

1

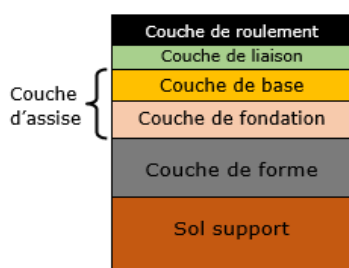
Enrobé drainant ou poreux



Revêtement poreux,
Vaulx-en-Velin

Principe

Qu'est-ce que c'est ?



Composition schématique d'une voie

Un enrobé poreux ou drainant est composé de 20 à 30 % de vide, permettant ainsi à l'eau de pluie de s'y infiltrer.

L'enrobé est dit « poreux » s'il est utilisé en couche d'assise et « drainant » s'il est employé pour la couche de roulement.

Dans quel cas mettre en œuvre cette technique ?

Espace disponible : si votre projet comporte un linéaire de circulation (voirie, piste cyclable, etc.) et/ou que vous avez peu d'espace disponible pour la gestion des eaux pluviales, cette technique est idéale.

Quantité d'eau à gérer : lorsqu'il s'applique sur un linéaire, l'enrobé poreux ou drainant limite le ruissellement de manière conséquente.

Plus-value : l'avantage majeur de ce type d'enrobé est l'absence d'emprise au sol.

Où ?

Ce type de revêtement est mis en place au niveau des voiries, stationnements, trottoirs ou pistes cyclables. L'efficacité d'infiltration est très dépendante de la perméabilité du sol. Celle-ci doit donc être suffisante. De plus, dans le cas de stabilisé, la pente doit être très faible (<2,5 %) et la présence d'ouvrages hydrauliques pouvant être impactés par l'apport de fines doit être systématiquement vérifiées.

Les voiries présentant un fort trafic ne sont pas adaptées au revêtement poreux qui risque de se fissurer.

Le sol doit contenir une faible proportion d'argile (<30 %).

Vulnérabilité de la nappe

Le risque de pollution de la nappe par l'infiltration directe des eaux de ruissellement d'un parking ou d'une voirie tertiaire est quasiment nul. En effet, l'eau de pluie s'infiltré très vite à travers les matériaux. Elle ruisselle peu sur le revêtement et ne se charge donc que faiblement en polluant.

Plus la superficie de l'enrobé poreux sera large, plus la charge de polluants sera bien répartie et donc plus la capacité épuratoire du sol sera efficace.

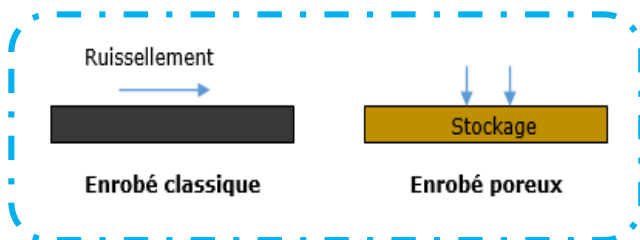
Dimensionnement

Pour le dimensionnement de ce type de structure, il faut connaître le type de sol (perméabilité) et les usages de la circulation. En effet, si l'enrobé poreux est implanté sur une route ou un stationnement, le trafic déterminera l'épaisseur et le matériau de la fondation.



Si la perméabilité du sol n'est pas suffisante, le revêtement poreux peut être associé à d'autres techniques comme les chaussées à structure réservoir.

Comment ?



L'enrobé poreux peut être conçu de différentes façon :

- ✓ Il peut s'agir de béton bitumeux drainant ne contenant pas de fines ;
- ✓ Les matériaux peuvent posséder une forte porosité et être modulaires (cf. fiche 2) ;
- ✓ Il peut s'agir de sables ou de graviers répartis sans liants (**stabilisé**).



Le choix du matériau se fait selon l'usage et le confort souhaité (prise en compte des vélos et des PMR).

Combien ?

L'enrobé poreux

Le facteur limitant de cette technique est la perméabilité du sol. En effet, **même colmaté, un revêtement poreux infiltrera toujours une très grosse quantité d'eau** (pour un matériau initialement à 0,06 cm/s et colmaté à 95 %, l'infiltrabilité des pluies est estimée à plus de 90 % du volume total).

Le niveau des plus hautes eaux de la nappe doit se situer à **au moins 1 m** de la couche inférieure.

En général, une première couche de gros **agrégats rocheux** est appliquée sous le revêtement (granulométrie entre 40 et 70 mm). Elle permet de stocker les eaux pluviales avant leur infiltration.

Un **géotextile** est appliqué entre les différentes couches superposées afin de stabiliser la structure et de retenir les fines.

Le matériel et la pose reviennent entre **10 et 20 %** plus chers qu'un enrobé classique.

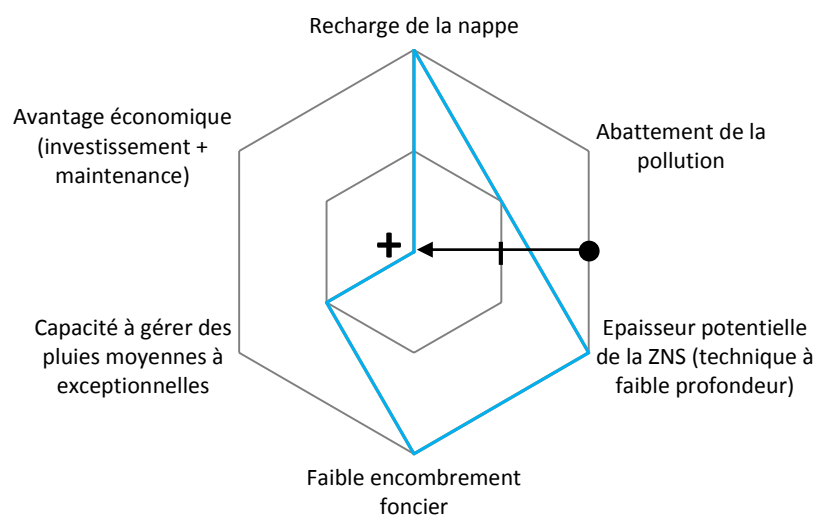
Et après ?

L'entretien est similaire à celui d'un enrobé classique (sauf pour le stabilisé, dont la maintenance ne peut aujourd'hui être assurée mécaniquement). Le balayage doit être effectué régulièrement et un décolmatage tous les 5 à 10 ans peut être nécessaire. Avant d'effectuer cette opération, un test au drainomètre est réalisé afin de vérifier la capacité d'infiltration du revêtement.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">✓ Facilité de mise en œuvre✓ Bonne capacité de stockage✓ Pas d'emprise foncière✓ Alimente la nappe	<ul style="list-style-type: none">✗ Sensibilité au gel✗ Entretien régulier nécessaire✗ Colmatage possible✗ Usure plus rapide qu'un enrobé classique

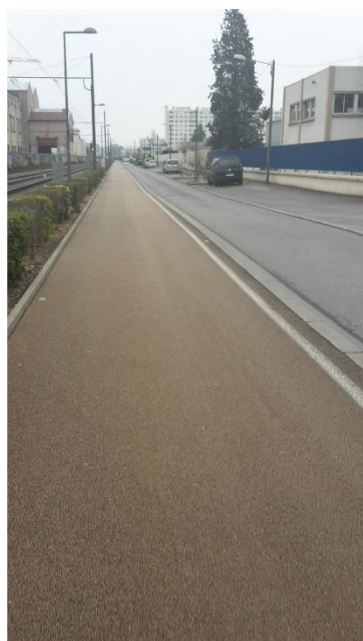
Plus-values de l'enrobé poreux avec infiltration



Exemples d'aménagement

Deux tronçons sur trois de la piste cyclable située le long du Tram T3 à Vaulx-en-Velin sont constitués d'un revêtement poreux.

Les réparations effectuées avec un revêtement imperméable démontrent l'efficacité de l'enrobé poreux, comme en témoigne la photo ci-contre.



Enrobé poreux sur la piste cyclable du tram T3, Vaulx-en-Velin

Les revêtements alvéolaires s'adaptent à bien des surfaces et peuvent être enherbés.



Stationnement sur revêtement alvéolaire, Saint Priest

2

Pavés béton poreux



Pavés sableux, Vaulx-en-Velin

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Les dalles ou pavés poreux sont des revêtements modulaires qui permettent l'infiltration des eaux de pluie à travers le béton drainant qui les compose et par les jointures (enherbées ou sableuses).

Dans quel cas mettre en œuvre cette technique ?

Espace disponible : si vous disposez de peu d'espace pour la gestion des eaux pluviales ou si vous prévoyez des surfaces de type parking ou zone piétonne.

Quantité d'eau à gérer : tout comme l'enrobé poreux, les revêtements modulaires de ce type permettent de réduire significativement les ruissellements par une gestion à la source.

Plus-value souhaitée : l'avantage majeur de ce type de pavés est l'absence d'emprise foncière.

Où ?

Les pavés poreux peuvent être installés un peu partout. Ils sont souvent retrouvés sur des zones de stationnement ou les trottoirs. Mieux vaut tout de même les éviter pour des voiries à trafic dense. En effet, le passage trop fréquent de véhicules roulant à moyenne ou grande vitesse risque de dégrader prématurément les pavés.

Compte tenu de la faible résistance mécanique des pavés poreux, ils ne devront pas être mis en place sur une pente $> 5\%$.

La conception de pavés poreux sera évitée sur les sols argileux, plus vulnérables au gel.

Vulnérabilité de la nappe

Lors de petites pluies, les eaux ruissellent peu et s'infiltrant directement par les pores. Dans ce cas, le risque de pollution pour la nappe est très faible. Pour des événements plus intenses, le colmatage peut être plus important.



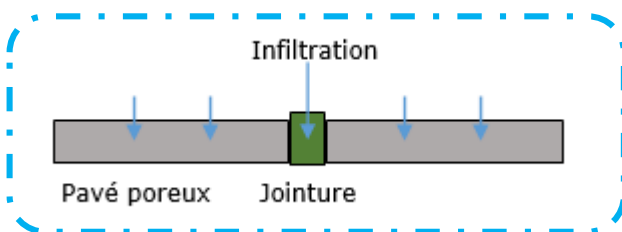
Les pavés poreux sont bien adaptés pour les réhabilitations : ils sont faciles à mettre en œuvre et peu coûteux.

Plus la superficie des pavés poreux sera large, plus la charge de polluants sera bien répartie et donc plus la capacité épuratoire du sol sera efficace.

Dimensionnement

Pour le dimensionnement de ce type de structure, il faut connaître le type de sol (perméabilité) et les usages de la circulation. En effet, si les pavés poreux sont implantés sur une route ou un stationnement, le trafic déterminera l'épaisseur et le matériau de la fondation.

Comment ?



Les pavés poreux

Pour mettre en œuvre cette technique, le sol doit être suffisamment perméable ($> 10^{-6} \text{ m/s}$). D'autre part, la pente doit être relativement faible, d'autant plus s'il s'agit de pavés sableux : sur une pente forte, les fines peuvent être lessivées par les eaux pluviales, détériorant le matériau et colmatant les pavés du point bas. La structure se décompose en 3 couches :

- ✓ La **sous-fondation** permettant le stockage des eaux pluviales et protégeant le sol du gel ;
- ✓ La **fondation** ;
- ✓ Les **pavés**.

Un **géotextile** est appliqué entre les différentes couches superposées afin de stabiliser la structure et de retenir les fines.

Les pavés poreux sont vulnérables face aux fissures. Ils ne sont donc pas adaptés pour des sites industriels, commerciaux ou des voiries à trafic dense.

Combien ?

A titre indicatif, les pavés enherbés coûtent environ **90 €/m²**, en comptant le matériel et la pose. Ils reviennent donc approximativement au même prix qu'un enrobé classique. Leur réfection en cas de dégradation est également moins coûteuse et plus simple.

Et après ?

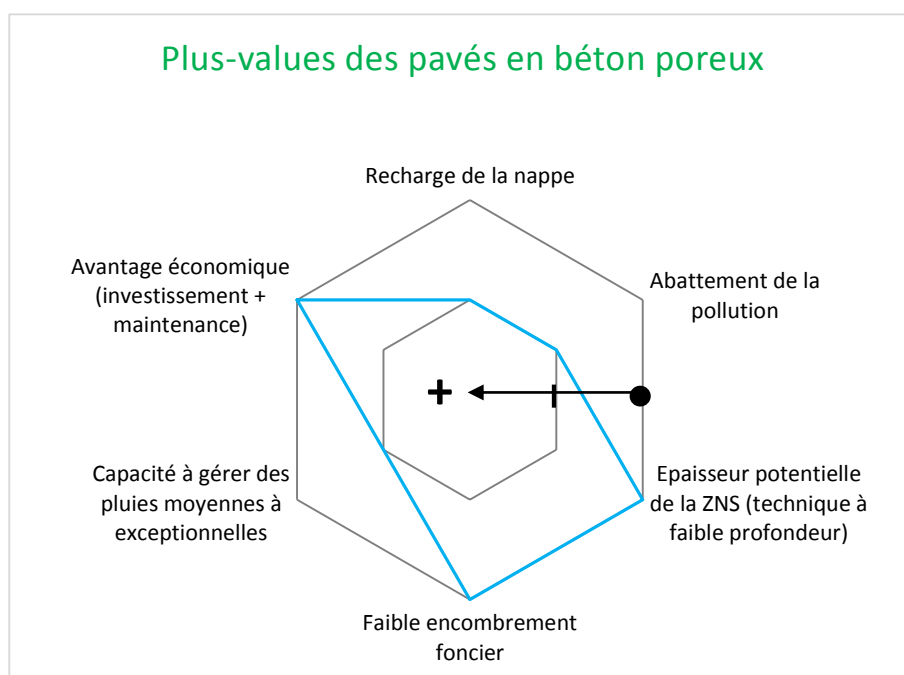
L'entretien est relativement classique (balayage, ramassage de débris, etc.). L'engazonnement des pavés enherbés est dépendant de la première opération : soit l'herbe se développe rapidement et il faudra l'entretenir, soit elle ne pousse pas et dans ce cas l'expérience montre qu'il est inutile de tenter un engazonnement annuel systématique.

Les pavés poreux ont une durée plus ou moins longue selon l'usage. Pour un parking, il faut compter environ 10 ans. L'avantage des pavés poreux est la facilité de réfection : lorsqu'un module est détérioré, il suffit de le remplacer sans avoir à refaire toute la surface.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">✓ Facilité de mise en œuvre✓ Bonne capacité de stockage✓ Pas d'emprise foncière✓ Alimentation de la nappe	<ul style="list-style-type: none">✗ Sensibilité au gel✗ Entretien régulier nécessaire✗ Colmatage possible✗ Usure plus rapide qu'un enrobé classique

Plus-values des pavés en béton poreux



Exemple d'aménagement



Pavés enherbés sur une zone de stationnement, Charly

La place de la Mairie à Charly a fait l'objet d'un réaménagement en 2007 avec pour objectif de végétaliser la zone. Etant donné la faible imperméabilité du sol, ce sont des pavés enherbés qui ont été mis en place sur les zones de stationnement afin d'assurer la gestion du ruissellement pluvial.

3

Bassins à ciel ouvert



Bassin des Grandes terres, Genas

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Les bassins à ciel ouvert sont des ouvrages de stockage, assurant la décantation et/ou l'infiltration des eaux pluviales. Il existe 2 types de bassins :

Bassins à ciel ouvert en eau : ils sont toujours en eau, sur une hauteur de 0,5 à 3 m. Lors d'événements pluvieux, l'excédent est stocké sur une hauteur de marnage prévu à cet effet.

Bassins à ciel ouvert secs : ils ne se remplissent que lors d'événements pluvieux et peuvent avoir un autre usage en temps sec (espace de loisir par exemple). Lorsqu'ils sont enherbés, ils sont appelés **bassins plantés**. L'eau pluviale stockée est ensuite évacuée soit par infiltration soit vers un exutoire à débit limité, et par évapotranspiration.



En plus de leur fonction hydraulique, les bassins à ciel ouvert permettent de traiter qualitativement les eaux pluviales. Ils peuvent également assurer d'autres usages, notamment de loisirs (espace vert public, terrain de sport, etc.).

Dans quel cas mettre en œuvre un bassin à ciel ouvert ?

Espace disponible : si votre projet d'aménagement dispose d'un grand espace dédié à la gestion des eaux pluviales ou, de préférence, à un espace vert public.

Quantité d'eau à gérer : si vous souhaitez pouvoir gérer de grosses pluies.

Plus-value : si votre projet prévoit un espace de loisir ou d'aménagement paysager.

Où ?

Le fonctionnement de ces bassins est très dépendant de la perméabilité du terrain. Ils doivent donc être installés sur un sol possédant une capacité d'infiltration d'au moins **2.10⁻⁵ m/s**.

Vulnérabilité de la nappe

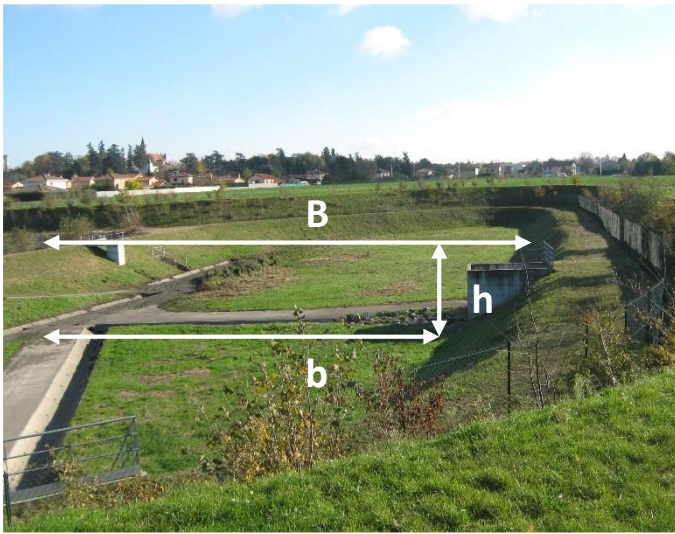
Un bassin à ciel ouvert gère à la fois les eaux pluviales à la source et les ruissellements d'autres zones. Le bassin, capable de traiter la pollution des eaux pluviales, doit tout de même être équipé pour limiter l'apport de macropolluants et protéger la nappe de la pollution accidentelle.

Conception

Dès le début de phase de conception, les usages du futur bassin doivent être définis : *sera-t-il accessible au public ? Pour quelles activités ? Etc.*

Il est préférable de concevoir des bassins ouverts, permettant la multifonctionnalité de l'ouvrage facilitant l'exploitation.

Dimensionnement



Bassin planté, Genas

- La **période de retour** est fixée par le PPRNI, s'il existe. En l'absence de document imposant la période de retour, celle-ci pourra être de **30, 50 ou 100 ans** selon la vulnérabilité du site à l'aval.
- La **perméabilité du sol** doit être mesurée plusieurs fois et corrigée par un facteur 0.8 afin de tenir compte d'un éventuel colmatage.
- La rétention des eaux pluviales dépend de la taille du bassin versant. En général, le débit est fixé à **1 l/s/ha**.

Volume du bassin :

$$V = (B + b)/2 \times h \times L$$

Débit de fuite :

$$Q = S_{inf} \times K = b \times L \times K$$

B : largeur au miroir en m

b : largeur de la base en m

h : profondeur en m

L : longueur en m

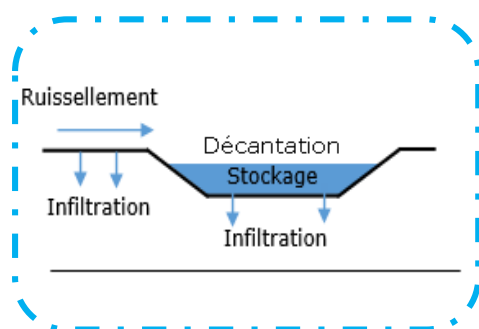
S_{inf} : surface d'infiltration en m²

K : perméabilité en m/s

Compte tenu du colmatage, seule la surface du fond est prise en compte pour le calcul de *S_{inf}*.

Le traitement de la pollution des eaux pluviales est défini par une étude d'incidence pour les projets > 1 ha ou d'une étude simplifiée pour les projets < 1 ha.

Comment ?



Système de collecte : *Comment l'eau est-elle acheminée au bassin ?*

L'eau peut être conduite au bassin par un réseau d'eau pluviale séparatif (dans ce cas, réalisez une étude des risques d'apport de pollution liés aux mauvais branchements, aux déversoirs d'orage en amont, etc.), par un réseau de noues ou de tranchées drainantes (prenez en compte leur capacité de rétention dans le dimensionnement du bassin).

Ouvrage d'entrée dans le bassin : *limiter l'érosion du fond de bassin et l'intrusion de macro-déchets*

Il peut être nécessaire de mettre en place des ouvrages dissipateurs d'énergie et des dessableurs. Une grille anti-intrusion amovible limitera l'accès au bassin par les macro-déchets (feuilles, bouteilles, papiers gras, etc.).

Equipements de vidange : *assurer un rejet contrôlé des eaux de pluies*

Prévoyez des limiteurs de débit : régulateur à vortex (débit de fuite entre 1 et 20 l/s) ou régulateur à flotteur (débit de fuite > 20 l/s). Les bassins en eau permanente doivent comporter une vidange de fond vers un exutoire gravitaire pour assurer l'exploitation.

Pour les bassins d'infiltration dont la surface interceptée est > 1 ha, des **piézomètres** à l'amont et à l'aval peuvent être imposés.

Le bassin

Le **pendage des talus** est dépendant de la profondeur du bassin. En général, pour une profondeur ≤ 2 m, le pendage sera de 1/4. Pour une profondeur > 2 m, il sera de 1/6. Le pendage des talus peut être plus fort si des aménagements complémentaires sont prévus comme des gabions ou des cheminements intermédiaires qui coupent la pente.

Le bassin devra présenter une épaisseur de sol « non saturé » d'au moins **1 m avec le niveau des plus hautes eaux de la nappe**. Il sera judicieux de végétaliser le bassin avec des plantes autochtones afin de limiter le colmatage et l'entretien.

Une **géomembrane** ou géotextile sera installée. Chaque matériau utilisé fera l'objet d'une fiche d'agrément et sera à valider en phase conception. Utilisez préférentiellement des matériaux issus du site pour la conception du bassin et le remblai.

Le fond du bassin devra être accessible par une ouverture d'au moins 3 m de largeur.

*Pour un bassin nécessitant une **levée de terre**, vous devrez réaliser une étude géotechnique spécifique et prévoir une surveillance adéquate. Il faudra également limiter la hauteur du bassin à 2 m ou avoir un volume < 50 000 m³. Le cas échéant, l'ouvrage risque d'être soumis à une réglementation particulière (barrage de classe C).*



Vous pouvez prévoir une signalétique pédagogique pour informer les citoyens de la présence et du fonctionnement du bassin.

La réception

Toute modification doit être suivie et validée par la Direction de l'Eau. Les éléments suivants doivent être fournis :

- Une **fiche de pré-réception** validée par le service 'exploitation ;
- Le **dossier des ouvrages exécutés** ;
- Le **dossier d'intervention ultérieur de l'ouvrage** ;
- Le **manuel de gestion d'exploitation** ;
- La **convention d'entretien et d'accès**.

Une inspection visuelle de l'ouvrage et une **formation sur le fonctionnement des équipements spécifiques** doivent être réalisés.

Enfin, il faudra vérifier le **relevé topographique de récolement avec une précision de ± 1 cm**, le raccordement des systèmes de collecte, la conformité de la capacité de stockage et d'infiltration, l'accessibilité au site et le bon fonctionnement des équipements particuliers.

Combien ?

Le coût d'un bassin à ciel ouvert dépend de son dimensionnement mais aussi de son degré de sophistication. Préférez un bassin au fonctionnement simple plutôt qu'un ouvrage compliqué et surdimensionné qui demandera un coût d'investissement et d'entretien élevé. Pour un bassin à ciel ouvert « rustique », le coût de mise en œuvre s'élève à hauteur de **250 €/m²** en comptant le terrassement, le remblai, l'engazonnement (si bassin planté) et la pose des ouvrages de vidange.

Et après ?

Une **période d'observation** de 6 mois est préconisée après la réalisation du bassin afin de s'assurer de son bon fonctionnement. Pendant ce temps, la réception se fait avec réserve.

L'entretien des bassins secs est similaire à celui des espaces verts : tonte et ramassage des déchets.

L'utilisation de fertilisants et de désherbants chimiques dans le bassin et à ses abords est interdite.

Afin de vérifier l'état de colmatage, le fonctionnement hydraulique doit visuellement être vérifié au moins une fois tous les 2 ans et plus suivant la taille du bassin. **Le décolmatage n'est pas systématique** et ne se fera que lors d'un événement pluvieux important ou en cas de pollution accidentelle.

Le bassin est considéré colmaté lorsqu'une lame d'eau persiste au bout de 4 jours.

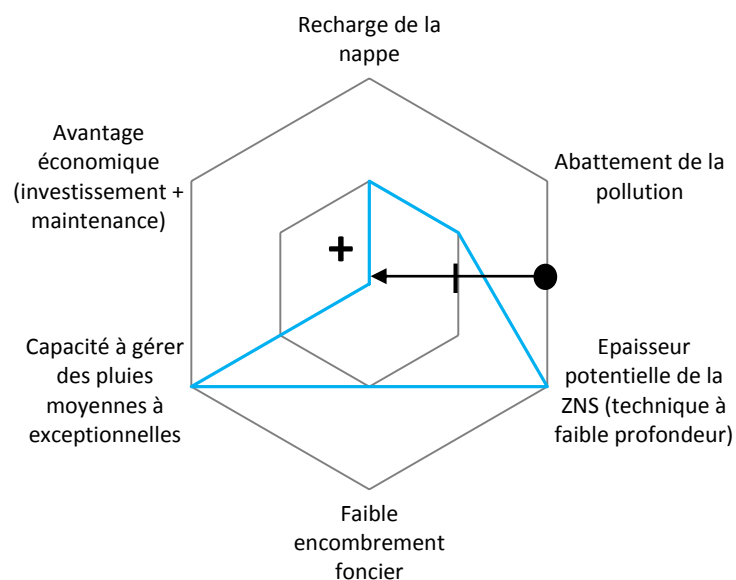
Il peut également être nécessaire de prévoir l'enlèvement des matériaux de charriage si besoin.

La durée de vie d'un bassin à ciel ouvert est estimée à plus de 60 ans avec un décolmatage tous les 30 ans.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Traitement qualitatif des eaux par décantation et phyto-épuration ✓ Plus-value pour le verdissement de la ville ✓ Coût de mise en œuvre modéré ✓ Entretien facile car localisé ✓ Double fonction possible (espace de loisir par exemple) ✓ Sensibilisation du public aux volumes générés par temps de pluie 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Emprise foncière importante ✗ Risque de pollution accidentelle de la nappe ✗ Risque d'accident (noyade)

Plus-values des bassins plantés



Exemples d'aménagement



Bassin planté, Genas

A Genas, le ruissellement des eaux pluviales est géré par 10 bassins d'infiltration publics et 6 privés.



Parc Jacob Kaplan, Lyon

A Lyon, un bassin d'infiltration a été mis en place pour gérer les eaux pluviales du Parc Jacob Kaplan.

4

Noues et fossés



Noue, Vaulx-en-Velin

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Une **noue** est une **dépression large et peu profonde** avec dont les bords sont en **pente douce**. Elle permet de stocker temporairement les eaux de ruissellement et de les infiltrer. La gestion des eaux pluviales se fait donc à la source, mais des canalisations peuvent également les acheminer jusqu'à la noue. Lorsqu'elle est enherbée, elle traite qualitativement les eaux pluviales par filtration et décantation. Une noue peut également être employée comme transport des eaux pluviales, vers le milieu naturel ou un bassin.

Un **fossé** est similaire à une noue, à ceci près qu'il est plus profond et étroit.

Dans quel cas mettre en œuvre une noue ou un fossé ?

Espace disponible : si votre projet d'aménagement dispose d'un espace dédié à la gestion des eaux pluviales modéré ou, idéalement, si vous prévoyez un linéaire (de voirie notamment).

Quantité d'eau à gérer : si vous souhaitez pouvoir gérer des événements pluvieux modérés voire conséquents.

Plus-value : si votre projet prévoit un espace de loisir, d'aménagement paysager ou des séparations de zones (bordures de voirie ou piste cyclable par exemple).

Où ?

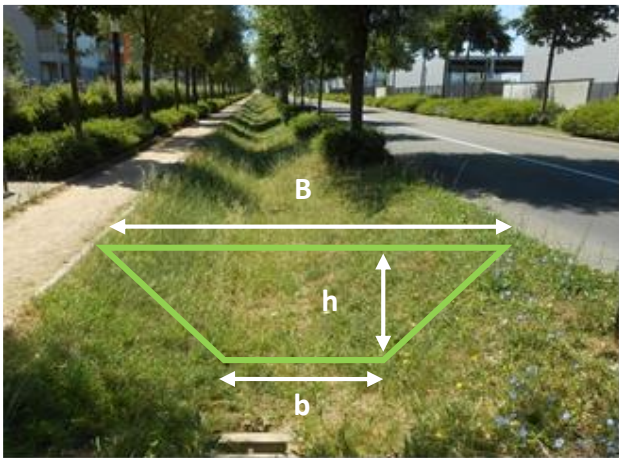
L'intégration des noues et des fossés à un projet d'aménagement est facile : ils s'adaptent aisément à plusieurs situations, tant qu'il existe un linéaire suffisant. Les noues et fossés seront préférentiellement mis en place sur un terrain présentant une **pente < 10 %** et **perpendiculaire à l'écoulement**. D'autre part, la perméabilité du sol doit au moins être de **10⁻⁵ m/s**.

Vulnérabilité de la nappe

Tant qu'il n'y a pas d'apport de boues ou de terre par charriage, le risque de colmatage des noues et des fossés est très faible. Ces ouvrages sont alors parfaitement capables de traiter la pollution des eaux pluviales dans les **10 premiers centimètres de sol**.

Dimensionnement

Les noues et les fossés sont des espaces s'adaptant facilement à plusieurs projets d'aménagement. Dès la phase de conception, pensez aux multiples façons dont peuvent s'intégrer ces ouvrages : séparations d'espaces urbains, espaces verts à valeur paysagère, espaces publics, etc.



Noue, boulevard Ouest, ZAC Castellane

Volume de la noue :

$$V = (B + b)/2 \times h \times L$$

Débit de fuite :

$$Q = S_{inf} \times K = b \times L \times K$$

B : largeur au miroir en m

b : largeur de la base en m

h : profondeur en m

L : longueur en m

S_{inf} : surface d'infiltration en m²

K : perméabilité en m/s

Compte tenu du colmatage, seule la surface du fond est prise en compte pour le calcul de S_{inf}.

- La **période de retour** pour le dimensionnement des noues et des fossés est généralement fixée entre **5 et 10 ans**. Elle peut être plus importante, mais il sera plus judicieux de combiner l'ouvrage avec d'autres techniques alternatives pour la gestion d'événements pluvieux de période de retour 30 ou 50 ans.

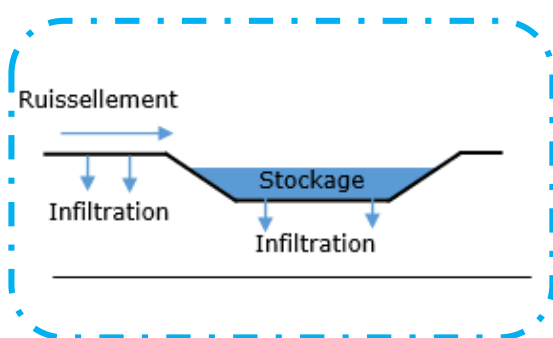
- La **perméabilité du sol** doit être mesurée plusieurs fois pour s'assurer de la capacité d'infiltration de la future noue. Il conviendra également d'analyser l'état de pollution du sol.



Couplez votre noue ou votre fossé avec d'autres techniques alternatives. Par exemple, prévoir un espace inondable à proximité comme un bassin ou un parking permet de maîtriser des événements pluvieux importants.

Privilégiez des noues et des fossés rustiques : leur simplicité de fonctionnement et de mise en œuvre est un atout économique et facilite l'exploitation, sans porter préjudice à leur efficacité.

Comment ?



Système de collecte : *Comment l'eau est-elle acheminée à la noue ?*

L'eau est généralement amenée à la noue ou au fossé par **ruissellement direct** des surfaces à drainer (prévoyez une pente douce). Elle peut également y être acheminée par un réseau de conduites, bien que cette option ne soit pas à privilégier.

Equipements particuliers : *assurer le bon fonctionnement de l'ouvrage*

Dans une zone de circulation, pensez à installer des bordures (**ajourées ou en quinconce**), qui ne gêneront pas l'écoulement mais empêcheront le stationnement de véhicule.

Afin que le fonctionnement de la noue et du fossé ne soit pas perturbé, il faut veiller à limiter les apports de fines, soit par un équipement particulier, soit (et surtout) en considérant les matériaux des surfaces à proximité.



Un revêtement stabilisé à proximité d'une noue risque d'apporter un grand nombre de fines et de colmater rapidement l'ouvrage.

En phase chantier, protégez vos noues des boues !

Les noues

Une noue peut être **végétale ou minérale**. La végétalisation favorise le phénomène d'**évapotranspiration**.

La pente des talus est en général $< 30\%$, celle du fond de noue $< 0,5\%$. Plus la pente est faible, plus l'entretien sera facilité.

La noue devra présenter une épaisseur de sol « non saturé » d'au moins **1 m avec le niveau des plus hautes eaux de la nappe**.

En surface, elle est composée de **terre végétale** (le plus souvent, il s'agit de celle en place avant les travaux). Si la **perméabilité est $\geq 10^{-5}$ m/s**, la sous-couche correspond au sol en place. Dans le cas contraire, un matériau granulaire propre sera installé, présentant un **indice de vides d'au moins 20 %** et comportant peu de fines.

Dans cette sous-couche, un **drain** ou une tranchée drainante peut éventuellement être réalisé si la perméabilité n'est pas suffisante (entre $5 \cdot 10^{-6}$ et 10^{-7} m/s). Ceci limitera la stagnation de l'eau dans la noue ou le fossé.

Si la pente de **profil en long est $> 2\%$** , des cloisons en béton ou en bois peuvent être mises en place afin de limiter la vitesse d'écoulement et ainsi l'érosion de la noue. Ces cloisons peuvent comporter une vidange de fond et une surverse.

En général, les noues ne nécessitent pas de géomembrane. Celle-ci sera installée uniquement en cas de risque important de pollution ou de désordres au sol support.

La réception

Vérifiez les éléments suivants :

- La **convention d'entretien** (d'autant plus si votre noue est végétalisée) ;
- L'inspection visuelle : détectez si la noue présente des traces de colmatages et vérifiez sa propreté ;
- Le **levé topographique de récolement** avec une précision de ± 1 cm : indispensable pour vérifier la conformité de l'ouvrage au plan de conception et s'assurer de son bon fonctionnement hydraulique ;
- L'accès et l'état des drains éventuels.

Combien ?

Le coût d'une noue ou d'un fossé dépend de sa complexité. Pour un ouvrage dit « rustique », il faut compter près de **100 €/m²** pour le terrassement, l'engazonnement et la pose de matériel.

Et après ?

L'entretien d'une noue ou d'un fossé est relativement simple : il consiste essentiellement en l'enlèvement des détritiques ou déchets végétaux et à la tonte des surfaces enherbées. **Plus la pente est faible, plus l'entretien est facile.**

L'utilisation de fertilisants et de désherbants chimiques dans le bassin et à ses abords est interdite.

Lors d'événements pluvieux, un contrôle visuel permettra de s'assurer du bon fonctionnement de l'ouvrage. En cas de pollution accidentelle ou de pluie exceptionnelle, une **scarification partielle** de la noue sera effectuée pour la décolmater.

Selon les retours d'expérience, une noue ou un fossé possède une durée de vie de 30 ans.

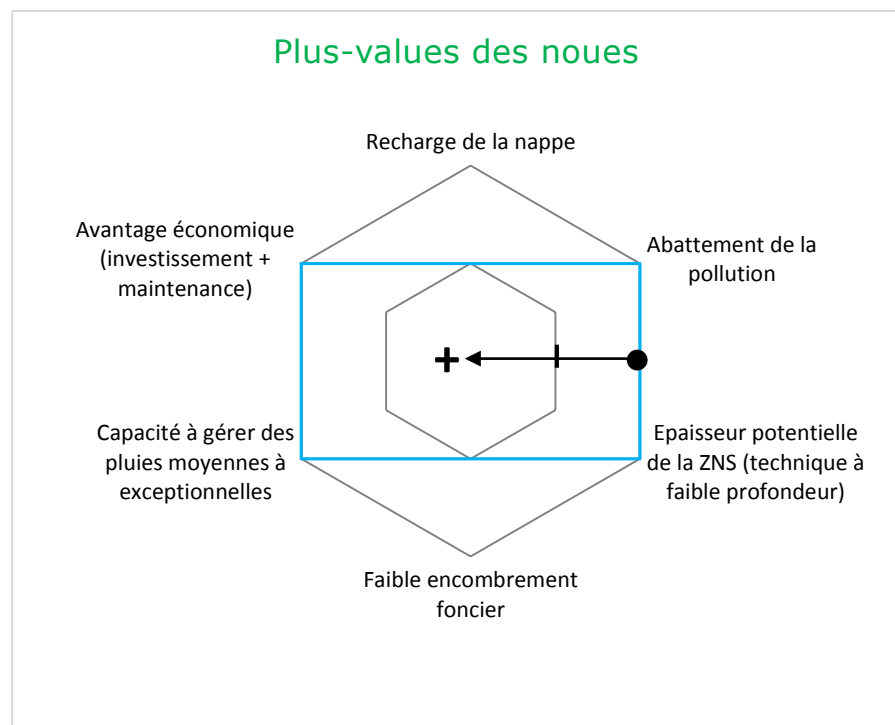


Fauchage mécanisé d'une noue

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ralentissement des écoulements ✓ Traitement qualitatif des eaux par décantation et le pouvoir épurateur du sol ✓ Alimentation de la nappe phréatique ✓ Bonne intégration paysagère ✓ Plus-value pour le verdissement de la ville ✓ Ouvrage peu coûteux ✓ Entretien facile ✓ Double fonction possible (séparation de voies par exemple) 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Colmatage possible ✗ Emprise foncière importante ✗ Risque de pollution accidentelle de la nappe

Plus-values des noues



Exemples d'aménagement



Boulevard Urbain Est, Vaulx-en-Velin

Une noue peut se trouver au « premier étage » de gestion des eaux pluviales. C'est le cas sur le boulevard Urbain Est, où la noue centrale gère le ruissellement de la voirie. Un drain est mis en place sous des matériaux à grosse granulométrie entourés d'un géotextile.



Noue du parc Bourlione, Corbas

A Corbas, une noue fait office de séparation entre les lotissements et le parc Bourlione. Un passage pour les piétons a été aménagé.



Projet de réaménagement du parking de la Nativité, Aix-en-Provence

Les noues sont adaptées aux réhabilitations. Par exemple, mettre en place des noues entre les rangées de place permet de supprimer les avaloirs et les canalisations de collecte.

4

Jardins de pluies

Jardins de pluie, ZAC Hôtel de Ville



Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Un jardin de pluie ou **aire de biorétention** désigne une dépression plantée, **alimentée uniquement par les eaux pluviales** tombant sur l'ouvrage et ruisselant sur les surfaces imperméables à proximité. Un jardin de pluie stocke les eaux pluviales qui sont ensuite infiltrées et/ou rejetées à débit limité à une noue, un ruisseau, un réseau enterré, etc.

Par l'action du sol et des plantations, la pollution des eaux pluviales est traitée.

Techniquement, plusieurs techniques peuvent être rassemblées sous le terme « jardin de pluie », tant qu'il s'agit d'une **dépression plantée** (noue, fosse arbre, bassin, etc.).

Dans quel cas mettre en œuvre une noue ou un fossé ?

Espace disponible : si vous avez peu de place à accorder à la gestion des eaux pluviales ou si vous prévoyez la combinaison de plusieurs techniques.

Quantité d'eau à gérer : si vous souhaitez pouvoir gérer des événements pluvieux faibles à modérés. Les jardins de pluie peuvent en effet stocker, infiltrer et évapotranspirer sur de petites surfaces.

Plus-value : si votre projet prévoit de petits espaces verts à vocation paysagère.

Où ?

Les jardins de pluie s'intègrent et s'adaptent facilement aux aménagements urbains. Ils sont idéaux pour une **gestion de proximité**, près des habitations (ou dans les jardins), sur les parkings, le long des trottoirs, etc. Ils sont mis en place là où le sol est capable d'infiltrer et en général dans des **points bas**.

Vulnérabilité de la nappe

Le risque de colmatage des jardins de pluie est très faible, tant qu'ils gèrent les eaux de pluie de proximité. Ces ouvrages sont alors parfaitement capables de traiter la pollution des eaux pluviales dans les **10 premiers centimètres de sol**.

Dimensionnement

Les jardins de pluies s'adaptent à de nombreux projets d'aménagement. Privilégiez une forme simple et rustique, avec des plantations autochtones.



Jardin de pluie, Vaulx-en-Velin

Volume du jardin de pluie :

$$V = B \times h \times L$$

Débit de fuite :

$$Q = S_{inf} \times K = B \times L \times K$$

B : largeur au miroir en m

h : profondeur en m

L : longueur en m

S_{inf} : surface d'infiltration en m²

K : perméabilité en m/s

Compte tenu du colmatage, seule la surface du fond est prise en compte pour le calcul de S_{inf}.

- La **période de retour** pour le dimensionnement des jardins de pluie dépend de l'espace foncier disponible. En général, les jardins de pluie sont plusieurs (par exemple le long d'une voirie) et permettent de gérer des pluies jusqu'à une période de retour **10 ans**. Pour des événements pluvieux plus importants, il faudra combiner les jardins de pluie avec d'autres ouvrages.



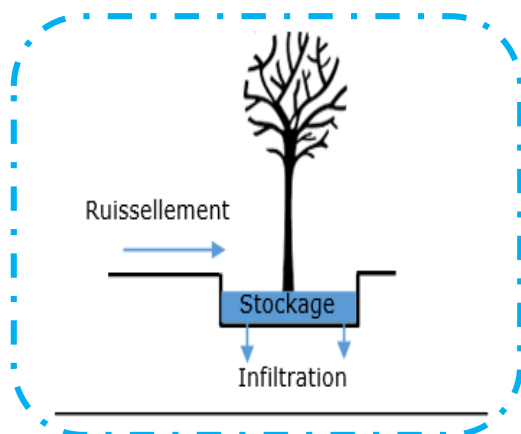
Tout espace vert peut faire office de jardin de pluie, tant qu'il est en dépression et que la pente permet l'acheminement des eaux pluviales jusqu'à cet espace.

Combinez vos jardins de pluies avec d'autres techniques alternatives pour gérer des événements pluvieux plus intenses !

- La **perméabilité du sol** doit être mesurée plusieurs fois pour s'assurer de la capacité d'infiltration du futur jardin de pluie. Il conviendra également d'analyser l'état de pollution du sol.
- Le **rapport surface d'infiltration / surface imperméabilisée doit être > 1/10**. Ceci permet d'éviter le colmatage et limite le risque de pollution.

Privilégiez des jardins de pluies rustiques : leur simplicité de fonctionnement et de mise en œuvre est un atout économique et facilite l'exploitation, sans porter préjudice à leur efficacité.

Comment ?



Système de collecte : *Comment l'eau est-elle acheminée à la noue ?*

L'eau est généralement amenée à la noue ou au fossé par **ruissellement direct** des surfaces à drainer (prévoyez une pente douce). Elle peut également y être acheminée par un réseau de conduites, bien que cette option soit plus rare.

Equipements particuliers : *assurer le bon fonctionnement de l'ouvrage*

Dans une zone de circulation, pensez à installer des bordures (**ajourées ou en quinconce**), qui ne gêneront pas l'écoulement mais empêcheront le stationnement de véhicule.



Un revêtement stabilisé à proximité d'un jardin de pluie risque d'apporter un grand nombre de fines et de colmater rapidement l'ouvrage.

Les jardins de pluie

Le jardin de pluie est un ouvrage caractérisé par ses plantations. Celles-ci doivent être adaptées au **climat**, au **rendu paysager souhaité** et au **volume d'eau à gérer** (les besoins en eaux des plantes variant selon les espèces).

Le fond du jardin de pluie devra présenter une épaisseur de sol « non saturé » d'au moins **1 m avec le niveau des plus hautes eaux de la nappe**.

Les végétaux choisis sont plantés sur un substrat (terre végétale fertile dont la physico-chimie est en cohérence avec le type de plantations).

Les matériaux utilisés seront autant que possible issus du site.

Une attention particulière sera prêtée à la **prolifération des moustiques**. Le jardin de pluie devra limiter les matériaux artificiels qui favoriseront la stagnation de l'eau et ainsi le développement des larves.

En général, les jardins de pluie ne nécessitent pas de géomembrane. Celle-ci sera installée uniquement en cas de risque important de pollution ou

La réception

Vérifiez les éléments suivants :

- La **convention d'entretien** ;
- L'inspection visuelle : détectez si le jardin de pluie présente des traces de colmatages et vérifiez sa propreté ;
- Le **levé topographique de récolement** avec une précision de ± 1 cm : indispensable pour vérifier la conformité de l'ouvrage au plan de conception et s'assurer de son bon fonctionnement hydraulique ;
- L'accès et l'état des drains éventuels.

Combien ?

Le prix d'un jardin de pluie est très variable. Il dépendra surtout des plantations choisies. Globalement, pour un ouvrage assez simple composé d'herbacées autochtones, il faut compter 600 €/m² et 100 €/ml de bordure.



Exemple de jardin de pluie "simple"

Et après ?

L'entretien d'un jardin de pluie est essentiellement paysager. La fréquence du jardinage dépendra de l'adaptation des plantations, du climat et des usages à

L'utilisation de fertilisants et de désherbants chimiques dans le jardin de pluie et à ses abords est interdite.

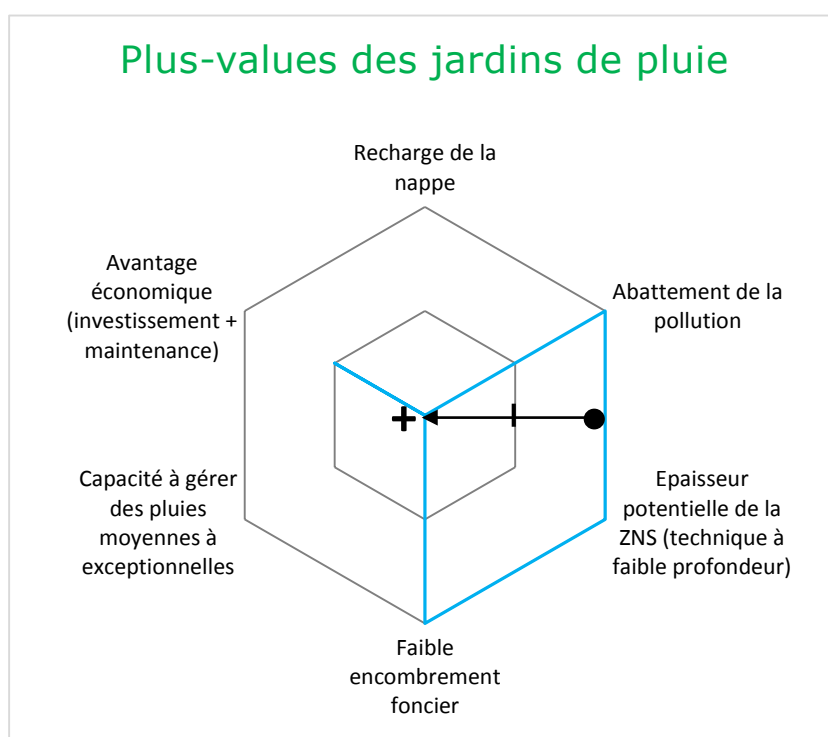
proximité.

En cas de pollution accidentelle, il faut prévoir un décolmatage de l'ouvrage.

Selon les retours d'expérience, ce type d'ouvrage a une durée de vie d'environ 30 ans et sa réfection se fait avant tout au rythme de son environnement proche (voirie, trottoir, etc.).

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Traitement qualitatif des eaux ✓ Alimentation de la nappe phréatique ✓ Bonne intégration paysagère ✓ Plus-value pour le verdissement de la ville ✓ Lutte contre les îlots de chaleur ✓ Adaptabilité à l'environnement (taille, forme, etc.) ✓ Evapotranspiration 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Entretien spécifique régulier lié aux espaces verts ✗ Investissement parfois coûteux



Les plus-values des jardins de pluies s'appuient sur celles d'un ouvrage « classique », à savoir une dépression de faible surface, très fleurie. L'avantage économique peut être plus ou moins important selon les plantations. L'encombrement foncier et la capacité à gérer des pluies moyennes peuvent également augmenter avec la multiplicité des ouvrages.

Exemples d'aménagement



Jardin de pluie, Villeurbanne

Le long du cours Emile Zola, à Villeurbanne, à Lyon, les jardins de pluies sont employés pour la gestion des eaux pluviales et la valorisation paysagère.



ZAC Hôtel de Ville, Lyon

Les jardins de pluie apportent une réelle plus-value paysagère.



ZAC du Bon Lait, Lyon

5 Toitures végétalisées



Toiture végétalisée,
Rillieux-la-Pape

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Il s'agit de toitures recouvertes de végétation qui participent à la réduction des volumes d'eau ruisselés en favorisant la perméabilisation et l'évapotranspiration. Les toitures végétalisées peuvent être conçues de sorte à être **stockantes** pour assurer le stockage temporaire des eaux pluviales. Lorsque le toit est plat, on parle de toiture terrasse.

Les **toitures extensives** possèdent une végétation basse demandant peu d'entretien.

Les **toitures semi-extensives** présentent une végétation plus complexe (graminées, bulbes, etc.) permise par un substrat plus épais.

Dans quel cas mettre en œuvre une toiture végétalisée ?

Espace disponible : si vous avez peu de place à accorder à la gestion des eaux pluviales et/ou si vous prévoyez des bâtiments où pourraient s'adapter ce type de toiture.

Quantité d'eau à gérer : si vous souhaitez pouvoir gérer de petits événements pluvieux. Les toitures végétalisées permettent de limiter significativement le ruissellement.

Plus-value : les toitures végétalisées apportent une plus-value paysagère, participent à la lutte contre les îlots de chaleur et améliore l'isolation des bâtiments.

Où ?

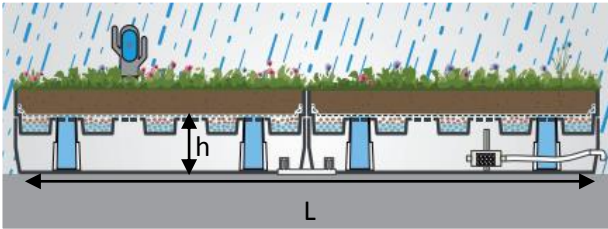
Ces ouvrages peuvent être installés sur des toitures de bâtiments en construction ou en réhabilitation, hors zone de montagne. Compte tenu de la climatologie de l'Est Lyonnais, le risque de neige n'est pas un frein à la mise en œuvre des toitures végétalisées.

Vulnérabilité de la nappe

Les toitures végétalisées fonctionnent par infiltration directe et évapotranspiration. Les eaux pluviales captées par cet ouvrage ne seront en contact avec la nappe. Pour des événements pluvieux plus intenses, l'eau ruisselant sur ces toitures ne se chargera pas en métaux lourds.

Les toitures végétalisées d'adaptent à plusieurs types de bâtiment, tant que la pente du toit est d'au moins 1%.

Dimensionnement



Toiture végétalisée à Mions et schéma de fonctionnement (projet GEPETO, Hydroventiv®)¹

Le dimensionnement d'une toiture végétalisée se fait en même temps que celui du bâtiment dans le cas d'une construction nouvelle ou en fonction de la structure existante dans le cas d'une réhabilitation.

La couche drainante doit être dimensionnée selon la pente du toit et la pluviométrie locale.

En général, une toiture est dimensionnée en prenant en compte une surcharge de 250 kg/m². Ainsi, il est souvent envisageable de concevoir une toiture végétalisée pour la réhabilitation d'un bâtiment, tant que son poids (eau pluviale incluse) n'excède pas cette surcharge.

Volume de la toiture stockante :

$$V = l \times h \times L$$

Poids de l'eau par m² :

$$P \text{ (kg)} = \Delta h \times d_{\text{eau}}$$

l : largeur en m

h : profondeur en m

L : longueur en m

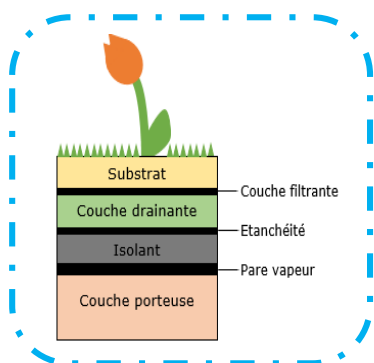
Δh : hauteur de pluie à stocker en m

d_{eau} : densité de l'eau en kg/m³

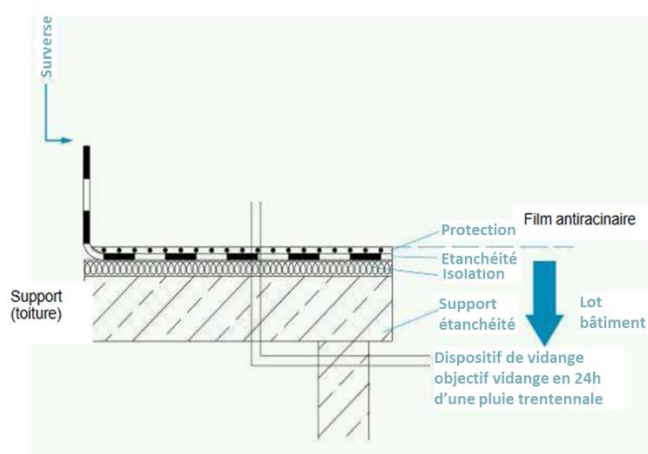
Il est important ici de tenir compte du poids de la toiture en cas de pluie. Par sécurité, la toiture végétalisée est dimensionnée pour une pluie de période de retour trentennale (notamment pour la vidange), mais elle gèrera plutôt les événements courants, inférieurs à 15 mm.

¹ L'objectif n'est pas de faire de la publicité pour une marque de système de toiture végétalisée, mais de donner des exemples de ce qui est fait actuellement sur le territoire de l'Est Lyonnais. Les toitures végétalisées font l'objet d'une fiche en fin de document.

Comment ?



Toutes les toitures végétalisées seront supposées avoir une même structure de base (métallique, en bois ou en béton), présentée ci-dessus :



Dispositif de vidange :

Un dispositif doit être mis en place afin d'assurer la vidange d'une pluie trentennale en 24 h.

Il est essentiel de veiller à ce que l'eau ne stagne jamais plus de 24 h dans l'ouvrage vis-à-vis du développement des moustiques.

Equipements particuliers : *assurer l'accessibilité et la sécurité.*

Ces équipements sont strictement réglementés. La toiture végétalisée doit au moins être accessible pour l'entretien (prévoir également un cheminement principal sur le toit) et être équipé de garde-corps. Selon les usages (accès au public ou non, type de végétaux, etc.), il faudra se référer aux normes adéquates.

La toiture végétalisée

Il existe plusieurs façons de concevoir une toiture végétalisée. De manière générale, la toiture doit être plane (sans creux ni bosse) et avoir une pente constante. Cette dernière conditionne le choix des matériaux et des végétaux. Même pour de fortes pentes (jusqu'à 60 %), une toiture végétalisée reste possible tant que la conception est adaptée.

- Il est impératif de prévoir une **membrane d'étanchéité anti-racinaire** afin de protéger la structure du bâtiment.
- La couche drainante doit **résister au gel**. Le système peut être couplé par une fonction de rétention de l'eau, comme des bacs de stockage équipés d'un dispositif de vidange.

Sur un **bâtiment existant**, les **toitures extensives** sont plus adaptées : elles possèdent un substrat de faible épaisseur (2 à 15 cm environ) et donc un faible poids ($< 150 \text{ kg/m}^2$).

Il est indispensable lors de la conception de penser à la **sécurité et à l'accessibilité** de l'ouvrage, qui conditionnent l'installation de végétation sur le toit.



Les toitures extensives sont adaptées pour la réhabilitation de bâtiments existants.

La réception

Vérifiez les éléments suivants :

- La **convention d'entretien**;
- L'inspection visuelle : détectez si la noue présente des traces de colmatages et vérifiez sa propreté ;
- La **conformité de l'ouvrage** aux normes en ce qui concerne la sécurité et l'accessibilité.

Que ce soit pour l'intervention des agents d'entretien ou la sécurité du public (pour les toitures accessibles), il faut se référer aux normes françaises concernées.

Dans le cas d'une toiture accessible, il convient de se référer à la **réglementation des Etablissements Recevant du Public**.

Combien ?

Il existe de nombreuses manières de concevoir une toiture végétalisée. La structure porteuse peut être en bois, en tôle, en béton armé, etc. Selon les végétaux et les matériaux choisis, il faut compter entre 40 et 100 €/m² à l'installation.

Et après ?

L'entretien d'une toiture végétalisée dépend de sa nature. Une toiture extensive ne nécessitera quasiment pas d'entretien. Un passage annuel pour vérifier le bon fonctionnement de l'ouvrage et supprimer les plantes envahissantes est suffisant.

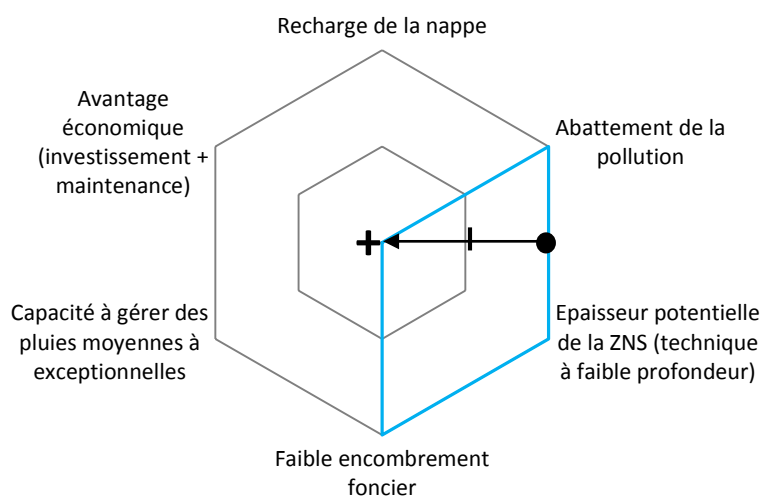
Pour une toiture jardin, son entretien est plus complexe en comprenant taille des plantes et maintenance paysagère. Il faut également prévoir une visite annuelle pour vérifier le bon fonctionnement de l'ouvrage.

L'utilisation de fertilisants et de désherbants chimiques sur la toiture végétalisée est interdite.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Réduction des vitesses de ruissellement ✓ Bonne intégration paysagère ✓ Bon isolant ✓ Plus-value pour le verdissement de la ville ✓ Lutte contre les îlots de chaleur ✓ Pas d'emprise foncière ✓ Pas de pollution par ruissellement sur les toitures 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Entretien spécifique régulier ✗ Pas adapté à toutes les toitures ✗ Faible volume d'eau stocké ✗ Conception à prévoir dès la réalisation du bâtiment (pas en rénovation)

Plus-values des toitures végétalisées



Les plus-values des jardins de pluies s'appuient sur celles d'un ouvrage « classique », à savoir une dépression de faible surface, très fleurie. L'avantage économique peut être plus ou moins important selon les plantations.

Exemple d'aménagement

A Décines-Charpieu, l'Intermarché comporte des toits végétalisés permettant une meilleure gestion des eaux de pluies, une plus-value paysagère mais également une baisse importante de la consommation de chauffage.



Toiture jardin à Décines (Photo Claire Devillard)

Autre que les toitures végétalisées, des façades végétales voient le jour. Bien qu'elles ne puissent pas stocker les eaux pluviales, elles participent à la réduction du ruissellement et apportent tous les bienfaits des plantes (lutte contre les îlots de chaleur, plus-value paysagère, etc.).



Mur végétal, Villeurbanne

6

Tranchée drainante



Tranchée drainante, Saint Priest

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Les **tranchées drainantes** sont des ouvrages longitudinaux remplis de matériaux poreux, à la surface perméable ou non. Elles permettent de stocker temporairement les eaux pluviales avant restitution par infiltration ou à débit limité à l'exutoire.

L'injection des eaux pluviales se fait soit par **infiltration directe** (si la tranchée est poreuse) soit via des collecteurs (si la tranchée est imperméable).

Dans quel cas mettre en œuvre des tranchées drainantes ?

Espace disponible : si votre projet d'aménagement dispose de peu d'espace pour la gestion des eaux pluviales et d'un linéaire.

Quantité d'eau à gérer : si vous souhaitez pouvoir gérer des événements pluvieux faibles à modérés.

Plus-value : la faible emprise au sol des tranchées drainantes leur permet de s'adapter facilement à des environnements urbains denses.

Où ?

Afin d'optimiser le **caractère longitudinal** des tranchées, elles sont mises en place le long des voiries, des zones de stationnement ou des bâtiments. Les tranchées doivent être perpendiculaires au sens de l'écoulement et installées sur un terrain de pente très faible.

Vulnérabilité de la nappe

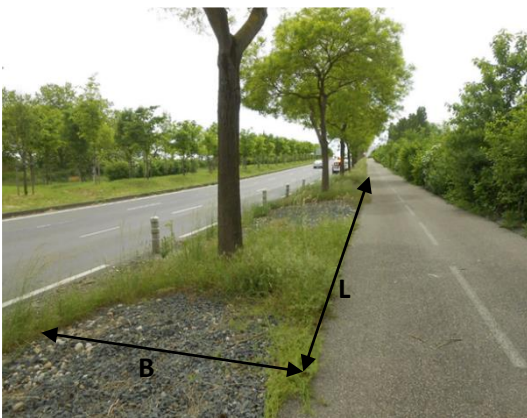
Lorsque la tranchée drainante est poreuse, les eaux pluviales sont gérées à la source. Lorsqu'elles sont imperméables, l'injection des ruissellements reste assez directe. D'autre part, si les eaux sont ensuite évacuées par infiltration, le sol dégradera une partie de la pollution. Le risque pour la nappe sera donc faible.

En revanche, si les tranchées sont uniquement stockantes, il faudra être plus vigilant quant au risque de pollution accidentelle et les substances pouvant être transportées par les eaux pluviales. Le colmatage est rare si les tranchées ne reçoivent pas des boues par ruissellement ou s'il y a décantation au préalable.

Conception

Les tranchées drainantes sont des espaces s'adaptant facilement à plusieurs projets d'aménagement. Dès la phase de conception, pensez aux multiples façons dont peuvent s'intégrer ces ouvrages : séparations d'espaces urbains, espaces verts à valeur paysagère, espaces publics, etc.

Dimensionnement



Tranchée drainante, boulevard des Droits de l'Homme, Bron

Volume de la tranchée :

$$V = L \times B \times h$$

Débit de fuite (si vidange par infiltration) :

$$Q = S_{inf} \times K = L \times B \times h \times K$$

B : largeur en m

h : profondeur en m

L : longueur en m

S_{inf} : surface d'infiltration en m^2

K : perméabilité en m/s

Compte tenu du colmatage, seul le fond de l'ouvrage est pris en compte pour le calcul de S_{inf} .

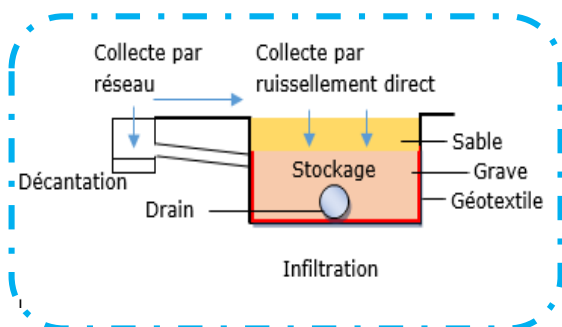
- La **période de retour** pour le dimensionnement des tranchées drainantes est généralement fixée entre **5 et 10 ans**. Pour des événements plus intenses, il faudra les coupler à d'autres techniques alternatives de gestion des eaux pluviales.

- La **perméabilité du sol** doit être mesurée plusieurs fois pour s'assurer de la capacité d'infiltration du terrain en place. Elle devra être supérieure ou égale à 10^{-6} m/s. Il conviendra également d'analyser l'état de pollution du sol.



Couplez votre tranchée drainante avec d'autres techniques alternatives. Par exemple, prévoir un espace inondable à proximité comme un bassin ou un parking permet de maîtriser des événements pluvieux importants.

Comment ?



Système de collecte : *Comment l'eau est-elle acheminée au puits d'infiltration ?*

- L'alimentation peut s'effectuer par infiltration directe à travers le revêtement poreux. Ceci permet de limiter les ruissellements et ainsi la pollution des eaux pluviales ;
- L'alimentation par un réseau de collecte doit se faire en amont et par des **bouches d'égout à puisard** équipées de grilles.

Equipements particuliers : *assurer le bon fonctionnement de l'ouvrage*

Dans une zone de circulation, pensez à installer des bordures (**ajourées ou en quinconce**), qui ne gêneront pas l'écoulement mais empêcheront le stationnement de véhicule.



Privilégier l'infiltration directe des eaux pluviales par la tranchée drainante permet de limiter les ruissellements et la pollution mais demandera également moins d'entretien.

Les tranchées drainantes

Ces ouvrages sont en général peu profonds. Ils peuvent être végétalisés en surface, ce qui favorise l'évapotranspiration.

Le fond de la tranchée drainante devra présenter une épaisseur de sol « non saturé » d'au moins **1 m avec le niveau des plus hautes eaux de la nappe**.

La structure suivante est adoptée :

- Une couche de surface pouvant être constituée de matériaux poreux (galets, enrobé poreux, terre végétale etc.) ou d'un enrobé imperméable ;
- Un **géotextile** entre le sol en place et les matériaux de remplissage ;
- Des matériaux de remplissage (grave ou béton concassé avec 30% de vide, matériaux préfabriqués type hydrocil ou SAUL, etc.)
- Un drain de quelques mètres en cas de vidange vers un exutoire superficiel.

Les tranchées drainantes sont réalisées sur de faibles pentes. En cas de pente >2%, un cloisonnement des tranchées peut être nécessaire.

Les drains et les cloisons doivent être accessibles via des regards de visite.

Attention au colmatage en phase chantier !

La réception

Vérifiez les éléments suivants :

- La **convention d'entretien** ;
- L'inspection visuelle : vérifiez la propreté de la tranchée ;
- Le **levé topographique de récolement** avec une précision de ± 1 cm : indispensable pour vérifier la conformité de l'ouvrage au plan de conception et s'assurer de son bon fonctionnement hydraulique ;
- L'accès et l'état des drains éventuels.

L'utilisation de fertilisants et de désherbants chimiques sur les surfaces dont les eaux de ruissellement sont raccordées à la tranchée est interdite.

Selon les retours d'expérience, une tranchée drainante possède une durée de vie de 30 ans environ.



Pensez aux arbres à proximité dont le développement racinaire peut perturber la structure de la tranchée.

Combien ?

Il est estimé qu'une tranchée drainante revient environ à **150 €/m²** pour le terrassement et la pose de matériel. Le coût peut être plus cher selon la complexité de l'ouvrage et les matériaux utilisés.

Et après ?

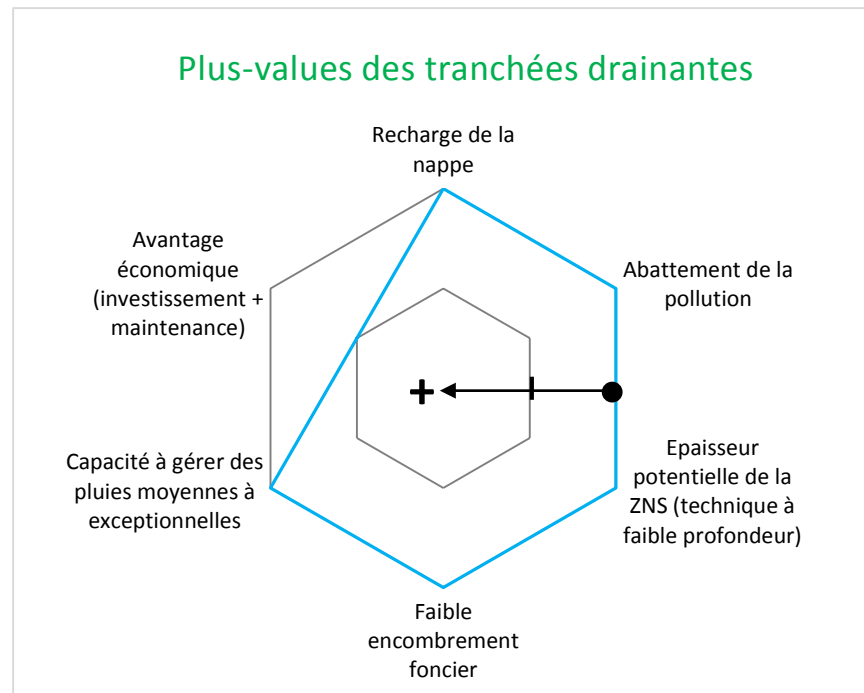
L'entretien d'une tranchée drainante est relativement **simple** et **consiste principalement à maintenir en bon état les dispositifs d'alimentation** :

- Nettoyage et remplacement des matériaux colmatés, tonte du gazon (pour une alimentation à travers un revêtement poreux) ;
- Nettoyage des regards (alimentation par drains).

Un contrôle visuel régulier après un événement pluvieux permet de s'assurer du bon fonctionnement de l'ouvrage.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bonne intégration paysagère ✓ Alimentation de la nappe phréatique ✓ Technique facile à mettre en œuvre et peu coûteuse ✓ Faible emprise au sol ✓ Peu d'entretien 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Colmatage possible ✗ Risque de pollution accidentelle ✗ Ouvrage masqué : peu accessible pour le contrôle



Les plus-values des tranchées drainantes s'appuient sur celles d'un ouvrage « rustique » dont l'alimentation se fait par infiltration directe à travers un revêtement poreux.

Exemple d'aménagement



Tranchée drainante le long d'une voirie

Les tranchées drainantes sont facilement mises en œuvre le long d'une voirie pour séparer des espaces de circulation.

7

Puits d'infiltration



Intérieur d'un puits d'infiltration

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Les **puits d'infiltration** sont des ouvrages enterrés, ponctuels et de profondeur variable. Ils permettent essentiellement d'infiltrer les eaux pluviales, leur capacité de stockage étant relativement faible. En général, ils sont mis en place lorsqu'aucune autre technique alternative n'était envisageable, ou en complément d'autres ouvrages assurant stockage et traitement de la pollution des eaux pluviales.

Les puits d'infiltration ne sont pas à confondre avec les puits perdus. Ces derniers rejettent les eaux pluviales directement à la nappe, sans filtration, ce qui est interdit !

Dans quel cas mettre en œuvre des puits d'infiltration ?

Espace disponible : si votre projet d'aménagement dispose de peu d'espace pour la gestion des eaux pluviales et que vous cherchez à infiltrer les ruissellements de petites surfaces imperméables (6 à 20 m²).

Quantité d'eau à gérer : si vous souhaitez pouvoir gérer des événements pluvieux faibles à modérés.

Plus-value : la faible emprise au sol des puits d'infiltration leur permet de s'adapter facilement à des environnements urbains denses.

Où ?

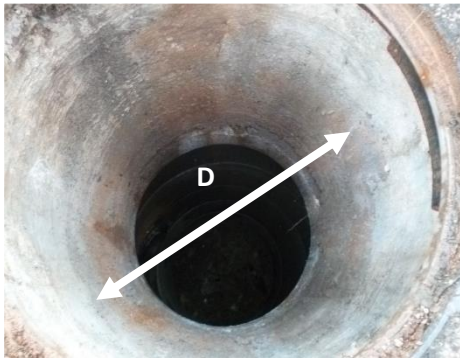
Les puits d'infiltration sont en général mis en place là où la nappe est profonde et le sol peu perméable. Ils permettent de gérer de **petites surfaces imperméabilisées** comme le long d'un bâtiment, d'une voirie ou sur des stationnements par exemple. **Les puits d'infiltration ne doivent pas être installés dans des secteurs vulnérables à la pollution.**

Vulnérabilité de la nappe

Les puits d'infiltration sont **sensibles au colmatage** et susceptibles de devoir gérer des eaux fortement chargées en polluants (alors que l'ouvrage en lui-même). **Ils peuvent représenter un risque pour la nappe.**

Les puits d'infiltration s'adaptent facilement à plusieurs types d'aménagement. Toutefois, ils représentent un risque pour la nappe. Il faudra donc être particulièrement vigilant au risque de pollution.

Dimensionnement



Volume du puits :

$$V = n \times (D/2)^2 \times h$$

Débit de fuite :

$$Q = S_{inf} \times K = n \times (D/2) \times h \times K$$

D : diamètre en m

h : profondeur en m

S_{inf} : surface d'infiltration en m²

K : perméabilité en m/s

Compte tenu du colmatage, seule la moitié des surfaces latérales est prise en compte pour le calcul de S_{inf}.

- La **période de retour** pour le dimensionnement des puits d'infiltration est généralement fixée entre **2 et 5 ans**. Pour des événements plus intenses, ils débordent rapidement et doivent être couplés à d'autres techniques alternatives de gestion des eaux pluviales.



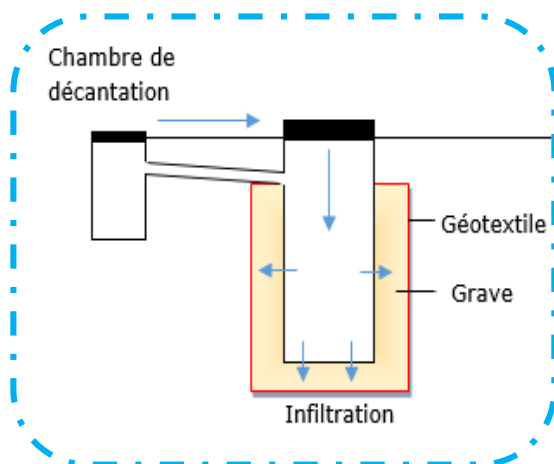
Les puits débordent rapidement !
Ils doivent être complétés par des dispositifs de stockage amont ou par des espaces inondables pour la gestion d'événements pluvieux plus intenses

- La **perméabilité du sol** doit être mesurée plusieurs fois pour s'assurer de la capacité d'infiltration du terrain en place. Elle devra être supérieure ou égale à 10⁻⁶ m/s. Il conviendra également d'analyser l'état de pollution du sol.

- Le **rapport surface d'infiltration/ surface imperméabilisée** doit être aussi faible que possible pour limiter le colmatage et le risque de pollution.

Rejeter les eaux à la nappe sans filtration est interdit. Les puits vides sont de ce fait proscrits !

Comment ?



Système de collecte : Comment l'eau est-elle acheminée au puits d'infiltration ?

L'alimentation directe du puits d'infiltration est interdite. Les eaux pluviales doivent être collectées par des **bouches d'égout à puisard équipées de grilles** afin de stopper les macro-déchets.

Equipements particuliers : limiter l'apport de pollution

Les puits sont fortement déconseillés à proximité des surfaces de type ghorre, ou avec des passages d'engins susceptibles de déposer des matériaux fins (véhicules agricoles ou de chantier).

Dans le cas d'une pollution accidentelle, il faudra prévoir un **système de stockage en amont** du puits d'infiltration et des vannes de sécurité.

Des ouvrages type dessableur peuvent être rajoutés pour limiter l'apport de fines.

Les puits d'infiltration

Ces ouvrages doivent être **accessibles au camion d'exploitation** (26 tonnes) stationnant au droit des puits pour leur curage.

L'épaisseur de la zone non saturée doit être plus restrictive qu'usuellement : compte tenu du risque que représente les puits pour la nappe, il faudra respecter une épaisseur de **2 m** entre le fond de l'ouvrage et le niveau des plus hautes eaux. De plus, la profondeur du puits sera entre **2 et 4 m** maximum.

Les matériaux suivants sont utilisés :

- Un regard perforé d'1 m de diamètre ;
- Une couche de fond de 50 cm de galets roulés lavés 20/50 ;
- Un **géotextile** ;
- Une couche de sable lavé de 20 cm de hauteur.
- Une couche de galets roulés lavés 20/50 de 30 cm.

En cas de risque géotechnique ou si le terrain est argileux, les puits d'infiltration sont interdits.



Eloignez vos puits d'au moins 3 m des végétaux arbustif afin d'éviter toute dégradation par les racines.

La réception

Vérifiez les éléments suivants :

- La **convention d'entretien** ;
- Les **coupes** des dessableurs et autres équipements particuliers ;
- Le **levé topographique de récolement** avec une précision de ± 1 cm : indispensable pour vérifier la conformité de l'ouvrage au plan de conception et s'assurer de son bon fonctionnement hydraulique ;
- L'état visuel des ouvrages, avec rapport photo. La propreté des matériaux doit faire l'objet d'un contrôle systématique à la réception.

Combien ?

Le coût d'un puits d'infiltration de 2 m sur 2 m est d'environ **1500 €** en comptant le matériel et la pose.

Dans le cas d'une réhabilitation, ce coût peut être bien plus élevé puisqu'il faut compter la réfection de la voirie

Et après ?

L'entretien d'un puits d'infiltration doit être **rigoureux**. L'ouvrage sera régulièrement contrôlé après un épisode pluvieux afin de s'assurer de sa vidange.

Le colmatage et la pollution doivent être évités tant que possible. C'est pourquoi les grilles, le regard et le dispositif filtrant doivent être régulièrement nettoyés (de façon semestrielle).

Pour garantir la perméabilité, le massif filtrant sera changé tous les 5 à 10 ans selon l'état.

En cas de pollution accidentelle, **le risque pour la nappe est élevé**. Il faudra rapidement pomper la pollution à l'extérieur du puits, vider et remplacer les matériaux (ainsi que le géotextile).

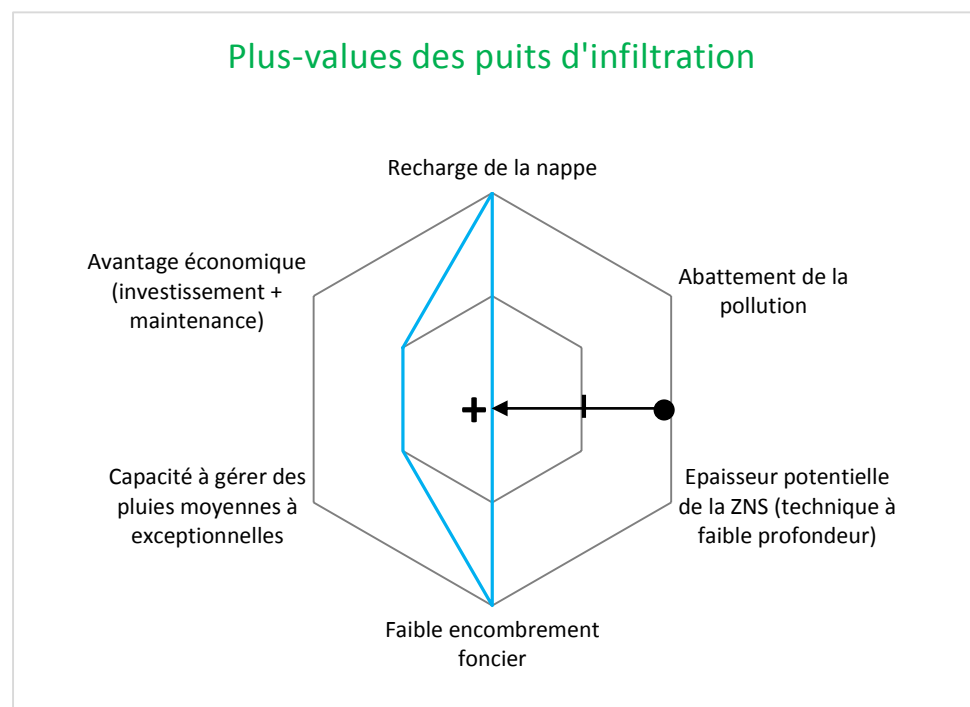
En général, un puits d'infiltration possède une durée de vie de **20 à 30 ans**.

L'utilisation de fertilisants et de désherbants chimiques sur les surfaces dont les eaux de ruissellement sont raccordées au puits est interdite.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">✓ Peu d'emprise foncière✓ Alimentation de la nappe phréatique✓ Pas de contrainte topographique	<ul style="list-style-type: none">✗ Colmatage fréquent✗ Entretien spécifique✗ Risque de pollution accidentelle de la nappe

Plus-values des puits d'infiltration



Exemples d'aménagement



*Au-dessus d'un puits d'infiltration
vers la rue Pasteur, Genas*

A Genas, les eaux pluviales sont en partie gérées par des puits d'infiltration. C'est le cas sur le long de la rue Pasteur qui présente une succession de ces ouvrages.



ENS, Lyon

Les eaux pluviales du parvis de l'ENS, à Lyon, sont gérées par des puits d'infiltration.



Il existe souvent des méthodes plus appropriées que les puits d'infiltration. Dans la mesure du possible, ils doivent être évités voire supprimer au cours des réhabilitations.

8 Les structures réservoirs enterrées



Au-dessus d'une structure réservoir enterrée

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Bien que toutes les techniques alternatives présentées précédemment possèdent une capacité de stockage plus ou moins importante, il peut être nécessaire d'avoir recours à une **structure réservoir enterrée**. On peut distinguer :

- La **chaussée à structure réservoir** ;
- Le **bassin enterré**.

L'injection des eaux pluviales se fait soit par infiltration directe à travers un revêtement poreux, soit via un système de collecte. L'eau est ensuite évacuée par infiltration ou par rejet à débit limité vers un exutoire.

Dans quel cas mettre en œuvre des structures réservoirs enterrées ?

Espace disponible : si votre projet d'aménagement dispose de peu d'espace pour la gestion des eaux pluviales et que vous cherchez à gérer les ruissellements de manière collective.

Quantité d'eau à gérer : si vous souhaitez pouvoir gérer de grosses quantités d'eau.

Plus-value : la faible emprise au sol des structures réservoirs enterrées leur permet de s'adapter facilement à des environnements urbains denses.

Les structures réservoirs enterrées ne sont pas à privilégier : loin des yeux, loin des préoccupations !

Où ?

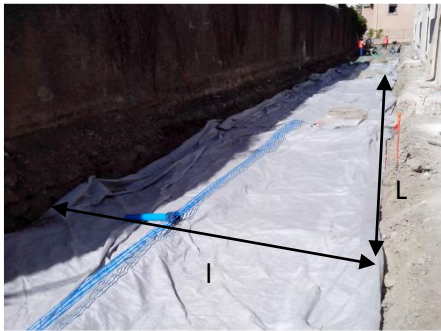
Les structures réservoirs enterrées peuvent être mises en place sous des voiries, des parkings, des trottoirs, etc. Elles doivent se trouver **sous des espaces publics** afin d'assurer leur contrôle et leur entretien.

Vulnérabilité de la nappe

Les eaux pluviales collectées par les structures réservoirs enterrées **peuvent se charger en polluants** avant d'atteindre l'ouvrage. Ceci représente un **risque pour la nappe** et favorise le colmatage de l'ouvrage. Afin d'assurer un bon abattement de la pollution, des ouvrages de prétraitement sont nécessaires.

Les structures réservoirs enterrées peuvent être conçues de bien des façons. Dans tous les cas, la priorité est la protection de la nappe face aux polluants de surface.

Dimensionnement



- La **période de retour** pour le dimensionnement des structures réservoirs enterrées est généralement de **30 ans**. En cas de vulnérabilité forte ou sur une zone de PPRNI, cette période de retour peut être de **50 à 100 ans**.
- Si vous souhaitez évacuer les eaux par infiltration, la **perméabilité du sol** doit être mesurée plusieurs fois pour s'assurer de la capacité d'infiltration du terrain en place. Elle devra être supérieure ou égale à **10^{-6} m/s**. Il conviendra également d'analyser l'état de pollution du sol.
- Si vous souhaitez évacuer les eaux vers un autre exutoire, le débit de rejet dépendra de la taille du bassin versant, des risques de pollution et des caractéristiques de l'exutoire. En général, sur le territoire de l'Est Lyonnais, la valeur de **1l/s/ha** est retenue.

Volume de la structure réservoir :

$$V = l \times L \times h$$

Débit de fuite (en cas d'infiltration) :

$$Q = S_{inf} \times K = l \times L \times h \times K$$

L : longueur en m

l : largeur en m

h : profondeur en m

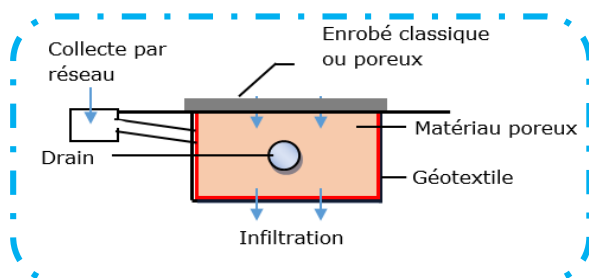
S_{inf} : surface d'infiltration en m²

K : perméabilité en m/s

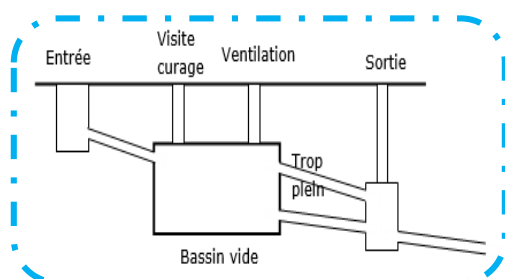
Compte tenu du colmatage, la surface du fond est prise en compte pour le calcul de S_{inf}.

Le traitement de la pollution sera défini selon une étude spécifique. En vue de protéger la nappe et suivant les caractéristiques du projet, des équipements spécifiques de traitement des eaux pluviales pourront être préconisés.

Comment ?



Chaussée à structure réservoir



Bassin enterré

Système de collecte : Comment l'eau est-elle acheminée à la structure réservoir ?

L'alimentation peut se faire par infiltration directe si le revêtement de surface est poreux ou par un réseau de collecte. Dans ce cas, l'eau est collectée en amont par des bouches d'égout à puisard équipées de grilles.



Privilégier l'infiltration directe des eaux pluviales par la tranchée drainante permet de limiter les ruissellements et la pollution mais demandera également moins d'entretien.

Les structures réservoirs enterrées

Le fond de l'ouvrage devra présenter une épaisseur de sol « non saturé » **d'au moins 1 m** avec le niveau des plus hautes eaux de la nappe

Les structures réservoirs suivront généralement le schéma suivant :

- Une couche de surface pouvant être constituée de matériaux poreux (galets, enrobé poreux, terre végétale etc.) ou d'un enrobé imperméable ;
- Une couche de forme ;
- Un **géotextile** autour de la structure réservoir ;
- La **structure réservoir** : grave propre non traité, matériau préfabriqué type hydrocil ou SAUL, et.
- Un **drain** ;
- Un éventuel cloisonnement (béton ou géomembrane).

Equipements particuliers : limiter l'apport de pollution

Si l'alimentation se fait par un réseau de collecte enterré, la structure réservoir peut (voire « doit » selon les cas) être équipée en amont d'un dessableur.

L'alimentation via un réseau de noues ou de tranchées permet d'abattre la pollution en amont.

Pensez aux accès ! La structure enterrée et tous les équipements (vannes, limiteurs de débit, dessableurs, etc.) doivent être accessibles pour assurer l'entretien.



Avertissement

Utiliser des structures en pneus, qu'ils soient entiers ou concassés, est à proscrire !

Les PUNR (Pneus Usagés Non Réutilisables) font parfois office de matériaux de remplissage pour les structures réservoirs. Or, aucun retour d'expérience ne permet de juger de l'évolution de ce matériau. Les études en laboratoires tendent à montrer que l'eau absorbe les substances relarguées par les pneus, auquel cas **les conséquences pour la nappe phréatique seraient catastrophiques !** Ainsi, les PNUR sont à proscrire pour ce qui concerne la gestion des eaux pluviales.

Le recours aux cuves métalliques pour le stockage des eaux pluviales est vivement déconseillé ! Elles risquent de relarguer des substances telles que le zinc et ainsi de contaminer les eaux pluviales. Ce phénomène est par ailleurs fortement aggravé par l'usage de sels utilisés pour le déneigement des voies.

La réception

Vérifiez les éléments suivants :

- La **convention d'entretien** ;
- Les **coupes** des dessableurs et autres équipements particuliers ;
- Le **levé topographique de récolement** avec une précision de ± 1 cm : indispensable pour vérifier la conformité de l'ouvrage au plan de conception et s'assurer de son bon fonctionnement hydraulique ;
- L'état visuel des ouvrages et des équipements particuliers (vannes, clapet anti-retour, etc.). La propreté des matériaux doit faire l'objet d'un contrôle systématique à la réception.

- Contrôle de la perméabilité du revêtement poreux (s'il existe) et des **capacités de vidange** de l'ouvrage.

Combien ?

Le coût d'une structure réservoir enterrée est très variable selon les matériaux choisis. Il faut compter entre **300 et 1000 €/m²**, sans compter le prix d'installation des équipements de prétraitement.

Et après ?

L'entretien d'une structure réservoir enterrée doit être **rigoureux**. L'ouvrage sera régulièrement contrôlé après un épisode pluvieux afin de s'assurer de sa vidange.

Selon les matériaux utilisés et la vidange choisie (infiltration ou rejet à débit limité), les modalités d'entretien peuvent être très variées. De manière générale, il faudra fréquemment nettoyer le dispositif d'alimentation et les équipements particuliers.

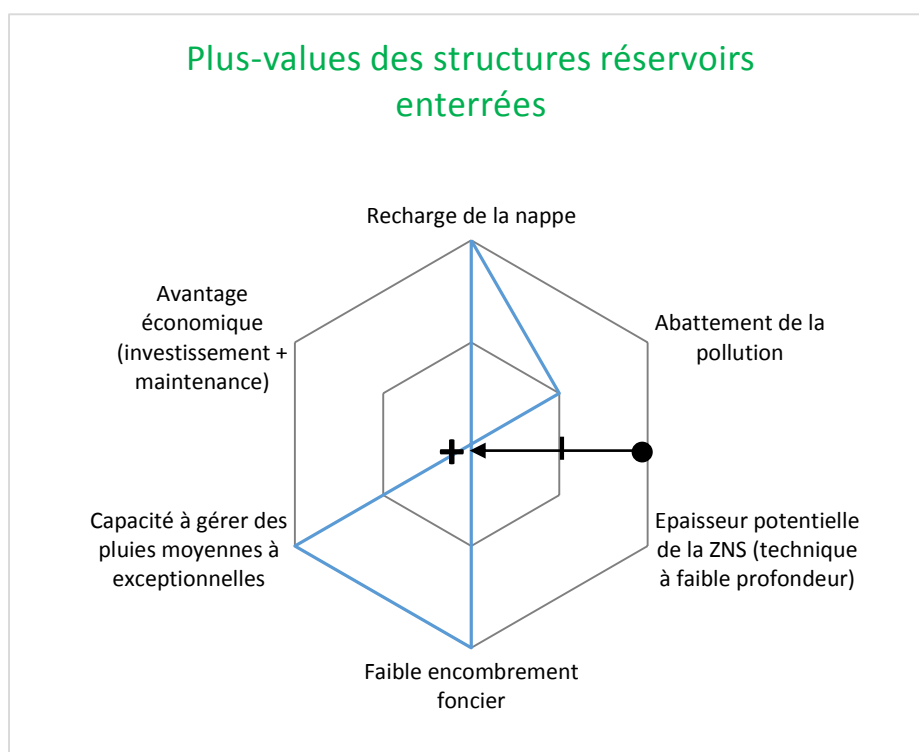
En cas de pollution accidentelle, il faudra rapidement pomper la pollution à l'extérieur de la structure, vider et remplacer les matériaux (ainsi que le géotextile).

L'utilisation de fertilisants et de désherbants chimiques sur les surfaces dont les eaux de ruissellement sont raccordées à la structure réservoir est interdite.

Une structure réservoir enterrée possède une durée de vie comprise entre **20 et 60 ans**.

Avantages et inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peu d'emprise foncière ✓ Alimentation de la nappe phréatique (si infiltration) ✓ Peu de contrainte topographique ✓ Traitement de la pollution par décantation 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Colmatage fréquent ✗ Entretien spécifique ✗ Risque de pollution accidentelle de la nappe ✗ Ouvrage dépendant de l'encombrement du sous-sol ✗ Coût pouvant être élevé ✗ Risque de prolifération des moustiques



Les plus-values des structures réservoirs enterrées s'appuient sur celles d'un ouvrage d'infiltration des eaux pluviales.

Exemples d'aménagement



Au-dessus d'un bassin enterré, Pierre Bénite

La place de la Paix à Pierre Bénite, accueillant régulièrement un marché alimentaire, a fait l'objet d'un réaménagement en 2007. A cet effet, deux bassins de rétention/infiltration ont été mis en œuvre. Les eaux pluviales sont collectées par des avaloirs, passent par un décanteur puis parviennent aux bassins par l'intermédiaire d'un drain. Elles y sont temporairement stockées avant d'être infiltrées par les alluvions du Rhône.



*Chaussée à structure réservoir,
Douais (ADOPTA)*

En 2013, la communauté d'Agglomération de Douais réalise une importante voirie à structure réservoir pour l'accès à une plateforme logistique.

9 Les zones temporairement inondables



Quartier inondable à Romorantin (Sybille Vincendon)

Principe

Qu'est-ce que c'est ?

Une **zone inondable** est comparable à un **bassin de rétention à ciel ouvert multifonctionnel**. Cependant, son objectif diffère : il s'agit là de **canaliser les eaux pluviales** sur un secteur ne présentant pas de risque majeur pour la population.

Dans quel cas mettre en œuvre une zone inondable ?

Toujours ! Chaque aménagement, qu'il s'agisse d'une nouvelle construction ou d'une réhabilitation, doit prévoir une zone préférentielle pour y canaliser les eaux pluviales en cas d'événements pluvieux exceptionnels.

Où ?

Tout dépend de l'espace d'accueil. Il peut s'agir d'un parc, d'un espace de stationnement, d'une cour, etc.

Vulnérabilité de la nappe

En cas d'événement exceptionnel inondant l'espace public, canaliser les eaux pluviales vers un secteur préférentiel permettra également de canaliser la pollution.



Si votre aménagement ne permet pas d'envisager qu'un espace soit inondable, pensez à mutualiser une zone inondable avec votre voisin (en prenant garde à ne pas aggraver sa situation).

Conception

Comment ?

Système de collecte : *Comment l'eau est-elle acheminée à la zone inondable ?*

L'alimentation de la zone s'effectue généralement par surverse ou mise en charge de l'ouvrage de rétention principal. Il est préférable de concevoir le système de façon à ce que l'eau de la zone s'évacue **gravitairement** au fur et à mesure de la décharge progressive de la zone inondable.

Combien ?

Une zone inondable n'engendre pas particulièrement de coût supplémentaire. Certains équipements peuvent cependant se rajouter, comme l'étanchement des bâtiments voisins et une signalétique d'information pour les usagers.

Et après ?

L'entretien porte avant tout sur le traitement de la pollution potentielle après inondation de la zone.

L'étanchéité des constructions voisines devra être vérifiée.

Les zones temporairement inondables

L'objectif est d'adapter le bâti : les portes, l'entrée des bâtiments et les grilles d'aération doivent être **surélevées**. Des cheminements piétons peuvent également être surélevés pour permettre un usage de la zone à la suite de l'inondation. Les espaces publics souterrains (comme les parkings) doivent être parés à ce type d'événement exceptionnel (fermeture de l'accès).

Les pentes de la zone doivent converger vers un canal central destiné à concentrer les dépôts.



Pensez à une signalétique pour prévenir que la zone est potentiellement inondable.

Exemple d'aménagement



Romorantin après la crue de mai 2016

En prenant en compte l'aléa inondation lors de sa conception, le quartier Matra de Romorantin a su adapter son aménagement. Certes l'eau est montée, mais pas n'importe comment. Le quartier a été conçu pour une montée progressive des eaux, ce qui a laissé le temps aux habitants d'évacuer les véhicules et de se mettre à l'abri.

Des trottoirs ont été surélevés pour permettre aux habitants de sortir de chez eux et de circuler sur les axes principaux.

Tout le bâti a été pensé pour assurer la sécurité des habitants et des infrastructures. Voilà un bel exemple d'adaptation à un événement non maîtrisable !

Inonder son aménagement, c'est possible et viable si c'est bien pensé !

