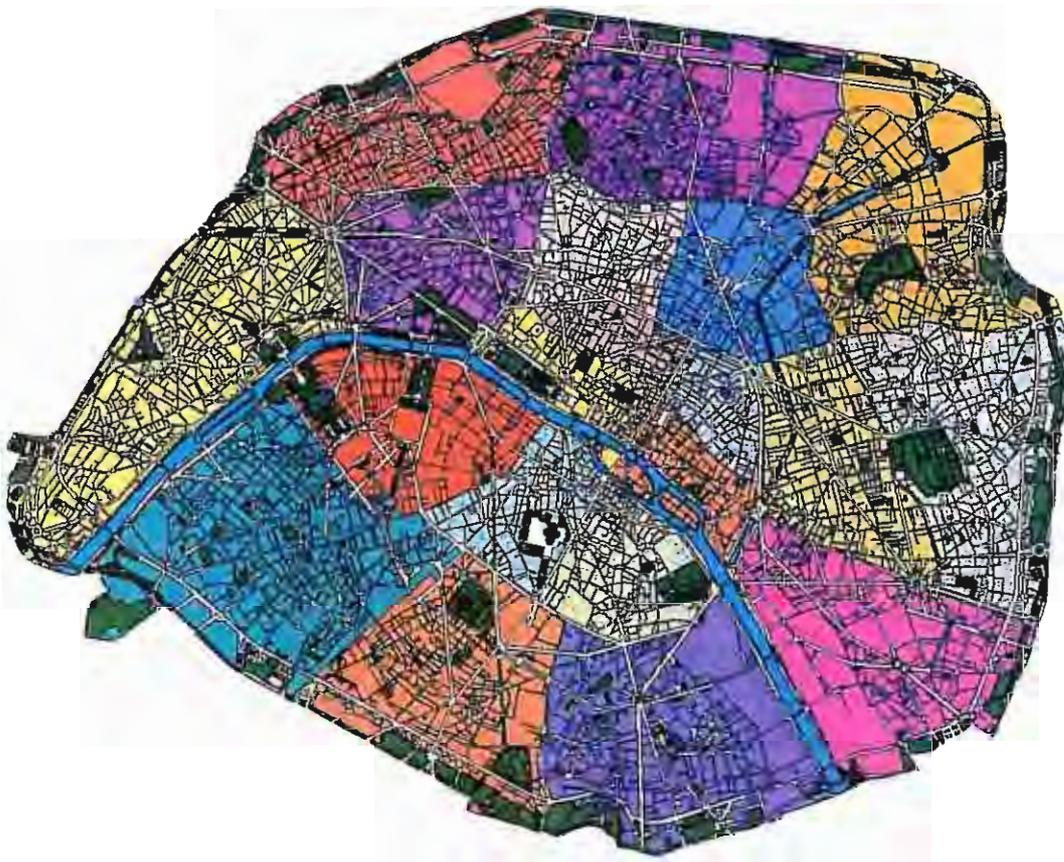




STRATEGIES DE CONCEPTION DES  
STRUCTURES DES CHAUSSEES DE  
LA VOIRIE PARISIENNE



# SOMMAIRE

	Page
<b>A] <u>LE BILAN DES PRATIQUES ANCIENNES ET ACTUELLES</u></b>	
A.1    Quelques chiffres et un peu d'histoire.	1
A.2.   Les années 50 à 70 : époque de standardisation.	4
A.3.   Les années 70 à 90 : époque de réflexion et d'innovation.	7
<b>B] <u>LA REFLEXION POUR L'AIDE AU CHOIX DES STRUCTURES DE VOIRIE</u></b>	
B.1.   Les qualités recherchées en Voirie Urbaine dense pour les revêtements.	12
B.2.   Le rôle particulier de l'asphalte.	14
B.3.   Les chaussées en béton.	15
B.4.   Les bétons bitumineux au bitume pur.	16
B.5.   Le traitement de la fissuration.	18
B.6.   Le point sur les Enrobés à module élevé (ex ETHM).	20
B.7.   Investigations – Méthodes d'évaluation.	21
B.8.   Réflexion sur la durée de vie des chaussées.	24
B.9.   Agressivité du trafic Poids Lourds.	29
B.10.  Voirie et Environnement.	30
B.11.  Coût des structures anciennes par rapport aux structures modernes.	33
<b>C] <u>LA CONCEPTION DES STRUCTURES</u></b>	
C.1.   La démarche	35
C.2.   Les hypothèses du maître d'ouvrage	36
C.3.   Les structures types et leur justificatif	40
C.4.   Les matériaux de base	46
C.5.   L'innovation	50
<b>ANNEXE : <u>ELEMENTS TECHNIQUES COMPLEMENTAIRES POUR LE DIMENSIONNEMENT</u></b>	
1 –   Caractéristiques des matériaux pour le dimensionnement	
2 –   Calcul de dimensionnement pour les réhabilitations	
3 –   Données complémentaires sur l'agressivité du trafic poids lourd	

## A] LE BILAN DES PRATIQUES D'HIER ET D'AUJOURD'HUI

### A.1. Quelques chiffres et un peu d'histoire.

La longueur totale des voies publiques est d'environ 1500 km, représentant près du quart de la surface totale de PARIS. L'importance quantitative de la voirie apparaît d'ores et déjà, si l'on compare ce ratio avec celui d'autres capitales de pays industrialisés : moins de 15 % pour TOKYO.

La surface des chaussées est estimée à 14 900 000 m<sup>2</sup>. Celle des trottoirs atteint 10 000 000 m<sup>2</sup>, témoignant de l'importance de l'aspect qualitatif de cette voirie, dont les usages sont bien plus larges que celui de la seule circulation automobile.

Le boulevard périphérique constitue un ouvrage particulier de la voirie communale (anneau de 35 km de longueur à 2 fois 3 ou 4 voies) qui totalise à lui seul, y compris les bretelles près de 10 % de la voirie parisienne en surface (1 380 000 m<sup>2</sup>). Le trafic dépasse souvent 200 000 véhicules par jour pour les 2 sens, ce qui rend tout à fait stratégique le rôle de cet ouvrage dans les transports de la Région Ile de France. Le boulevard périphérique a été l'objet d'une étude approfondie et prospective des besoins en entretien en février 1989 [1].

Les statistiques montrent que la voirie parisienne intra-muros supporte environ 5 % du trafic national alors que la surface des chaussées représente un peu moins de 1 millième de l'ensemble.

Ce trafic est étroitement lié au rôle assigné aux voies qui distingue :

- **Les voies de transit** qui constituent le réseau principal, assurant les liaisons d'un quartier à un autre. Ce réseau comprend principalement les "boulevards des maréchaux", la rocade dite des "Fermiers Généraux" et les radiales importantes représentant environ 350 km.
- **Les voies de desserte** qui comprennent les voies permettant l'accès aux zones résidentielles ou d'activités (bureaux, commerce) et qui représentent environ 1100 km de longueur auxquelles s'ajoutent environ 50 km de voies privées ouvertes à la circulation du public.

La voirie accueille en son sous-sol les réseaux nécessaires à l'activité des habitants et des entreprises : 11 500 km de câbles moyenne et basse tension ; 2500 km de conduites de gaz ; 3 500 000 paires x km de câbles d'abonnés PTT etc, occasionnant de nombreuses interventions dans la voirie. Outre ses besoins propres de remise en état périodique (entretien programmé), les interventions sur réseaux enterrés occasionnent 15 000 chantiers par an, dont 4000 durent plus de une semaine et 5000 relèvent de la procédure complète de coordination dans le temps et dans l'espace (outil informatique spécifique développé par la mairie de Paris).

[1] "Etude prospective des besoins en entretien des chaussées du boulevard périphérique de Paris"(DEBP-LREP-LROP Février 1989).

Au cours de la deuxième partie du 19<sup>ème</sup> siècle [2] on a assisté à une augmentation très forte du trafic sur les chaussées. Le macadam produisant poussière et boue est progressivement abandonné surtout au profit des pavés de pierre dont la résistance aux chocs et à l'usure est bien connue.

En 1880/1885 la longueur totale des voies publiques représentent 935 km dont 10 % environ étaient "en terre", dans des secteurs très peu urbanisés. Les chaussées "aménagées" représentent 8 298 000 m<sup>2</sup> dont :

75 % sont revêtues de pavés ;  
 21 % sont empierrées ;  
 et 4 % sont asphaltées.

La technique de réalisation des chaussées asphaltées est la suivante : après un damage énergétique du sol, on coule une fondation en béton de ciment. Ensuite on répand au rateau de la poudre d'asphalte sur une épaisseur uniforme. Cette poudre est ensuite comprimée au moyen de pilons de fonte chauffés en forme de disque. Le pilonnage est suivi d'un lissage.

En 1881 on vient enfin d'obtenir de bons résultats d'essais de pavés de bois et la rue de Rivoli ainsi que l'avenue de l'Opéra sont revêtues de pavés de 0,15 m de hauteur posés directement sur une fondation de béton de 0,15 m d'épaisseur. Les joints sont remplis d'une couche de bitume puis d'une couche de mortier. Cette technique fut ensuite très utilisée puisqu'en 1920, elle représentait près de 2 500 000 m<sup>2</sup>.

Mais le pavage en bois était extrêmement glissant aussi fut-il progressivement remplacé par le pavage mosaïque à partir de 1925. Ce dernier occupe une place toujours croissante jusqu'en 1970/75 et dès 1950 la surface des chaussées ainsi revêtue était la plus importante.

En 1970 les 12 000 000 de m<sup>2</sup> de revêtements de chaussées étaient répartis de la façon suivante :

. pavage mosaïque :	45 %
. asphalte :	23 %
. pavage échantillon :	20 %
. béton de ciment :	8 %
. béton bitumineux :	4 %

[2] Paris et ses réseaux : "Naissance d'un mode de vie urbain XIX<sup>ème</sup>-XX<sup>ème</sup> siècles". Réf. Bibliothèque historique de la Ville de Paris Hôtel d'Angoulême Lamoignon.

Le tableau 1 et graphique 1 ci-dessous sont une illustration de cette évolution des préoccupations et des pratiques en matière de revêtements. Ces exemples portent sur la période des années 1900 d'une part, et de 1920 à 1970 d'autre part.

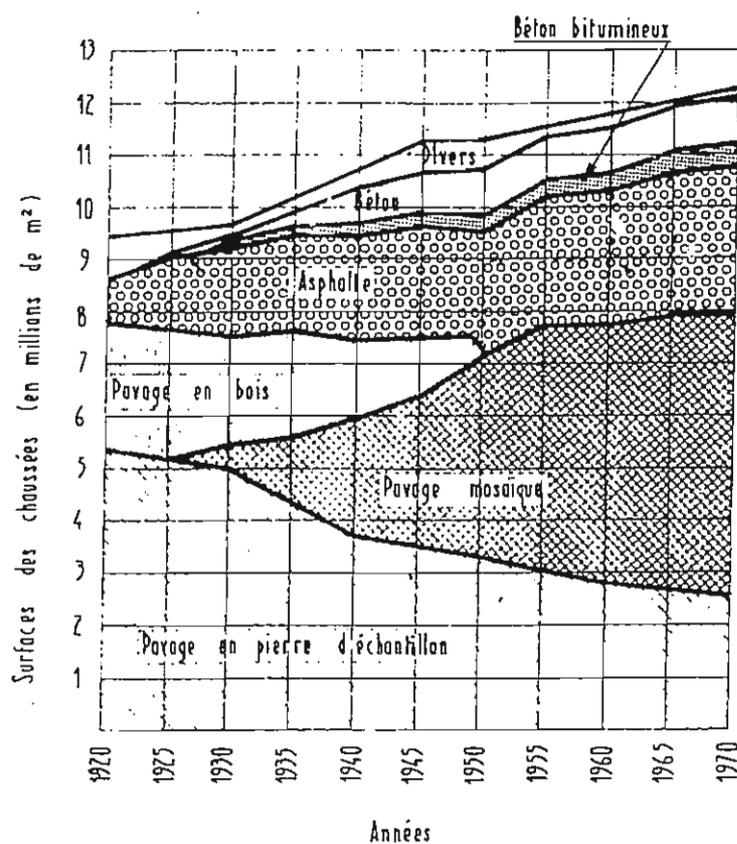
TABLEAU 1

## VOIRIE PARISIENNE – CRITERES DE CHOIX DES REVETEMENTS VERS 1900.

Au point de vue	1 <sup>er</sup> rang	2 <sup>e</sup> rang	3 <sup>e</sup> rang
Hygiène.....	Asphalte	Granit	Bois
Insonorité.....	Bois	Asphalte	Granit
Sécurité pour les chevaux.....	Bois	Asphalte	Granit
Propreté.....	Asphalte	Granit	Bois
Durée.....	Granit	Asphalte	Bois
Facilités de réparation.....	Asphalte	Bois	Granit
Facilités pour la pose des rails de tramways.....	Granit	Bois	Asphalte

FIGURE 1

## EVOLUTION CUMULEE DES DIVERSES NATURES DE REVETEMENTS DES CHAUSSEES DE PARIS

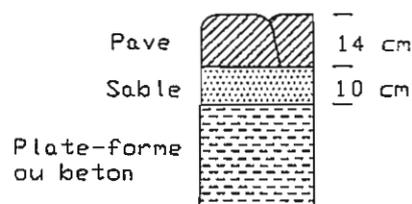


## A.2. Les années 1950 à 1970 : époque de standardisation.

L'expérience des Ingénieurs de la Ville de Paris et le savoir-faire du milieu professionnel ont orienté les solutions techniques vers une standardisation résumée en 4 solutions de base appliquées à l'ensemble de la voirie, hormis le Boulevard Périphérique :

### (1) Pavage d'échantillon.

Structure type :



Avantage : bonne technique pour des chaussées provisoires sur des plates-formes et sous-sols incertains.

Extension :

- Chaussées lourdement chargées
- Rétablissements sur conduites d'eau sous pression
- Travaux connexes du Boulevard Périphérique
- Voiries provisoires

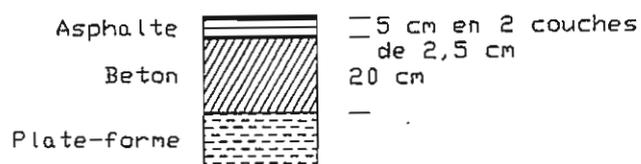
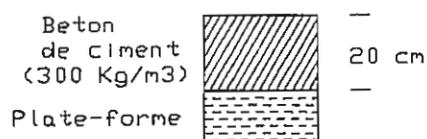
### (2) Pavés mosaïques sur fondation en béton.

Structure type :



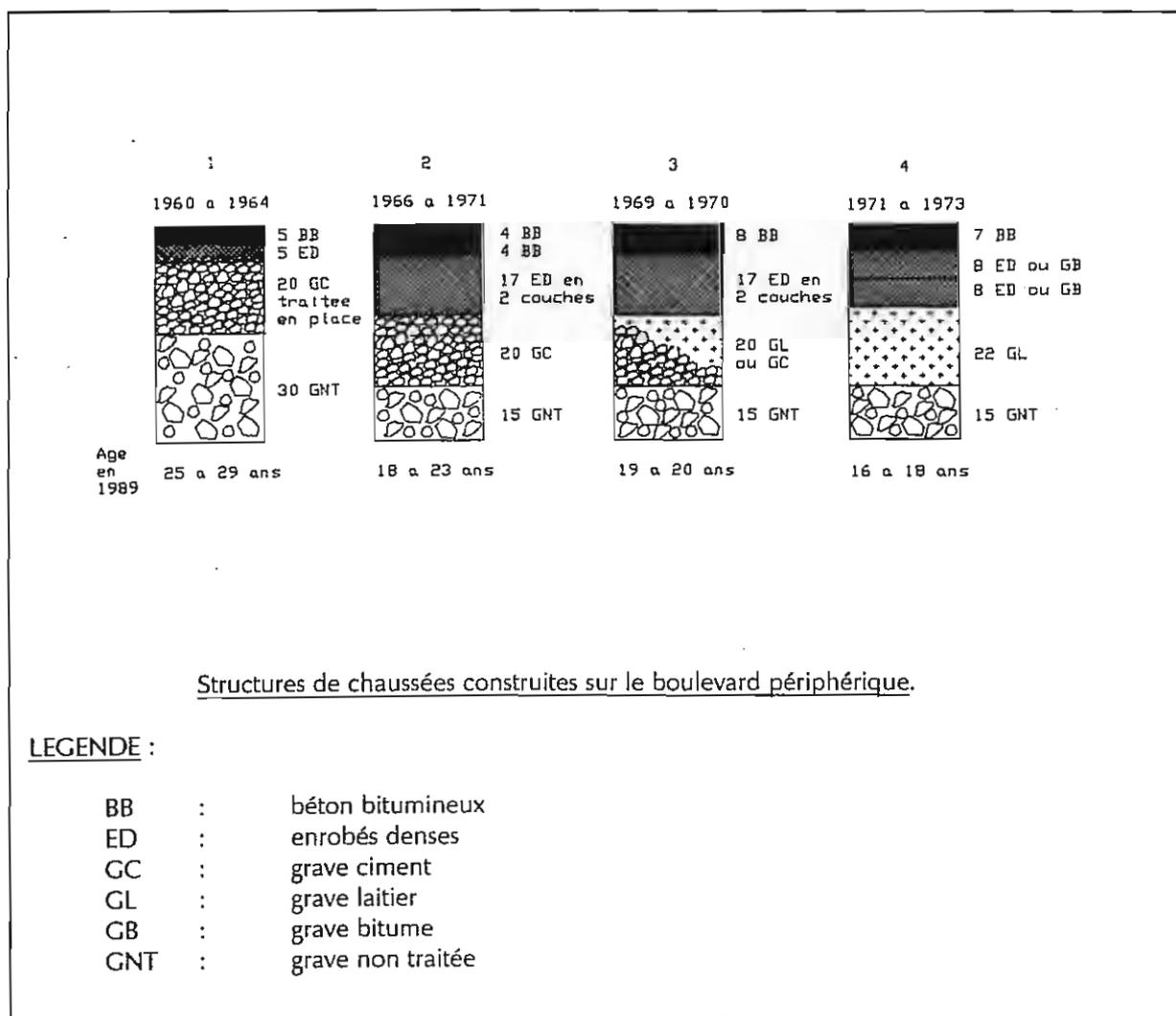
Avantage : améliore l'état de surface pour les usagers par rapport aux pavés échantillons utilisés antérieurement (50 % de la voirie parisienne en 1926).

Extension : l'ensemble des pavages mosaïques et échantillons représentait le tiers du réseau Paris intra-muros y compris pavés échantillons.

(3) Asphalte sur fondation en bétonStructure type :Avantage : facilité d'exécution en ville, bonne réparabilité.Extension : près du quart du réseau Paris intra-muros.(4) Béton de ciment.Structure type :Avantage : durabilité, faible entretien, couleur claire.Extension : — moins de 10 % de la surface du réseau Paris intra-muros.  
— plus de 60 % en fondation (Cf. structures types 1, 2 et 3 précitées)

La construction du boulevard périphérique a permis un nouvel essor de l'innovation en matière de conception des structures. Ainsi, les techniques modernes des assises semi-rigides et des enrobés de différentes natures ont été maîtrisées et adaptées au contexte spécifique de l'ouvrage le plus circulé de France.

Concrètement, 4 structures de base ont été appliquées en fonction des différentes époques de construction du boulevard périphérique :



#### Structures de chaussées construites sur le boulevard périphérique.

Par la suite, l'effet d'entraînement a joué en faveur du développement de l'emploi de ces techniques aux abords du boulevard périphérique ainsi que pour d'autres voiries importantes.

### **A.3. Les années 1970 à 1990 : époque de réflexion et d'innovation.**

#### **A.3.1. Les revêtements**

Avant 1977, le développement de revêtements en enrobé d'entretien a été limité ; citons toutefois les tapis d'enrobés au bitume pur mis en oeuvre en 1968 pour recouvrir les pavages du quartier latin (rue Gay Lussac ; boulevard St Michel ; boulevard St Germain etc....).

A partir de 1977 sous l'impulsion du Service Technique de la Voie Publique une nouvelle doctrine de revêtement a été formalisée à la fois pour des motivations technico-économiques et environnementales, et en particulier la lutte contre le bruit. Cette même année, un crédit de 2 millions de francs a été mis en oeuvre pour "insonoriser" les boulevards des maréchaux.

Ceci s'est concrétisé par l'emploi de :

- bétons bitumineux 0/10 à liant ou mastic modifié, produits spéciaux d'entreprises qui en épaisseur de 3 à 4 cm devaient offrir les avantages suivants par rapport aux techniques classiques au bitume pur :

- durée de vie supérieure (cohésion, tenue à l'eau, collage du support),
- résistance à l'orniérage plus grande,
- rugosité géométrique de meilleur niveau et moins évolutive dans le temps en règle générale,
- rehausse de la chaussée plus acceptable pour les caniveaux et bordures.

Ainsi, les 3 procédés suivants ont été appliqués cette première année :

Asten 0/10 (SPAPA) 12 500 m<sup>2</sup> ; Rugasphalt 0/10 (COLAS) 25 000 m<sup>2</sup> ; Compoflex 0/10 (SCREG) 28 000 m<sup>2</sup>.

Ces marchés dits de BBHP (béton bitumineux à haute performance) se sont développés. Ils représentent 300 000 m<sup>2</sup> pour l'année 1990 .

Les applications correspondent en général à 100 à 110 kg en moyenne par m<sup>2</sup>, (75 kg plus le reprofilage et la couche d'accrochage)(1) soit une épaisseur nominale de 4 cm. Contrairement à ce que l'on aurait pu penser, les épaisseurs effectivement mises en place ne sont pas trop faibles et correspondent à une bonne mise en place de ces matériaux.

(1) coût de l'ordre de 50 à 60 F HT par m<sup>2</sup>. (valeurs 87 - 88)

Outre ces enrobés minces, ont également été utilisés :

- des enrobés coulés à froid (dosage  $\leq 30 \text{ kg/m}^2$  soit 1 cm environ) intéressants par leur faible épaisseur et qui ont su rendre de bons services dès lors que leur domaine d'emploi était bien respecté (trafic moyen ; support peu déformé).
- des enrobés très minces et ultra minces respectivement inférieurs ou égaux à  $60 \text{ kg/m}^2$  (2 à 2,5 cm) et  $40 \text{ kg/m}^2$  (1,5 cm). Ces techniques sont réservées à des cas particuliers : support d'excellente géométrie, trafic modéré etc ....).
- des enrobés cloutés qui ont été jugés trop difficiles à mettre en oeuvre eu égard aux sujétions d'exécution de la voirie parisienne.

A partir de 1985, on a recours aux enrobés drainants en escomptant de leur part une meilleure efficacité anti-bruit par rapport aux BBHP. Lorsque des mesures représentatives ont été faites, elles ont montré une diminution du bruit de contact pneumatique/chaussée de l'ordre de 2 à 3 dBA, par rapport aux enrobés denses sur des enrobés drainants au jeune âge. La signature fréquentielle du bruit joue également en leur faveur et les font apprécier des riverains en particulier au jeune âge après la mise en oeuvre où les différences avec les anciens revêtements sont les mieux appréhendées qualitativement et quantitativement.

A ce jour leur développement est freiné par les difficultés d'entretien rencontrées pour leur décolmatage. Les recherches et expérimentations en cours sur les méthodes et matériels s'attachent à progresser sur ce point important.

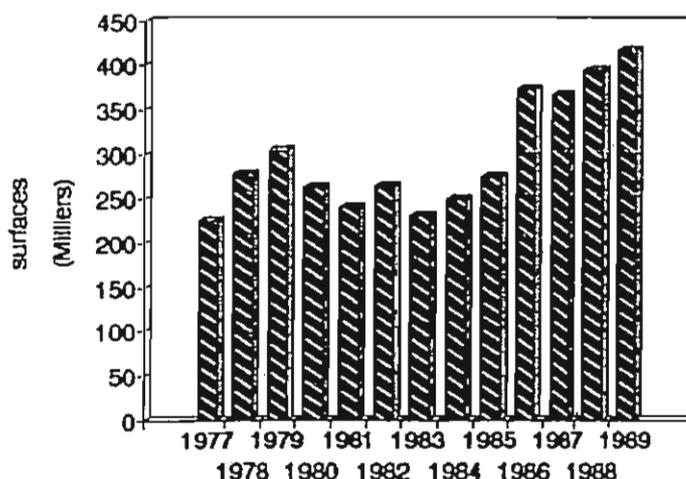
En 1990, ils représentent 15 % des surfaces de BBHP appliquées soit 45 000 m<sup>2</sup>.

Les formulations d'enrobés drainants utilisées ne sont plus que des formulations 0/10 à liant ou mastic modifié, de type fortement discontinu. L'épaisseur d'application est de 4 cm en général.

Pour l'ensemble des revêtements, deux éléments statistiques illustrent leurs évolutions récentes.

- a) les travaux de revêtement appliqués annuellement sur la Voirie Parisienne entre 1977 et 1989.

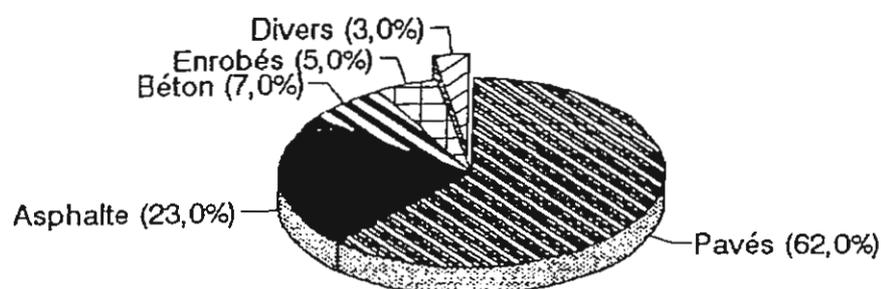
### **TRAVAUX de REVETEMENTS** Surfaces annuelles depuis 1977 (en m<sup>2</sup>)



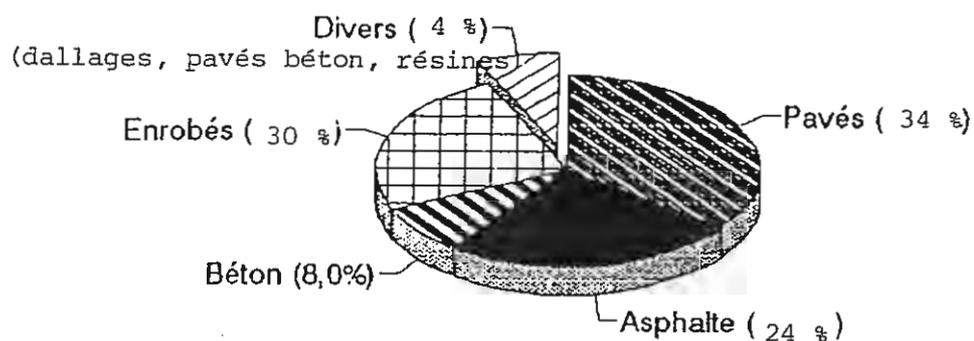
On observe la croissance régulière sur plusieurs années des surfaces traitées avec depuis 5 ans des campagnes atteignant 350.000 à 400.000 m<sup>2</sup> par an.

- b) l'évolution des techniques en place sur le patrimoine existant entre 1976 à 1989 montre que pour les revêtements en place la proportion des pavés non revêtus est passée de 62 % à 34 % alors que celle des revêtements bitumineux de toute nature est passée respectivement de 5 % à 30 %. Bon nombre de ces revêtements ont en fait recouvert les pavés recensés en 1976.

### REPARTITION des SURFACES en 1976



### REPARTITION des SURFACES en 1989



### A.3.2. Les assises

Dans les dernières années de construction du boulevard périphérique, les techniques de mélanges en centrale : grave ciment, grave laitier, grave bitume se sont imposées et ont été bien maîtrisées, ce qui a permis leur extension à partir des réfections de voiries à proximité du boulevard périphérique.

L'attrait du coût de ces assises et de la moindre gêne occasionnée aux usagers et riverains par des temps d'intervention plus courts ont fortement contribué à leur diffusion au détriment des assises standards des années 1950 à 1970.

La pratique de reconstruction complète ou de premier établissement consiste généralement à organiser les couches comme suit :

- une assise inférieure en grave ciment ou grave laitier (15 à 22 cm),
- une assise supérieure en grave bitume (10 à 16 cm) ou à partir de 1984 en ETHM<sup>(1)</sup> (8 à 10 cm).
- occasionnellement des dalles de béton en cas de revêtements en asphalte.

A partir de 1984, se dégage aussi une pratique de réhabilitation des voiries qui met en oeuvre les 2 principes suivants :

- 1) - réutilisation de tout ou partie des fondations existantes.
- 2) - emploi d'enrobés à très haut module ETHM, en épaisseur voisine de 10 cm.

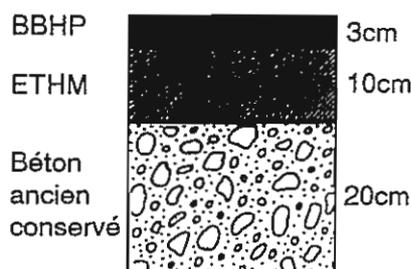
De manière occasionnelle, on s'intéresse aussi au traitement anti-remontée de fissures des fondations conservées.

A titre d'illustration, citons 3 cas caractéristiques de ces conceptions de réhabilitation.

(1) 1987

Bd de l'Hôpital Paris 13<sup>ème</sup>

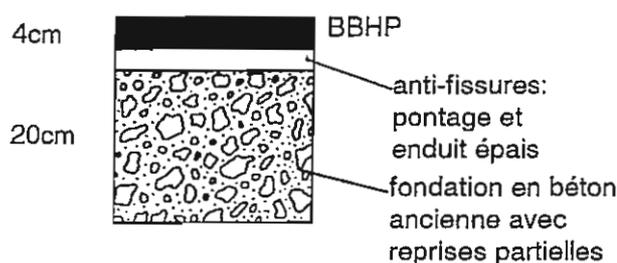
Enlèvement pavage pierre



(2) 1987

Rue d'Alésia Paris 14<sup>ème</sup>

Enlèvement 3 à 7 cm de revêtement

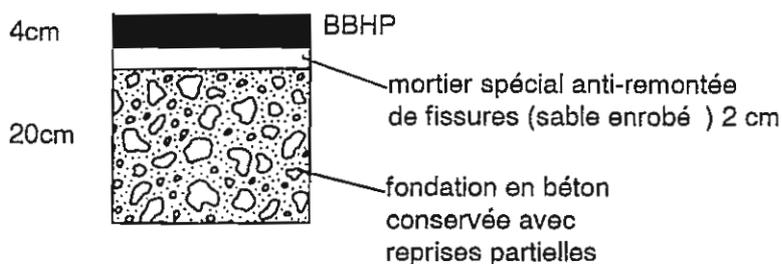


(1) ETHM = Enrobés à Très Haut Module.

(3) 1989

Quai d'Orsay Paris 7ème

Enlèvement du revêtement, puis :



**Remarque :** le choix de la couche de roulement en BBHP dans ces structures résulte de l'utilisation du marché d'entretien de surface en vigueur. Outre cette technique, l'asphalte (épaisseur 3 cm) et l'enrobé au bitume pur BB 0/10 ont aussi été utilisés quelquefois.

### A.3.3. Vers une démarche qualité.

L'utilisation des BBHP et des autres revêtements et assises nouveaux ont naturellement conduit les services gestionnaires à impliquer davantage les laboratoires spécialisés (laboratoire d'essais des matériaux de la ville de Paris et laboratoires de l'Équipement).

Ceux-ci sont intervenus dans la préparation des travaux, dans leur contrôle, en particulier pour les fabrications et aussi dans le cadre de l'évaluation des procédés.

La cellule d'orientation et de bilan du Service Technique de la Voie Publique a tiré les enseignements des suivis de comportement et en a dégagé les synthèses utiles pour les praticiens.

## **B] LA REFLEXION POUR L'AIDE AU CHOIX DES STRUCTURES DE VOIRIE**

### **B.1. Les qualités recherchées en voirie urbaine dense pour les revêtements.**

On classe généralement les exigences des maîtres d'ouvrages et des usagers pour ce qui concerne les revêtements urbains en 6 familles.

#### **(1) Exigence de résistance aux sollicitations**

Un des rôles premiers de la couche de roulement, c'est de protéger les assises de la chaussée ou des aires urbaines, de participer à la résistance globale de la structure en vue d'apporter les qualités de surface nécessaires au confort et à la sécurité des usagers. Par rapport à cette exigence générale valable pour tous les revêtements, les revêtements urbains doivent avoir des qualités complémentaires telles que la résistance à la canalisation des charges très accentuée et très agressive lorsqu'il y a des voies de bus, aux efforts de cisaillement importants dans les carrefours et au freinage.

D'autres sollicitations de natures différentes peuvent en outre être préoccupantes : pollutions diverses des activités riveraines, hydrocarbures etc ....

#### **(2) Exigences en matière de caractéristiques superficielles**

Le revêtement doit présenter un uni longitudinal et transversal convenable. Or, en ville de nombreux événements ponctuent et perturbent les profils : carrefours, raccordements, regards, bouches à clés, tranchées....

Il doit aussi présenter des caractéristiques d'adhérence adaptées à la vitesse des véhicules. Certes, les vitesses en ville sont limitées, mais les occasions de déclencher les freinages ou les décélérations des véhicules sont plus nombreuses. En ville, pour le freinage, il est indispensable de disposer d'une adhérence supérieure à ce qui serait strictement nécessaire, compte tenu des faibles distances entre les véhicules. La circulation de nuit et les nombreux points de convergence aux carrefours nécessitent la prise en compte de critères spécifiques à la glissance.

On recherche également l'imperméabilité pour protéger les assises, les plates-formes, les réseaux enterrés et les constructions riveraines. Il faut soigner particulièrement l'imperméabilité des bords de voiries au niveau des caniveaux.

### (3) Exigence de la mise en oeuvre et d'exécution de manière générale

L'exiguité des emprises disponibles, les phasages des travaux, les contraintes de respects des profils et des raccordements (seuils, bordures, caniveaux, avaloirs) le franchissement des carrefours implique l'emploi de techniques souples d'emploi qui s'accommodent de mise en oeuvre mécanique et manuelle à la fois. A cet égard, il faut être très vigilant sur les critères d'adaptabilité aux variations d'épaisseur et de maniabilité, c'est à dire à la faculté de travail en petites quantités et par intervention manuelle ou en dehors du domaine technologique d'épaisseur d'emploi.

### (4) Exigences en matière d'entretien et d'exploitation

La réparabilité des couches de roulement est un point très important pour les chaussées urbaines qui sont continuellement l'objet de travaux divers liés à la présence de réseaux enterrés. Ces interventions, qui sont toujours des blessures faites dans les corps de chaussées et les revêtements doivent être commodes (facilité et durée des opérations d'ouverture et de remise en état ; disponibilité du matériau en faible quantité...) et l'aspect ou la tenue des réfections doit être bonne dans le temps.

On doit aussi envisager la réparation et l'entretien du revêtement à la fin de sa durée de vie : démontage, fraisage, rechargement. Il faut aussi penser aux aptitudes du revêtement à recevoir une signalisation horizontale durable, ainsi qu'à la nettoyabilité avec les techniques et les matériels dont disposent la collectivité.

### (5) Exigence d'intégration au site et d'environnement

Les considérations d'ordre esthétique ou visuelle peuvent par définition prendre des formes très variées : cela peut aller depuis une exigence de pavés ou pierres naturelles pour ne pas dénaturer un site ou un monument historique, jusqu'à la recherche de couleurs et l'utilisation de granulats clairs ou de délimitations très particulières pour échapper à la lecture d'une route ou rue classique par l'automobiliste pour des questions de comportement vis à vis de la vitesse et donc de la sécurité. La clarté du revêtement a sur un autre registre une influence sur l'éclairage, ce qui peut être important sur des sites particuliers comme les passages souterrains.

La question des nuisances acoustiques prend en outre de plus en plus d'importance pour les riverains. Il s'agit en premier lieu du bruit de contact pneumatique-chaussée dont la contribution au bruit global peut être importante, mais de plus en plus on exploite la filière de matériaux poreux ou drainants pour faire jouer au revêtement un rôle d'écran absorbant "horizontal". On parle de chaussée peu bruyante, chaussée réservoir, chaussée anti-aquaplaning, anti-éblouissante etc.....

### (6) Exigence de coût

Le revêtement doit être économique par rapport à son prix, sa durée de vie et les dépenses d'entretien qu'il engendre.

L'impact de la réalisation des travaux du point de vue circulation, sécurité, activité riveraine, gênes diverses doit être pris en compte au premier chef. Le bilan économique global devrait intégrer :

- le coût social des travaux
- les dépenses annexes de signalisation
- les exigences des différents exploitants (Police, RATP ...)

En conclusion il faut satisfaire aux exigences d'intégration au site, de nuisances minimum en matière de mise en oeuvre, d'entretien et d'exploitation. Tout cela étant satisfait, il faut de plus des caractéristiques superficielles satisfaisantes et durables qui ne le seront réellement que si la résistance aux sollicitations est correcte.

La tendance observée depuis quelques années est une forte montée en puissance des exigences d'environnement, de sécurité et d'intégration au site de la part de l'ensemble des acteurs de la voirie. On ne se cantonne plus au seul point de vue de la pérennité et des caractéristiques de surface directement liés à la seule fonction de circulation automobile.

## **B.2. Le rôle particulier de l'asphalte**

L'asphalte coulé est utilisé en revêtement de chaussée urbaine dès l'apparition de l'automobile au début du siècle en remplacement de la poudre d'asphalte comprimée, trop glissante. En 1923 est appliqué à Paris le premier asphalte coulé dit "porphyré".

L'asphalte prend son essor après la seconde guerre mondiale :

- 1955 : la mise en oeuvre d'asphalte coulé est réalisée mécaniquement (finisseur) sur l'avenue de l'Opéra.
- 1968 : on utilise un finisseur en grande largeur pour le boulevard périphérique (porte de St Mandé).
- 1970 : pour améliorer la rugosité des asphaltes coulés il y a incorporation de résines et peignage en surface.
- 1976 : le premier revêtement d'asphalte coulé avec granulats légers synthétiques est mis en oeuvre sur le boulevard St Michel (technique mise au point entre l'Office des asphaltes et la direction de la voirie de Paris).
- 1980 : pour la rue d'Amboise, on ajoute du soufre comme fluidifiant dans l'asphalte coulé, pour abaisser la température de mise en oeuvre.
- 1984 : de l'asphalte coulé teinté en blanc, ton pierre, est appliqué en trottoirs sur l'avenue de Tourville, pour une meilleure intégration à l'environnement.

Par ailleurs, l'asphalte est de tous temps largement utilisé en réparation ponctuelle des revêtements. C'est un des revêtements type utilisé pour le rebouchage des tranchées.

Aujourd'hui, l'asphalte répond encore parfaitement aux contraintes de l'emploi en ville : facilité de mise en oeuvre par coulage manuel ou à la machine, bonne imperméabilisation du support, facilité de réparations. Appliqué en 2 couches de 2,5 cm ou 1 couche unique de 3 ou 4 cm, il est posé sur une assise béton le plus souvent, mais il peut être aussi posé sur une assise en grave bitume ou en ETHM plus favorable pour l'exploitation des voies dans les cas difficiles.

La surface de l'asphalte relativement lisse doit être texturée : gravillonnage, bouchardage, cloutage, tapis anti-dérapant, granulats légers, mortier dense etc....

Ce traitement de surface reste un point délicat de la technique sur lequel la profession et les organismes de recherche doivent porter des efforts d'amélioration en discernant bien les voies du point de vue des niveaux de trafic. Une des voies de progrès dans ce domaine est liée à la mécanisation de l'application, à l'image de ce qui existe dans d'autres pays européens.

### **B.3. Les chaussées en béton :**

#### **3.1. Historique :**

Si l'utilisation du béton est très ancienne puisque cette technique était connue des Romains, l'emploi du béton coulé en place comme constitution de chaussée s'est développé avec l'ère moderne et le développement de l'automobile au début du siècle. A Paris, le béton a été utilisé comme couche de roulement à partir de 1926 au titre des techniques innovantes expérimentées par la ville de Paris ; l'avantage était une chaussée réalisée en une seule couche avec un entretien réduit.

#### **3.2. Evolution, tenue dans le temps des chaussées anciennes, tranchage, réparation :**

Les premières chaussées en béton étaient constituées de béton à très forts dosages en ciment et très gros agrégats. C'est le cas de la "SOLIDITIT" dosée à 800 – 900 kg/m<sup>3</sup> de ciment appliqué en couche de roulement (6 cm) sur un béton traditionnel à 250 kg/m<sup>3</sup>. Vers 1970, on a adopté des bétons routiers tels qu'on les connaît aujourd'hui (dosage 300 kg/m<sup>3</sup>).

Ces anciens revêtements, réalisés souvent sur des voies à la périphérie de Paris et subissant un trafic important ont résisté au trafic pendant plusieurs dizaines d'années. Parmi les structures existantes et non recouvertes aujourd'hui, certaines ont encore un bon comportement, d'autres présentent des fissures importantes dues au très fort dosage en ciment appliqué.

Pour réaliser des tranchées, le béton peut être découpé soit de façon traditionnelle (pelle, marteau piqueur....) soit avec du matériel moderne (tranchage, sciage etc ....).

La réfection de la chaussée après remblayage de la tranchée met en oeuvre de petites quantités de béton dont la fabrication doit néanmoins être soignée ; bien que nécessitant des moyens plus lourds que dans le cas des chaussées souples, la réalisation de tranchées en voirie béton permet en fin d'opération d'obtenir un travail plus soigné et plus durable (absence d'effet de décompression).

### **3.3. Perspectives :**

La technique béton peut être employée partout où le problème d'interventions sur réseaux n'est pas aigu en particulier sur de grandes voies péri-urbaines ou dans des quartiers neufs.

De plus des perspectives nouvelles très intéressantes sont ouvertes vis-à-vis de l'intégration au site avec le béton architectonique et vis-à-vis de la lutte contre le bruit avec les bétons de ciment poreux.

La technique du béton de ciment a beaucoup évolué depuis une ou deux décennies du point de vue des rendements, des temps de durcissement et la possibilité d'utiliser des machines de taille adaptée au site ; en outre la palette des choix offerts pour les traitements de surface s'est enrichie.

## **B.4. Les bétons bitumineux au bitume pur :**

### **4.1. Présentation :**

L'augmentation du trafic et des vitesses ont rendu primordial le problème de glissance ; les tapis anti-dérapants réalisés devaient donner une bonne rugosité tout en étant minces pour ne pas trop relever le niveau de la chaussée, et ne pas être sujets à la pelade.

Dans 80 % des cas, la structure des anciennes chaussées était en bon état et l'on a cherché à modifier les caractéristiques superficielles sans réfection de structure par une nouvelle couche de roulement mise en oeuvre en faible épaisseur.

Après les événements de mai 1968, et pour dissuader les étudiants d'utiliser les pavés comme projectiles, les principales rues du quartier latin ont été recouvertes d'enrobés (au bitume pur) dont certaines zones subsistent encore aujourd'hui.

Depuis cette période, l'emploi des enrobés à chaud à été généralisé au fur et à mesure que la technique s'est adaptée aux chantiers urbains, souvent morcelés et semés d'obstacles. Toutefois à l'époque les gammes d'épaisseur compatibles avec les formulations codifiées (minimum 5 cm d'épaisseur) ont limité leur extension au profit des enrobés spéciaux d'entreprises qui se sont bien développés à partir de 1977 dans le but de lutter contre le bruit.

Aujourd'hui, la technique des enrobés au bitume pur a été recodifiée et on dispose de toute la gamme d'épaisseur des revêtements épais, minces, très minces et ultraminces.

### **4.2. Statistiques et observations sur les tapis de 1968 :**

L'utilisation de bétons bitumineux au bitume pur s'avère très limitée dans Paris intra-muros, et l'on peut légitimement se poser à nouveau la question du bien-fondé de cette situation si l'on tient compte des dernières idées quant à l'adaptation des formules au contexte spécifique des voiries urbaines (Cf. guide LCPC-CETUR-AIVF : "Les enrobés au bitume pur en voirie urbaine - 1990").

Un point de repère intéressant sur cet aspect réside dans le comportement des tapis au bitume pur de 1968 situés au quartier latin (5<sup>ème</sup> arrondissement) et cités plus haut. Des investigations ont été menées sur 3 sites très sollicités (présence de bus) du boulevard St Germain, de la rue Claude Bernard et de la rue Gay Lussac par carottages répartis.

Malgré leur état d'usure marqué, ces bétons bitumineux jouent encore aujourd'hui leur rôle de couches de surface.

Les épaisseurs constatées sont :	Epaisseurs d'origine probables	
Boulevard St Germain (23800 véh/j – sens unique) : .....	2 à 3 cm	3 cm
Rue Claude Bernard (12200 véh/j par sens) : .....	3 à 5 cm	4 cm
Rue Gay Lussac (8000 véh/j par sens) : .....	4 à 5 cm	4 cm

Il s'agit dans tous les cas de bétons bitumineux fins continus 0/6 caractérisés par :

- teneur en bitume ..... 6,5 %
- passant à 2 mm environ ..... 50 %
- teneur en fines de l'ordre de..... 8 %
- pourcentage de sable roulé 0/4 : supérieur à ..... 30 %

Les bitumes utilisés à l'époque pour ces BB 0/6 étaient de grade 60/70 ou 80/100. Les caractéristiques trouvées sur carottes sont :

	Compacité de l'enrobé	Pénétration et Bille anneau du bitume	
Boulevard St Germain	91,5	30	66,5
Rue Claude Bernard	96,0	15	74
Rue Gay Lussac	96,0	56	52

Ce type de formulation visant des épaisseurs d'emploi voisines de 4 cm rejoint les idées exprimées dans le guide cité ci-dessus en ce qui concerne la nature et la teneur en liant d'une part et dans une moindre mesure l'allure granulométrique.

Cependant la granularité continue 0/6 conduit à une macrorugosité jugée actuellement insuffisante mais on sait aujourd'hui faire évoluer facilement ces formules vers les caractéristiques de surface souhaitées (discontinuité).

Sur le plan économique, l'enjeu d'un nouvel essor des BB au bitume pur de formulation adaptée à la voirie parisienne apparaît important dès lors que l'on cerne bien le domaine d'emploi (voirie à trafic de desserte par exemple). On rappelle en effet qu'en règle générale il y a un facteur multiplicatif de l'ordre de 2 à 3 entre le coût à la tonne de bitume modifié et celui du bitume pur.

## **B.5. Le traitement de la fissuration**

### **5.1. Sensibilité du problème à Paris :**

Les anciennes chaussées de Paris ont pour la plupart une structure en béton. Ces dalles de béton servent soit de couche de roulement, auquel cas les joints restent apparents et devraient être entretenus, soit sont recouvertes d'asphalte coulé qui réalise une certaine étanchéité, avant que ne réapparaissent les joints en surface. Lorsque le béton supporte des pavés, l'influence des joints est dissipée dans le lit de pose entre les pavés et les joints n'apparaissent pas en surface.

Les structures de type semi-rigides (grave-laitier ou grave-ciment) induisent des fissures de retrait. Ces fissures remontent à travers le revêtement en enrobés.

### **5.2. Les procédés anti-fissures en milieu urbain :**

#### **5.2.1. Membranes anti-fissures :**

Il s'agit de produits spéciaux d'entreprise qui consistent à réaliser une couche avec du sable enrobé riche en liant modifié (épaisseur maximale 15 mm). Ces membranes précédant la pose de la couche de surface sont d'un coût généralement plus élevé que les autres techniques anti-fissures, mais s'avèrent relativement plus efficaces.

#### **5.2.2. Préfissuration :**

Le principe de la préfissuration consiste à multiplier le nombre de fissures de retrait d'une grave hydraulique en diminuant le pas de fissuration artificiellement en créant des discontinuités, donc des amorces de fissures.

On remplace ainsi des fissures larges et actives distantes d'une dizaine de mètres, par un plus grand nombre de fissures fines, peu actives distantes de 2 à 3 mètres.

Cette technique n'est pas encore d'un usage généralisé dans toutes les entreprises.

#### **5.2.3. Géotextiles anti-fissures :**

Pour empêcher la remontée des fissures de la couche de base traitée aux liants hydrauliques à travers la couche de roulement, on peut intercaler un géotextile imprégné, soit déroulé sur une nappe de bitume qui le colle à la chaussée, soit fabriqué sur place, selon des procédés spéciaux.

Ces techniques sont utilisables en voirie urbaine, à condition que la chaussée ne soit pas trop encombrée d'émergences telles que regards de visites ou bouches à clés. Dans le cas de géotextile manufacturé et déroulé sur place, il y a possibilité de réaliser des découpes du géotextile autour des ouvrages, s'ils ne sont pas très nombreux.

A Paris, c'est la technique de la membrane anti-fissure qui est la plus adoptée. Elle implique d'être vigilant sur le respect de l'épaisseur pour ne pas risquer de déformation sur les voies de bus en particulier.

### 5.3. Intérêt des pontages superficiels sur chaussées anciennes

D'une manière générale l'expérience a montré en voirie urbaine comme ailleurs, que l'accroissement de durée de vie des revêtements procuré par un entretien des fissures de surface méticuleux (par pontage ou autre), est significatif.

Cette opération peut en contre-partie nuire à l'esthétique des voiries et pour cette raison un nombre croissant de maîtres d'ouvrages fixe des cahiers des charges imposant des chaussées sans fissuration naturelle.

De même, en cas de rechargement, la tendance étant de mettre en oeuvre des couches de plus en plus minces, il devient de plus en plus nécessaire de préparer les supports préalablement, en pontant les fissures pour retarder leur remontée.

A Paris, jusqu'à présent, il ne se pratiquait que peu ou pas de pontage y compris des anciennes chaussées avant rechargement. Il serait nécessaire de faire appel plus souvent à cette technique avec tout l'accompagnement méthodologique et pédagogique qu'elle sous-tend.

## B.6. Le point sur les Enrobés à module élevé (ex. ETHM)

Il s'agit de formulations 0/14 le plus souvent pleines et à teneur en liant dur relativement élevée. Ces mélanges sont des procédés largement développés par la majorité des entreprises routières et font appel à des liants spécifiques. Ils donnent lieu à de nombreuses applications depuis plusieurs années compte tenu des qualités qu'ils présentent :

- effet favorable sur le dimensionnement par ses caractéristiques de module et de fatigue.
- excellente résistance à l'orniérage.

Le domaine d'emploi en épaisseur commence à 7 cm mais s'applique dans les cas courants en couches de l'ordre de 10 cm - 12 cm.

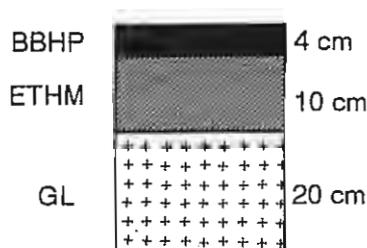
Dans le cas de la voirie parisienne, cette technique a été utilisée à partir de 1984 en assise supérieure des structures. L'assise inférieure étant soit des bétons de ciment anciens et conservés, soit des matériaux semi-rigides grave ciment ou grave laitier.

Un des inconvénients parfois avancé quant à l'emploi d'ETHM, qui réduit la couverture bitumineuse au-dessus de l'assise rigide ou semi-rigide, est le risque de remontée plus rapide de la fissuration de l'assise.

Ce point a été examiné sur quelques réalisations à trafic conséquent parmi les plus anciennes :

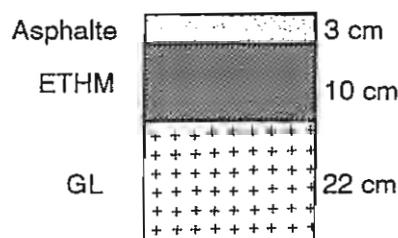
(1) 1984

Bd Ney Paris 18<sup>ème</sup>  
et Bd Mac Donald Paris 19<sup>ème</sup>  
couloir bus en site propre



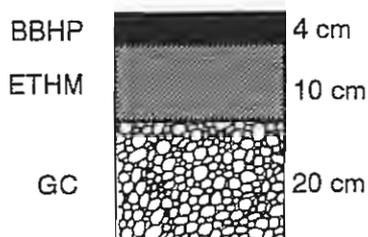
(2) 1984

Avenue Henri Martin Paris 16<sup>ème</sup>



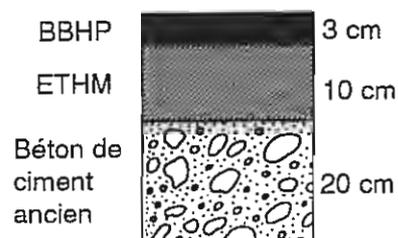
(3) 1985

Bd Massena Paris 13<sup>ème</sup>  
couloir bus en site propre



(4) 1987

Bd de l'Hôpital Paris 13<sup>ème</sup>



Pour des reculs compris entre 4 et 7 ans, les observations ne laissent apparaître aucune remontée de fissures et on n'observe aucune déformation permanente.

Il semble donc que dans la pratique le risque de remontée rapide des fissures est réduit.

Du point de vue économique le coût des EME est en moyenne de 25 à 30 % supérieur à celui des graves bitume classiques (fourniture seule), ce qui compte-tenu des gains d'épaisseur "utiles" les rend compétitifs.

## **B.7. Investigations – Méthodes d'évaluation :**

### **7.1. Présentation :**

Les réfections pratiquées par la Ville de Paris, sont essentiellement de deux sortes :

- réfection partielle lorsque le corps de chaussée est conservé (généralement du béton) et que l'on remplace les pavés et le lit de pose en sable par des matériaux liés (grave traitée et enrobés) ;
- réfection totale lorsque la reconstruction comprend la démolition et la reconstruction totale du corps de chaussée.

Pour savoir si la chaussée a besoin d'une réfection partielle ou totale, il faut connaître l'état de la structure grâce à des relevés visuels, des sondages et des mesures de déflexions.

### **7.2. Les sondages et les carottages :**

Les sondages réalisés dans l'ancienne chaussée au marteau-piqueur permettent de connaître avec précision la nature des couches de corps de chaussées (matériaux traités ou non, béton ...), l'état de ce matériau (cohésion, degré d'humidité) et éventuellement la nature et l'état du sol support (matériau sensible à l'eau tel qu'argile, limon). A l'endroit du sondage, on peut mesurer l'épaisseur des différentes couches, ce qui permet de les recaler sur les structures-types anciennes.

Les carottages sont également utilisés lorsque l'on n'a pas besoin de connaître la teneur en eau des matériaux et des sols.

La structure sera à reconstruire en totalité en particulier en cas de sol support gorgé d'eau ou en cas de défauts des matériaux de corps de chaussée :

- matériaux pollués par de l'argile,
- matériaux traités n'ayant plus de cohésion,
- béton désagrégé ou multi-fissuré,
- matériaux baignant dans de l'eau,
- épaisseurs trop faibles.

### 7.3. Investigations sur l'état de surface

L'état de surface de la chaussée donne des indications sur "l'état de santé" apparent de la structure. C'est un critère auquel l'ensemble des usagers est sensible et qui revêt une importance capitale en voirie urbaine.

Contrairement à ce qu'il y paraît, la collecte de cet indicateur est délicate, et implique méthode et rigueur.

Il faut :

- 1) identifier et classer les dégradations de la chaussée et de ses abords (caniveaux, bordures, trottoirs) à partir d'un langage commun. On utilise pour cela des catalogues types de dégradations (Cf. "Catalogue de dégradations de la Ville de Paris - 1986").
- 2) quantifier ces dégradations pour appréhender de manière objective, le niveau de service de la voirie ; selon l'objectif assigné à l'auscultation, on peut choisir l'une des 3 méthodes suivantes (Cf. "Guide pratique de quantification des dégradations de chaussées urbaines - CETUR-LCPC-AIVF 1990).
  - méthode du relevé global par segment (évaluation rapide d'une rue ou d'un réseau),
  - méthode du relevé simple par maille (diagnostic systématique pour la constitution d'un modèle de gestion),
  - méthode du relevé par maille avec niveaux de gravité (observatoire détaillé de structures et techniques innovantes).

Ces chiffrages conduisent souvent à dissocier les notions de dégradations de structures de celles de dégradations de surface n'affectant que le revêtement et permettent une première orientation vers des renouvellements de revêtements ou des réfections de structures.

### 7.4. Mesures de déflexions :

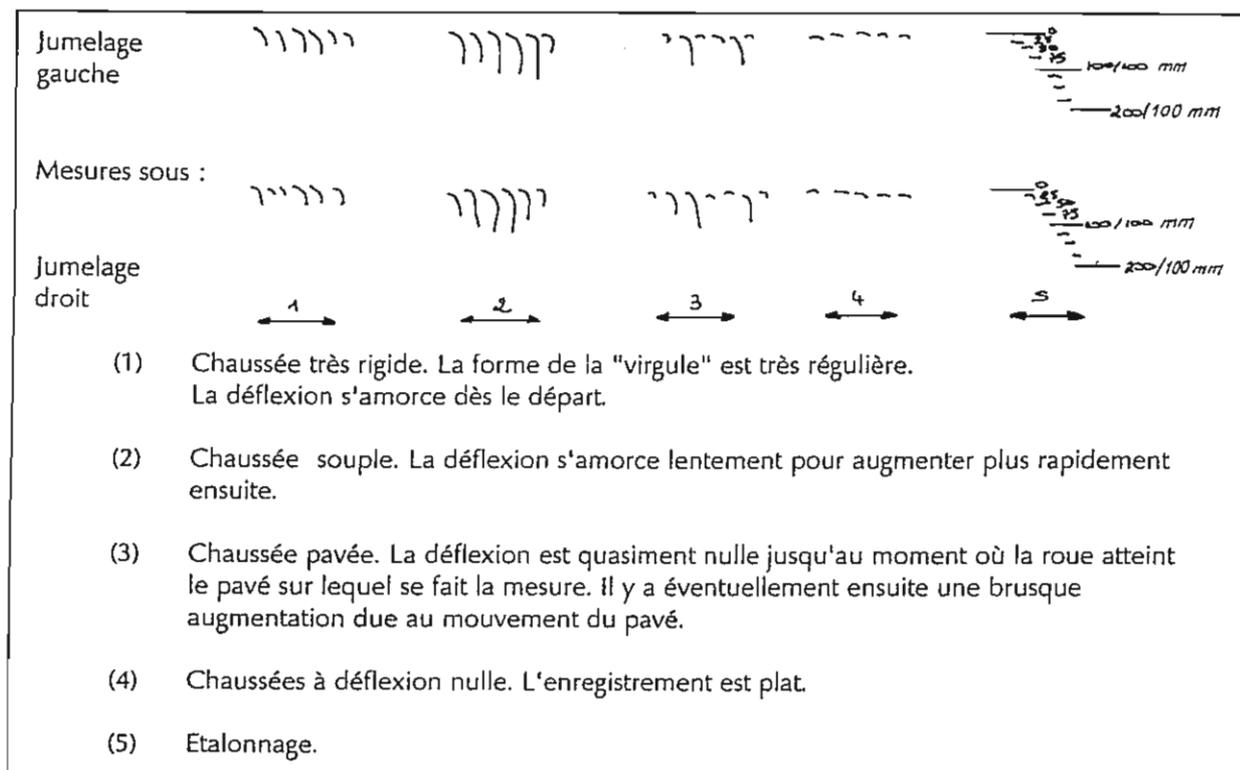
Le déflectographe "LACROIX" permet de mesurer la déformabilité d'une chaussée au passage d'un essieu chargé à 13 t. Les mesures sont réalisées au centre des jumelages droit et gauche à raison d'une mesure tous les 3,40 m environ. La déformation de la chaussée sous les deux jumelages, est enregistrée sous forme de "virgule" sur un support, et s'exprime généralement en centièmes de millimètres.

Une forte déformabilité peut traduire une fatigue du corps de chaussées et/ou une insuffisance de portance du sol support.

Dans le cas de chaussées pavées, l'enregistrement de fortes déflexions peut aussi provenir d'un mouvement du pavé sur lequel repose le palpeur de mesure.

L'analyse de la forme des enregistrements permet d'avoir une indication sur l'origine de la déformabilité.

Le schéma ci-après montre divers types d'enregistrements que l'on peut rencontrer.



### 7.5. Interprétation des résultats :

#### Cas des chaussées en béton et asphalte sur béton :

Ces chaussées sont considérées comme des chaussées de type rigide et doivent présenter des déflexions pratiquement nulles qui ne doivent pas dépasser 20/100 mm pour une structure récente.

Pour des structures anciennes l'expérience a montré que malgré des déficiences au niveau de la couche de fondation, l'application d'un tapis ou une réfection superficielle est réalisable sans risque important avec des déflexions de 50/100 mm.

#### Cas des chaussées en pavage sur béton :

Pour ces types de chaussées les critères d'appréciation doivent être nuancés. Il y a lieu de prendre en compte :

- la déformabilité de la couche de fondation
- la compressibilité éventuelle du lit de sable (sable pollué)
- le mouvement éventuel du pavé (ou du groupe de pavés) par absence de blocage sans que la contribution de chacun de ces phénomènes puisse être nettement isolée.

Sur ce type de chaussée, il semble que l'on puisse admettre une déformabilité globale relativement élevée (de l'ordre de 75 à 100/100 mm) sans que pour autant la fondation soit nécessairement dégradée.

### Cas des chaussées en pavage sans fondation rigide :

Certaines chaussées sont constituées de pavés échantillons posés sur lit de sable à même le sol support, sans fondation rigide. Dans ce cas, il n'est pas rare de mesurer des déflexions de 150/100 mm et plus. On considère qu'un traitement de structure est nécessaire (réalisation d'une fondation traitée) lorsque la déflexion dépasse 125/100 mm pour les voiries de desserte et 50 à 75/100 mm pour les voiries principales. Ce dernier cas devrait toutefois être exceptionnel.

## B.8. Réflexions sur la durée de vie des chaussées :

### 8.1. Rapport Moneger :

#### - Présentation :

Le rapport Moneger recense les réfections totales de chaussées réalisées à Paris de 1953 à 1988 intéressant à la fois la couche de fondation et la couche de roulement.

Ce rapport indique les travaux réalisés dans chaque arrondissement, chaque année. Le tableau ci-après présente les surfaces recensées avec des chiffres incomplets pour les années 1987 et 1988.

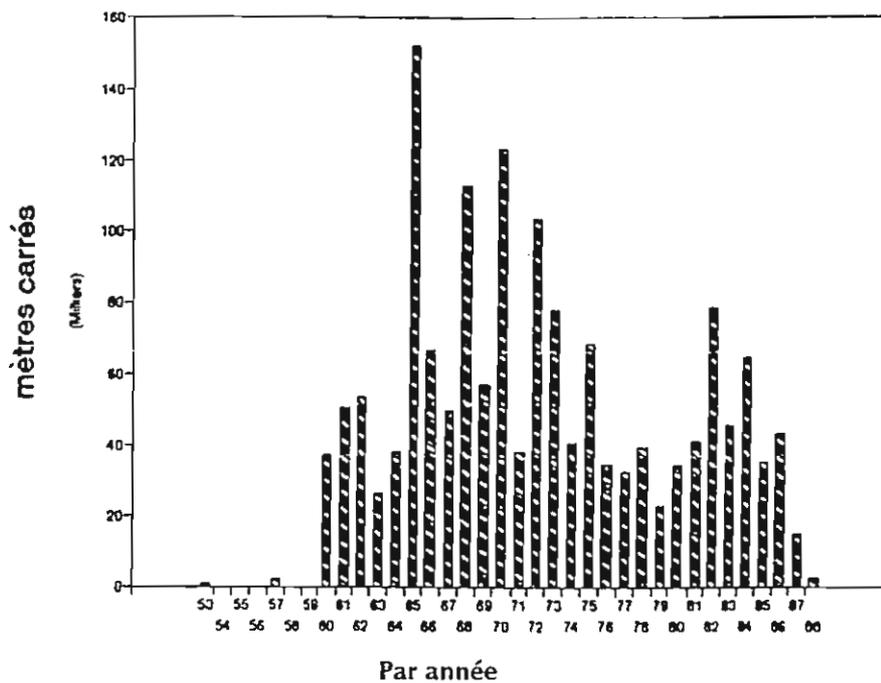
L'analyse de ces chiffres permet de connaître la quantité de travaux réalisés annuellement durant cette période, et donc d'estimer les durées de vie correspondant à la politique budgétaire et technique en vigueur.

#### - Analyse du rapport :

La voirie parisienne a très peu varié en surface pendant les dernières décennies. Les surfaces faisant l'objet de **réfections totales ou partielles** varient annuellement de 1960 à 1988, de 22 600 à 152 000 m<sup>2</sup> pour une moyenne de : 54 600 m<sup>2</sup> (total 1.584.213).

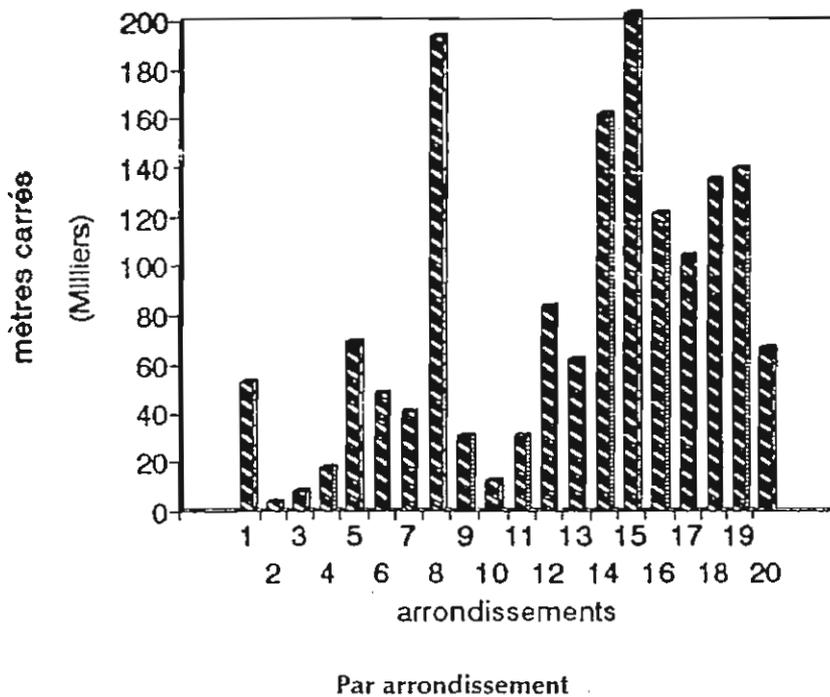
Comparé à la surface actuelle de 13,5 millions de m<sup>2</sup> de chaussées, hors boulevard périphérique, cela représente un pourcentage de renouvellement théorique de 0,16 % à 1,2 % de la surface avec une moyenne de 0,4 %. Cela conduit à un renouvellement complet des structures de chaussées en 250 ans en moyenne. Pour la meilleure année (1965) cette durée théorique est encore de 83 ans. Ces chiffres sont à pondérer et peuvent être très variables selon les arrondissements, mais montrent néanmoins que la politique correspondait à des durées de vie très longues.

### REFECTIONS DE 1953 à 1988 (d'après MONEGER)



**Rapport Moneger** : Quantitatif de réfections de structures pratiquées à Paris de 1953 à 1988.

### REFECTIONS DE 1953 à 1988 par arrondissement



## 8.2. Enquête 1986 sur les Villes de France :

### 8.2.1. Présentation :

Une enquête réalisée en 1986 auprès de villes ou communautés urbaines de plus 15.000 habitants (400) a permis de connaître leurs pratiques en matière de revêtements de voies. ("*Panorama de l'entretien des revêtements en chaussées urbaines*" AIVF, CETUR, LPC, octobre 1986).

La comparaison des résultats obtenus pour Paris et pour les autres villes est intéressante.

### 8.2.2. Analyse :

#### Les revêtements existants :

	Ensemble des villes (en millions de m <sup>2</sup> )	Villes > 400 000 hab	Paris
<b>Revêtements bitumineux</b>	78 % (154,3 M m <sup>2</sup> )	81,7 %	50 %
<b>Pavés</b>	6 %      (11,7)	11,7 %	40 %
<b>Béton</b>	1 %      (1,9)	1,5 %	8 %
<b>Autres</b>	15 %      (30,7)	5 %	2 %

Paris présente moins de surfaces bitumineuses que l'ensemble des villes ayant répondu à l'enquête, moins également que les villes de plus de 400 000 habitants.

Il y a davantage de pavés et davantage de surfaces en béton non revêtu.



Aspects économiques (références : coûts TTC 1985)

	Ensemble des villes	Villes > 400 000 hab	Paris
Surface totale de voirie par habitant	19,6 m <sup>2</sup> /hab	8,7 m <sup>2</sup> /hab	6,2 m <sup>2</sup> /hab
Budget par an et par habitant	71,80 F/an/hab	40,19 F/an/hab	23,43 F/an/hab
Budget par an et par surface traitée	160,40 F/an/m <sup>2</sup>	110,15 F/an/m <sup>2</sup>	127,50 F/an/m <sup>2</sup>
Budget par an et par surface totale de voirie	4,40 F/an/m <sup>2</sup>	4,61 F/an/m <sup>2</sup>	3,59 F/an/m <sup>2</sup>
Fréquence théorique de recouvrement	17 ans	23,9 ans	35,5 ans

Bien que cette approche économique ait été très sommaire et parfois entachée d'imprécisions sur le contenu des coûts, on peut en dégager quelques tendances intéressantes :

Les données économiques rapportées à la surface de voirie ou au nombre d'habitants montrent les particularités de Paris.

- La surface totale de voirie rapportée au nombre d'habitants est assez faible.
- Le budget annuel rapporté à la surface traitée est plus faible que pour les villes moyennes et du même ordre que pour les villes de plus de 400 000 habitants.
- Le budget annuel rapporté à la surface totale de voirie est plus faible que la moyenne des autres villes et que pour les villes de plus de 400 000 habitants.
- La fréquence théorique de renouvellement de 35,5 ans est très faible, en gros deux fois plus faible que les moyennes observées sur l'ensemble des villes françaises.
- Ces particularités résultent sans doute pour une part de la nature du tissu parisien "très consolidé" par rapport à celui de la plupart des villes et de la qualité des techniques mise en oeuvre depuis un siècle.

### 8.2.3. Conclusions :

Les deux approches précédentes sont incontestablement sommaires puisqu'il n'est pas tenu compte notamment de la nature des voies et des trafics supportés pour porter un jugement sur les durées de vie ou d'entretien.

Cependant, elles révèlent à l'évidence des durées de vie ou des fréquences de renouvellement moyennes extrêmement grandes.

### **B.9. Agressivité du trafic poids lourds dans les rues de Paris :**

Les méthodes de dimensionnement de chaussées prennent généralement en compte un trafic exprimé par un nombre d'essieux équivalents à l'essieu standard de 13 tonnes.

A Paris (comme dans les autres villes), on ne dispose que de comptages relatifs à la circulation totale et parfois au nombre de poids lourds ou des nombres d'essieux, éventuellement détaillés en fonction de leurs volumes.

Si en rase campagne, la répartition des poids d'essieux est assez bien connue et permet d'estimer un nombre d'essieux équivalents à partir d'un nombre de poids lourds, en ville, cette répartition est méconnue.

C'est le cas pour la ville de Paris où le trafic semble moins agressif que sur le réseau national ou départemental sans que l'on puisse dire de combien.

Pour connaître l'agressivité du trafic parisien, deux sites de comptages ont été équipés d'une boucle magnétique et de deux câbles piézo-électriques :

- rue Lecourbe 15<sup>ème</sup> arrondissement (décembre 1990)
- quai St Bernard 5<sup>ème</sup> arrondissement (janvier 1992)

Les résultats de l'étude sont rassemblés dans le document joint en annexe.

Ces études qui ne peuvent sans doute pas prétendre immédiatement à généralisation, montrent que pour la voirie urbaine de Paris intra-muros, on pourrait schématiquement tabler, à nombre de poids lourds identiques, sur une agressivité :

- divisée par 3 par rapport aux autoroutes
- divisée par 2 par rapport aux routes nationales
- réduite de 25 % par rapport à une route départementale ordinaire.

Ces résultats sont à l'évidence de toute première importance pour le dimensionnement des structures.

## B.10. Voirie et Environnement

L'analyse de l'histoire de l'évolution des techniques de voiries utilisées à Paris ces dernières décennies nous montre que les préoccupations d'environnement sont apparues toujours plus vite à Paris qu'ailleurs, et que ces questions ont joué un rôle actif dans les innovations techniques et leur généralisation, là encore plus rapide qu'ailleurs (lutte contre la poussière des macadams et des asphaltes comprimés ; lutte contre le bruit des pavages d'où essor des BBHP).

Dans l'esprit du nouveau concept de la qualité privilégiant la satisfaction des usagers en déplacement et des riverains, les conceptions parisiennes dépassent couramment maintenant le cadre traditionnel des objectifs de la voirie à savoir pérennité des ouvrages et intégrité des revêtements. Ils privilégient de plus en plus les objectifs suivants :

- limitation du bruit
- sécurité active et passive
- propreté et gêne minimale des chantiers dans le temps et dans l'espace.

Citons à titre illustratif quelques actions mettant en pratique ces orientations.

### (1) Recherche d'une politique sur les revêtements drainants.

"Les revêtements drainants constituent peut-être le seul fait marquant que l'usager retiendra dans l'évolution des chaussées dans les années 1990". Cette conclusion dégagée il y a quelques années par le Comité de Prospective des Techniques de la Route (secteur chaussées) illustre bien les enjeux et les attentes des maîtres d'ouvrage envers ces techniques.

Les avantages procurés par ces revêtements drainants sont principalement de deux ordres :

- 1) amélioration des conditions de déplacement par temps de pluie : disparition des projections d'eau au droit des véhicules, risques d'aquaplanage pratiquement inexistant, bon coefficient de frottement à grande vitesse, diminution du risque d'éblouissement.
- 2) diminution du bruit de roulement (contact pneumatique-chaussée) qui peut aisément être abaissé jusqu'au niveau de celui des enrobés fins par temps sec par réduction, voire élimination des trois composantes de la formation du bruit de roulement : air pumping ; slip and stick et choc des "marteaux" de caoutchouc des pneumatiques, ce dernier étant particulièrement fort sur les pavés et les revêtements très grenus.

Les techniques actuelles de conception et de mise en oeuvre d'enrobés drainants offrent des matériaux performants avec 20 à 25 % de vides initiaux. Certains de ces produits ont des stabilités à l'orniérage identiques à celles des revêtements classiques pour trafic lourd (cf. essais au manège de fatigue du LCPC.).

Les trois réserves les plus souvent citées quant à la généralisation des revêtements drainants sont :

- 1 - Le comportement en viabilité hivernale et le maintien d'une gestion particulière pour les secteurs concernés. Cette question n'est pas primordiale dans le contexte de l'urbain.
- 2 - Le colmatage progressif par les pollutions diverses emmagasinées, phénomène qui prend à l'inverse du précédent une acuité toute particulière en ville.
- 3 - L'encrassement de surface (papiers, feuilles etc ....) qui peut interférer directement sur les méthodes de nettoyage.

Des plans d'expérience sont en cours sur plusieurs sites de la ville de Paris pour appréhender qualitativement et quantitativement ce phénomène, ainsi que l'efficacité des matériels de décolmatage qui se perfectionnent de jour en jour. A titre indicatif, les analyses opérées dans un cas sur les jus de lavage de ces machines ont montré la récupération d'une partie importante de polluants : matières organiques, hydrocarbures, métaux lourds. On pourrait parler en ce sens de chaussées "écologiques".

## (2) Propreté des chantiers et coordination.

Une action de sensibilisation et mobilisation très importante a été engagée par la mairie de Paris – direction de la voirie pour améliorer la conduite et l'aspect des chantiers dans les rues de Paris.

Rappelons qu'une procédure s'appuyant sur un outil informatisé de coordination des travaux dans le temps et dans l'espace fonctionne depuis plus de 15 ans à Paris pour optimiser les 5000 interventions annuelles programmables. La présente action est plus qualitative et plus perceptible au premier degré par les habitants. Elle se concrétise en outre par :

- La passation d'un cahier des charges et Protocole entre la mairie de Paris et la Fédération Régionale des Travaux Publics Ile de France traitant des moyens mis en oeuvre pour ce qui concerne la conduite des travaux, l'aspect des installations, la bonne tenue des chantiers, la sensibilisation et le recyclage des personnels, l'identification des entreprises, les clôtures de chantiers, la tenue des personnels, engins et véhicules etc....
- Un agrément des systèmes de barriérage et clôtures de chantiers (barrière et clôture vertes et grises).
- Un système de suivi et d'incitation : prix annuel de bonne tenue des chantiers sur la voie publique.

Enfin, les incitations à développer les nouvelles technologies d'intervention sous chaussée sans ouverture de tranchée sont effectives sur des structures et réfections de revêtement de moins de 3 ans d'âge.

Pour les reconstructions de chaussée et le choix des nouveaux revêtements, il faut éliminer certaines techniques polluantes, bruyantes, salissantes.

Cet ensemble d'actions mobilise efficacement les acteurs de la construction et de l'entretien des infrastructures de génie civil liées à la voirie et aux réseaux qu'elle supporte. Elles améliorent l'image de marque de la profession et des services techniques concernés, et contribuent en ce sens à un comportement plus serein des usagers et des riverains.

## (3) Les futures expérimentations de chaussées poreuses urbaines (structures poreuses).

Le concept de Chaussées Poreuses Urbaines (CPU) permet d'aborder dans sa vision la plus exhaustive une nouvelle voirie participant non seulement aux fonctions élémentaires circulation – sécurité d'une voirie, mais aussi aux fonctions environnementales. On améliore en effet simultanément la réduction du bruit, le risque hydrologique et la maîtrise d'une partie du cycle pollution-dépollution de la circulation automobile.

Les derniers développements des recherches laissent à penser que l'efficacité maximum pour l'objectif de réduction du bruit (préoccupation principale pour la direction de la voirie aujourd'hui) serait de réaliser une couche de roulement monocouche très épaisse en matériaux poreux. La technique des bétons de ciment poreux a sur ce registre un domaine d'emploi privilégié.

Les sujets de recherches autour de ces structures innovantes sont nombreux, et il est significatif d'observer que dans la continuité d'une logique d'innovation la ville de Paris contribue à l'ensemble des thèmes cités ci-dessous.

THÈMES	SUJETS
1 PROBLÈMES ACOUSTIQUES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poursuite de la modélisation de l'absorption acoustique.</li> <li>- Mesure du bruit au passage pour les poids lourds.</li> <li>- Efficacité pour un flot de circulation (mesures de Leq).</li> <li>- Etude de l'effet de l'épaisseur sur l'efficacité acoustique.</li> <li>- Optimisation du couple chaussée poreuse - écran anti-bruit.</li> <li>- Etude sur la génération et l'émission du bruit.</li> <li>- Evaluation de la perception par les usagers.</li> </ul>
2 FORMULATION DES MATÉRIAUX POREUX	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimisation des formulations des matériaux poreux pour obtenir la meilleure efficacité (texture, tortuosité ...).</li> <li>- Calage de la prévision du pourcentage des vides et des autres paramètres influant sur les objectifs recherchés.</li> <li>- Déterminer le module de la résistance à la fatigue des formules optimisées pour permettre le dimensionnement et vérifier la résistance aux déformations permanentes.</li> <li>- Mise au point de formules de béton de ciment poreux pour couche de roulement.</li> </ul>
3 DIMENSIONNEMENT STRUCTUREL DES CHAUSSEES POREUSES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conception et dimensionnement structural des chaussées poreuses pour diverses épaisseurs de couches poreuses (fatigue et déformation permanentes).</li> <li>- Vérification sur le manège de fatigue du LCPC.</li> <li>- Vérification du dimensionnement au gel-dégel : pénétration du gel dans les chaussées poreuses.</li> <li>- Teneur en eau dans les sols structure poreuses.</li> </ul>
4 MÉTHODES DE CONSTRUCTION ET ENTRETIEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation de couches de roulement épaisses.</li> <li>- Maîtrise et prédiction de la texture.</li> <li>- Adaptation de la mise en oeuvre du béton de ciment poreux pour obtenir un bon uni.</li> <li>- Définition des méthodes de réparation.</li> <li>- Etude des problèmes spécifiques en viabilité hivernale résultant de la forte épaisseur de matériaux poreux.</li> </ul>
5 COLMATAGE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude du mécanisme du colmatage. A quel niveau se produit-il ?</li> <li>- Vérification de l'efficacité du phénomène de chasse.</li> <li>- Etude des méthodes de décolmatage.</li> </ul>
6 ASSAINISSEMENT ET HYDRAULIQUE DES STRUCTURES POREUSES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propriétés hydrodynamiques des matériaux poreux utilisables dans les CPU.</li> <li>- Assainissement des structures poreuses à faible capacité de rétention d'eau.</li> <li>- Fonctionnement hydraulique des structures poreuses.</li> <li>- Outils d'aide à la conception des structures réservoirs.</li> </ul>
7 IMPACT SUR LA QUALITÉ DES EAUX	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pouvoir de rétention de la pollution des enrobés poreux et caractérisation de cette pollution.</li> <li>- Migration et rétention de la pollution dans les couches de chaussées et les sols supports.</li> <li>- Efficacité des méthodes de nettoyage et règles d'entretien.</li> <li>- Infiltration des eaux pluviales après transit dans une structure poreuse (problème des hydrocarbures).</li> <li>- Constatation générale sur les teneurs en polluant dans les structures poreuses.</li> </ul>

Enfin, sur un plan général rappelons que les conceptions des projeteurs intègrent en permanence et de plus en plus les préoccupations esthétiques d'intégration aux sites, de couleur de revêtement en liaison avec l'éclairage, de développement harmonieux des arbres et plantations diverses. Sur ces différents points, la palette des solutions techniques est de plus en plus riche et de mieux en mieux maîtrisée par les professionnels dans le contexte de Paris.

### **B.11. Coût des structures anciennes par rapport aux structures modernes.**

Les réflexions précitées sur la durée de vie des chaussées ont mis en évidence que les générations précédentes construisaient à Paris des ouvrages solides et durables.

La contrepartie de ce résultat était un coût de premier investissement élevé, en particulier pour les structures à revêtements de pavés de pierre naturelle.

L'analyse présentée ci-dessous indique les ordres de grandeur des coûts des réalisations des structures de chaussées "anciennes" et "modernes" dans le contexte d'aujourd'hui (coûts TTC 1991). Pour faciliter les comparaisons, nous avons d'une part considéré le cas d'une épaisseur uniforme de 50 cm de corps de chaussée, et d'autre part mentionné le coût approximatif des réhabilitations partielles des chaussées "anciennes".

#### **- Coût d'une chaussée neuve de 50 cm d'épaisseur (hors préparation du support, barrière, coordination, travaux annexes).**

	<i>Ordre de grandeur du prix TTC 1991 par m<sup>2</sup></i>
<b>Structure ancienne</b>	
pavage sur béton	530 F
asphalte sur béton	350 F
<b>Structure moderne</b>	
- grave ciment, plus grave bitume ou enrobé à module élevé (EME) (1) plus béton bitumineux mince (BBm2) (2)	320 F
- béton, plus anti-fissure plus béton bitumineux mince (BBm2)	
 <b><u>Coût d'une réhabilitation</u></b>	
	<i>Ordre de grandeur du prix TTC 1991 par m<sup>2</sup></i>
Chaussée pavée (enlèvement des pavés, du sable et remplacement par EME et BBm2).	250 F
Chaussée asphalte (enlèvement de l'asphalte et remplacement par anti-fissure et BBm2).	125 F

(1) ex ETHM

(2) ex BBHP

Ces éléments de coût appellent les commentaires suivants :

- Les structures modernes, d'un coût de l'ordre de 320 F le m<sup>2</sup> sont près de 40 % moins chères toutes choses égales par ailleurs que les structures béton de fondation plus pavage.
- L'enjeu économique des réhabilitations partielles est bien mis en évidence puisque si l'on intègre en plus du coût de la chaussée neuve de structure moderne celui du décaissement (environ 150 F par m<sup>2</sup>), on observe que la conservation de l'assise en béton et le remplacement de son seul revêtement pavé ou asphalte coûte par rapport à la réfection totale à l'identique environ 2 fois moins cher pour la structure pavé et 3 fois moins cher pour la structure asphalte même en y intégrant un dispositif anti-remontée de fissures.

Ces quelques ordres de grandeur de coût, malgré leurs limites, montrent néanmoins tout l'intérêt qu'il y a de bien évaluer les structures en place avant la reconstruction et soulignent la forte rentabilité des auscultations fines. L'examen des statistiques portant sur le pourcentage de réhabilitations partielles par rapport aux réfections complètes montre qu'il y a vraisemblablement beaucoup à gagner dans cette voie qui pourrait aussi être affichée comme un axe des nouvelles stratégies : structures à évolution contrôlée permettant une intervention de surface avant une détérioration irréversible de l'assise. Là encore, la technique des bétons de ciment, largement répandue en assise de chaussée à Paris, pourrait être à nouveau valorisée compte tenu des perspectives qu'elle offre dans cet objectif.

Sur un plan plus général, on observe que parallèlement aux évolutions technologiques imposées en permanence par les nouvelles exigences des usagers et des riverains, on assiste à une réduction relative des coûts assez significative. Ce point doit être bien perçu dans l'élaboration des stratégies du futur, car on pourrait penser au contraire que la multiplicité des fonctions de plus en plus complexes assignées aux chaussées de demain conduise à une augmentation des coûts. Le vécu de l'innovation sur 30 années sur la voirie parisienne montre que l'argument du coût ne doit pas être un frein trop puissant à l'innovation, au moins au premier stade de faisabilité des idées.

Enfin, ces nouvelles situations où la technique et l'économique sont très imbriquées, nous montrent qu'il n'est plus possible de fixer les techniques pendant de longues périodes comme par le passé. Cela n'empêche pas la nécessité périodique de recadrer les orientations et les pratiques dans un objectif très concret à l'attention des praticiens.

Standardisation et innovation sont donc totalement liées au niveau des nouvelles stratégies de conception des structures des voiries.

## C] LA CONCEPTION DES STRUCTURES

### C.1. La démarche

La question de la conception d'une structure de voirie se pose dans deux contextes bien distincts.

- (1) **La réalisation de projets neufs ou voies de premier établissement**, dans les zones en extension ou rénovation d'urbanisme (ZAC ; aménagement de voies ...).
- (2) **Les interventions sur voies existantes**, sous forme de **réhabilitation partielle** (reprise d'au moins une couche de corps de chaussée en place) ou **totale** (réfection de structure jusqu'à la plate-forme).

Dans un cas comme dans l'autre, une cohérence d'ensemble est nécessaire qui se concrétise par des termes d'objectifs généraux correspondant aux options et aux choix du maître d'ouvrage (cf. § C.2), complétés par des objectifs ou adaptations particulières propres à chaque réalisation.

Pour les voies existantes, une des questions importantes que se pose le gestionnaire qui doit "rajeunir" une voie est de déterminer la valeur résiduelle de celle-ci, et plus précisément dans quel cas la chaussée en place est du ressort :

- d'une simple rénovation de revêtement
- d'une réhabilitation partielle
- d'une réhabilitation totale.

Jusqu'à présent, on a pratiqué des méthodes d'investigation bien rodées s'appuyant sur des sondages et des reconnaissances méthodiques d'état de surface et de la portance (cf. § B.7). Dans le futur, de nouveaux outils comme le système expert d'aide au diagnostic et conseil en réparation des voiries (SEVADER) complèteront cette démarche très importante de diagnostic et aideront le maître d'oeuvre à répondre à cette question avec un bon degré de sûreté. Cet outil permet en effet une aide précise quant à la recherche d'une solution adaptée aux objectifs du maître d'ouvrage lorsque la voirie relève d'une simple rénovation de revêtement. Dans ce cas le choix du revêtement intègre la préparation du support et les purges partielles éventuelles.

Le présent document s'attache quant à lui à aider à répondre aux deux autres situations de **réhabilitations partielles et totales généralisées pour un segment de voirie**, en sus des structures des voiries de premier établissement classiques (il ne traite pas des tranchées et des réhabilitations ou interventions localisées).

## **C.2. Les Hypothèses du maître d'ouvrage**

### **C.2.1. Hypothèses relatives au calcul rationnel.**

Le calcul des épaisseurs de structure de chaussée consiste à déterminer le niveau de sollicitation (contrainte, déformation) à différents niveaux dans la structure (bas des couches et interfaces principalement), et à confronter ces niveaux avec les paramètres limites des différents matériaux, limite de fatigue principalement.

Il est donc nécessaire d'introduire dans le calcul les éléments décrivant les caractéristiques rhéologiques des matériaux, les sollicitations et leur évolution prévisible (agressivité des charges lourdes), et le niveau de risque de probabilité de rupture avant la fin de la durée de vie de la structure ou durée de service qu'il faut également se fixer.

Pour les voies de PARIS intra-muros, les choix suivants ont été retenus pour le calcul.

#### **(1) Durée de vie 50 ans**

Le choix de cette durée de vie longue se fonde sur les points suivants :

- . taux de renouvellement réel des structures et des revêtements
- . typologie de la voirie parisienne et de l'occupation de son sous-sol [occupation du sous-sol limitée en chaussée – traversée par des fourreaux – appareillage des réseaux sous trottoir].
- . existence d'un règlement de voirie et bon fonctionnement d'une procédure de coordination dans le temps et dans l'espace des interventions sous chaussée [tranchée ; 10 interventions par an et par km en moyenne (chaussée et trottoirs)].
- . recherche d'une gêne minimum des usagers et des riverains et souci accru de la propreté des sites limitant la fréquence des interventions lourdes (pas plus d'une fois dans la vie des riverains).
- . prise en compte des coûts socio-économiques de l'immobilisation des voies pour les interventions lourdes. Impact sur la congestion du trafic et sensibilité des populations à cet égard.
- . cohérence avec l'évolution des pratiques dans les grandes capitales des pays industrialisés.
- . faisabilité d'objectifs pour un surcoût raisonnable par rapport à des durées de vie plus classiques de l'ordre de 15 à 20 ans (l'enjeu est l'augmentation des épaisseurs d'assises de quelques centimètres).

#### **(2) Taux de croissance du trafic poids lourd 1 %**

Ce faible taux tient compte de la capacité du réseau en terme de fluidité de trafic. On ne prend pas en compte d'hypothèses nouvelles de réglementation ou de mesures d'exploitation susceptibles d'avoir une incidence sur la physionomie de ce trafic (nouvel essieu européen ; aménagement de radiales en souterrain ; livraison de nuit etc ...).

**(3) Agressivité du trafic poids lourd de l'ordre de 0,5 par rapport à celle des grandes routes de rase campagne.**

La typologie du parc de véhicules utilitaires et lourds circulant dans PARIS intra-muros est telle que ceux-ci sont rarement chargés à leur capacité maximum. A nombre de poids lourds identiques, tout se passe comme si l'endommagement en fatigue des structures est 2 fois moins important que sur les grandes routes nationales. On notera aussi la cohérence entre ce constat et l'objectif d'une durée de vie longue en restant dans la gamme usuelle des épaisseurs de structure de chaussée. (cf. 1ère partie Bilan et Réflexion).

**(4) Risque probabiliste de rupture 2 %**

Le choix de ce faible taux se justifie par des considérations de même nature que celles listées en justificatif d'une durée de vie longue de 50 années.

Sur le même registre, mais avec l'optique du comportement à court terme (quelques mois ou années après la mise en oeuvre), on cherchera à réduire les conséquences dommageables des fissures de retrait thermique des assises traitées aux liants hydrauliques dans les voiries principales, tant pour des raisons d'entretien (immobilisation des voies pour le colmatage) que d'esthétique (la fissure est considérée comme une malfaçon aux yeux des riverains). Celles-ci seront toutefois tolérées pour les voies à trafic faible.

(5) Choix de structure à corps de chaussée bicouche mixte.

Le mode de fatigue et d'usure des chaussées dans le temps implique l'apparition de dégradations (cf. tableau ci-après), en particulier sur les voies les plus sollicitées.

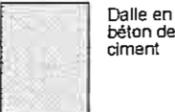
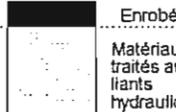
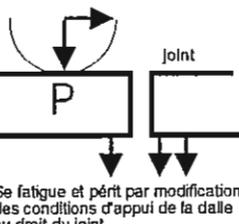
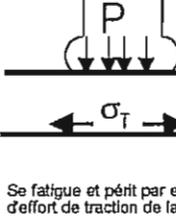
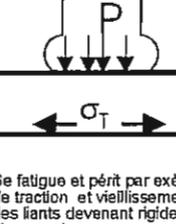
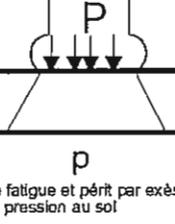
		RIGIDE	SEMI-RIGIDE	SEMI-SOUPLE	SOUPLE	MIXTE
COUCHE TYPE	ROULEMENT					
	BASE		Matériaux traités aux liants hydrauliques	Matériaux traités aux liants hydrocarbonés	Matériaux granulaires non liés	Matériaux traités aux liants hydrocarbonés
	FONDATION					Matériaux traités aux liants hydrauliques
	PLATEFORME					
MODE DE FONCTIONNEMENT		<p>La chaussée travaille en dalle rigide sollicitée asymétriquement. Chargement brusque du joint côté aval</p>  <p>Se fatigue et péricite par modification des conditions d'appui de la dalle au droit du joint</p>	<p>La chaussée travaille en poutre qui fléchit</p>  <p>Se fatigue et péricite par excès d'effort de traction de la base</p>	<p>Idem semi-rigide mais avec rigidité variable en fonction de l'environnement climatique</p>  <p>Se fatigue et péricite par excès de traction et vieillissement des liants devenant rigides et cassants</p>	<p>La chaussée travaille en répartissant la pression au sol</p>  <p>Se fatigue et péricite par excès de pression au sol</p>	<p>Base: voir chaussée semi-souple Fondation: voir chaussée semi-rigide</p>
DEGRADATIONS TYPE		EPAUFRURE FISSURE DECALAGE POMPAGE	FISSURE FAIENCAGE REMONTEE LAITANCE NID DE POULE	FISSURE FAIENCAGE AFFAISSEMENT ORNIERAGE	DEFORMATION AFFAISSEMENT FLACHE NID DE POULE ORNIERAGE	FISSURE FAIENCAGE ORNIERAGE

Tableau : Mode de fonctionnement et processus d'apparition des dégradations dans les principales familles de chaussée.

On évitera en premier lieu les modes de fonctionnement qui donnent lieu à des dégradations de type tassement qui provoquent des zones d'accumulation d'eau, des dégradations évoluant vers des départs de matériaux susceptibles d'affecter la sécurité des usagers (2 roues en particulier) et les fissurations anarchiques. Les structures épaisses de 30 cm et au-delà entièrement en matériaux bitumineux ne sont pas recommandées dans le contexte économique des années 90.

Dans la pratique, les structures rigides en béton d'une part, et les structures mixtes (fondation aux liants hydrauliques ; base aux liants hydrocarbonés) répondent le mieux à ces sujétions, bien que n'étant pas exemptes elles-mêmes de dégradations de vieillissement.

### **(6) Prise en compte des normes s'appliquant à la construction routière.**

Le maître d'ouvrage met en oeuvre sans délai au fur et à mesure de leur parution l'application des normes régissant la conception et l'exécution des voiries.

#### **C.2.2. Hypothèses liées au contexte historique et à l'expérience.**

Les principes directeurs suivants sont adoptés sur le plan méthodologique et organisationnel :

1. Simplifier dans le sens d'un retour vers une standardisation "mesurée" : mettre à disposition des maîtres d'oeuvre des outils d'aide au choix des structures très synthétiques et faciles d'emploi en vue d'une appropriation et maîtrise complète par les praticiens.

En pratique, on débouche sur quelques structures types pour des supports de plates-formes rendus uniformes.

2. Choix d'une palette de techniques limitée mais néanmoins suffisante.

Les structures de la voirie parisienne seront comme par le passé constituées de matériaux traités. On distingue :

- Les matériaux d'assises : béton de ciment (BC) ; matériaux traités aux liants hydrauliques (grave laitier ; grave ciment) (MTLH) ; graves bitumes (GB) ; enrobés à module élevé (EME).

On notera que le vocable enrobés à très haut module (ETHM) bien connu des praticiens à PARIS est maintenant remplacé par l'appellation normalisée EME (enrobés à module élevé).

- Les matériaux de revêtement : asphalte routier [A] ; béton bitumineux mince au bitume pur (BBm1) ; béton bitumineux mince à liant modifié ou avec ajout (BBm2).

On notera que le vocable béton bitumineux à haute performance (BBHP) bien connu des praticiens à PARIS est maintenant remplacé par l'appellation normalisée BBm à partir de laquelle nous avons introduit les deux sous familles BBm1 (bitume pur) et BBm2 (liants modifiés).

Les normes produits correspondantes sont :

R  
E  
V  
E  
T  
E  
M  
E  
N  
T  
S

Norme	NFP	98145 pour les asphaltes (A)
	NFP	98132 pour les bétons bitumineux minces (BBm)

A	NFP	98138 pour les graves bitumes (GB)
S	NFP	98140 pour les enrobés à module élevé (EME)
S	NFP	98116 pour les graves ciment
I	NFP	98118 pour les graves laitier
S		

### C.3. Les structures types et leurs justificatifs.

La problématique du dimensionnement des structures de voiries dans PARIS Intra-muros se synthétise en les classifications suivantes :

#### 1 - Chaussée neuve ou réfection partielle

2 - En cas de réfection partielle, épaisseurs imposées de comblement du vide laissé par les matériaux purgés de 25 cm (-1 + 2 cm) et 15 cm (-1 + 2 cm). La tolérance -1 + 2 cm correspond à la marge de manœuvre que l'on a pour prévoir ou non un revêtement d'entretien en couche mince ultérieurement. Dans certains cas de voirie à faible sollicitation, on pourra garder cette "réserve" d'épaisseur ; par contre pour les voiries à plus fort trafic cette épaisseur réduite pourra nécessiter d'utiliser tout le capital épaisseur dès la réfection, l'entretien ultérieur devant se faire par fraisage rechargement.

#### 3 - Niveaux de sollicitations répartis en 3 gammes : t ; T ; T<sup>+</sup>

Desserte ----> t : chaussée à faible trafic (trafic de desserte)

Transit ----> T : chaussée à trafic normal (trafic principal)

T<sup>+</sup> : chaussée à sollicitations lourdes (telles que les boulevards des maréchaux et les voies de bus très fréquentées ...)

Pour les itinéraires et convois exceptionnels, ils sont affectés d'un niveau de sollicitation minimum T.

On trouvera en annexe la carte schématique des voies classées t, T et T<sup>+</sup>.

Cette classification ne prend pas en compte des situations particulières comme celle du boulevard périphérique ou des voies express en bord de Seine qui ont été ou seront l'objet d'études particulières.

4 - Plate-forme : unique PF3+ en raison de la surconsolidation des supports de voies existantes et de l'excellent drainage étanchéité dans le contexte de PARIS (asphaltage des caniveaux ; des trottoirs etc ...). En fait on distingue deux sous-familles, selon que le sol est remanié ou non lors de l'exécution (respectivement de module 160 et 250 MPa).

#### 5 - Réhabilitation partielle

- option 15 cm : le support restant est un béton de ciment de 20 cm d'épaisseur.

- option 25 cm : le support est le plus souvent une plate-forme améliorée (empierrement, blocage, hérisson, béton ....) de très fort pouvoir portant.

Les structures de revêtement de voiries standardisées sont schématisées dans le tableau suivant :

## STRUCTURES DE VOIRIES DE PARIS INTRA-MUROS

	CHAUSSEE NEUVE	REHABILITATION	
		EPAISSEUR DISPONIBLE APRES DECAISSEMENT	
		25 cm - 1 +2	15 cm - 1 +2
<b>t</b>	<p>BBm1 4 cm GB 10 cm MTLH 25 cm (*)</p>		<p>BBm1 4 cm GB 10 cm ancien béton</p>
<b>T</b>	<p>BBm2 4 cm EME 12 cm MTLH 25 cm</p>	<p>BBm2 4 cm EME 10 cm GB 10 cm plate forme améliorée</p>	<p>BBm2 4 cm EME 10 cm ancien béton</p>
<b>T+</b>	<p>BBm2 4 cm EME 12 cm MTLH 30 cm</p>	<p>BBm2 4 cm EME 12 cm GB 10 cm plate forme améliorée</p>	<p>BBm2 4 cm EME 12 cm ancien béton</p>

- BBm1 : béton bitumineux mince au bitume pur  
 BBm2 : béton bitumineux mince à liant modifié ou avec ajout  
 GB : grave bitume  
 MTLH : matériaux traités aux liants hydrauliques  
 EME : enrobé à module élevé

(\*) ou (25 MTLH + 8 EME + 3 BBm2 si les conditions économiques sont plus intéressantes)  
 (20 BETON + 5 Asphalte pour la totalité de la structure si la fréquentation impose de nombreux phasages d'exécution.)

**REMARQUES SUR LE TABLEAU DES STRUCTURES TYPES :**

1 – Les typologies de chaussées anciennes (cf. chapitre A) concernées par des réfections de couche à épaisseur imposée 25 cm ne se rencontrent pas sur les voiries à sollicitation t.

2 – Le cas des chaussées en béton de revêtement concerne environ 150 km de chaussées en service dans Paris. En cas de réfection de structure, chaque fois que le risque d'ouverture de tranchée est faible, on peut remplacer les 20 cm de dalles par une épaisseur identique de béton de ciment.

3 – L'asphalte peut remplacer avantageusement le revêtement en BBm1 pour les voiries de niveau t dans les rues aux fréquentations permanentes, avec de nombreux phasages d'exécution. Dans ce cas, la fondation devrait être de 22 cm de béton de ciment pour conserver les hypothèses. Cependant on pourra conserver la structure traditionnelle avec 20 cm si :

– le fond de forme est réglé à + 0,00 ;

– le béton est un BCN 23 dont la mise en oeuvre est particulièrement surveillée (transport inférieur à 30 mn en toupie, vibration puissante ....)

4 – Pour la filière chaussée neuve, on pourra examiner pour chaque projet l'opportunité technico-économique de réaliser des structures semi-rigides (MTLH en couche de base) dans les voies de classe t. Un traitement visant à maîtriser et à retarder les fissures de retrait thermique en surface est alors obligatoire.

## JUSTIFICATIFS DU CALCUL DES STRUCTURES TYPES

I.1. La température de calcul des valeurs admissibles est de 15°C.

I.2. La durée de service est fixée à 50 ans.

I.3. Le taux de croissance du trafic est de 1 %.

I.4. Le risque probabiliste de rupture est de 2 %.

I.5. Trafics pris en compte :

- Trois catégories ont été définies correspondant à des valeurs représentatives par sens.

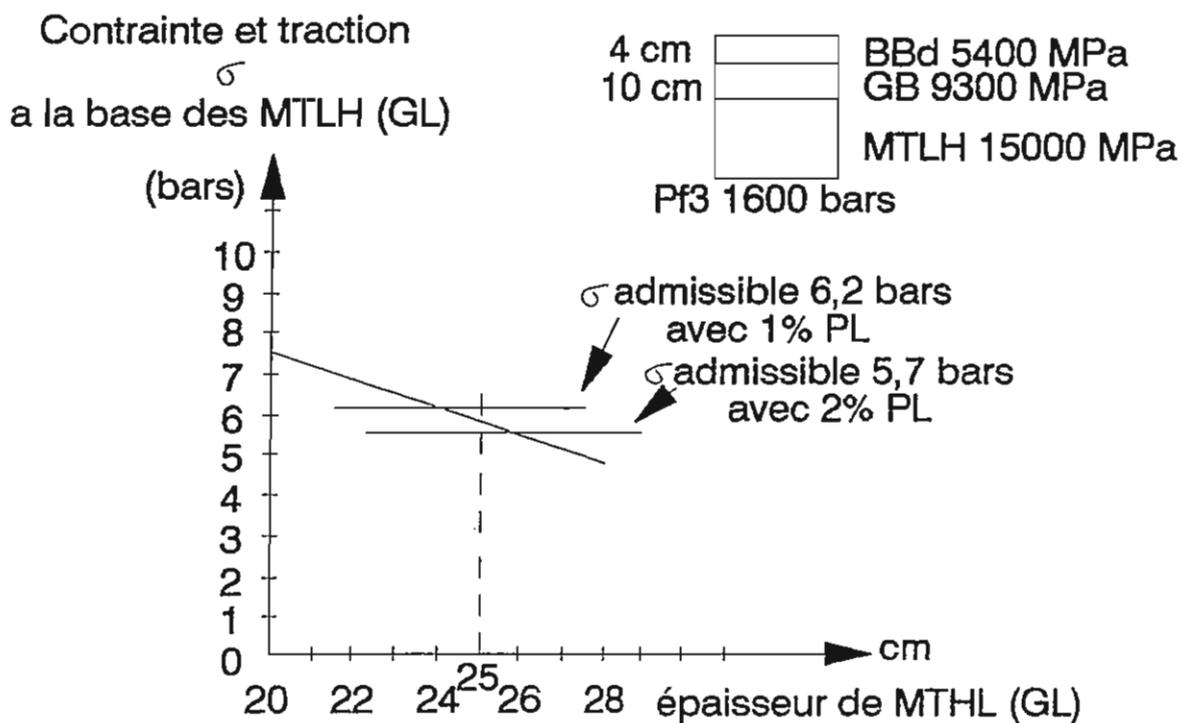
T+ 42 000 V/J MJA type Maréchaux  
 T 15 000 V/J MJA type Boulevard Voltaire  
 t 5 000 V/J MJA Autres chaussées

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de ces trois trafics de calcul.

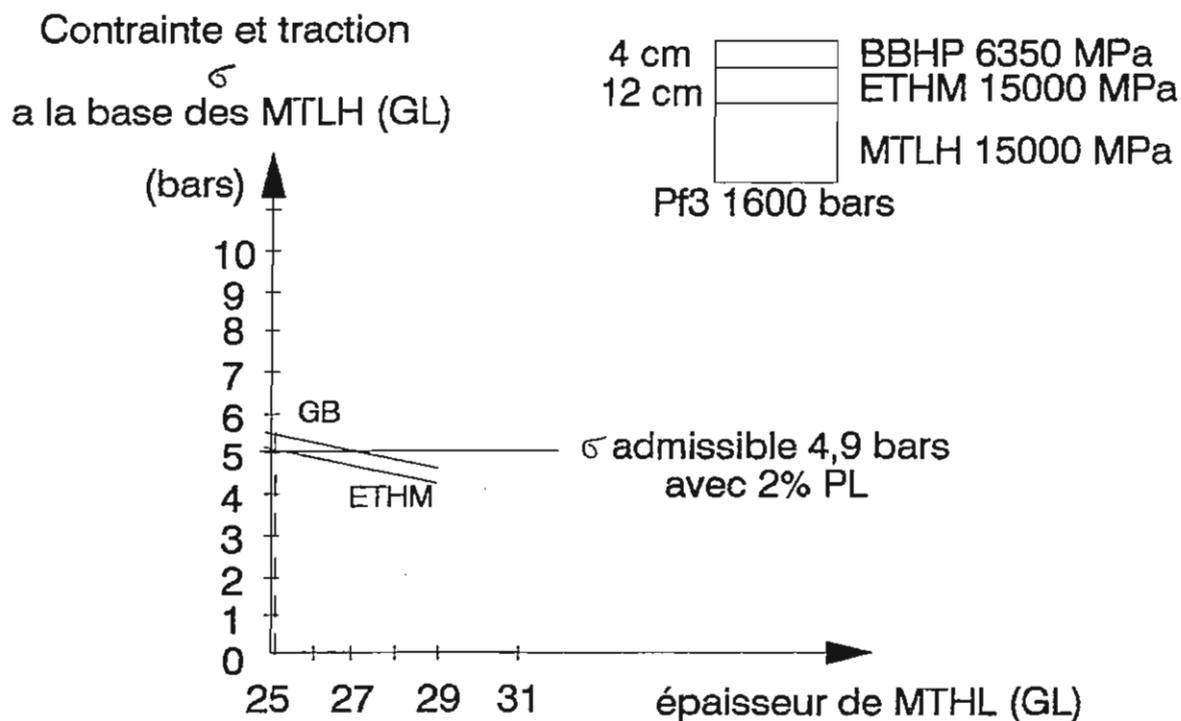
<i>Classe de trafic</i>	<i>Type de chaussées</i>	<i>Trafic MJA</i>	<i>% PL &gt; 5 T</i>	<i>Rapport d'agressivité</i>	<i>Nombre d'essieux équivalents par jour</i>	<i>Cumul Neq sur 50 ans et 1 %</i>
T+	Boulevard des Maréchaux	42 000	5 %	0,5	1050	32,1 10 <sup>6</sup>
T	Boulevard Voltaire	15 000	3 %	0,5	225	6,8 10 <sup>6</sup>
t	Autres chaussées	5 000	1 %	0,5	25	0,7 10 <sup>6</sup>

L'affinage définitif de dimensionnement des épaisseurs d'assises a été opéré à partir des courbes de tendance suivantes élaborées pour chaque gamme de sollicitations  $t$ ,  $T$  et  $T^+$  à l'aide du programme de Mécanique des chaussées ALIZE du LCPC. A titre d'illustration nous présentons ci-dessous celles relatives à la rubrique "Chaussées neuves".

### SOLLICITATION $t$



### SOLLICITATION $T$



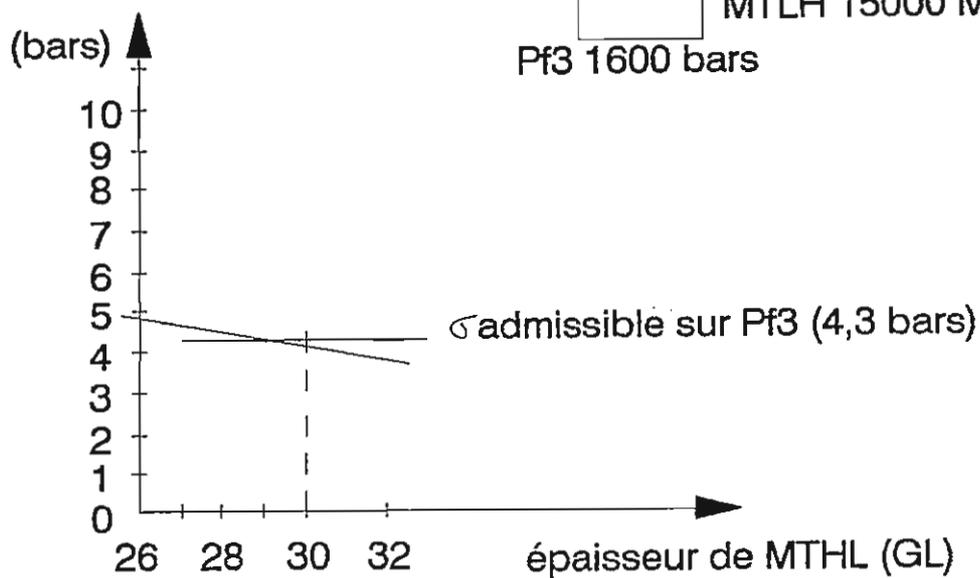
"CHAUSSEE NEUVE"

## SOLLICITATION T+

Contrainte et traction  
 $\sigma$   
 a la base des MTLH (GL)

4 cm		BBHP 6350 MPa
12 cm		ETHM 15000 MPa
		MTLH 15000 MPa

Pf3 1600 bars



## C.4. Les matériaux de base

46

La typologie des matériaux normalisés de revêtement et d'assise retenus dans les structures types est résumée dans les tableaux synthétiques ci-après.

NOM	ASPHALTE COULEE DE CHAUSSEE 0/10	NORME DE REFERENCE	NF P 98 145
DEFINITION	Mélange de granulats, sable, filler et bitume suivi d'un malaxage à haute température (> 200°C) de plusieurs heures		
EMPLOI	Asphalte coulé pour chaussée courante AC1 (0/10) 2 x 2,5 cm d'épaisseur Asphalte coulé pour chaussée lourde AC2 (0/10) 2 x 3 cm d'épaisseur armé		
DISPONIBILITE	Marché d'entretien		
CARACTERISTIQUES	Matériau coulé en place sans compactage Granulats : B IIIa gravillons de cloutage 6,3/10 ou 10/14 B II ou BI Possibilité d'introduction de gravillons légers (1) de D inférieur ou égal à 6 mm . Liant dur 40/50 ou 20/30 teneur en filler $\geq 25\%$ Teneur en liant AC1, 7 à 9 % du mélange minéral plus fines Teneur en liant AC2, 6,5 à 8,5 % du mélange minéral plus fines (1) caractéristiques des granulats légers définis dans le CCTP du marché d'entretien		
EXIGENCES	Performances d'indentation AC1 10 à 30 mm cf. NFT 66002 type B Performances d'indentation AC2 5 à 15 mm cf. NFT 66002 type B Température d'application AC1 – 230 à 260°C Température d'application AC2 – 240 à 260°C L'asphalte de chaussée nécessite un traitement de surface (bouchardage) ou de substitution (gravillons légers) ou de cloutage pour remédier à sa glissance.		

NOM	BETON BITUMINEUX MINCE 0/10 AU BITUME PUR (BBm1)	NORME DE REFERENCE	NF P 98 132
DEFINITION	Béton bitumineux préparé à partir de granulats, de sable, de filler et de bitume pur, dosés, chauffés et malaxés en centrale et dont la granularité présente une discontinuité 2/6,3		
EMPLOI	Couche de roulement en 4 cm d'épaisseur		
DISPONIBILITE	Marché spécial		
CARACTERISTIQUES	Granulats – B IIa – Module de richesse $\geq 3,6$ Performances mécaniques – Duriez $r/R \geq 0,8$ Module complexe 5400 MPa Bitume pur généralement 60/70		
EXIGENCES	Température de répandage pour un bitume 60/70 – 140°C $\pm 10^\circ\text{C}$ 95 % des mesures de macrotexture en HSv doivent être supérieures ou égales à 0,65 mm en respectant une dispersion maximale de 10 %		

NOM	BETON BITUMINEUX MINCE 0/10 au liant modifié ou ajouts BBm2	NORME DE REFERENCE	NF P 98 132
DEFINITION	Béton bitumineux préparé à partir de granulats, de sable, de filler et de liants modifiés et/ou d'additifs minéraux ou organiques dosés, chauffés et malaxés en centrale et dont la granularité présente une discontinuité 2/6,3		
EMPLOI	Couche de roulement en 4 cm d'épaisseur		
DISPONIBILITE	Marché d'entretien – Marché annuel de tapis		
CARACTERISTIQUES	Granulats – B II a – Module de richesse > 3,6 * (teneur en liant 5,5 à 6 suivant produits). Performances mécaniques – Duriez r/R $\geq$ 0,8 Module complexe 5400 MPa*		
EXIGENCES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Températures de répandage environ 150°C <math>\pm</math> 10°C</li> <li>- 95 % des mesures de macrotexture en HSv doivent être supérieures ou égales à 0,65 mm en respectant une dispersion maximale de 10 %</li> <li>- Le liant est soit composé d'un bitume pur 80/100 additivé de polymères en usine soit un bitume pur 60/70 ou 80/100 avec introduction de produits d'ajout (fibres, poudrette de caoutchouc, laine de roche...)</li> </ul>		

Observations \* bien que la norme exige un module de richesse supérieur à 3,6 l'expérience montre qu'on peut accepter un module de 3,4

Le module complexe est en réalité généralement > à 6 000 MPa

NOM	GRAVE BITUME 0/14 ou 0/20	NORME DE REFERENCE	NF P 98 138
DEFINITION	Mélange en centrale de granulats, sable, filler et bitume pur 40/50 ou 60/70		
EMPLOI	Couche de base ou de fondation de 10 cm d'épaisseur environ		
DISPONIBILITE	Marché d'entretien		
CARACTERISTIQUES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulats C III a</li> <li>- Liant module de richesse &gt; 2,5 (soit environ 3,5 à 4 % de bitume pour un 0/14)</li> <li>- Performances mécaniques : classe 2 (cf. § 7-4 de NF P 98 138, soit module complexe &gt; 9 000 MPa)</li> </ul>		
EXIGENCES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Epaisseur minimale en tous points 7 cm pour une GB 0/14</li> <li>- Epaisseur minimale en tous points 8 cm pour une GB 0/20</li> <li>- Température d'application mesurée derrière le finisseur : bitume 60/70 – 135 à 155°C bitume 40/50 – 140 à 160°C</li> </ul>		

NOM	ENROBE A MODULE ELEVÉ 0/14	NORME DE REFERENCE	NF P 98 140
DEFINITION	Enrobé préparé en centrale avec des liants d'entreprise (liants très durs avec ou sans ajout) et des granulats durs		
EMPLOI	Couche de base de 10 à 12 cm d'épaisseur		
DISPONIBILITE	Marché d'entretien		
CARACTERISTIQUES	Granulats C III a Module de richesse supérieur ou égal à 3,4 Performances mécaniques classe 2 (cf. § 7-4 de NF P 98 140) (soit module complexe > 14 000 MPa)*		
EXIGENCES	Epaisseur minimum en tous points 6 cm Température d'application mesurée derrière le finisseur supérieure à 140°C		

\* Observation : Les modules des produits proposés par les entreprises sont généralement supérieurs à 15 000 MPa

NOM	GRAVE CIMENT 0/14 ou 0/20	NORME DE REFERENCE	NF P 98 116
DEFINITION	Mélange de granulats, de ciment, éventuellement de retardateur de prise et d'eau, fabriqué en centrale		
EMPLOI	Confection des assises de chaussées de 25 à 30 cm d'épaisseur		
DISPONIBILITE	Marché d'entretien		
CARACTERISTIQUES	Granulats D III b (Norme P 18 101). Fuseau de classe 1 (de NF P 98 116) Teneur en liant 3 à 4 % exceptionnellement 5 % Caractéristiques mécaniques classe G3 ou G4 (§ 8 de NF P 98 116)		
EXIGENCES	Répandage et compactage en une couche jusqu'à 25 cm fini Répandage et compactage en deux couches de 15 cm fini pour les épaisseurs de 30 cm La densité sèche minimale requise sera de 98 % de la densité maximale proctor modifié pour 95 % des mesures		

NOM	GRAVE LAITIER 0/14 ou 0/20	NORME DE REFERENCE	NF P 98 118
DEFINITION	Mélange de granulats, de laitier vitrifié, de chaux et d'eau fabriqué en centrale		
EMPLOI	Confection des assises de chaussées de 25 à 30 cm d'épaisseur		
DISPONIBILITE	Marché d'entretien		
CARACTERISTIQUES	Granulats D III b (Norme P 18101) fuseau de classe 1 (de NF P 98 118) Teneur en liant 8 à 15 % de laitier, chaux 0,8 à 1,2 % Teneur en eau comprise entre 5 et 10 % Caractéristiques mécaniques de classe G3 ou G4 (§ 8 de NF P 98 118)		
EXIGENCES	Répandage et compactage en 1 couche de 25 cm fini Répandage et compactage en 2 couches de 15 cm fini La teneur en laitier pourra être portée à 20 % si IC < 100 % La densité sèche minimale requise sera de 100 % de la densité maximale proctor modifié pour 98 % de mesures		

Ces fiches font référence à la normalisation sur les granulats (norme P 18 101). Afin d'en focaliser la lecture, le tableau ci-dessous résume les caractéristiques principales des catégories rencontrées en assise et revêtement de chaussée.

GRANULATS			NORME DE REFERENCE		P 18 101		
Dureté	Catégorie	LA + MDE		LA (LOS ANGELES)		MDE Microdeval en présence d'eau	CPA
	B	≤ 35	et	≤ 25	et	≤ 20	et
	C	≤ 45	et	≤ 30	et	≤ 25	et ≥ 50
	D	≤ 55	et	≤ 35	et	≤ 30	et
Granularité Caractéristiques de d/D	I et II III	Refus à 1,25 D = 0 Refus à 1,58 D = 0					
Propreté	a	Propreté du sable (Ps) ≥ 60		Valeur au bleu de méthylène à la tache sur les fines (Vbta x teneur en fines f) du sable 0/2 ≤ 20			
	b	Propreté du sable (Ps) ≥ 50		Valeur au bleu de méthylène à la tache sur les fines (VBta x teneur en fines f) du sable 0/2 ≤ 25			

Exemple d'utilisation du tableau :

Norme Grave laitier NF P 98.118 Voir caractéristiques Granulats DIII b

Granulat dont la dureté LA ≤ 35 ; MDE ≤ 30 (LA + MDE ≤ 55) ; CPA ≥ 50

Granulat dont la granularité refus à 1,58 D = 0

Granulat dont propreté du sable (Ps) ≥ 60

## C.5. L'innovation

### STRUCTURES ET REVETEMENTS PRIVILEGIANT L'ENVIRONNEMENT ET LA SECURITE SOUS CONDITIONS

Les solutions proposées ci-avant s'inscrivent dans une hiérarchie de qualité classique en matière de chaussée urbaine, à savoir privilégier la pérennité de l'ouvrage et l'intégrité des revêtements pour offrir un bon niveau de service aux usagers tout en gardant un juste niveau de compromis entre sécurité (limitée à sa dimension offre d'adhérence) et nuisance (limitée à sa dimension bruit de contact pneumatique/chaussée).

Mais la demande de plus en plus forte d'améliorer l'environnement (lutte contre les nuisances sonores) et la sécurité (lutte contre l'insécurité routière) incite à la recherche de revêtements nouveaux plus performants à cet égard.

A court terme, la seule solution de sûreté acceptable pour les premières réalisations satisfaisant à cet objectif est l'enrobé drainant aux liants modifiés en épaisseur 3 à 4 cm. L'incidence est significative sur le niveau de bruit de la circulation perçu en bord de chaussée (réduction d'environ 2 à 3 dBA à la mise en oeuvre), aussi bien en raison d'une réduction de la formation du bruit (élimination de l'air pumping) qu'en raison de l'absorption par la couche poreuse. Cette technique offre en outre une plus value certaine dans le confort de conduite de l'usager, et donc la sécurité, en éliminant les films d'eau épais et leurs conséquences sur l'aquaplanage, les projections d'eau (confort de conduite et propreté) et l'éblouissement.

Toutefois, la fabrication, le transport et la mise en oeuvre de ces produits sont plus délicats que ceux des bétons bitumineux classiques. La conservation dans le temps des caractéristiques de drainabilité n'est pas bien assurée en ville.

Aussi l'étude d'opportunité d'utiliser les enrobés drainants doit-elle en l'état actuel de nos connaissances, être limitée aux voies suivantes :

- voie T+ du corridor périphérique
- voie T soumise à la réglementation de "l'axe rouge"
- trémie et passage souterrain

Les études se poursuivent dans trois directions :

- nouvelle formulation des bétons bitumineux de revêtement,
- les chaussées en béton de ciment poreux
- les assises de chaussées poreuses

## **ANNEXE**

### **ELEMENTS TECHNIQUES COMPLEMENTAIRES POUR LE DIMENSIONNEMENT**

- (1) – Caractéristiques des matériaux pour le dimensionnement**
- (2) – Calcul de dimensionnement pour les réhabilitations**
- (3) – Données complémentaires sur l'agressivité du trafic poids lourd**

(1)

**CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX POUR LE DIMENSIONNEMENT**

BBm1

BETON BITUMINEUX

Matériaux de calcul : Bétons bitumineux type SETRA

Température °C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C
Module MPa	14800	12000	7200	3600	1300	1000

VALEURS DE CALCUL

Module à 15°C = 5400 MPa

$\epsilon_6 = 156 \cdot 10^{-6}$

Pente = 5 dispersion 0,25

Norme applicable : NFP 98 - 132

TITRE : Couches de roulement : **bétons bitumineux minces (BBm)**

Module (15°C, 10 Hz)  $\geq 5400$  MPa

Fatigue  $\epsilon_6 \geq 100 \times 10^{-6}$

BBm2

BETON BITUMINEUX HAUTES PERFORMANCES

Matériaux de calcul : **BBHP Béton Plast C**

Température °C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C
Module MPa	18200	14600	9000	4000	1800	1000

VALEURS DE CALCUL

Module à 15°C = 6350 MPa

$\epsilon_6 = 239 \cdot 10^{-6}$

Pente = 6,2 dispersion 0,25

Norme applicable : **NFP 98 - 132**

TITRE : Couches de roulement : **bétons bitumineux minces (BBm)**

Module (15°C, 10 Hz)  $\geq 5400$  MPa

Fatigue  $\epsilon_6 \geq 100 \times 10^{-6}$

MTLH GL

GRAVE LAITIER

Norme applicable NF P 98 118

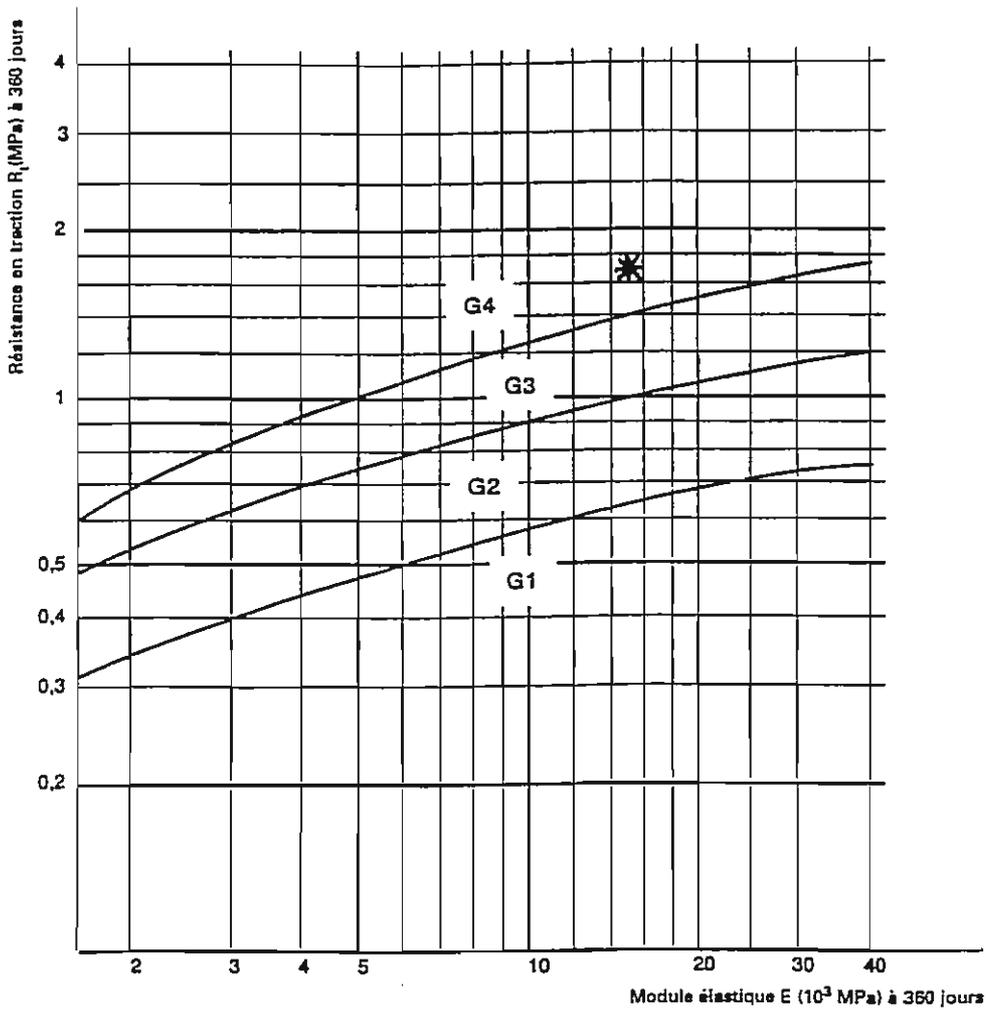
Module 15000 MPa

Inverse de la pente de la droite de fatigue  $1/b = 10$

Contrainte de rupture au 1er chargement :  $\sigma_0 = 1,66$  MPa

Contrainte de rupture à  $10^6$  cycles  $\sigma_6 = 0,7$  MPa

La norme donne pour ces caractéristiques une classification G4.



EME

ENROBES A MODULE ELEVE

ex. Grave bitume à haute performances

Matériaux de calcul : **GBTHP G75**

Température °C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C
Module MPa	30400	25400	20000	12900	7600	3800

VALEURS DE CALCUL

Module à 15°C = 15000 MPa

$\epsilon_6 = 152 \cdot 10^{-6}$

Pente = 5 dispersion 0,25

Norme applicable : EME NFP 98 - 140  
TITRE : **Enrobés à Modules Elevés (EME)**

Module à 15°C  $\geq 14000$  MPa

Fatigue  $\epsilon_6 \geq 130 \cdot 10^{-6}$

GB

GRAVE BITUME NORMALE

Matériaux de calcul : Grave bitume améliorée dosée à 4,5 % de bitume

Température °C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C
Module MPa	23000	18800	12300	6300	2700	1000

VALEURS DE CALCUL

Module à 15°C = 9300 MPa

$\epsilon_6 = 100 \cdot 10^{-6}$

Pente = 5 dispersion 0,25

Norme applicable : **NFP 98 - 138**  
TITRE : **Graves Bitumes**  
Norme en préparation

Module  $\geq 9000$  MPa  
(valeur probable au 15.6.92)

Fatigue  $\epsilon_6 \geq 80 \cdot 10^{-6}$   
(valeur probable au 15.6.92)

(2)

**CALCULS DE DIMENSIONNEMENT POUR LES REHABILITATIONS**

## Hypothèses

- Les calculs ont été conduits comme une chaussée neuve.
- Le coefficient K4 (coefficient de calage tenant compte du type de matériaux bitumineux variant de 1,1 pour les bétons bitumineux à 1,3 pour les graves bitumes) a été pris égal à 1,1 pour les matériaux à hautes performances, car ces matériaux présentent des caractéristiques de fragilité et de plus faible possibilité d'auto-réparation qui les rapprochent des bétons bitumineux classiques.
- Trois classes de plate-forme sont définies Pf1, Pf2, Pf3, caractérisées pour le calcul par les modules élastiques suivants :

Module en MPa	20	Pf1	50	Pf2	120	Pf3

Pour les chaussées neuves on prend habituellement :

Pf1 = 20 MPa ; Pf2 = 50 MPa ; Pf3 = 120 MPa

Pour les calculs et tenant compte de l'environnement (étanchéité, blocage latéral) la plate-forme est une super Pf3 (module de 250 MPa).

REHABILITATION 15 -1 +2

Calculs

	INTERFACE GB - BETON COLLEE	INTERFACE GB - BETON DECOLLEE
Structure t <b>limite admissible <math>129 \cdot 10^{-6}</math></b> ( $\epsilon_6$ )	<u>Et base Grave-bitume</u> $8,2 \cdot 10^{-6}$  <u><math>\sigma</math> base béton (1)</u> 0,958 MPa	<u>Et base Grave-bitume</u> bon béton      mauvais béton $71 \cdot 10^{-6}$ $137 \cdot 10^{-6}$  <u><math>\sigma</math> base béton</u> 1,47 MPa
Structure T <b>limite admissible <math>101 \cdot 10^{-6}</math></b> ( $\epsilon_6$ )	<u>Et base EME</u> $0,3 \cdot 10^{-6}$  <u><math>\sigma</math> base béton</u> 0,70 MPa	<u>Et base EME</u> bon béton      mauvais béton $43 \cdot 10^{-6}$ $97 \cdot 10^{-6}$  <u><math>\sigma</math> base béton</u> 1,09 MPa
Structure T+ <b>limite admissible <math>74 \cdot 10^{-6}</math></b> ( $\epsilon_6$ )	<u>Et base EME</u> $1,16 \cdot 10^{-6}$  <u><math>\sigma</math> base béton</u> 0,51 MPa	<u>Et base EME</u> bon béton      mauvais béton $35 \cdot 10^{-6}$ $80 \cdot 10^{-6}$  <u><math>\sigma</math> base béton</u> 0,816 MPa

(1) Environ 1 à 1,35 MPa admissible selon les performances du béton neuf.

## REHABILITATION 25 -1 +2

### Calculs

	<b>INTERFACE COLLEES *</b>
<b>Structure T</b> <b>limite admissible <math>80 \cdot 10^{-6}</math></b> $(\epsilon_6)$	<u><math>\epsilon</math> base EME</u> $80 \cdot 10^{-6}$
<b>Structure T+</b> <b>limite admissible <math>58 \cdot 10^{-6}</math></b> $(\epsilon_6)$	<u><math>\epsilon</math> base EME</u> $61 \cdot 10^{-6}$

\* Dans le cas d'interfaces décollées les valeurs dépassent largement les valeurs admissibles.

(3)

**DONNEES COMPLEMENTAIRES SUR L'AGRESSIVITE DU TRAFIC PL**

## AGRESSIVITE DU TRAFIC EN VOIRIE URBAINE A PARIS

MESURES RUE LECOURBE DU 10 AU 17 DECEMBRE 1990

Classe (tonnes)	Nombre d'essieux	Coefficient d'agressivité	Aggressivité relative
5 à 6	887	0,01	12,02
6 à 7	378	0,03	11,81
7 à 8	249	0,06	15,91
8 à 9	271	0,12	32,39
9 à 10	201	0,21	41,89
10 à 11	135	0,34	46,40
11 à 12	110	0,54	59,59
12 à 13	174	0,82	143,02
13 à 14	0	1,21	0
14 à 15	0	1,73	0
15 à 16	0	2,41	0
16 à 17	0	3,29	0
17 à 18	0	4,42	0
18 à 19	0	5,84	0
19 à 20	0	7,59	0
20 à 21	0	9,75	0
21 à 22	0	12,37	0
22 à 23	0	15,53	0
23 à 24	0	19,30	0
24 à 25	0	23,77	0
<b>CUMULS</b>	<b>2405</b>		<b>363,03</b>

Valeur de l'essieu de référence : 13 t  
 Valeur de alpha pour la structure :  $\alpha = 5$   
 Nombre d'essieux comptabilisés (> 5t) : 2405

Aggressivité pour 100 essieux > 5 t :  $363,03 \times 100/2405 = 15,09$

MESURES RUE LECOURBE DU 3 AU 10 DECEMBRE 1990

Classe (tonnes)	Nombre d'essieux	Coefficient d'agressivité	Aggressivité relative
5 à 6	901	0,01	12,21
6 à 7	403	0,03	12,59
7 à 8	252	0,06	16,11
8 à 9	256	0,12	30,59
9 à 10	215	0,21	41,81
10 à 11	157	0,34	53,97
11 à 12	137	0,54	74,22
12 à 13	186	0,82	152,88
13 à 14	0	1,21	0
14 à 15	0	1,73	0
15 à 16	0	2,41	0
16 à 17	0	3,29	0
17 à 18	0	4,42	0
18 à 19	0	5,84	0
19 à 20	0	7,59	0
20 à 21	0	9,75	0
21 à 22	0	12,37	0
22 à 23	0	15,53	0
23 à 24	0	19,30	0
24 à 25	0	23,77	0
<b>CUMULS</b>	<b>2508</b>		<b>397,38</b>

Valeur de l'essieu de référence : 13 t  
 Valeur de alpha pour la structure :  $\alpha = 5$   
 Nombre d'essieux comptabilisés (> 5t) : 2508

Aggressivité pour 100 essieux > 5 t :  $397,38 \times 100/2508 = 15,85$

**AGRESSIVITE DU TRAFIC EN VOIRIE URBAINE A PARIS**

**QUAI SAINT BERNARD - DU 8.01.92 AU 22.01.92**

Voie lente

Classe (tonnes)	Nombre d'essieux	Coefficient d'agressivité	Aggressivité relative
5 à 6	2795	0,01	27,95
6 à 7	2523	0,03	75,69
7 à 8	1863	0,06	111,78
8 à 9	1035	0,12	124,20
9 à 10	705	0,21	148,05
10 à 11	529	0,34	179,86
11 à 12	488	0,54	263,52
12 à 13	307	0,82	251,74
13 à 14	189	1,21	228,69
14 à 15	124	1,73	214,52
15 à 16	54	2,41	130,14
16 à 17	0	3,29	0
17 à 18	0	4,42	0
18 à 19	0	5,84	0
19 à 20	0	7,59	0
20 à 21	0	9,75	0
21 à 22	0	12,37	0
22 à 23	0	15,53	0
23 à 24	0	19,30	0
24 à 25	0	23,77	0
<b>CUMULS</b>	<b>10612</b>		<b>1756,00</b>

Valeur de l'essieu de référence : 13 t  
 Valeur de alpha pour la structure :  $\alpha = 5$   
 Nombre d'essieux comptabilisés (> 5t) : 10612

Aggressivité pour 100 essieux > 5 t :  $1756,14 \times 100 / 10612 = 16,54$

Voie rapide

Classe (tonnes)	Nombre d'essieux	Coefficient d'agressivité	Aggressivité relative
5 à 6	615	0,01	6,15
6 à 7	474	0,03	14,22
7 à 8	417	0,06	25,02
8 à 9	282	0,12	33,84
9 à 10	315	0,21	66,15
10 à 11	184	0,34	62,56
11 à 12	109	0,54	58,86
12 à 13	76	0,82	62,32
13 à 14	27	1,21	32,27
14 à 15	25	1,73	43,25
15 à 16	9	2,41	21,69
16 à 17	0	3,29	0
17 à 18	0	4,42	0
18 à 19	0	5,84	0
19 à 20	0	7,59	0
20 à 21	0	9,75	0
21 à 22	0	12,37	0
22 à 23	0	15,53	0
23 à 24	0	19,30	0
24 à 25	0	23,77	0
<b>CUMULS</b>	<b>2533</b>		<b>426,73</b>

Valeur de l'essieu de référence : 13 t  
 Valeur de alpha pour la structure :  $\alpha = 5$   
 Nombre d'essieux comptabilisés (> 5t) : 2533

Aggressivité pour 100 essieux > 5 t :  $426,73 \times 100 / 2533 = 16,84$

# CATÉGORIES DE TRAFIC PARISIEN

