

SESSION
4.4

Les chaussées réservoir



4.4 Les chaussées réservoir

LES EFFETS DE L'URBANISATION SUR LE CYCLE NATUREL DE L'EAU

- L'urbanisation imperméabilise les sols naturels

Ceci entraîne :

- Une augmentation du ruissellement au détriment de l'infiltration naturelle

- Conséquences par temps de pluie :

- Des inondations plus fréquentes, une surcharge épisodique de réseaux
- Une pollution, par lessivage, des milieux récepteurs



4.4 Les chaussées réservoir

LES EFFETS DE LA VOIRIE URBAINE

Autres effets néfastes ajoutés par la voirie urbaine

- Les techniques traditionnelles de chaussées et trottoirs privilégient l'imperméabilisation des sols par le recours à des revêtements de chaussées étanches
- La morphologie classique des chaussées (**profil en toit, bordures, caniveaux, avaloirs et leur raccordement direct aux réseaux**) est conçue pour favoriser l'évacuation rapide des eaux de ruissellement



4.4 Les chaussées réservoir

LES EFFETS DE LA VOIRIE URBAINE

Effets de la création de nouvelles voiries imperméables

- **Sur le plan hydraulique**

Réduit le temps de concentration ou de réponse des bassins versants et désenclave les zones antérieurement inactives

- **Sur le plan pollution**

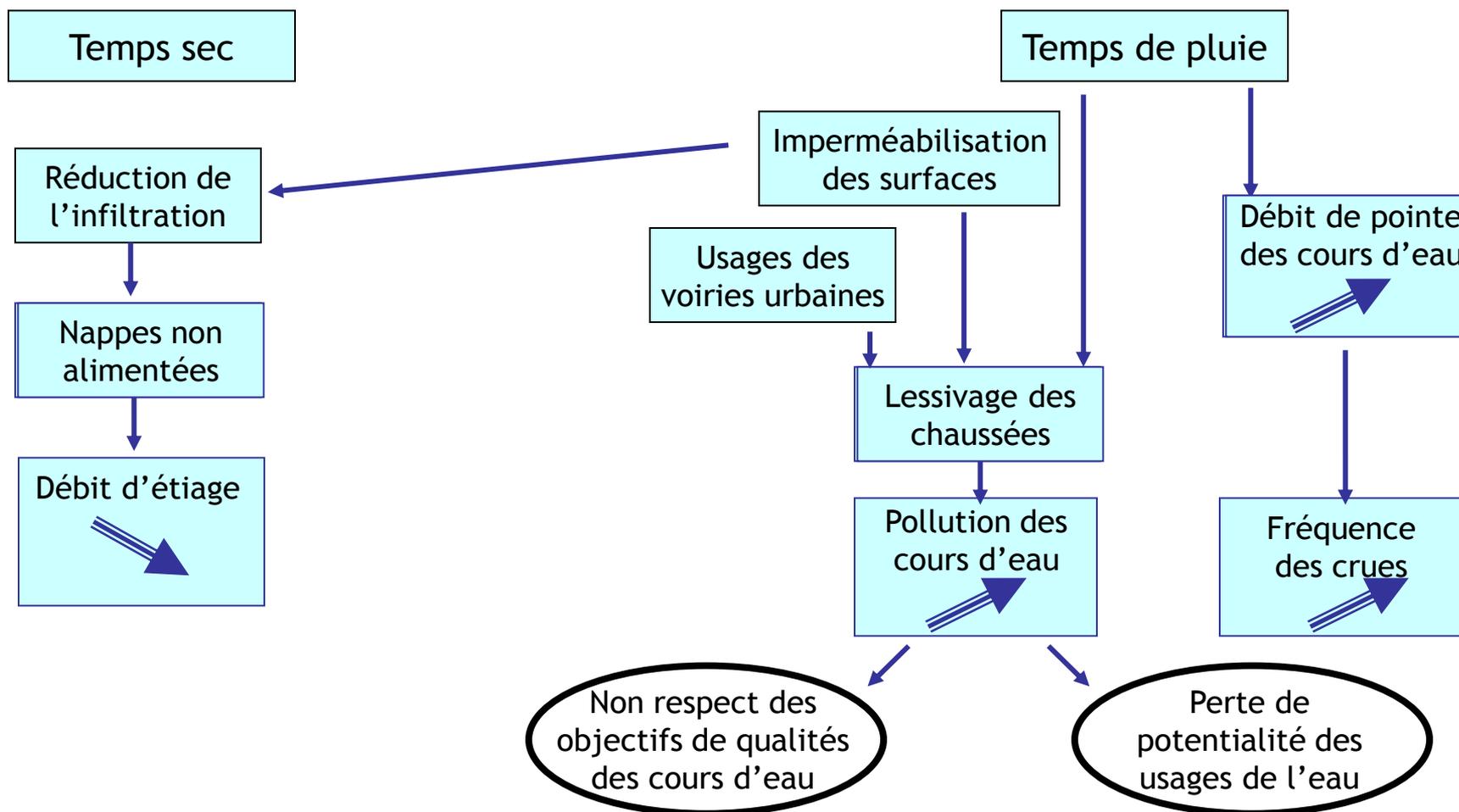
Rassemble les dépôts fortement pollués provenant :

- Du **trafic automobile** : gaz d'échappement, corrosion et usure des automobiles, usure des pneus
- De la **voirie** : usure des glissières métalliques, usure de la chaussée



4.4 Les chaussées réservoir

INFLUENCE DE L'URBANISATION ET DES VOIRIES URBAINES SUR LE CYCLE DE L'EAU



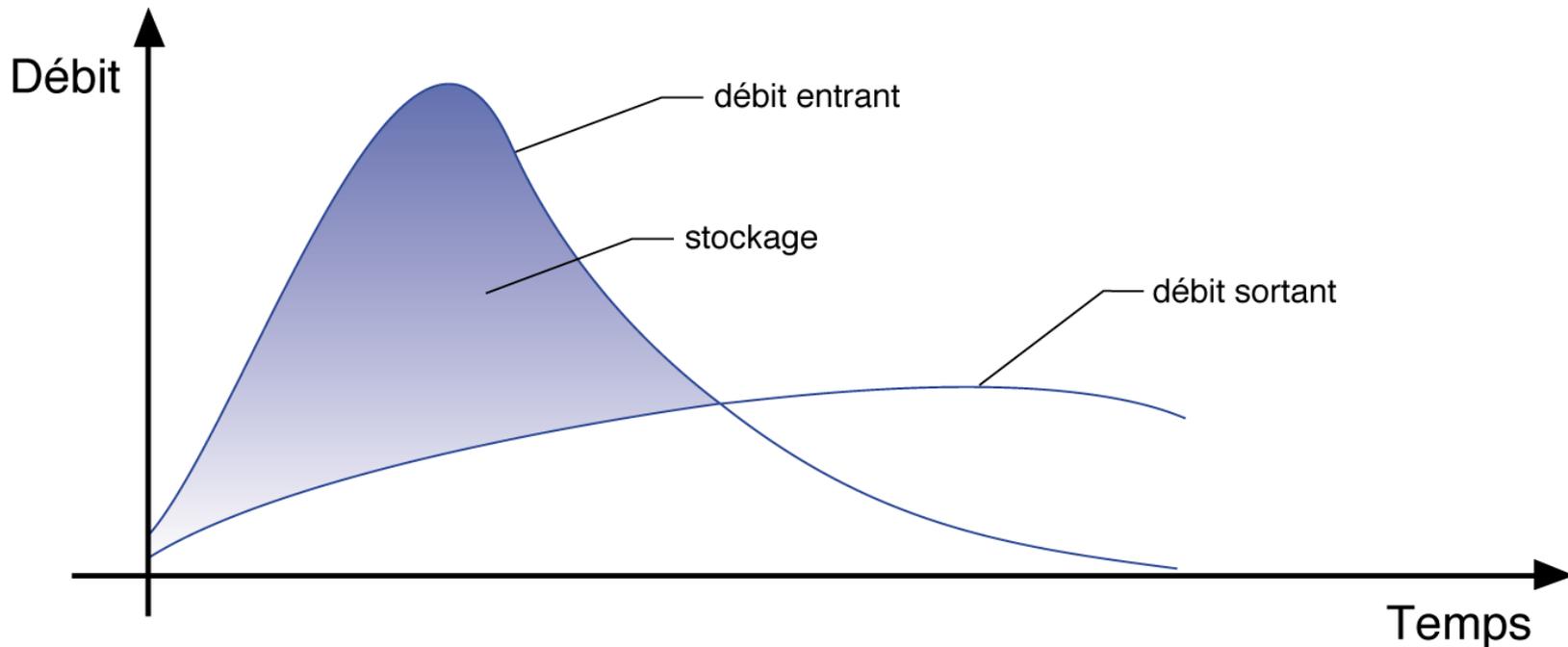
4.4 Les chaussées réservoir

LE STOCKAGE TEMPORAIRE

L'extension urbaine se fait de plus en plus **en amont des bassins versants**

Impact par temps de pluie : se produit **en aval, dans les points bas en bordure des rivières**

Solution : créer des stockages provisoires



4.4 Les chaussées réservoir

LA SOLUTION DE CHAUSSÉE À STRUCTURE RÉSERVOIR

Le premier bassin de rétention possible est la **chaussée à structure réservoir**

Cette chaussée a **3 fonctions** :

- Le recueil de l'eau
- Le stockage temporaire
- La régulation des débits



4.4 Les chaussées réservoir

QU'EST CE QU'UNE CHAUSSÉE À STRUCTURE RÉSERVOIR ?

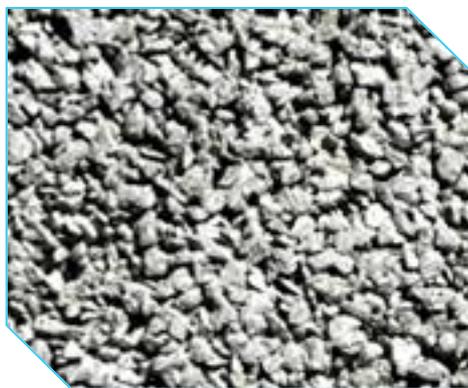
Chaussée dont au moins une couche du corps de chaussée est constituée d'un **matériau poreux ou drainant** dont le taux de vides communicants (porosité utile) est supérieur à 15 %, l'épaisseur de cette couche étant supérieure à **10 cm**.

Plus généralement, une chaussée réservoir peut satisfaire aux exigences du nouveau concept de **chaussée ou aire de circulation multifonction**

Multifonction : outre les qualités de base essentielles d'une chaussée (durabilité, sécurité, confort, économie)

En PLUS : esthétique, ambiance, propreté, sécurité perçue...

En MOINS : nuisances, pollution, congestion, gêne de toute nature...



Béton poreux



Béton drainant

4.4 Les chaussées réservoir

RÔLE D'UNE CHAUSSÉE RÉSERVOIR

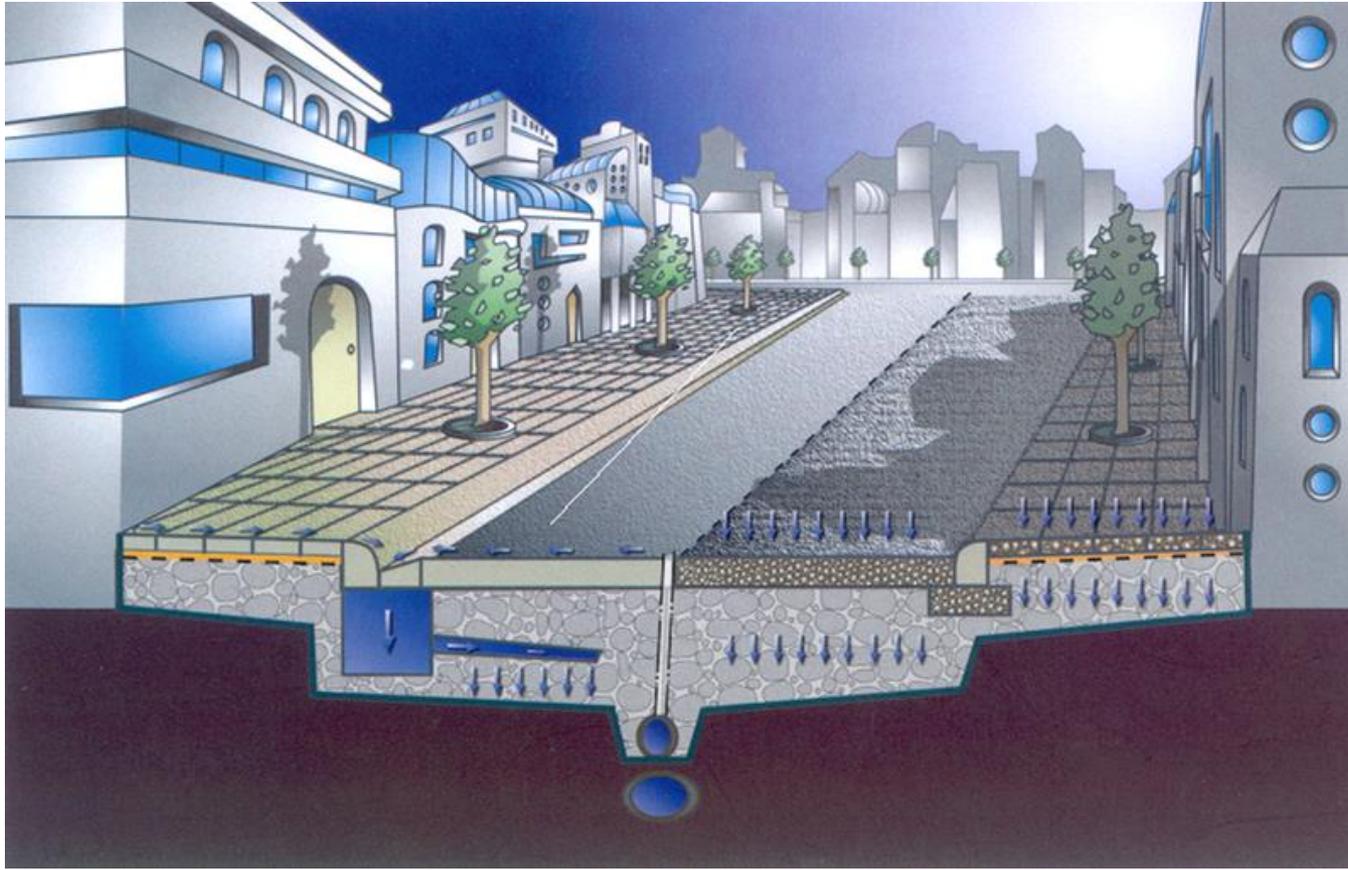
Fonction première :

Gérer le cycle de l'eau des précipitations en milieu urbain :

- En absorbant rapidement le flux des eaux atmosphériques
- En stockant temporairement l'eau
- En restituant l'eau à un débit suffisamment faible pour être absorbée :
 - soit par un collecteur existant
 - soit directement par le sol
 - soit par un dispositif de traitement

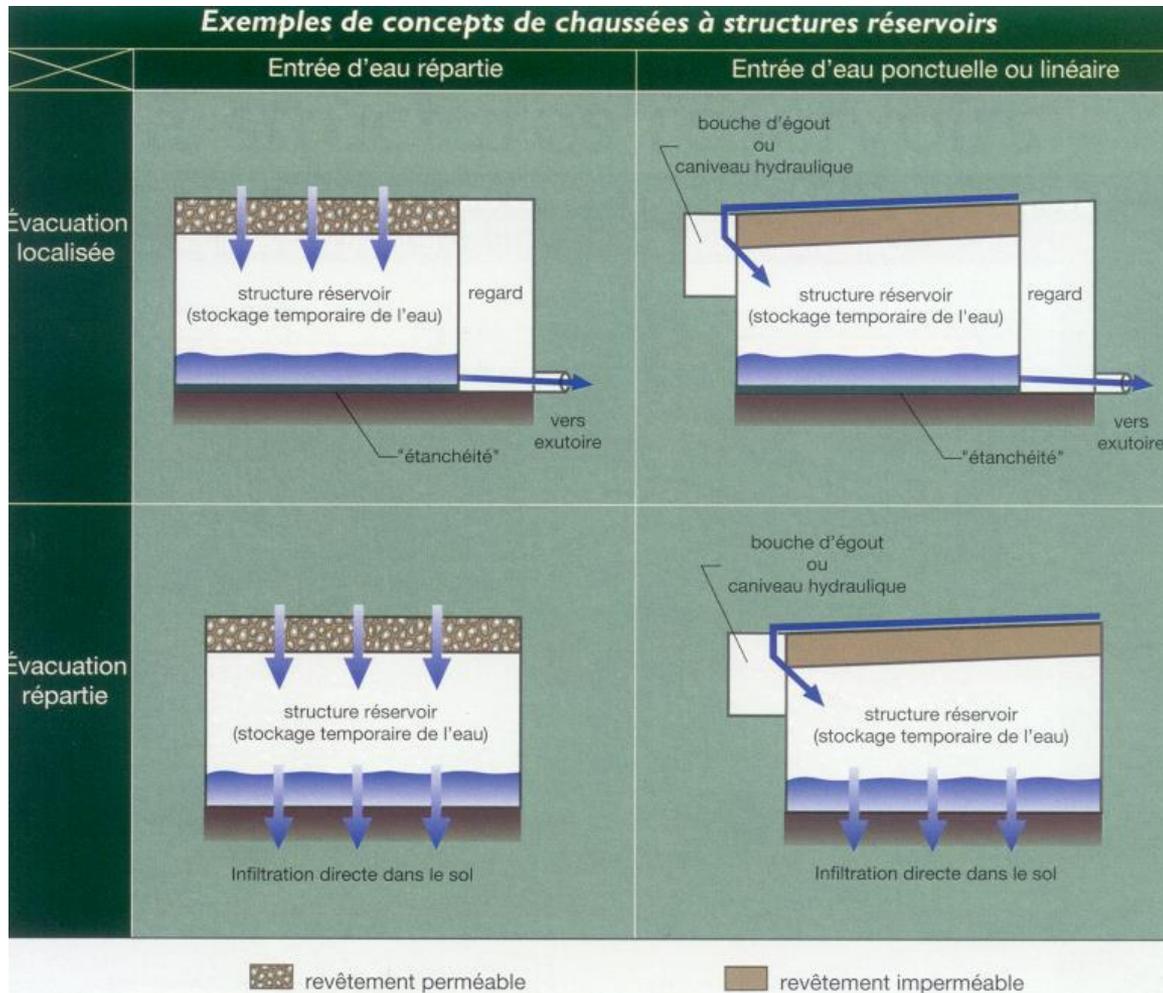
4.4 Les chaussées réservoir

CONCEPTION DE LA CHAUSSÉE RÉSERVOIR



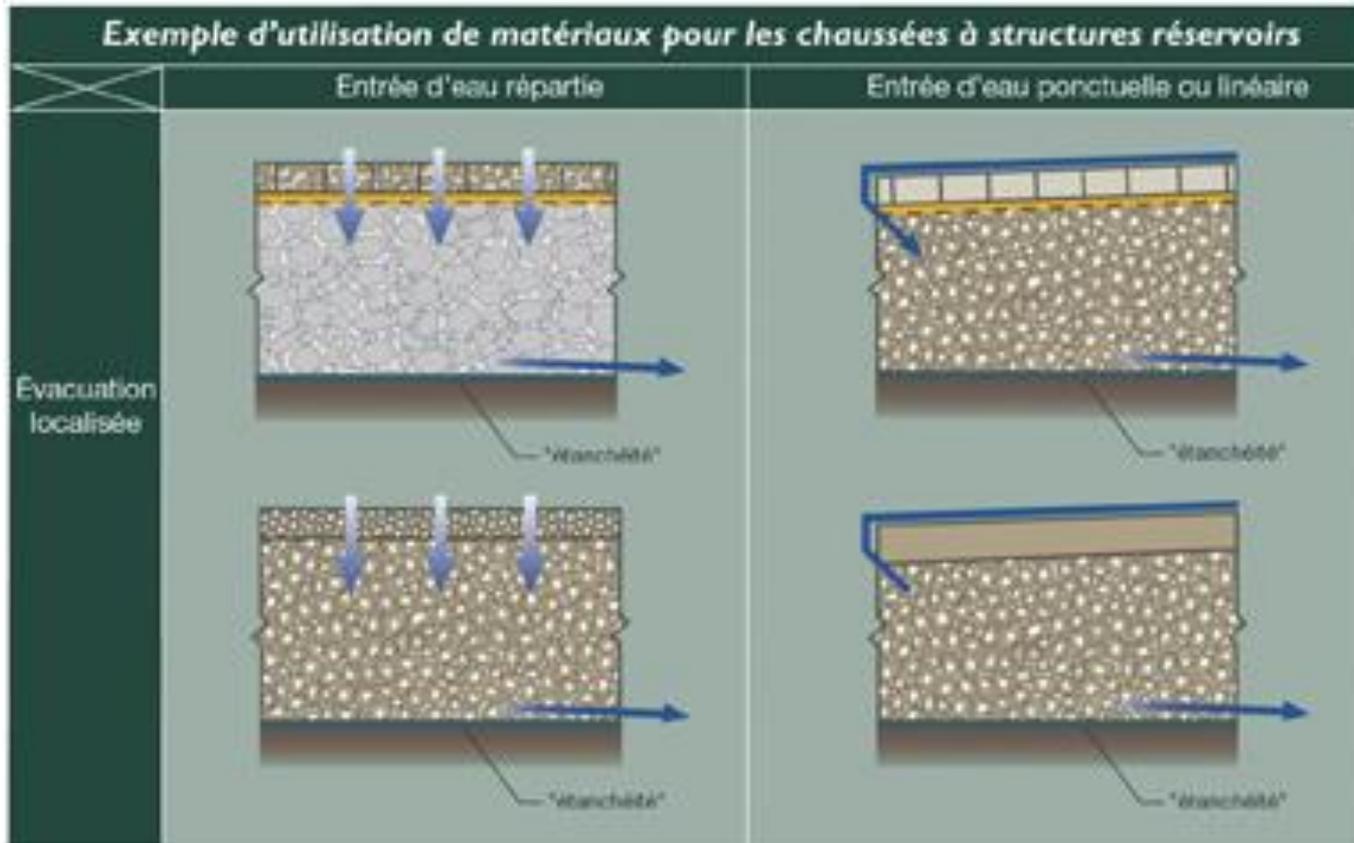
4.4 Les chaussées réservoir

LES QUATRE CONCEPTS



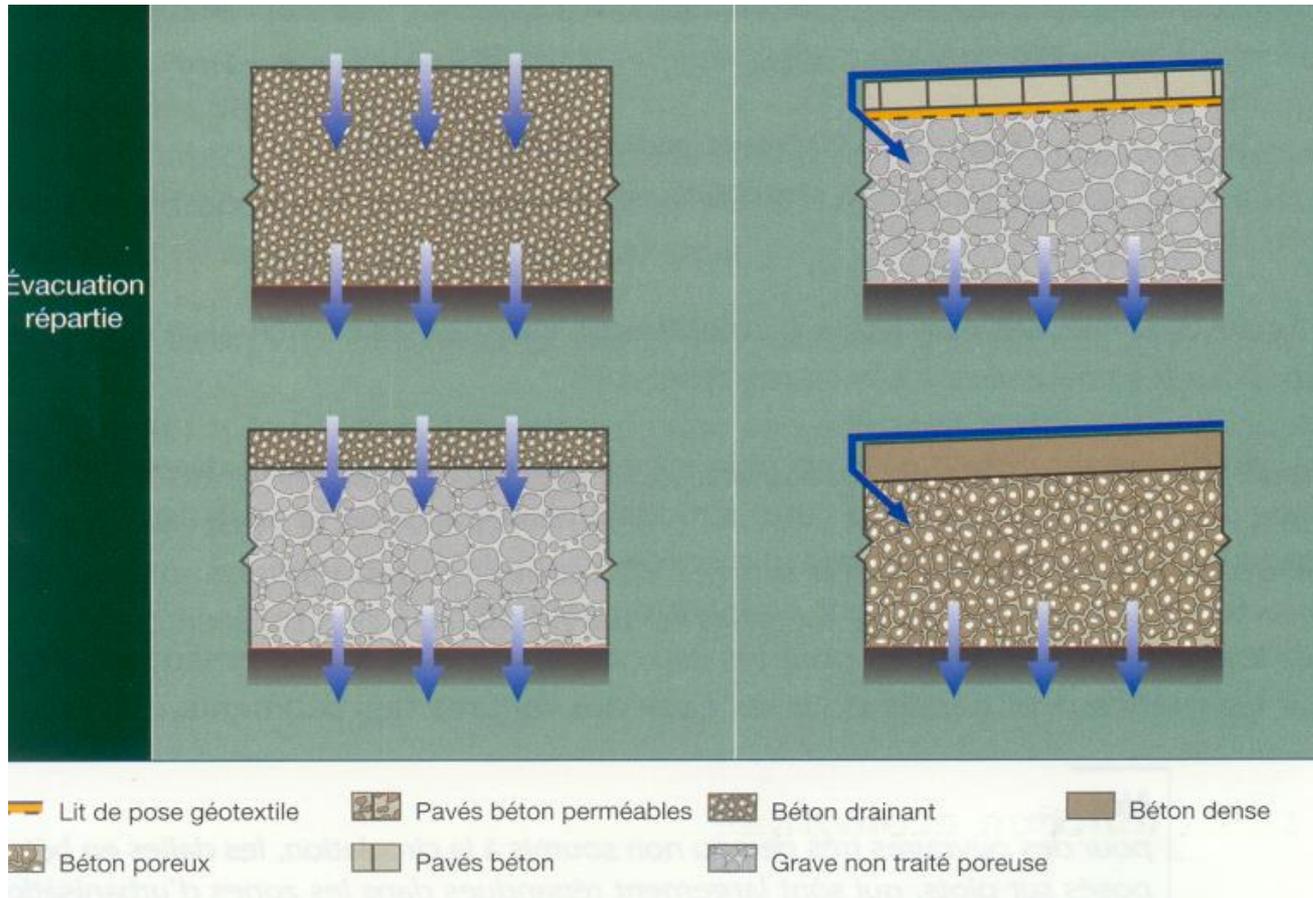
4.4 Les chaussées réservoir

LES MATÉRIAUX



4.4 Les chaussées réservoir

LES MATÉRIAUX



4.4 Les chaussées réservoir

INTÉRÊT DES CHAUSSÉES RÉSERVOIR

Par temps de pluie

- En piégeant les polluants, les structures **limitent l'effet de lessivage des chaussées**, et par conséquent la pollution des cours d'eau
- En créant des stockages, les structures **régulent le débit instantané des cours d'eau** et contribuent à **réduire la fréquence des crues**

Par temps sec

- En laissant s'infiltrer les eaux de ruissellement stockées, ces structures permettent de **réalimenter les nappes** et de **pondérer les débits d'étiage**

4.4 Les chaussées réservoir

INTÉRÊT DES CHAUSSÉES RÉSERVOIR

Par expérience, on constate une diminution significative de la pollution

Explications

- Rôle de filtre des différentes couches poreuses
- Possibilités de **décantation** dues à la faible vitesse des écoulements
- **Infiltration** éventuelle dans le sol sous-jacent

Constats des abattements sur les concentrations

	DCO	MES	Pb
Parking commercial à Bordeaux	89 %	50 %	93 %
Avenue à Paris	54 %	70 %	78 %

4.4 Les chaussées réservoir

PIÉGEAGE DE LA POLLUTION

Se fait de 2 façons :

- **Soit dans le revêtement**, si la couche de roulement est drainante
 - **Le colmatage** progressif améliore le piégeage
 - La limitation de la fonction hydraulique nécessite des **interventions d'entretien**
- **Soit dans l'environnement du drain de distribution** et du fond de la structure pour un revêtement étanche

Nota

Le risque de contamination des sols n'existe pas lorsque l'évacuation est prévue uniquement par infiltration (solution autorisée si la nappe n'est pas vulnérable)

4.4 Les chaussées réservoir

LE DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSÉE RÉSERVOIR

3 possibilités

- **Le dimensionnement géométrique**
 - Le concept fixé, les longueurs/largeurs/profils en long/profils en travers vont permettre de calculer la surface « S » disponible pour le stockage de l'eau
- **Le dimensionnement hydraulique**
 - Après délimitation des bassins versants et détermination des surfaces d'apport d'eau pluviale, on calcule le volume d'eau « V_{hyd} » à stocker
- **Le dimensionnement mécanique**
 - Avec les caractéristiques mécaniques des matériaux choisis (*drainant ou non pour le revêtement, et poreux pour l'assise*), on calcule une épaisseur de structure de chaussée (*épaisseur du revêtement + épaisseur de l'assise*)

4.4 Les chaussées réservoir

SYNTHÈSE DES TROIS DIMENSIONNEMENTS

- En fonction de la porosité des matériaux choisis, **on calcule le volume stockable** « $V_{\text{méc}}$ » à partir de la surface « S » et des épaisseurs des couches (*revêtement et assise*) du dimensionnement mécanique
- **On compare ensuite $V_{\text{méc}}$ et V_{hyd}**
 - Si $V_{\text{méc}}$ est supérieur ou égal à V_{hyd} , on retiendra le dimensionnement mécanique
 - Si $V_{\text{méc}}$ est inférieur à V_{hyd} , on reprend les calculs en intervenant sur la porosité des matériaux, le choix des matériaux ou en améliorant le débit de fuite Q

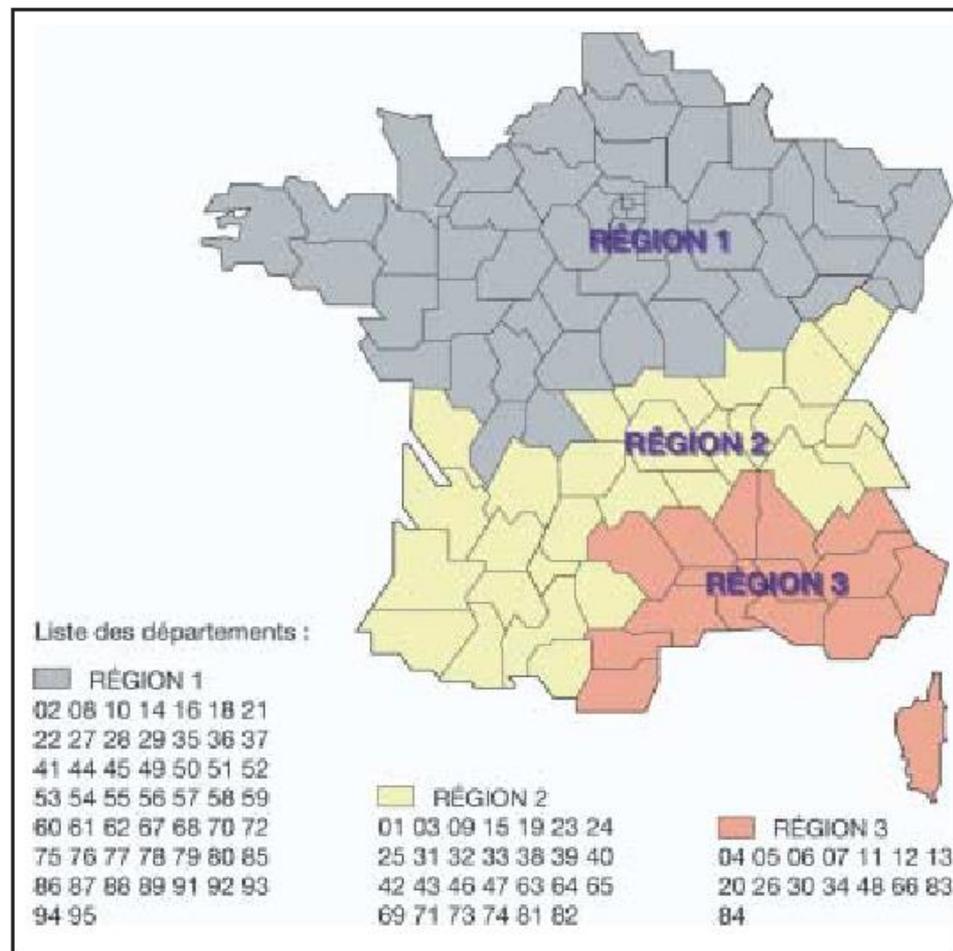
4.4 Les chaussées réservoir

LE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Se fait dans les cas les plus courants **par la méthode des volumes**

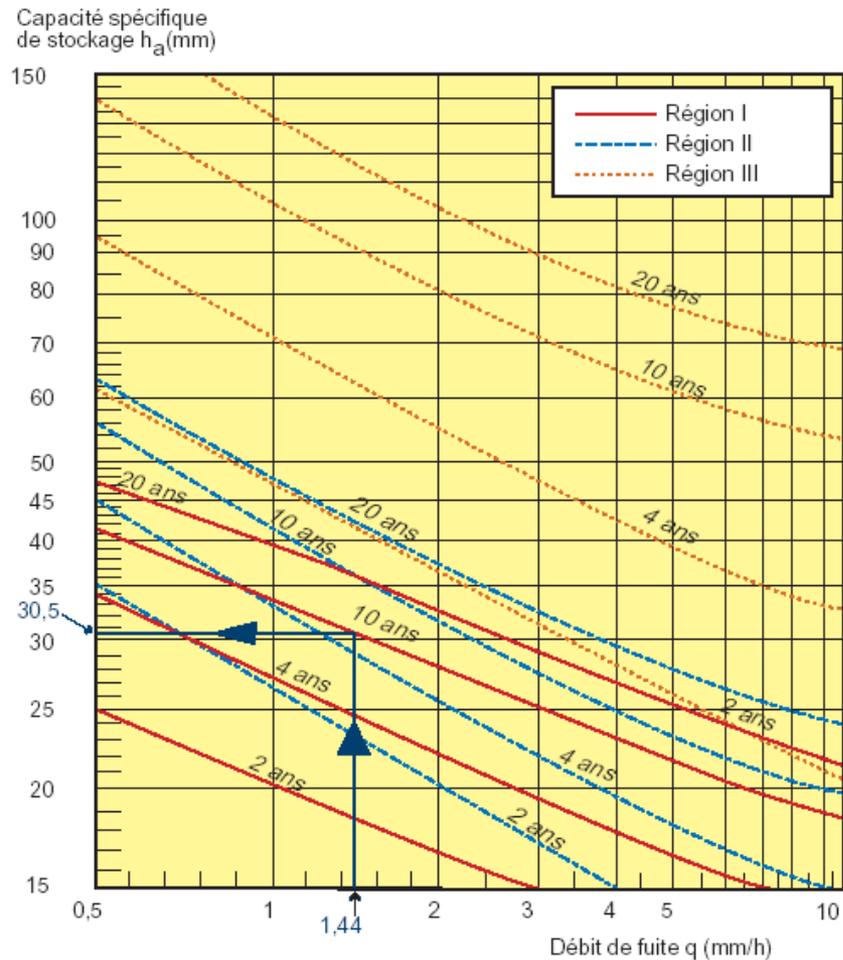
Cette méthode prend en compte :

- Le **degré de protection** à assurer contre les inondations
- La **région** (il y a 3 zones de pluviométrie en France)
- Le **coefficient d'apport** (Ca) du bassin versant (chaussée 1, espace vert 0,3)
- Le **débit de fuite Q** selon réseau ou perméabilité des sols



4.4 Les chaussées réservoir

ABAQUE - CAPACITÉ SPÉCIFIQUE DE STOCKAGE EN FONCTION DU DÉBIT DE FUITE



4.4 Les chaussées réservoir

LE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

**résultats des calculs de dimensionnement hydraulique
d'une structure en béton poreux**

Villes (zones)	H (cm)					
	Protection à 2 ans			Protection décennale		
	Q = 2 l/s	Q = 5 l/s	Q = 10 l/s	Q = 2 l/s	Q = 5 l/s	Q = 10 l/s
Paris (I)	10	7	6	16	13	11
Lyon (II)	12	8	6	19	14	11
Marseille (III)	21	15	12	45	34	29

4.4 Les chaussées réservoir

LE DIMENSIONNEMENT MÉCANIQUE

Typologie des voies urbaines, classe de trafic

<i>Type d'application</i>	<i>Hypothèse de calcul : nombre de poids lourds (véhicules PTAC ≥ 3,5 t) par jour sur la voie la plus chargée*</i>
<i>Aire hors circulation : terrasse, contour de piscine</i>	0
<i>Parking véhicules légers (VL)</i>	< 5 PL/j
<i>Rue piétonne – voie de desserte – voie de lotissement</i>	5 à 50 PL/j
<i>Voie de distribution locale ou à trafic local</i>	50 à 150 PL/j
<i>Voie de distribution principale ou à trafic principal</i>	150 à 300 PL/j
<i>Voie de desserte de zone industrielle et voie de transports en commun chargée</i>	300 à 750 PL/j

* À valider nécessairement par le projeteur en recourant à la norme sur le trafic (NF P 98-082).

4.4 Les chaussées réservoir

LE DIMENSIONNEMENT MÉCANIQUE

Objectif

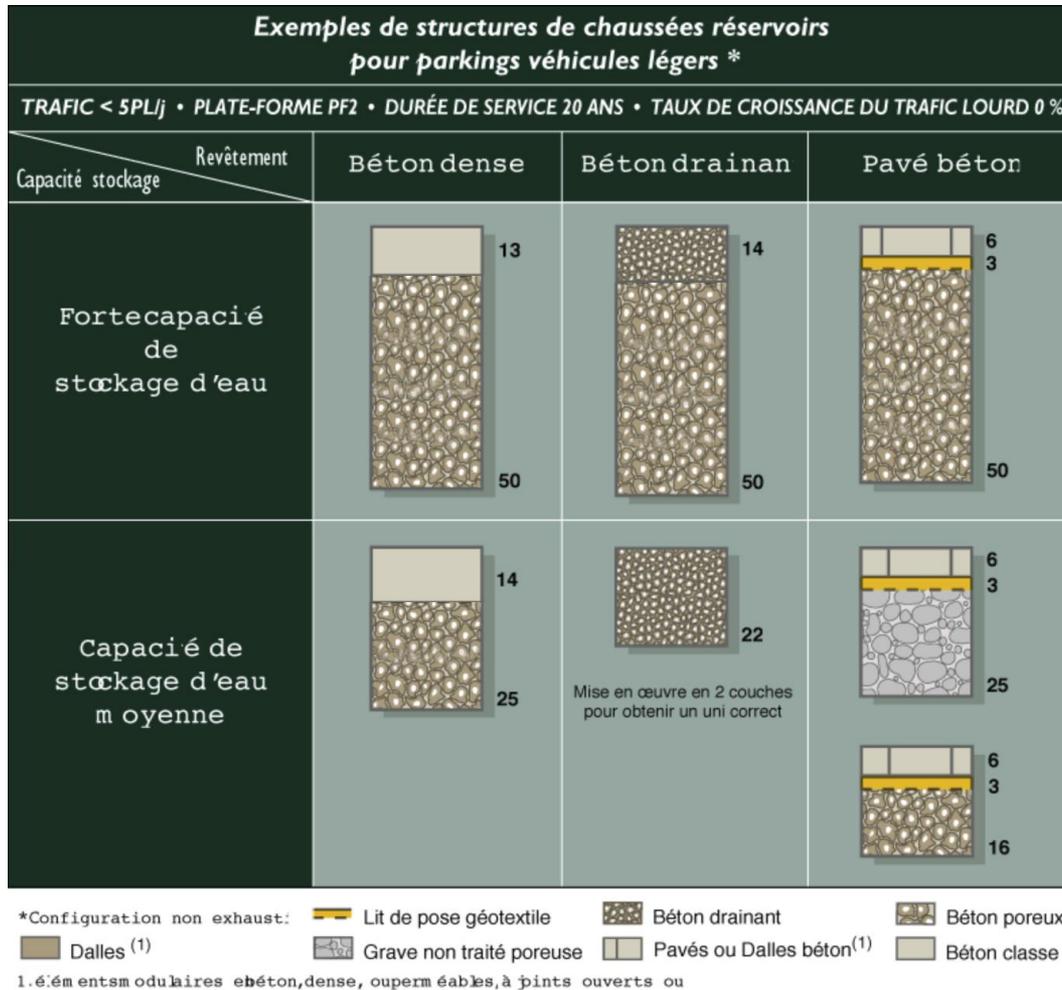
Obtenir une classe de portance PF2 minima → **Module d'élasticité > 50 MPa**

Si le **module d'élasticité < 50 MPa**, on l'améliore par traitement du sol ou apport d'une couche de forme



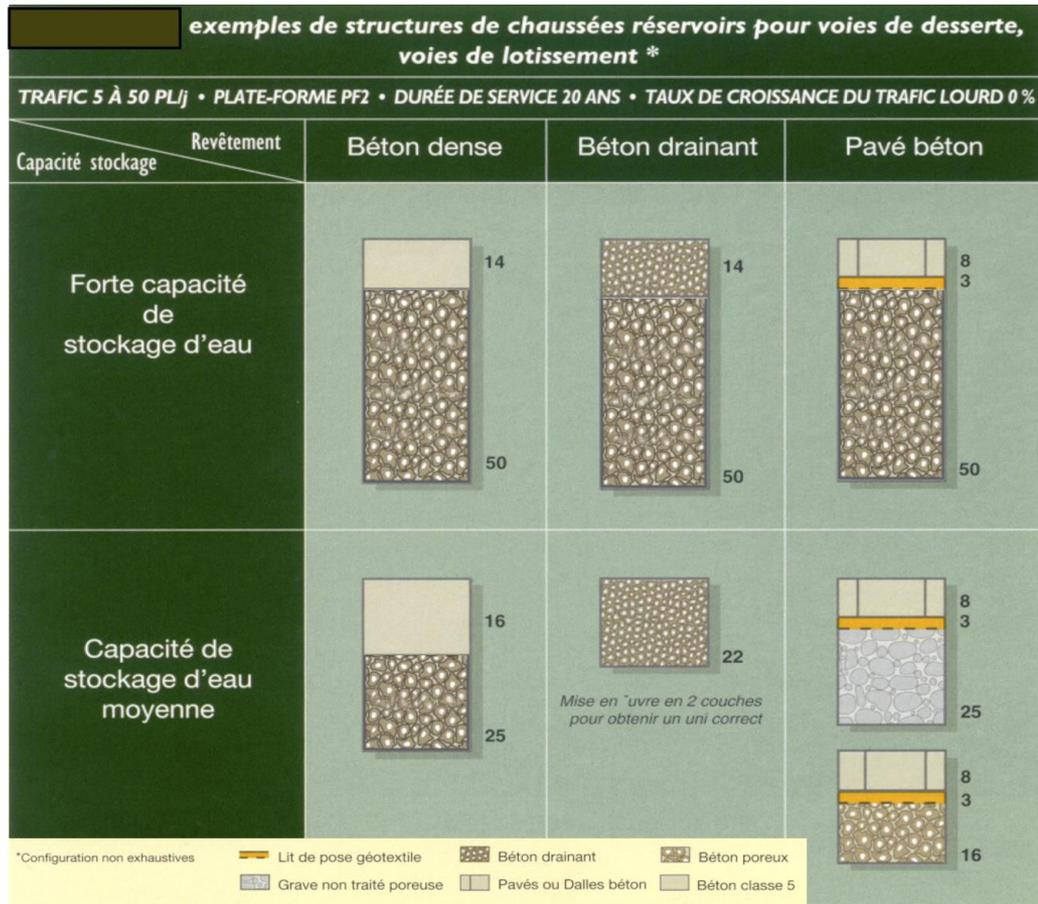
4.4 Les chaussées réservoir

LES EXEMPLES DE STRUCTURE



4.4 Les chaussées réservoir

LES EXEMPLES DE STRUCTURE



4.4 Les chaussées réservoir

LES AVANTAGES

Fonction hydraulique

- Absorber rapidement l'événement pluvial
- Stocker temporairement le volume
- Restituer ce volume à un débit suffisamment faible pour être absorbé par le sol, par un collecteur, ou par les deux

Fonction écologique

- Réglementation des nappes phréatiques
- Piégeage de la pollution avec traitement des zones de concentration



4.4 Les chaussées réservoir

LES AVANTAGES

Fonction esthétique

- Tous les traitements de surface classiques

Fonction confort et sécurité

- Absence de flaques et projections d'eau
- Ruissellement limité
- Aquaplanage éliminé
- Bruit de roulement réduit
- Différenciation des zones de circulation
- Adhérence élevée
- Clarté



4.4 Les chaussées réservoir

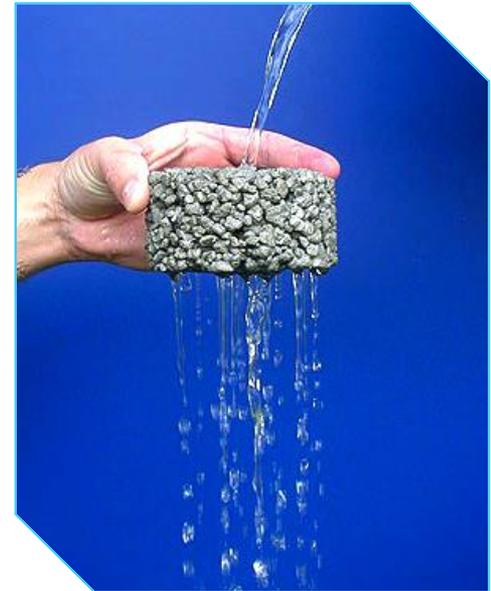
LE BÉTON DRAINANT

Définition

Béton à structure ouverte, formulé pour l'absorption ou la régulation des eaux pluviales

Un revêtement perméable :

- gérant efficacement et localement les eaux de pluie
- améliorant le confort et la sécurité en zone urbaine
- réduisant les coûts de structure (assainissement) et d'éclairage



4.4 Les chaussées réservoir

LE BÉTON DRAINANT

Economique, écologique et durable

Rapidité de mise en œuvre

Durabilité de l'aménagement, en béton à moyen et long terme, par rapport à d'autres solutions

Résistance à l'usure, aux charges,...

Insensibilité aux variations climatiques : pas de déformation, ni d'orniérage

Grande rigidité de la structure béton d'où :

- Absence de fondations complexes
- Réduction des coûts de la structure (coût des canalisations)
- Porosité ouverte comprise entre 15 et 20 %



4.4 Les chaussées réservoir

LE BÉTON DRAINANT

Confort et sécurité

- Absence de flaques et projections d'eau
- Ruissellement limité
- Aquaplanage éliminé
- Bruit de roulement réduit
- Différenciation des zones de circulation
- Adhérence élevée
- Clarté (minimise l'effet de surchauffe en été)

Durabilité

- Insensibilité aux variations climatiques
- Grande rigidité de la structure béton : absence de déformation et d'orniérage



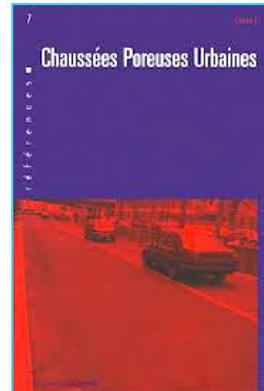
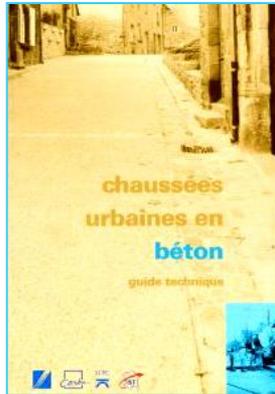
4.4 Les chaussées réservoir

LA MISE EN ŒUVRE D'UN BÉTON POREUX OU DRAINANT

Réalisation d'une couche d'assise en béton poreux

Documents de référence :

- Guide technique, Chaussées en béton SETRA/LCPC (1997)
- Guide technique, Chaussées urbaines en béton CERTU-LCPC-IVF (1996)
- Guide technique, Chaussées poreuses urbaines CERTU (1999)



Réalisation d'un revêtement en béton drainant

Document de référence :

- Guide technique, Chaussées en béton SETRA/LCPC (1997)

4.4 Les chaussées réservoir

LA MISE EN ŒUVRE D'UN BÉTON POREUX OU DRAINANT

Deux techniques

- Réglage du béton à la niveleuse et compactage
- Mise en œuvre au finisseur par couche de 15 à 17 cm maximum

Nota

L'utilisation d'un finisseur à table HPC (Haut Pouvoir de Compactage) procure les meilleurs résultats en matière d'uni. Toutefois, pour une couche d'assises, un finisseur normal est tout à fait convenable



4.4 Les chaussées réservoir

LA MISE EN ŒUVRE D'UN BÉTON POREUX OU DRAINANT

Exécution des joints pour un béton poreux

Fera l'objet d'un calepinage s'il est surmonté d'un béton dense → Réaliser des joints du revêtement béton à l'aplomb des joints du béton poreux (*faits par moulage ou par sciage*)

Exécution des joints pour un béton drainant

Comme il est difficile de mouler un joint dans un matériau à forte porosité, il est plus judicieux de scier les joints

À faire dans un délai de 6 à 48 heures après le bétonnage (*délai fonction de la formulation, du climat et de la mise en œuvre*)

4.4 Les chaussées réservoir

LA MISE EN ŒUVRE D'UN BÉTON POREUX OU DRAINANT

Cure du béton drainant

Comme tout les matériaux traités aux liants hydrauliques, le béton drainant doit recevoir, aux jeunes âges, **une protection efficace**

Compte tenu de la porosité du matériau :

- Le traditionnel produit de cure n'est pas adapté
- Recouvrir la surface par un **film en polyéthylène** (à maintenir en place pendant 2 à 3 jours)



4.4 Les chaussées réservoir

L'ENTRETIEN DES CHAUSSÉES RÉSERVOIR

Deux modes possibles

Mode préventif - Par aspiration/balayage de la pollution de surface, pour éviter que les particules fines ne bouchent les vides

Mode curatif - Avant d'atteindre un colmatage complet (*estimé par une perméabilité comprise entre 0,2 et 0,3 cm/s*), avec des machines de traitement hydromécanique de surface (*eau sous pression 15 à 40 MPa*) puis aspiration des boues (*doivent être traitées avant mise en décharge*)



4.4 Les chaussées réservoir

BIBLIOGRAPHIE

T57

Voiries et aménagements urbains en béton

Revêtements et structures réservoirs

(CIMBÉTON)



4.4 Les chaussées réservoir

ETUDE DE CAS DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Hypothèses et données du projet

- Région pluviométrique : I, II ou III
- Niveau de protection souhaité ou période de retour de la pluie : 2, 4, 10, 20 ans ou +
- Surfaces unitaires composant le bassin versant
- Débit de fuite Q en m^3/s :
 - Cas d'une évacuation localisée : Q est imposé réglementairement
 - Cas d'une évacuation répartie (infiltration dans les sols) : $Q = KSI$ (loi de Darcy) avec K (coefficient de perméabilité du sol), S (surface d'infiltration) et I (gradient hydraulique égal à 1 dans le cas où la zone d'infiltration est non saturée).

4.4 Les chaussées réservoir

ETUDE DE CAS DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Déroulement du calcul

- Calcul de la surface active « Sa » :

$$Sa = S1.Ca1 + S2.Ca2 + S3.Ca3 + \dots + Sn.Can$$

Avec :

Sn : surface unitaire composant le bassin versant

Ca_i : coefficient d'apport propre à chaque surface unitaire

- Calcul du débit de fuite spécifique « q » :

$$q(\text{m/s}) = Q(\text{m}^3/\text{s})/Sa(\text{m}^2)$$

$$Q(\text{m/h}) = 3\,600.Q(\text{m}^3/\text{s})/Sa(\text{m}^2)$$

$$Q(\text{mm/h}) = 3\,600.Q(\text{m}^3/\text{s}).103/Sa(\text{m}^2)$$

- Lecture sur l'abaque de la capacité de stockage « ha » en mm

- Calcul du volume à stocker « V » :

$$V(\text{m}^3) = Sa(\text{m}^2).ha(\text{m}) = Sa(\text{m}^2).ha(\text{mm}).10^{-3}$$

4.4 Les chaussées réservoir

ETUDE DE CAS DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Exemple

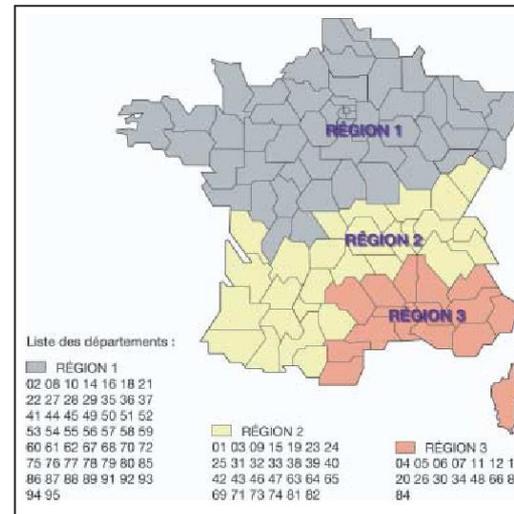
- Soit un espace commercial en Ile-de-France comportant :
 - 10 ha de parkings et voiries ($C_a = 1$)
 - 5 ha de bâtiments ($C_a = 1$)
 - 5 ha d'accotements et espaces verts ($C_a = 0,3$)
- Degré de protection recherché : 10 ans
- Débit de fuite : $Q = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$

4.4 Les chaussées réservoir

ETUDE DE CAS DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Exemple

- Île-de-France : en région I



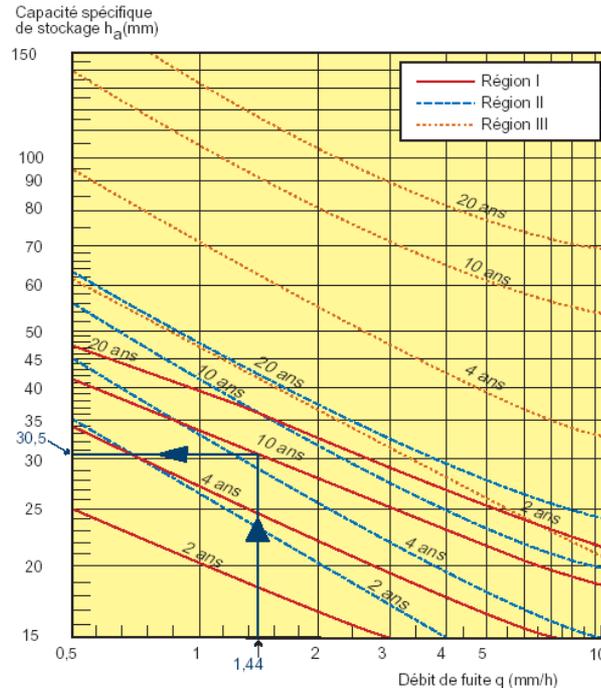
- Surface active : $S_a = (10 \times 1) + (5 \times 1) + (5 \times 0,3) = 16,5 \text{ ha} = 165\,000 \text{ m}^2$
- Débit de fuite spécifique : $q = 3\,600 \times 0,06 / 165\,000 = 0,00131 \text{ m/h} = 1,31 \text{ mm/h}$

4.4 Les chaussées réservoir

ETUDE DE CAS DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Exemple

Capacité de stockage (*hauteur de la lame d'eau*) lue sur l'abaque pour la région I, niveau de protection 10 ans et $q = 1,31 \text{ mm/h}$: $h_a = 31,5 \text{ mm} = 0,0315 \text{ m}$



- **Volume à stocker** : $V = 165\,000 \times 0,0315 = 5\,200 \text{ m}^3$