibre de coco	biodégradable, favorise l'enracinement des semis	biodégradable, tassement
terre végétale	disponibilité	poids et variabilité de plusieurs facteurs
terre de bruyère	disponibilité	poids et variabilité de plusieurs facteurs
tuiles recyclées	facilement disponible, économique	arêtes vives, protection nécessaire de l'étanchéité

Tab. 3

ANNEXE 2 : EXEMPLES DE PLANTES CONSEILLEES ET PLANTES INTERDITES

Cette liste de plante est non exhaustive et donnée à titre indicative.

Toutes les photos proviennent d'Internet et ne sont donc pas libres de droits.

- **Substrats de 4 cm et plus**



Allium schoenoprasum : ciboulette, soleil ou mi-ombre, floraison mauve, H 20cm



Herniaria alpina : vivace tapissante, hauteur 2 cm



Sedum acre : très rustique, spontané en Europe. Floraison printanière jaune vif. Hauteur 5cm.



Sedum album : orpin européen aux nombreuses formes, feuillage vert ou rouge, floraison estivale blanche, rose ou verte. Hauteur variable selon l'espèce



Sedum hidakanum : originaire du Japon, feuilles vert-grisâtre, petites fleurs blanches ou roses en été. Hauteur 6cm.



Sedum kamtchaticum 'Weihenstephaner Gold' : c'est un sedum sibérien amélioré en Allemagne. Il est traçant, se propage bien, vert franc et se pare en été de fleurs jaunes qui virent à l'orangé lorsque la plante vieillit. Hauteur 10 à 20cm.



Sedum pachyclados : floraison printanière blanche, hauteur 10cm



Sedum rupestre 'Angelina' et 'Blue Spruce' : floraison jaune en fin de printemps ou début d'été, feuilles jaunes ou bleu-vert, hauteur 10cm.



Sedum spathulifolium 'Purpureum' et 'Cape Blanco' : floraison estivale jaune, hauteur 10-15cm, se plaît à mi-ombre, feuillage rouge ou bleu-vert.



Sedum spurium 'Fuldaglut' : son feuillage change de couleur suivant la saison. Floraison rose en été. Hauteur 15cm. Les corbeaux en sont friands.



Sedum telephium : à feuilles caduques, charnues et dentées. Sa floraison en fin d'été est rouge violacé. Hauteur 60cm.



Sempervivum arachnoideum : hauteur 20cm, floraison blanche rose ou pourpre en été.



Sempervivum tectorum : hauteur 20cm, il existe de nombreux cultivars à floraison blanche ou rose.

- **Substrat de 6 cm et plus :**



Alyssum montanum : vivace en coussin, hauteur 20 cm, floraison jaune, cultivars à floraison blanche.



Armeria maritima : vivace persistante, floraison blanche, rose ou rouge, hauteur 10-15 cm.



Centaurium erythraea : plante spontanée des sols calcaires bien drainés, floraison rose en été



Carex caryophylla : graminée à feuilles vertes ou glauques, H 10cm



Festuca punctoria : graminée résistante, H 10cm



Iris tectorum : fleurs lilas en début de printemps, H 30cm



Muscari armeniacum ou *botryoides* : floraison en grappe bleu intense, H 10cm

- **Substrat de 10cm et plus**



Ajuga reptans : plante stolonifère, fleurs bleues en épi au printemps, plante aimant ombre et humidité, cultivars à feuilles pourpres et panachées, H 15 cm



Allium christophii : nombreux cultivars, inflorescences globuleuses au printemps, H 20 à 30cm



Anthemis nobilis ou *tinctoria* : feuillage très divisé, fleurs de marguerite blanches pour *nobilis* (camomille), jaunes pour *tinctoria*, H 20 à 40 cm



Arabis caucasica ou *procurens* : tapissante à feuillage gris vert, fleurs blanches au printemps, H 15cm



Briza media et *minor* : graminées en touffe, tolérance moyenne à la sécheresse, H 40cm



Calamintha nepeta : plante aromatique, fleurs blanches, bleues ou roses en fin d'été, H 40 cm



Corydalis lutea : plante rhizomateuse se ressemant d'elle-même, ombre/mi-ombre, H 30cm



Cymbalaria muralis : vivace tapissante, floraison bleue à cœur jaune tout l'été, H 5 cm.



Dianthus deltooides ou *plumarius* : œillets à feuillage persistant, hauteur 10 à 20 cm, floraison rose à rouge pour les *deltooides*, blanche, rose ou bicolore pour les *plumarius*.



Erodium manescavii : vivace en touffe, fleurs blanches, roses ou pourpres, H 10-20 cm



Geranium : soleil ou mi-ombre selon l'espèce, floraison rose ou bleutée en fin de printemps.
macrorrhizum : mi-ombre, rose foncé ; *sanguineum* : soleil, feuillage découpé, H 20cm



Iris pumila : aime les sols bien drainés, hauteur 10-15 cm.



Phlox subulata, *douglasii*, *stolonifera* et cultivars : coussins couverts de fleurs blanches ou roses au printemps et en été, hauteur 15 cm



Sanguisorba minor : petite pimprenelle, hauteur 20 cm



Scabiosa lucida : fleurs bleues ou roses, hauteur 20 cm



Sisyrinchium angustifolium : fleurs bleues en étoile au printemps et en été, H 15 à 20 cm.



Stipa pennata et tenuissima : graminées à épis floraux délicats, se ressèment seules, H 30 à 60cm



Thymus vulgaris : sous-arbrisseau aromatique, floraison blanche ou rosée, H 10 à 30cm



Vinca minor ou major : pervenche petite ou grande, H 15 à 30cm, floraison bleue ou blanche, feuillage persistant vert ou panaché

- **Substrat de 15cm et plus**



Calamagrostis brachytricha : graminée à grandes panicules persistant jusqu'à l'hiver, H 60cm



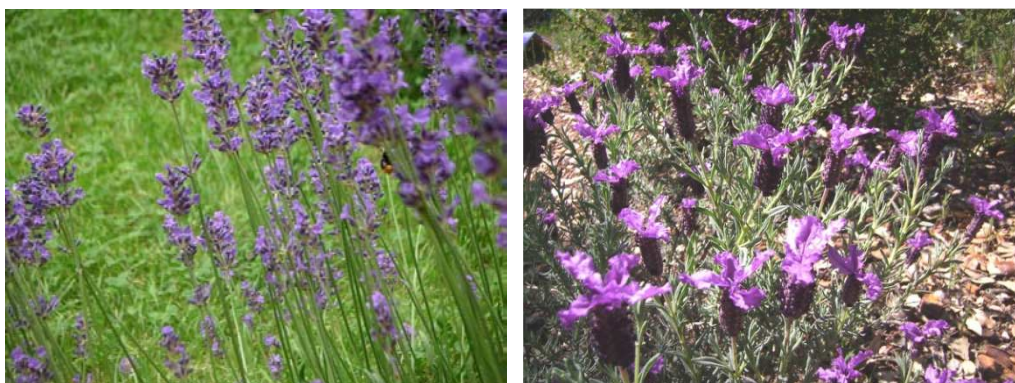
Cytisus procumbens ou 'Amber Elf': genêt bas, fleurs jaunes, H 15 à 30cm



Echium vulgare : bisannuelle à feuilles poilues, fleurs bleues en été, H 40 à 60cm



Juniperus horizontalis ou *procumbens* : genévrier à port rampant, H 10 à 30cm



Lavandula : beaucoup d'espèces de lavandes peuvent être installées sur les toits, H 20 à 50cm



Lonicera x heckrottii : chèvrefeuille, peut couvrir de grandes étendues



Perovskia atriplicifolia : feuillage gris, fleurs bleues en fin d'été, H 50cm



Phlomis fruticosa : arbrisseau pérenne, odorant à fleurs jaunes, H 50cm



Potentilla fruticosa : nombreux hybrides, petites feuilles, fleurs jaunes, oranges ou blanches, H 40 à 60cm



Salvia nemorosa : se ressème seule, nombreux hybrides, fleurs bleues ou blanches, H 20 à 40cm



Santolina chamaecyparissus : nombreux hybrides, feuilles très petites vertes ou grises, fleurs jaunes, H 20 à 60cm

Plantes interdites par la norme NF P84-204-1-1 / DTU 43.1

Bambous : tous genres et espèces, *Arundinaria*, *Fargesia*, *Phyllostachys*, *Pleioblastus*, *Pseudosasa*, *Sinarundinaria*, etc.

Graminées géantes et/ou envahissantes : *Arundo donax*, *Carex glauca*, *Alymus racemosus*, *Miscanthus floridus*, *Miscanthus sacchariflorus*, *Miscanthus sinensis*, *Phragmites australis*, *Spartina pectinata*

Grimpante : *Fallopia aubertii* (*Polygonum*)

Arbustes : Amélanchiers, *Clethra alnifolia*, *Gaultheria shallon*, *Hippophae rhamnoides*, *Sambucus nigra*, *Rhamnus frantula*, *Buddleia davidii*

Arbres à grand développement : *Salix caprea*, *Salix babylonica*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Populus X*, *Alnus altissima*, *Taxodium distichum*, *Robinia pseudo-acacia*, *Trachycarpus fortunei*, *Chamaecyparis humilis*, *Acacia*, *Aesculus*, *Fraxinus*, Erables de grande taille, Palmiers.

ANNEXE 3 : BIBLIOGRAPHIE

Toits et murs végétaux

Nigel Dunnett, Noël Kingsbury

Ed. du Rouergue

ISBN 2 84156 641 2

Les jardins et la pluie

Nigel Dunnett, Andy Clayden

Ed. du Rouergue

ISBN 978-2-8415-6841-3

L'aménagement des espaces verts

Claude Deschamps et Alain Daydé

Ed. Le Moniteur

ISBN 2.281.11131.8

Végétalisation extensive des terrasses et toitures

François Lassalle

Ed. Le Moniteur

ISBN 978-2-281-11416-4

Colloque toitures végétalisées Paris 05/12/2007

Karel de Cuyper –

Centre Scientifique et Technique de la Construction Belgique

Les toits végétalisés, adaptation au changement climatique

Communauté d'agglomération Grenoble – Alpes métropole

Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées

édition n°2 – novembre 2007 - adivet

Der Gärtner – Garten-,Landschafts-und Sportplatzbau

Joachim Kessler

Ed. Ulmer

ISBN3-8001-1153-5

Landschaft konstruieren – Materialien, Techniken, Bauelemente

Astrid Zimmermann (HRSG.)

Ed. Birkhäuser (anglais et allemand)

ISBN 978-3-7643-8598-9

Ainsi que toutes les bibliographies qui sont identifiées dans ces ouvrages