

REVETEMENTS EXTERIEURS : LES ALTERNATIVES AU GOUDRON

SOMMAIRE

1. PREAMBULE.....	2
2. CRITERES DE CHOIX DU REVETEMENT EXTERIEUR.....	2
3. LES DIFFERENTES ALTERNATIVES AU GOUDRON.....	4
4. LES REVETEMENTS EXTERIEURS POUR TRAFIC LEGER.....	4
4.1. Les dallages et pavages.....	4
4.2. Les calades.....	5
4.3. Les pavages drainants.....	5
4.4. Les dalles de stabilisation des sols.....	8
4.5. Les sols compactés engazonnés.....	10
4.6. Les sols stabilisés.....	10
4.7. Les sols à base de résine.....	12
4.8 Les bétons drainants.....	15
5. LES REVETEMENTS ROUTIERS.....	17
6. CONCLUSION.....	19
7. BIBLIOGRAPHIE.....	20

1. PREAMBULE

Le goudron est un produit huileux, visqueux, de couleur brune ou noire, obtenu par la distillation sèche de nombreuses matières organiques.

Il existe plusieurs sortes de goudron :

- Le **goudron végétal ou goudron de bois** qui est une substance résineuse obtenue par la distillation ou la carbonisation du bois (Poix).
- Le **goudron animal** qui est produit par la distillation des os.
- Le **goudron de houille (Coaltar)**, un des produits de la transformation de la houille en coke.
- Le **goudron pour route** qui est un liant routier. Il est utilisé principalement dans la construction de revêtements extérieurs.
 - Le **bitume** est un terme utilisé pour les gisements naturels de "goudron" de pétrole.

Le goudron a longtemps été employé pour ses propriétés d'imperméabilité et de liant. Il est composé de centaines de substances chimiques, dont plusieurs sont considérées comme cancérigènes ou potentiellement dangereuses. De plus, la production de goudron par distillation destructive sous pyrolyse demande une très forte quantité d'énergie.

Pour ces différentes raisons, des procédés alternatifs ont été développés, qui coexistent avec les techniques plus traditionnelles encore couramment employées.

2. CRITERES DE CHOIX DU REVETEMENT EXTERIEUR

2.1. Aspects Techniques

- **Effet "Albedo"**

Les revêtements bitumineux, de couleur foncée, absorbent entre 85 et 95 % de l'énergie solaire. Localement, ils accroissent ainsi l'effet d'îlot de chaleur. En outre, ils n'assurent pas une bonne visibilité nocturne et nécessitent des besoins en éclairage public supérieurs à ceux d'autres revêtements plus réfléchissants.

- **Influence du type de revêtement sur la consommation de carburant (frottement)**

Les revêtements bitumineux coulés entraînent une surconsommation de carburant de l'ordre de 2,5% par rapport aux routes en béton, car ils sont plus souples par exemple que les bétons coulés.

- **Caractéristiques des performances physiques (fissuration, orniérage, fatigue, rigidité, rugosité, plumage, etc.)**

D'une manière globale, des problèmes d'orniérage apparaissent surtout lorsque le trafic des poids lourds est important. La sensibilité aux sollicitations climatiques peut provoquer un vieillissement dû aux UV, une déformation à la chaleur, la désagrégation ou le désenrobage (stagnation de l'eau, gel, etc.).

- **Mise en œuvre (pollution de l'air, rapidité d'exécution, etc.)**

- **Conditions d'adhérence (rugosité, risque d'aquaplaning, etc.)**

- **Importance et type de trafic**

Le statut hiérarchique de la voirie (locale, inter-quartier,...) et la charge de trafic qu'il induit aura un impact sur le choix de revêtement et de fondation.

2.2. Aspects environnementaux

- **Qualité acoustique : niveau du « bruit routier »**

La taille des granulats et la porosité du revêtement sont les deux facteurs essentiels qui agissent sur la réduction du bruit de roulement.

La présence d'eau sur les chaussées accroît les niveaux de bruits en fonction de la quantité d'eau présente sur la route et de la vitesse de véhicules. La pose d'un revêtement drainant ou présentant une macro-texture suffisante permet de diminuer le phénomène.

- **Possibilité de recyclage du matériau et potentiel d'utilisation de matériaux recyclés**

Le recyclage des couches des fondations des aménagements permet d'économiser des quantités importantes d'agrégats naturels non renouvelables et diminue fortement les quantités de déchets qui doivent être mis en décharge. La durabilité des enrobés issus du recyclage reste cependant à prouver.

- **Gestion de l'eau (perméabilité/drainage)**

- **Emission de CO₂ et consommation d'énergie selon procédé de fabrication et de mise en œuvre :**

> Enrobés à chaud

Procédé traditionnel développé dans les années 30 et le plus couramment utilisé.

Température de production : 150 à 180°C, température de mise en œuvre : 140 à 170°C

> Enrobés basse température et Basse énergie (EBT®)

Sous cette appellation, on retrouve une grande variété de procédés de mélanges produits entre 80°C et 130°C. Ils ont les mêmes propriétés que les enrobés à chaud dès leur mise en place et les mêmes caractéristiques mécaniques. Ce procédé permet une économie d'énergie de l'ordre de 30 à 50% par rapport aux enrobés à chaud.

> Enrobés à froid

Les avantages des enrobés à froid découlent de ceux de leur liant, les émulsions de bitume : polyvalence, souplesse et sécurité d'emploi, respect de l'environnement. Ces procédés permettent une température de fabrication inférieure à 60°C. Actuellement, ils sont surtout utilisés sur des routes à faible trafic.

Une économie d'énergie de l'ordre de 60 à 75 % par rapport aux l'enrobés à chaud est possible. A côté de ces matériaux "classiques" (dérivés du pétrole), il existe un nouveau type d'asphalte qui utilise un liant "écologique" produit à partir de ressources renouvelables. Le liant est alors un mélange de résines et d'huiles d'origines végétales du type huile de lin, de ricin, de bois, de colza, de soja, etc.

Ces liants présentent les caractéristiques suivantes :

- Réduction de l'énergie nécessaire lors de la fabrication et de la mise en œuvre.

- Possibilité d'obtenir une grande variété de teintes, grâce à la couleur naturelle du liant, beaucoup plus transparente que les liants bitumineux, qui met en valeur la couleur naturelle des granulats et permet l'utilisation de matériaux locaux.

Ces caractéristiques physiques et mécaniques sont supérieures à celles des liants "bitumineux" de même catégorie, mais ils demandent un temps de durcissement plus long et sont actuellement plus chers que les liants bitumineux classiques. Un autre aspect est la consommation d'espaces agricoles pour produire les végétaux fournissant la matière première.

- **ACV (analyse du cycle de vie)**

Pérennité du matériau (stabilité des couleurs, envahissement par la végétation, gel, etc.).

La diminution de la rugosité conduit généralement à un entretien en surface, avant la détérioration de la couche proprement dite. Un usage accru de désherbants ou d'engins d'entretien est à englober dans l'analyse.

2.3. Aspects économiques

- **Coût d'investissement**
- **Coût d'entretien**
- **Coût du cycle de vie (CCV)**

2.4. Aspects socioculturels

- **Scénographie urbaine**
- **Valeur patrimoniale**
- **Confort et sécurité pour les modes actifs (vélos, rollers, etc.)**

Source : Fiche info « Choisir les matériaux de revêtement de sol en fonction de leur impact environnemental », Bruxelles Environnement IGBE RECOMMANDATION MAT01 - 29/06/11

3. LES DIFFERENTES ALTERNATIVES AU GOUDRON

Il existe plusieurs grandes familles de revêtements :

- **les matériaux liés** (asphaltes, enrobés, bétons), qui représentent un bon confort d'usage et une bonne pérennité
- **les matériaux non liés** (sables compactés et stabilisés) qui s'intègrent bien dans un environnement naturel, mais ont un niveau de confort et une pérennité moindres
- **les matériaux «intermédiaires »**, notamment les graves émulsions qui offrent l'aspect du sablé avec la résistance mécanique de l'enrobé

4. LES REVETEMENTS EXTERIEURS POUR TRAFIC LEGER

4.1. Les dallages et pavages



Les dalles gravillonnées

Dim. 40 x 40 x 3,7 cm.

Prix : 10 à 20 €/m² TTC.



Les dalles de pavés en béton

Dim. 10 x 10 x 4 cm à 16 x 16 x 4cm

Prix : 15 à 30 €/m² TTC.

Ces dalles doivent être posées sur une chape de béton (revêtement imperméable) ou de sable (perméabilité selon l'écart entre pavés).

En ce qui concerne les pavés et dalles de pierre naturelle, on distingue :

- **Les marbres** : Ce sont des roches de type métamorphique formées de grains cristallisés de calcite et de dolomie.
> Avantages : Dureté élevée et grande aptitude au polissage.
- **Les calcaires** : Leur composition résulte de la fixation et de la précipitation du carbonate de chaux (calcite) contenu dans les eaux océaniques et lacustres.
> Avantages : Grande variété de dureté et de texture.
> Inconvénients : Gélives, la couleur s'altère au fil du temps.
- **Les quartzites** : Ce sont des roches métamorphiques (tout comme les marbres) composées uniquement de grains de quartz recristallisés avec une structure monolithique.
> Avantages : Excellente résistance au gel et extrême ténacité des coloris.
- **Les granites** : Ce sont des roches plutoniques magmatiques à texture grenue.

A ne pas confondre : Le **granit** (sans e) est un terme technique utilisé par les marbriers. Il ne définit pas une roche spécifique : le granit est un type de roche non poreuse imperméable, grenue et cohérente (elle ne s'effrite pas sous la pression des doigts, car elle est formée d'éléments fortement soudés entre eux). Le *petit granit des Ardennes* est, par exemple, un calcaire.

Dimensions et prix très variables selon le produit, entre 30 et 120 € TTC/m².

Avantages

- Robustesse.
- Perméabilité en cas de pose sur lit de sable.
- Possibilité d'accueil de végétation selon le type de pose : pavage avec joints sablés, avec joints larges ou très larges, pierres à calepinage aléatoire, pavage à pose décalée.
- Les pavages ralentissent le trafic urbain (bruit, vibrations à l'intérieur du véhicule).

Inconvénients

- Coût élevé.
- Possibilité que l'eau stagne entre deux dalles ou pavés, ce qui risque à terme de les désolidariser.
- Pavés en pierre naturelle : Inconfort pour l'utilisateur (vibrations et bruit pour les automobilistes, cyclistes, poussettes, inégalité du sol pour le piéton).
- Ne convient pas pour des activités de loisirs (rollers, skateboard...).

4.2. Les calades

Procédé de pose traditionnel. Emploi pour voies piétonnes, voies circulables, placettes,...



Les pierres sont posées sur du remblai ou, parfois, pour éviter qu'elles ne s'enfoncent, sur d'autres pierres posées horizontalement.

Elles sont posées de chant, fortement serrées les unes contre les autres, de façon à ce qu'elles se bloquent mutuellement. Les interstices restants sont comblés avec de la menue pierraille.

La calade laisse s'évaporer l'eau en excès dans le sous-sol.

Avantages

- Robustesse, souplesse.
- Perméabilité.
- Rendu graphique personnalisable.
- Matériaux locaux.

Inconvénients

- Coût élevé, car mise en œuvre très longue.
- Surface irrégulière : impact sonore, peut être glissante en cas de pluie.
- Difficilement praticable par personnes à mobilité réduite

4.3. Les pavages drainants

Les pavages drainants permettent l'infiltration des eaux in situ. L'eau est stockée provisoirement dans les fondations, puis évacuée dans le sol.

Il s'agit de complexes composés de

1. Pavés drainants 8 cm
2. Couche de pose 3 cm
3. Fondation 15 cm
4. Géotextile drainant
5. Sol

La pente minimale des pavages en béton peut être limitée à 1 %, contre une pente minimale de 2,5 % pour un pavage classique. La pente maximale n'excédera de préférence pas 5 %. Dans le cas contraire, le ruissellement de l'eau en surface serait trop important, d'où une infiltration insuffisante dans la structure. Dans ce cas, il convient de prévoir un stockage supplémentaire (sous-fondation plus épaisse) à hauteur des points les plus bas.

La capacité d'infiltration de l'eau est indiquée par un **coefficient de perméabilité** ou un **facteur de perméabilité k**, qui indique le volume d'eau qui s'infiltré par unité de temps par unité de surface.

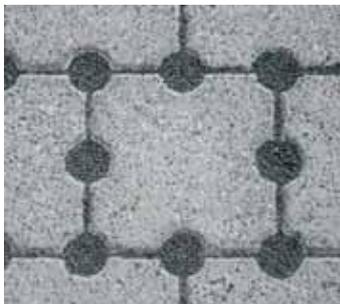
Tous les composants du système de pavage drainant possèdent un coefficient de perméabilité k égal à au moins $5,4 \times 10^{-5}$ m/s, de quoi permettre l'infiltration d'une averse de 270 l/s/ha, compte tenu d'un facteur de sécurité de 2. Ce facteur de sécurité tient compte d'une baisse de la perméabilité au fil du temps et d'éventuelles inclusions d'air.



Pavés en béton à joints élargis

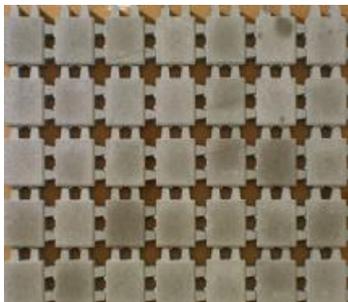
Les faces latérales de ces pavés en béton sont pourvues d'arêtes ou d'écarteurs, ce qui, une fois posés, crée un joint plus large. L'eau s'écoule ensuite au travers de ces joints vers les fondations et le sol.

Pour obtenir ce type de pavé, il suffit en fait d'élargir les butées d'un pavé classique jusqu'à l'obtention du joint requis. La surface de joints obtenue avec ce type de pavage en béton doit représenter **au moins 10 %**. Afin de garantir une perméabilité de surface suffisante, le coefficient de perméabilité du matériau de jointolement doit s'élever à au moins $5,4 \times 10^{-4}$ m/s.



Pavés en béton avec ouvertures de drainage

La forme spécifique de ces pavés crée, lors de la pose, des ouvertures qui permettent l'infiltration de l'eau. Pour obtenir ce type de pavé, il suffit en fait de réaliser une ouverture dans la forme classique carrée ou rectangulaire sur un ou plusieurs côtés, voire au centre du pavé. La surface des joints obtenue avec ce type de pavage en béton doit représenter au moins 10 %. Ici aussi, le coefficient de perméabilité du matériau de jointolement doit atteindre au moins $5,4 \times 10^{-4}$ m/s.



Les modèles à joints élargis et à ouvertures de drainage répondent, pour les autres caractéristiques comme la résistance à la rupture en traction par fendage, la tolérance dimensionnelle, etc. aux mêmes normes que les pavés en béton classiques.

Ils ont un cependant surcoût notable.



Pavés en béton poreux

Ces pavés sont perméables grâce à la composition poreuse du béton. Pour obtenir ce type de pavés, il suffit en fait de remplacer la composition du béton étanche d'un pavé classique par une composition du béton poreuse pour obtenir la capacité d'infiltration requise.



Dalles-gazon en béton

Les dalles-gazon en béton peuvent également être utilisées comme pavages drainants à condition qu'elles soient posées sur une structure perméable et que les ouvertures soient remplies de pierres concassées.



Après la pose, les dalles gazon en béton peuvent être remplies de terre arable. Le remplissage s'effectue jusqu'à 2 cm de la face supérieure de la dalle.

Cette terre arable (riche en humus) sera toujours mélangée à du laitier concassé pour favoriser la croissance du gazon. On évite ainsi les surfaces trop bourbeuses et saturées d'eau à terme. Il convient de semer une herbe résistante (2 à 3 kg par 100 m² de revêtement).



La grenaille ou le gravier coloré constitue une alternative au gazon.

Pour obtenir une surface bien perméable, les ouvertures des dalles doivent être remplies de gravier ou de grenaille dont le calibre est de 1/3 ou 2/5 mm. Le remplissage s'effectue jusqu'à 2 cm de la face supérieure des dalles.

Source : Brochure FEBESTRAL infobeton.be

Fabricants :

- **BLEIJKO Betonindustrie** Réf. **PIOVE, PERCOLA, PERFORA** www.bleijko.com

Prix hors pose environ 150-170 €/m² TTC

Les prix des autres produits se situent généralement entre 20 et 50 €/ m² TTC hors pose :

- **PIERRE ET SOL**

www.pierreetsol.com

- **URBAMAT** Réf. **AQUAPOR**

www.urbamat.fr

- **UHL**

www.uhl-france.fr

- **BLOOME** (commercialisé par Castorama)

www.castorama.fr

- **KRONIMUS** Réf. **K4, PASERO, HERBATURF, SPARTANA** www.kronimus.fr



Solution mixte

Le remplissage des dalles autoportantes **TTE Multidrain** avec du béton liquide permet de réaliser des structures drainantes à portance renforcée lorsque l'utilisation des pavés ne se justifie pas. Excellente solution pour les aires de trafic à forte sollicitation, aires de stockage, sols de hangars, paddocks, stabulations libres pour chevaux ou zoos.

Fabricant : **O2D**, France - www.sol-aire.fr

Avantages

- Perméable et donc avantageux pour la gestion des eaux pluviales.
- Réduction de l'impact sonore de la circulation.

Inconvénients

- Amoindrissement de la portance de la fondation en cas de saturation en eau.
- Pas d'emploi sur les zones de captage, sauf en cas de protection du sol (infiltration d'hydrocarbures et autres polluants).
- Pas d'emploi dans les secteurs avec salage hivernal fréquent (pollution des nappes phréatiques).
- Entretien de la couche superficielle impératif pour conserver la perméabilité.

Conclusion

L'emploi des pavages drainants reste réservé aux endroits à circulation limitée : parkings, voies résidentielles, centres commerciaux, places et rues piétonnes, pistes cyclables et trottoirs, accès et terrasses. Le principe des dalles engazonnées est peu adapté au climat méditerranéen (arrosage), où leur remplissage se fera plutôt avec du gravier ou du concassé.

Les revêtements drainants sont moins propices à la croissance d'herbes sauvages que le pavage classique, mais l'entretien superficiel est crucial pour le maintien de la perméabilité du complexe.

4.4. Les plaques de stabilisation des sols

- **Les plaques nidagravel**

Fabricant : Nidagravel <http://www.nidagravel.fr>

Ces plaques sont des nids d'abeilles extrudés constitués en polypropylène qui permettent de renforcer et de stabiliser les sols gravillonnés. Ces plaques de stabilisation doivent être posées directement sur le sol préparé. Elles sont ensuite remplies et recouvertes de graviers afin qu'elles soient invisibles.



nidagravel® 140

Dimensions des plaques : 240 cm x 120 cm x 40 mm
(Lg x L x H)
Diamètre des alvéoles : 49 mm
Poids plaque vide : 1,8 kg/m²
Couleur: blanc laiteux



Idéal pour la réalisation de parkings et d'allées d'accès à circulation fréquente de véhicules. Cette technique peut être utilisée pour les terrasses, les aires de jeux, les pistes cyclables



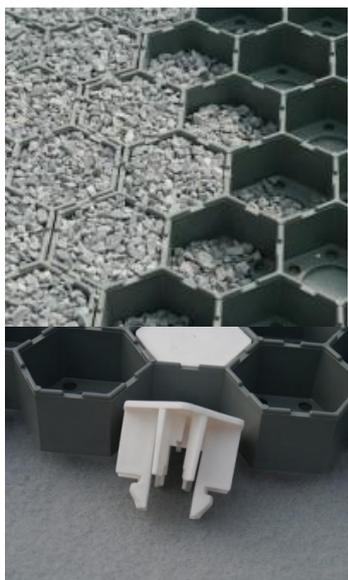
nidagravel® 130

Dimensions des plaques: 240 cm x 120 cm x 30 mm (Lg x L x H)
Diamètre des alvéoles : 49 mm
Poids plaque vide : 1,35 kg/m²

Idéal pour la réalisation de piétonniers, de terrasses et d'allées empruntées occasionnellement par des véhicules.

- **Dalles nids d'abeille stabilisatrices de graviers**

Fabricant : MCK Environnement www.permeaway.fr



Destinées au départ à être engazonnées, ces dalles alvéolées en plastique 100 % recyclé (et 100 % recyclable) sont tout à fait utilisables pour la stabilisation des graviers par simple remplissage des alvéoles hexagonales dans lesquelles ils demeurent naturellement.

Dimensions : 64 x 33 x 3,8 cm

Poids : 980 g

Matériaux : PEHD/PP recyclés

Résistance : 100 KN sur Ø de 20 cm (ZLB n° 2000 / 554 / LA)

Couleur : Gris pour remplissage graviers ou vert pour gazon.

Détail ci-contre : plots de délimitation de stationnement (optionnels).

Autres produits comparables :

- **ECORASTER®**, **ECOVEGETAL® MOUSSES**, **ECOVEGETAL® GREEN**,

- **ECOMINERAL® (Ecovégétal)**

www.ecovegetal.fr

- **RECYFIX® GREEN STANDARD (Hauraton)**

www.hauraton.com

• Inovgreen pour stabilisation des sols

Fabricant : www.inovgreen.com

Il s'agit de dalles en gazon avec un système d'attaches qui permet une pose rapide et une stabilité parfaite des dalles. Ce procédé est neutre pour l'environnement et a une durée de vie supérieure à 10 ans.

Emploi : espaces verts, centres équestres, parkings, toitures...



Absorption de l'eau de pluie :

Lorsque les dalles sont remplies de graviers ou de grenaille : par infiltration. Lorsqu'elles sont remplies de terre : par évaporation et absorption. Ces dalles offrent une alternative économique aux dalles de gazon en béton.

Avantages

- Résistance à la compression (charge de rupture) suivant ISO 844 plaque vide: environ 40 tonnes/m², plaque remplie: environ 400 t/m² pour nidagravel®140, et environ 300 t/m² (en fonction du type de granulats) pour nidagravel®130
- Peut être posé sur des pentes (jusqu'à 45%)
- Perméabilité/ capacités de drainage
- Absence d'entretien
- Absence de mauvaises herbes
- Stabilité de la couleur dans le temps
- Excellente résistance aux agents chimiques
- Le fond ouvert empêche l'enfoncement des dalles lors du passage de véhicules lourds
- Pose sans joints de dilatation grâce aux parois élastiques incurvées des dalles gazon qui absorbent la dilatation.

Inconvénients

- Certains sont sensibles aux UV (nidagravel) : importance d'un bon recouvrement en gravillons ou végétation
- Entretien (tonte, désherbage, arrosage)

- Occupation intermédiaire des parkings : le soleil doit pouvoir atteindre le sol, si plantations

4.5. Les sols engazonnés

- **Le macadam herbeux**

Entreprises locales de paysagistes



Il s'agit d'un mélange (perméable) de terre végétale et de gravier de diam. 2 - 64 mm, constitué d'une seule couche de mélange de 30 cm ou de deux couches respectivement de 30 cm de mélange et de 20 cm de support.

L'ensemencement avec des plantes fleuries résistantes est possible.

On recommande une capacité d'infiltration Kf de $1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Avantages

- Bonne insertion dans le paysage
- Bonne portance (pas d'orniérage)
- Très roulant
- Pas de séparateur d'hydrocarbures (infiltration et épuration par le sol)
- Disponibilité des matériaux locaux
- Interventions ultérieures pour travaux sur réseaux facilitées
- Arrosage selon essences d'herbe, normalement non nécessaire
- Infiltration des eaux pluviales
- Amélioration du microclimat (fraîcheur)
- Favorable pour la biodiversité

Inconvénients

- Problèmes de glissance dus à la présence de végétaux
- Contraintes d'entretien (tonte 2 à 3 fois/an)
- Coût relativement important, mais largement inférieur à celui d'un asphalte
- En région méditerranéenne, potentiellement aspect ingrat pendant l'été (herbe sèche)

4.6. Les sols stabilisés

On distingue :

- Les sols stabilisés mécaniquement (sans liant)
- Les sols stabilisés avec liant appelés également les stabilisés renforcés

Les sols stabilisés mécaniquement sont :

- Imperméables
- La plupart du temps de couleur claire
- Pulvérulents : à proscrire à proximité d'ouvrages infiltrant les eaux pluviales.

- **Les sols stabilisés mécaniquement**

Avantages

- Possibilité d'utilisation de granulats de carrières locales
- Remplacement du matériau aisé
- Généralement « souillé », le revêtement peut être recyclé en remblais
- Faible coût : Prix entre 6 et 10 € HT/m²

Inconvénients

- Tendance à envahir les espaces limitrophes (par exemple : projections blanches sur de l'enrobé).
- Pas de mise en place sur des terrains aux pentes au-delà de 5% : désordres dues au ruissellement
- Végétalisation, s'ils ne sont pas régulièrement piétinés : désherbage mécanique ou manuel nécessaire
- Vieillesse : dégradation de l'aspect du matériau (couleur, grisonnement, salissures)
- Faible perméabilité : apparition de flaques d'eau

- **Les sols stabilisés renforcés**

L'utilisation de liant améliore les propriétés mécaniques et augmente ainsi la portance du revêtement. Les liants peuvent être divers et variés : à base de sel (Balthazar), un hydraulique routier ou un liant à base de verre recyclé (Enverr'paq).

Avantages

- Confort satisfaisant pour les piétons, les vélos et les personnes à mobilités réduites (rejet de granulats en faible quantité)
- Meilleure résistance à l'érosion et aux agressions climatiques (gel/dégel)
- Bon confort de marche
- Acceptent des pentes allant jusqu'à 15 %
- Circulation automobile modérée et un usage piéton
- Choix des couleurs, mais certaines teintes très claires peuvent se révéler éblouissantes par temps ensoleillé

Inconvénients

- Ne convient pas pour les voies circulées par des poids lourds ou des tracteurs
- Plus onéreux que les stabilisés mécaniquement : entre 20 et 30 € HT le m²
- Lors d'une mise en œuvre manuelle dans des conditions climatiques défavorables ou sans temps de séchage suffisant : problèmes de fissures, de "déplaquage" ou de ravinement
- Vieillessement : Apparition de fissures pouvant par exemple être dues aux racines de végétaux et apparition d'herbes dans les fissures (sauf en cas de liant sel) : désherbage nécessaire
- Faible perméabilité : apparition de flaques d'eau et érosion des particules fines
- Stationnement accru : érosion des particules fines
- La durée de vie des sols en stabilisé renforcé est supérieure à celle du sable stabilisé mécaniquement, mais amoindrie lorsque le revêtement est utilisé en stationnement (notamment pour le Balthazar qui supporte mal le passage régulier de véhicules motorisés).

- **Le Baltazar**

Fabricant : JDM Diffusion www.jdm-amenagements.com/

Il s'agit d'une technique de revêtement écologique par cristallisation, qui mélange du sel et de l'eau à refus. Ce procédé permet d'obtenir un sol avec la stabilité d'un goudron, tout en conservant l'aspect gravillonneux. Il s'agit d'un compromis entre l'asphalte et le gravillonnage traditionnel, disponible dans une teinte jaune orangé.

Revêtement carrossable, le passage d'engins est autorisé.

Emploi essentiellement dans le domaine résidentiel (cours, allées).

Le tarif est d'environ 20 à 30 €/m² HT.



Avantages

- Excellente résistance mécanique autorisant le passage et la circulation d'engins motorisés.
- Stabilité assurée tout en conservant l'aspect naturel du gravillon
- Réintervention sans raccord visible (accès aux réseaux souterrains)
- Très grande rapidité et facilité de mise en œuvre du chantier
- Très grande facilité d'entretien. Confort.
- La présence de sel empêche l'herbe de pousser

Inconvénients

- Couche supérieure constitué de gravillon libre : lors de temps pluvieux, adhérence des gravillons, le revêtement devient collant
- Supporte mal le passage de véhicules : marques de pneus

- Sol imperméable
- La présence de sel laisse supposer que celui-ci migre peu à peu dans le sol (abrasion, pluie)

- **L'ENVERR' PAQ®**

Fabricant : ESPORTEC ECO-INDUSTRIEL

www.e-esportec.fr



Ce procédé est un stabilisé constitué à 90 % de granulats naturels ou de sable de béton recyclé renforcé par un ciment de verre (10 %) à grains libres en surface.

Le LIANT VERRE ECO'STABIL est issu du recyclage par micronisation des déchets ultimes de verre et des stocks de plus en plus importants de verre propre de différentes couleurs en mélange inutilisables dans l'industrie verrière (pare-brises, verre de déconstruction).

Emploi : allées, de squares, pistes forestières, équestres ou cyclables, voies de berges, plateformes, aires de jeux, aires de stationnement

Développement de trois types de prise, dont les deux premières se stabilisent au bout de 90 jours :

- hydraulique
- puzzolanique
- troisième prise spécifique inhérente au verre sodocalcique micronisé sur une durée de 2 à 3 ans conduisant à un accroissement progressif des résistances mécaniques et de la portance du revêtement stabilisé "renforcé" à base d'ECO'STABIL.

Avantages

- Propriétés d'auto-cicatrisation en présence d'eau dues à la formation de ces gels C-S-H (Silicate de Calcium Hydraté)
- Excellente résistance aux fortes pentes ainsi qu'aux inondations
- Pas de joints de dilatation
- Durée de vie supérieure à 10 ans (env. 21/22 ans)
- Conservation immédiate de la couleur naturelle du sable traité
- Revêtement recyclable à 100 %. Déchet inerte
- 5 fois moins de gaz à effets de serre que les ciments
- Produit fini sans toxicité vis-à-vis du personnel d'application ainsi que vis-à-vis de l'environnement
- Sans élément toxique susceptible de polluer les nappes phréatiques
- Certificat de conformité à la norme HQE
- La mise en œuvre à froid permet des rendements importants

Inconvénients

- L'application de fin d'automne et hivernale est interdite.
- Localement, rejets en surface possibles. Prévoir balayage.

Sur le même principe, l'entreprise commercialise les produits **D'ECOVERR®** et **STABIPAQ®**.

Autre produit incorporant du verre recyclé ECO'STABIL: **VEGECLAIR (Colas)**, **FILTERPAVE™**

4.7. Les sols à base de résine

La résine utilisée en marquage au sol est un revêtement décoratif prisé en aménagements urbains afin de mettre en évidence ou en valeur des espaces (piétons, stationnements, voies cyclables...).

La résine est un liant synthétique ou végétal pouvant être translucide ou coloré suivant une vaste palette de couleurs. Elle peut être utilisée comme telle (aspect de peinture) ou bien avec ajout de granulats de tailles et couleurs variées. L'application s'effectue sur un revêtement propre, sec et lisse, majoritairement sur de l'enrobé.

Avantages

- Rugosité à cause des granulats : qualités antidérapantes (p.ex. bandes fines sur du bois)
- Grande variété des traitements
- Remplacement et réparation du matériau aisés et rapides

Inconvénients

- Faible pérennité
- Homogénéité d'aspect de grandes surfaces
- Dégradation dans le temps :
 - Tâches : plus la résine est claire, plus elle est sensible aux taches (traces de pneus, hydrocarbures...)
 - Couleur : elle se ternit avec le temps et les usages
 - Rugosité : accumulation de particules fines de types poussières lui faisant perdre légèrement sa rugosité
 - Arrachage : granulats qui se désolidarisent du liant selon les usages
- Durée de vie faible (env. 10 ans)
- Recyclage : La résine, liant synthétique, doit être traitée dans des centres adaptés.

• Résines drainantes

L'aspect est relativement différent des résines sur enrobé, car le matériau est coulé comme un béton classique avec une texture des graviers qui donne un aspect plus naturel. Elle est recyclable.

La résine drainante est un produit écologique, respectueux de l'environnement : il est mis en place à froid (pas d'émission de CO₂), sans solvant. De plus, il permet de diminuer les surfaces imperméables d'un site (facilité de gestion des eaux pluviales).

• L'Hydro'way

Fabricant : JDM Diffusion www.jdm-amenagements.com/

Il se pose en réhabilitation sur des supports existants (enrobé asphalte, carrelage, structure métallique), mais aussi sur des supports neufs (dalles béton, préfabriqué béton, béton drainant, enrobé drainant, ...).

La particularité de ce revêtement est sa perméabilité. Il s'agit d'un système qui enrobe des granulats avec une résine incolore et ces derniers sont posés comme une chape suivant des épaisseurs différentes :

- 1.5 cm sur une dalle béton existante
- 3 cm pour une terrasse ou un accès piéton
- 5 cm pour une voie carrossable



Emploi surtout en milieu résidentiel : plages de piscines, cours, terrasses, ...

Le tarif est d'environ 30 €/m² HT.

Avantages

- L'écoulement des eaux est permis grâce à la porosité et la perméabilité de l'Hydro Way Flex® et à la pente naturelle du support imperméable
- Excellente résistance aux intempéries (neige, gel, canicule, ...)
- Qualité acoustique et confort de marche
- Faible température en surface, même par temps chaud (structure poreuse)
- Absence de rétention d'eau (absence de mousse)
- Facilité d'entretien
- Différentes couleurs qui permettent de réaliser des motifs géométriques

Inconvénients

- L'herbe peut pousser à travers le revêtement
- Formation de mousse en saison humide constatée par utilisateurs (humidité de l'air)

• L'Hydro'way Flex

Pour la rénovation de revêtements existants, mais se pose également sur supports neufs, les deux étant généralement imperméables. L'intérêt se situe alors plutôt au niveau de l'affaiblissement acoustique et du confort lié à sa souplesse. Les structures alvéolaires de stabilisation des sols

Autres produits comparables :

- **TERRAWAY (PRO URBA)** www.pourba.com
- **W-DRAIN, DRAIN FLEX 400 (Geochem)** www.geochem.fr
- **RESIDRAIN (RCF)** Base : résine époxy www.rcf-sol-resine.com
- **RESIMARBRE (RCF)** Base : résine polyuréthane
- **AL-DECO (Allées-Création)** www.allees-creations.fr

• Le BLT 0/6

Fabricant : MCK Environnement www.permeaway.fr

Le revêtement stabilisé que constitue le BLT 0/6 est une alternative moins onéreuse que les graviers agglomérés dans une matrice résine époxy perméable. Il s'agit d'un calcaire urgonien de granulométrie 0/6 mm, totalement naturel de couleur ocre jaune.

Après épandage en couche de 6 cm sur un support préalablement préparé, il reçoit un traitement chimique naturel puis est fortement compacté. Il acquiert alors une très grande cohésion.



Avantages

- Revêtement à l'aspect naturel perméable à l'air et à l'eau (4.000 litres d'eau par heure et par mètre carré)
- Grand choix de minéraux possible pour la meilleure intégration possible au paysage
- Performances mécaniques élevées
- Accepte des pentes jusqu'à 45°
- Absence presque totale d'entretien (l'herbe ne peut pas s'y développer)
- Suppression des flaques d'eau
- Revêtement propre, suppression des poussières
- Revêtement confortable (l'aération naturelle limite son absorption de chaleur)
- Qualités acoustiques (absorbe une partie des nuisances sonores)
- Revêtement écologique (le liant PERMEAWAY® est non toxique et sans solvants. Il ne représente que 4 à 5 % du poids total du revêtement)

Inconvénients

- Voir généralités résines

Produits du fabricant :

PERMEAWAY URBAIN, PERMEAWAY SUN, PERMEAWAY ARCHI selon type de marché.

• Le BIOPHALT

Fabricant : Eiffage Travaux Publics

www.eiffagetravauxpublics.com



BIOPHALT® est un **liant végétal** clair destiné à l'enrobage, obtenu à partir de dérivés du pin et en particulier de sous-produits de l'industrie du papier.

Son aspect translucide met en valeur la couleur naturelle des granulats pour une meilleure intégration dans l'environnement. Mais il peut aussi être teinté avec divers pigments pour fournir une large palette de couleurs.

Il peut être utilisé pour fabriquer tous types d'enrobés de surface d'épaisseur généralement comprise entre 2 et 5 cm et une granularité de 0/4 à 0/10.

La fabrication du liant BIOPHALT® utilise un procédé de mélange qui s'apparente à celui des bitumes polymères. Les températures minimales d'enrobage et d'épandage sont cependant légèrement inférieures (respectivement 130 et 115 °C).

Les composants sont dérivés de l'industrie du pin et en particulier de la poix, résidus de la distillation du tall oil, très peu valorisée aujourd'hui dans l'industrie.

Emploi pour trafic léger, pistes cyclables, piétonnières (Classe T0)

- **Le Résidrain**

Fabricant :RCF www.rcf-sol-resine.com

Résidrain est une composition haute technologie de résines végétales et de minéraux permettant au support d'absorber l'eau, évitant ainsi tout phénomène de ruissellement et de stagnation.

Composition : 24 couleurs de Minéraux roulés ou concassés, 5 granulométries, Résine Epoxy et / ou végétale

Emploi : parkings, voies d'accès, terrasses, plages de piscine (trafic léger)



Avantages

- Sans entretien
- Totalemment perméable (3000 L / h / m²)
- Gravillons naturels de minéraux, Nombreuse possibilités de décor.
- Grand choix de granulés

Le fabricant Geochem (www.geochem.fr) propose également toute une série de produits drainants à base de résine : **W Drain, Stone fix, Sand Cover, Drain Flex 400** et des revêtements souples drainants : **Flexy Way, Flexy Game**

Conclusion

Le sols en résine offrent une large gamme de produits, dont ceux avec des capacités drainantes sont à privilégier. Elles permettent un traitement d'aspect relativement naturel avec les avantages d'un sol lié. La fragilité du revêtement permet dans certains cas le passage de végétaux, ce qui contribue à un vieillissement anticipé

4.8. Les bétons drainants

- **Le HydromediaTM**

Fabricant : Lafarge www.lafarge.fr

Le béton HydromediaTM est un béton drainant de haute efficacité proposant une solution performante pour la gestion des eaux pluviales. C'est un produit à la fois esthétique et résistant. Utilisant une nouvelle technologie, ce béton permet de garantir un niveau de perméabilité pouvant atteindre 50 L/m²/sec., ou une vitesse de percolation pouvant aller jusqu'à 5 cm/ sec., tout en facilitant sa mise en œuvre.

Emploi : parkings, allées et zones pour véhicules légers, allées résidentielles, zones commerciales.



Avantages : excellente perméabilité

Inconvénients : relative fragilité, trafic léger seul

Autres produits comparables : **FILTERPAVE™** (www.filterpave.de)

- **Le Greenflex**

Fabricant : SCREG

www.screg.fr



Béton bitumineux drainant, fabriqué à chaud ou à froid, de granulométrie 0/6 à 0/20, présentant un vide d'environ 35 %, recevant ensuite un coulis végétal ensemencé de graines de gazon.

La solution Greenflex® consiste à mettre en œuvre un enrobé bitumineux poreux et à en remplir les porosités par un coulis terreux dans lequel on fait pousser du gazon qui se tond normalement, l'enrobé se couvrant alors d'une véritable chevelure verte !

Emploi : parcs de stationnement, pistes de jogging, chemins de golf, de randonnées, parcs d'agrément, jardins publics, remplissage de terres pleines centraux entre voies urbaines, aires d'héliport, voies pompiers ainsi que l'engazonnement entre rails de tramway.

Avantages

- Bonne insertion dans le paysage.

Inconvénients

- Problèmes de glissance dus à la présence de végétaux.
- Contraintes d'entretien (tonte 2 à 3 fois/an).
- En région méditerranéenne, potentiellement aspect ingrat pendant l'été (herbe sèche).

5. LES REVETEMENTS ROUTIERS

- **Le Végécol**

Fabricant : Colas www.colas.com

Il s'agit d'un liant fabriqué à partir de matières premières végétales renouvelables. Ayant une température de fabrication peu élevée, il favorise les économies d'énergie tout en diminuant l'émission de gaz à effet de serre.

Avantages

- Transparence : Mise en valeur de la couleur naturelle des granulats
- Bonne maniabilité à température plus basse que celle des enrobés bitumineux (-40°C)
- Module de rigidité adaptable au domaine d'emploi
- Résistance élevée à l'orniérage, si besoin
- Très forte résistance à la fatigue
- Résistance élevée aux déversements accidentels d'hydrocarbures
- Caractéristiques de surface supérieures ou égales à celles des enrobés bitumineux de même catégorie
- Exempt de produits pétroliers
- Souplesse : réparation sans joints
- Entretien aisé

Inconvénients

- Besoin d'entretien local

Emploi : revêtement routier et urbain, même pour fort trafic.

Le prix est d'environ 50 €/m² HT.



- **Les enrobés EFEME (Enrobés à forte économie de matériaux et d'énergie)**

Fabricant : Eiffage Travaux Publics www.eiffagetravauxpublics.com

Enrobés à Forte Economie de Matériaux et d'Énergie réalisés par Eiffage Travaux Publics, ils permettent de mettre en œuvre des enrobés de type semi-tièdes (température d'enrobage inférieure à 100°C) en y intégrant un très fort taux d'agrégats d'enrobés recyclés (de 30 % à 60 %). Ils allient la préservation des ressources naturelles à l'économie d'énergie lors de leur fabrication. Ces enrobés sont réalisables dans des centrales mobiles les rendant ainsi adaptés à de gros chantiers.

Cette technique innovante, sélectionnée lors de l'appel à projets d'innovation routière relancé en 2007, est actuellement en phase d'expérimentation sur plusieurs tronçons de route. Les retours d'expérience ne sont pas encore publiés.

Avantages

- Utilisation de matériaux recyclés
- Emploi en grande centrale
- Economies de matière et d'énergie

Inconvénients

- *Retour d'expérience à venir*

- **Le STGV**

Fabricant : Eiffage Travaux Publics www.eiffagetravauxpublics.com

Béton bitumineux très mince (BBTM) "Semi Tiède" mis en œuvre à Grande Vitesse réalisé, lui aussi, par Eiffage Travaux Publics, sa température est inférieure à 100°C, et il a la particularité de pouvoir être mis en œuvre à une cadence très élevée. Il permet des économies d'énergie lors de sa fabrication et offre des perspectives de chantiers "furtifs".

Avantages

- Rapidité d'exécution : réduction de l'impact des chantiers sur les riverains
- Economies de matière et d'énergie

Inconvénients

- Retour d'expérience à venir

• Le Lumichape

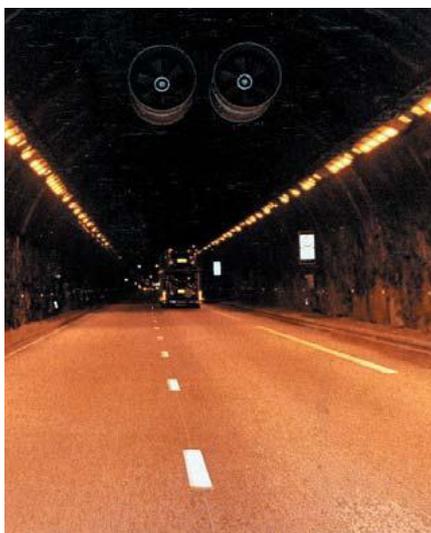
Fabricant : Eiffage Travaux Publics

www.eiffagetravauxpublics.com

LUMICHAPE®, un béton clair, qui couvre le domaine d'emploi des bétons bitumineux très minces (BBTM).

Compte tenu de ses performances photométriques, il est plus particulièrement adapté au traitement des voies où l'on souhaite améliorer la visibilité de la route ou réaliser des économies d'éclairage :

- voiries urbaines,
- tunnels,
- échangeurs,
- pistes cyclables,
- voiries particulières (tourne à gauche, ...)



L'enrobé est un béton bitumineux très mince (BBTM) 0/6 ou 0/10 dans lequel une partie des matériaux est remplacée par des granulats blancs.

Selon le type de sollicitations, le liant est un bitume pur ou un bitume modifié.

Le cloutage fait appel à des granulats blancs de granularité faible (≤ 3 mm) répandus à raison d'environ 1 kg/m².

Les granulats blancs sont obtenus par calcination à 1600°C de galets de mer en silex. Ils offrent une très bonne microtexture (PSV > 0,55).

Avantages

- Très bonne visibilité
- Economies d'énergie.

Inconvénients

- Risque d'éblouissement lors de journées très ensoleillées

6. CONCLUSION

Les revêtements alternatifs au goudron présentés dans ce document ont l'avantage de limiter l'énergie nécessaire à la mise en œuvre d'un revêtement extérieur, voire la suppression des produits pétroliers dans leur fabrication, et dans certains cas de permettre la perméabilité du sol. Ils ne sont généralement pas adaptés à la circulation de véhicules lourds, à exception des revêtements à base de bitume ou de béton.

L'emploi de revêtements drainants devrait se généraliser pour toutes les surfaces à trafic léger, et dans la mesure du possible, pour les sollicitations plus intenses. La large gamme de produits disponibles permet aux collectivités ainsi qu'aux particuliers de trouver une réponse adaptée aux contraintes du site, d'usage, esthétiques et économiques.

Les revêtements "du futur"

Les matières premières d'origine pétrolière et les granulats de carrière qui sont des ressources épuisables sont progressivement remplacées par des matières premières renouvelables, par des sous-produits industriels et par des matières recyclées, ce qui ouvre de nouvelles possibilités notamment pour les revêtements à trafic intense.

Des liants végétaux remplacent les liants synthétiques et sont déjà employés dans plusieurs résines. Comme pour les bio-carburants, ces procédés auront toutefois un impact direct sur l'exploitation des terres agricoles disponibles, ceci à l'échelle mondiale.

D'autres pistes concernant l'utilisation de matériaux recyclés, et confèrent de nouvelles propriétés aux revêtements : outre l'intégration du **verre recyclé**, les industriels ont développé l'enrobé à base de **pneus recyclés**, beaucoup moins utilisé, mais remarquable pour sa souplesse. Il peut être intéressant là où les piétons sont nombreux, mais reste relativement cher. Incorporée dans le bitume ou associés aux enrobés, la poudrette de pneu usagée permet d'améliorer les caractéristiques acoustiques de l'enrobé ainsi que sa résistance à la fissuration lors du gel et du dégel. De même, elle favorise l'adhérence des véhicules.

On peut également intégrer dans ces enrobés les **fibres textiles issues du pneu**, après nettoyage et traitement de celles-ci. Il en résulte que l'incorporation des fibres traitées permet d'améliorer de 20 % la résistance à la fatigue du revêtement, entraînant ainsi une augmentation de la durée de vie de l'enrobé de plusieurs années (*Études Aliapur, Ademe, PR Industrie, RINCENT BTP - 2005*).

La **poudre de tuiles broyées**, (crushed tile dust (CTD)) est un produit qui pourrait être utilisé en remplacement du ciment Portland selon différentes quantités.

Des déchets organiques peuvent également contribuer à améliorer les caractéristiques des revêtements : au Japon, Minebea développe une substance nommée céramique de polissage de riz, habituellement peu valorisée. Incorporée dans une résine époxy, elle forme une substance très solide, granuleuse, légère, résistante à l'abrasion et poreuse. Dans un revêtement routier, elle réduit en outre l'impact sonore de 25 %. La dilatation thermique est extrêmement faible (risque de fissuration réduit).

Le développement des **revêtements de sol dépolluants** alliant la résistance du béton ou de l'asphalte aux propriétés photocatalytiques du dioxyde de titane (transformation des dioxydes d'azote en nitrates) est en plein essor. Des études sur l'impact sanitaire et environnemental de ces procédés sont en cours.

D'autres expériences portent sur des **procédés biologiques**, impliquant des bactéries, avec des routes construites en « sandstone », en silice sans liant artificiel, telle une termitière.

7. BIBLIOGRAPHIE

- **Fiches techniques** sur les sites des fabricants

> Sites internet

- **Batiproduits** : <http://produits-btp.batiproduits.com>
- www.lemoniteurexpert.com/btp/transports_infrastructures/ministere_relance_experimentation_sur_chantiers.htm
- www.setra.equipement.gouv.fr
- www.aliapur.fr/RD-valorisation/applications/enrobes-routiers
- www.juragricole.com/news/archivestory.php/aid/9767/Recycler_les_pneus_usag_E9s.html
- www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipdgmt/pdf/3_Choix_techniques_cle5f215f.pdf
- www.coloco.org/fichiers/_guidealternative_47871_guidealt.pdf

> Guides/revues

- **Guide pratique pour la conception durable des espaces publics des quartiers durables et fiches matériaux**, Bruxelles Environnement
- **Schotterrasen. Parken im Grünen**. Brochure du projet européen Green Concrete.
- **A vélo sur des revêtements durables**, in : Ville et vélo, n° 32, mars/avril 2008
- Recueil de la journée technique nationale Ademe du 16 octobre 2007 : « **Valorisation des fibres textiles issues du broyage de pneumatiques usagés dans les enrobés** »
- **Guide des matériaux de revêtement et du petit mobilier urbain relatifs à l'espace public**, fiches n°2 et 4, Syndicat Mixte d'Action pour l'Expansion de la Gâtine
- **Guide des alternatives au désherbage chimique**, 2005, coloco.org
- **Etude de marché des produits de traitement pulvérulents pour l'amélioration des sols**, Armenti Yannick et Bruant Etienne, Ecole des Mines de Douai 2011
- **La photocatalyse au CRR: la route qui purifie l'air**, Centre de recherches routières, www.brrc.be
- **Info-fiches quartiers durables et éco-construction**, Bruxelles Environnement
- **Synthèse des revêtements sur Voies Vertes**, Direction Générale des Infrastructures et de l'aménagement du Morbihan
- **Revêtements de surface poreux**, info-fiche n° 01 du Grand Lyon
- **Véloroutes et voies vertes**, fiche n°3, divers ministères du gouvernement français