



AMÉNAGEMENTS BÉTON ET OUVRAGES A SOLLICITATIONS PARTICULIÈRES

Joseph ABDO

JA CONSULTING





LES OUVRAGES ET LES SOLLICITATIONS



LES OUVRAGES CONCERNÉS

Il s'agit des ouvrages suivants :

- ☐ Les carrefours giratoires,
- ☐ Les plateformes de transport collectif en site propre TCSP,
- ☐ Les plateformes de bus à haut niveau de service BHNS,
- ☐ Les arrêts bus,
- ☐ Les parkings de poids lourds ou bus,
- ☐ Les aires de péages.



LES SOLLICITATIONS SPÉCIFIQUES

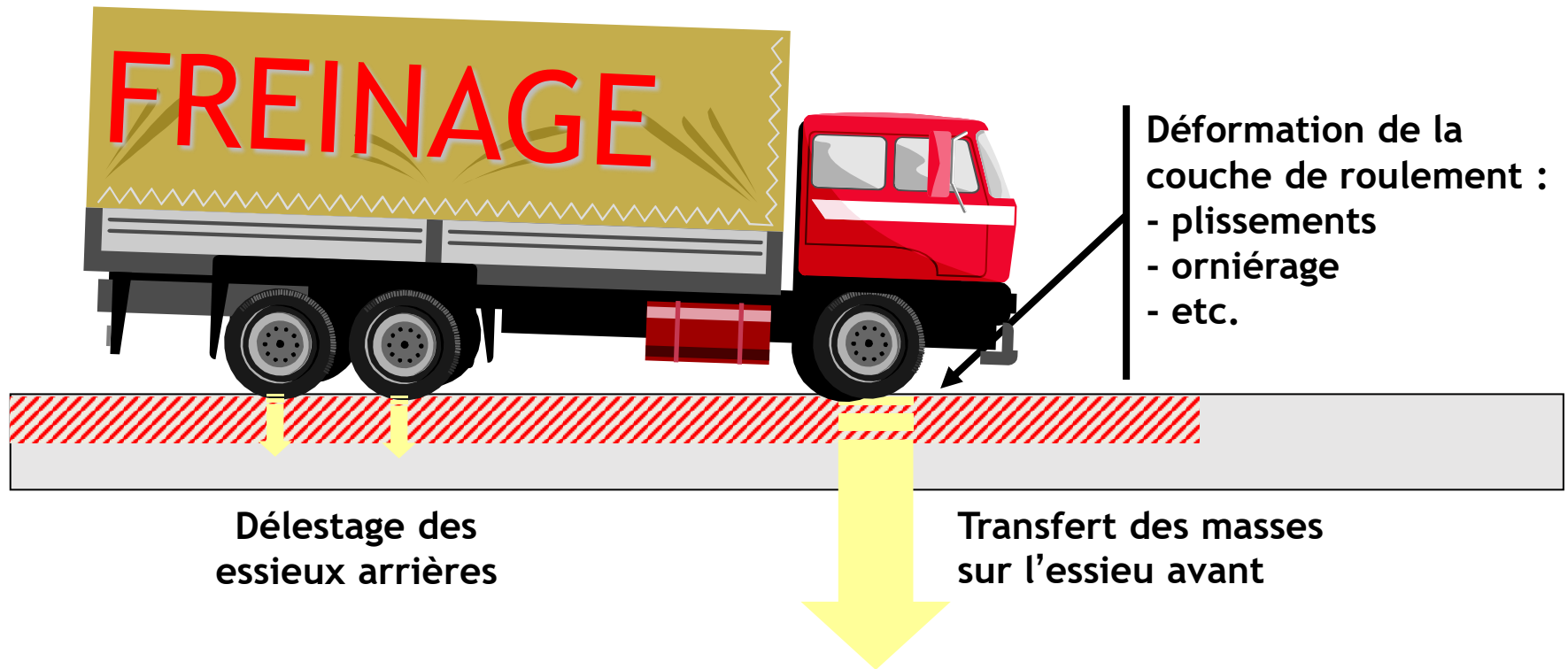
Ces ouvrages subissent les sollicitations spécifiques suivantes :

- ☐ Canalisation des charges,
- ☐ Poinçonnement;
- ☐ Cisaillement de surface,
- ☐ Attaques chimiques (Essence, Fioul, etc.),
- ☐ Surcharges dynamiques (Déport des charges sur l'essieu avant dans le cas du freinage, déport des charges vers les roues extérieures dans le cas des carrefours giratoires).



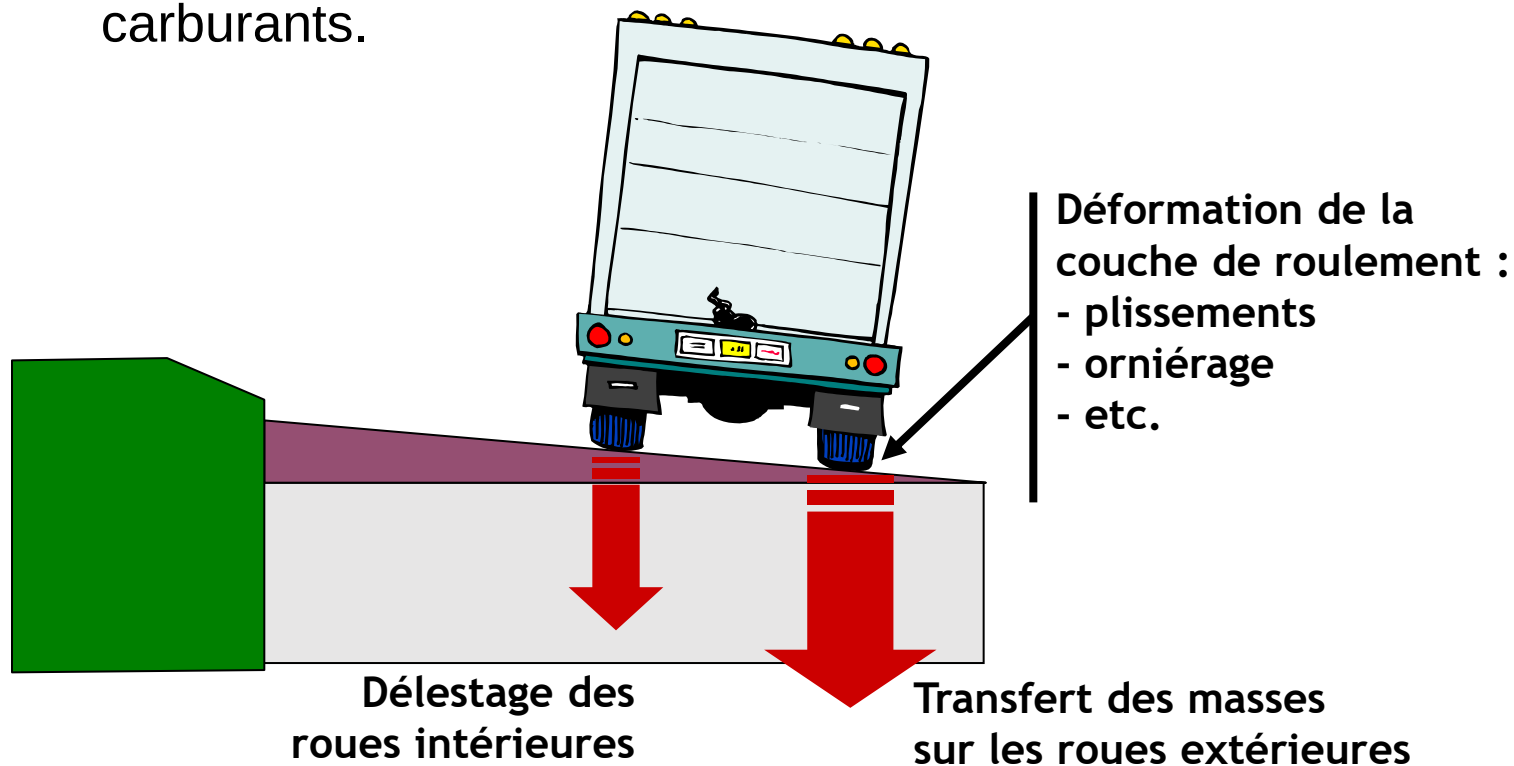
LES SOLLICITATIONS SPÉCIFIQUES

- A l'approche des carrefours giratoires. Surcharges dynamiques, cisaillement.



LES SOLLICITATIONS SPÉCIFIQUES

- Dans l'anneau des carrefours giratoires. Surcharges dynamiques, cisaillement, poinçonnement et chute de carburants.



LES SOLLICITATIONS SPÉCIFIQUES

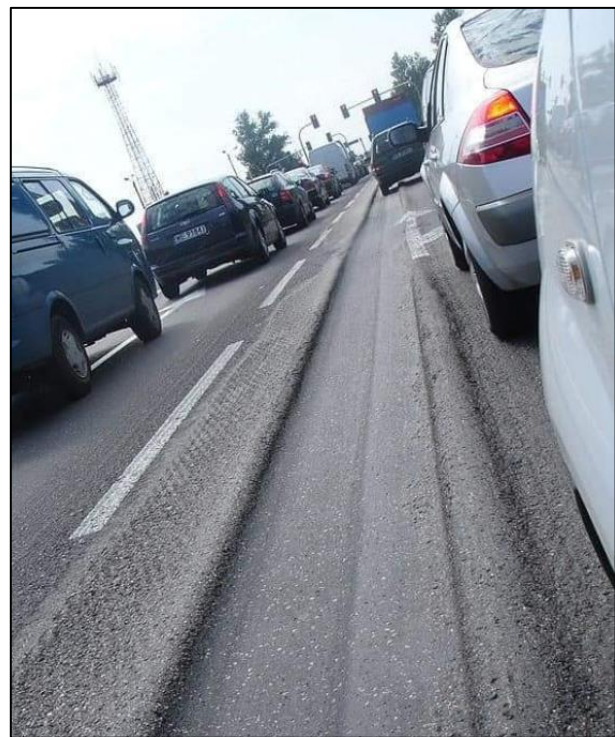
- Dans les infrastructures de transport collectif de surface.
Canalisation des charges et cisaillement



LES SOLLICITATIONS SPÉCIFIQUES

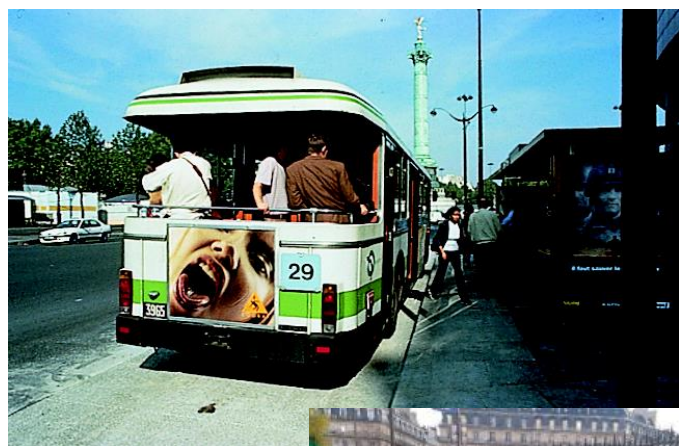
- Dans les arrêts bus – Canalisation des charges, poinçonnement et cisaillement de surface

**Amplification ornières
avec augmentation
trafic, T°C**



LES SOLLICITATIONS SPÉCIFIQUES

- ❑ Dans les arrêts bus – Canalisation des charges, poinçonnement et cisaillement de surface



LES SOLLICITATIONS SPÉCIFIQUES

- Dans les aires de stationnement poids lourds – Poinçonnement et chute de carburants.



Aire de repos Saint Arnoult A10 - Enrobé orniéré et aménagement en Béton



Aire de repos des Chataigners A6 - Aménagement en Béton





LES STRUCTURES ADAPTÉES



LES GRANDES FAMILLES DE STRUCTURES

En combinant les matériaux routiers, quatre grandes familles de structures de chaussées sont proposées :

- Structures souples,
- Structures semi-rigides,
- Structures rigides,
- Structures composites en Béton/Matériau bitumineux BC5g/GB3 et BAC/GB3

D'autres structures sont aussi utilisées telles les structures mixtes, les structures inverses, etc.



LES STRUCTURES SOUPLES AVEC ASSISES EN GRAVE NON TRAITÉE GNT

■ Avantages

- Structures économiques

■ Inconvénients

- Module d'élasticité faible (100 à 500 MPa)
- Faible rigidité propre, sensibilité à la rigidité du support
- Évolution sous trafic dépend de la dureté et l'angularité des granulats
- Structure d'épaisseur relativement élevée

■ Domaine d'emploi

- Structure utilisée pour les routes à faible trafic



LES STRUCTURES SOUPLES AVEC ASSISES EN GRAVE TRAITÉE AUX LIANTS BITUMINEUX

■ Avantages

- Absence de retrait, chaussée continue,
- Module d'élasticité E moyen (1000 à 15000 MPa), structure souple acceptant les déformations et les surcharges,
- Economique : Dosage en bitume faible (3 à 6%)

■ Inconvénients

Module d'élasticité variable en fonction de la température et de la durée d'application de la charge :

- Donc risque d'orniérage
- Sensibilité aux hydrocarbures
- Résistance à la fatigue moyenne

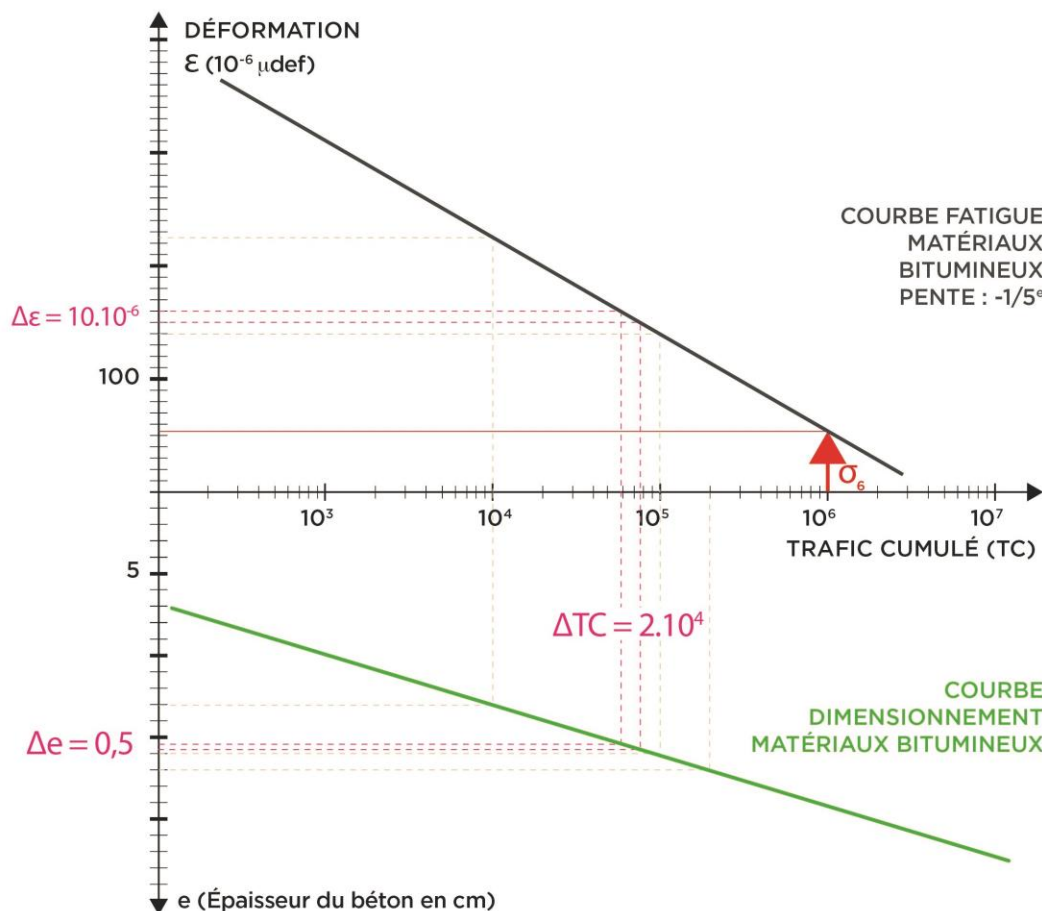
■ Domaine d'emploi

- Tout le réseau s'il n'y a pas de charges statiques ou canalisées.



LES STRUCTURES SOUPLES AVEC ASSISES EN GRAVE TRAITÉE AUX LIANTS BITUMINEUX

- Courbe de fatigue des matériaux bitumineux se caractérisent par:
 - Pente = - 1/5
 - Une variation de déformation correspondant à une variation d'épaisseur faible, entraîne une variation relativement faible du trafic cumulé.
 - Une tenue moyenne à la fatigue



LES STRUCTURES SEMI-RIGIDES

C'est une structure de chaussée dans laquelle les couches de base et de fondation sont traitées aux liants hydrauliques. Seule la couche de surface est traitée aux liants hydrocarbonés.

■ Avantages

- Module pratiquement indépendant de la température :
 $E=23.000 \text{ MPa}$ (Grave – Ciment)
- Caractéristiques mécaniques élevées : $R_t=1,5 \text{ à } 2 \text{ MPa}$

■ Inconvénients

- Fissuration du retrait (entretien des fissures)
- Impossibilité de réaliser des couches minces (15 cm mini)
- Courbe de fatigue plate (comportement très sensible à un sous dimensionnement ou aux surcharges éventuelles).

■ Domaine d'emploi

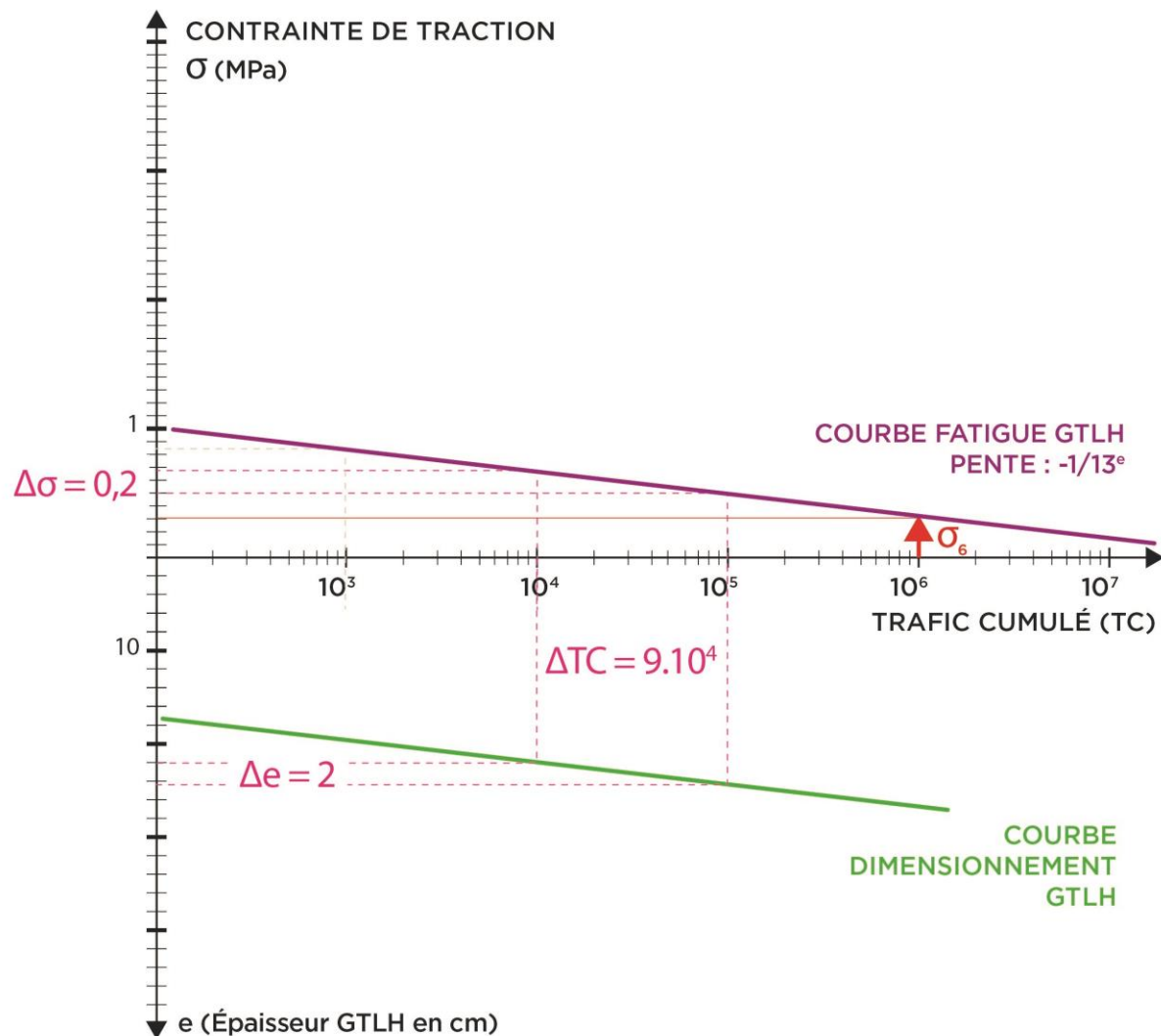
- Tout le réseau à moyen et fort trafics.



LES STRUCTURES SEMI-RIGIDES

- Courbe de fatigue des graves traitées aux liants hydrauliques se caractérisent par:

- Pente = - 1/13
- Une variation de contrainte correspondant à une variation d'épaisseur faible, entraîne une variation élevée du trafic cumulé.
- Une bonne tenue à la fatigue



LES STRUCTURES RIGIDES

■ Avantages

- E élevé, indépendant de la température et de la durée d'application de la charge $E = 35\,000\text{ MPa}$
- Donc absence d'orniérage
- Le béton bien adapté aux charges statiques ou roulant à faible vitesse
- Résistance à la compression très élevée
- Courbe de fatigue relativement plate: résistance élevée à la répétition des charges





LES STRUCTURES RIGIDES

■ Inconvénients

- Retrait hydraulique et thermique : susceptibilité à la fissuration, donc nécessité de réaliser des joints, d'où **discontinuité**
- Module d'élasticité élevé : > sensibilité à un sous-dimensionnement
- Taux de ciment élevé : 12 à 15 %

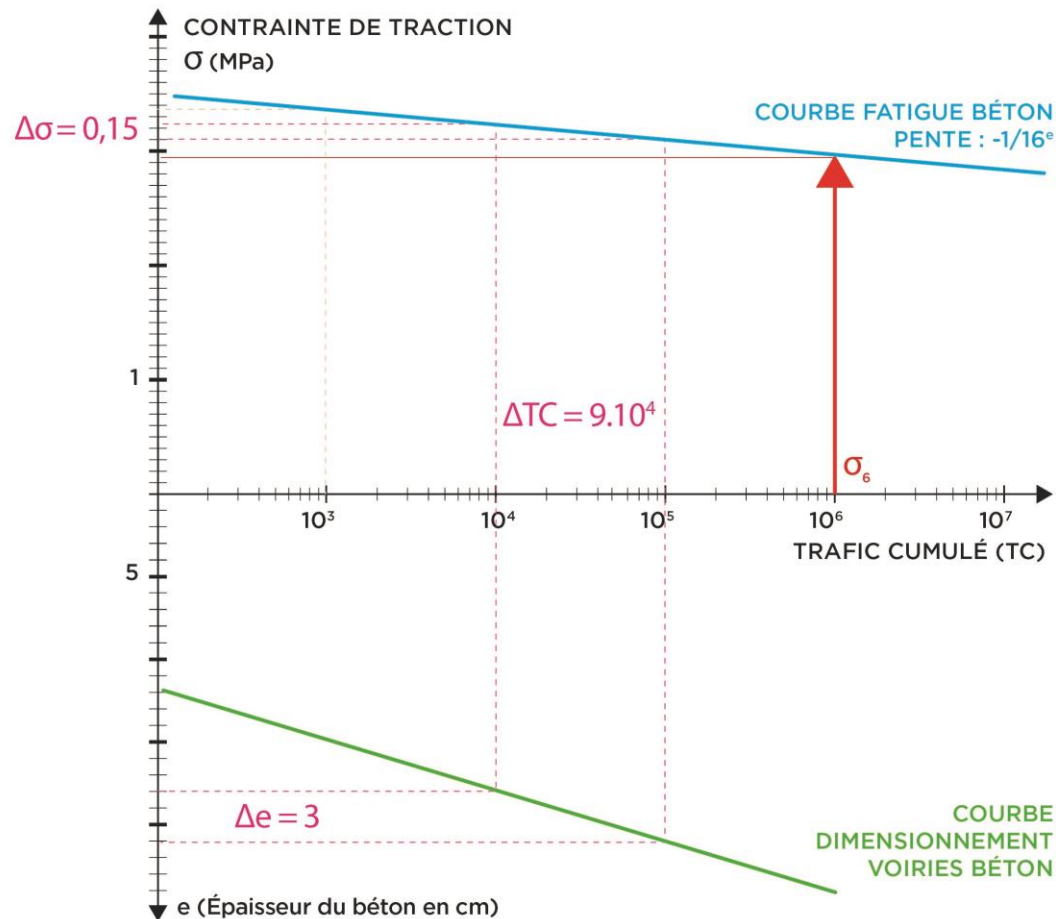
■ Domaine d'emploi

- Tout le réseau.



LES STRUCTURES RIGIDES

- Courbe de fatigue du béton se caractérise par :
 - Pente = - 1/16
 - Une variation de contrainte correspondant à une variation d'épaisseur faible, entraîne une variation élevée du trafic cumulé.
 - Une bonne tenue à la fatigue.



LES STRUCTURES ADAPTÉES

- Pour ces ouvrages spécifiques, nécessité de retenir les structures en béton ou tout au moins des structures dont le revêtement est en béton.
- Intérêt d'associer le béton et les matériaux bitumineux dans une structure routière

- Matériau bitumineux en fondation
- Béton en revêtement

> Chaque matériau dans sa zone d'excellence

Le collage à l'interface Béton/Bitume permet d'optimiser la structure de chaussée (Réduction d'épaisseur 25%).

- Deux structures sont utilisées:
 - BC5g/GB3
 - BAC/GB3

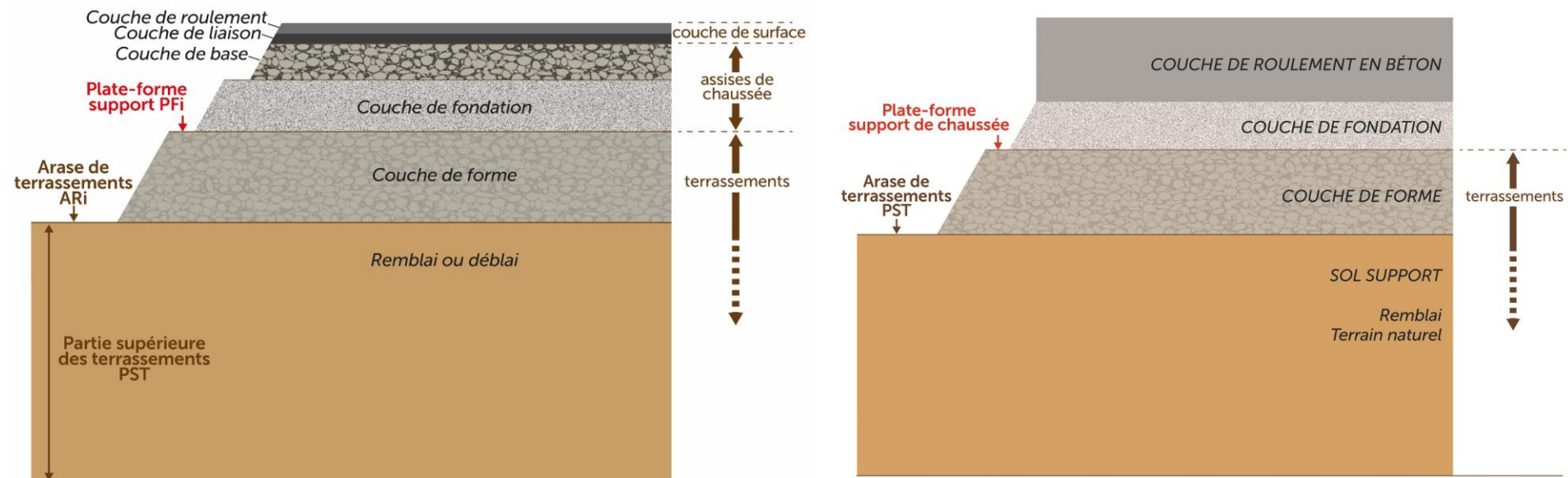




L'ESSENTIEL SUR LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT



TPOLOGIE DES STRUCTURES DE CHAUSSÉES



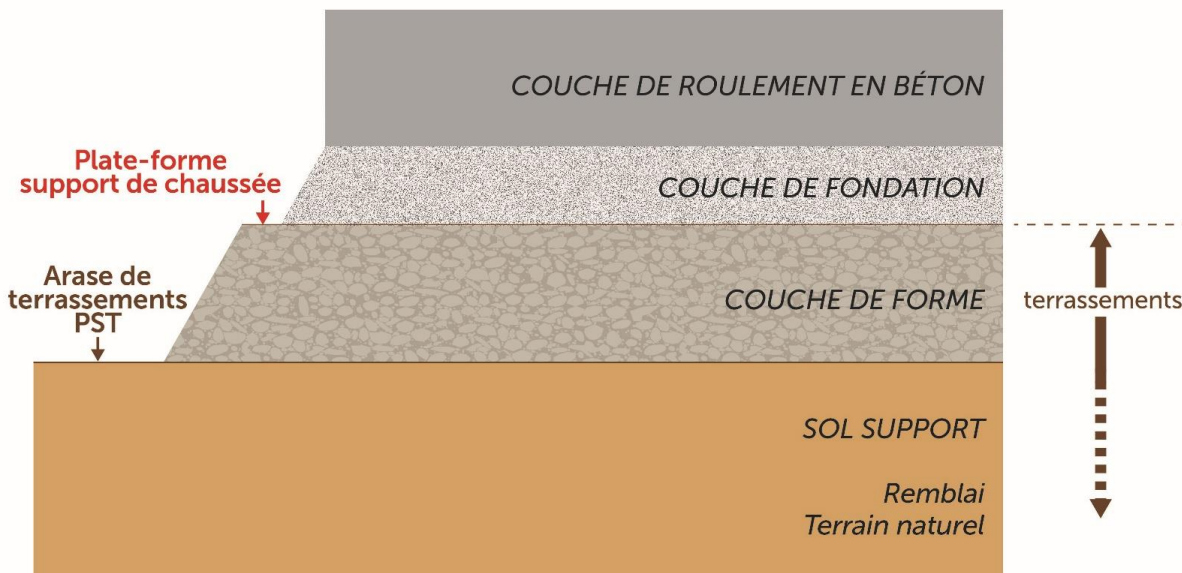
La couche de roulement en béton ou le revêtement en béton joue le même rôle que le complexe couche de base + Couche de surface



TYPLOGIE DES STRUCTURES DE CHAUSSÉES

Couche de Fondation

- Grave Non Traitée
- Grave ciment
- Grave LHR
- BCR
- Béton maigre BC2 et BC3
- Grave bitume GB3, GB4
- Enrobé à module élevé EME



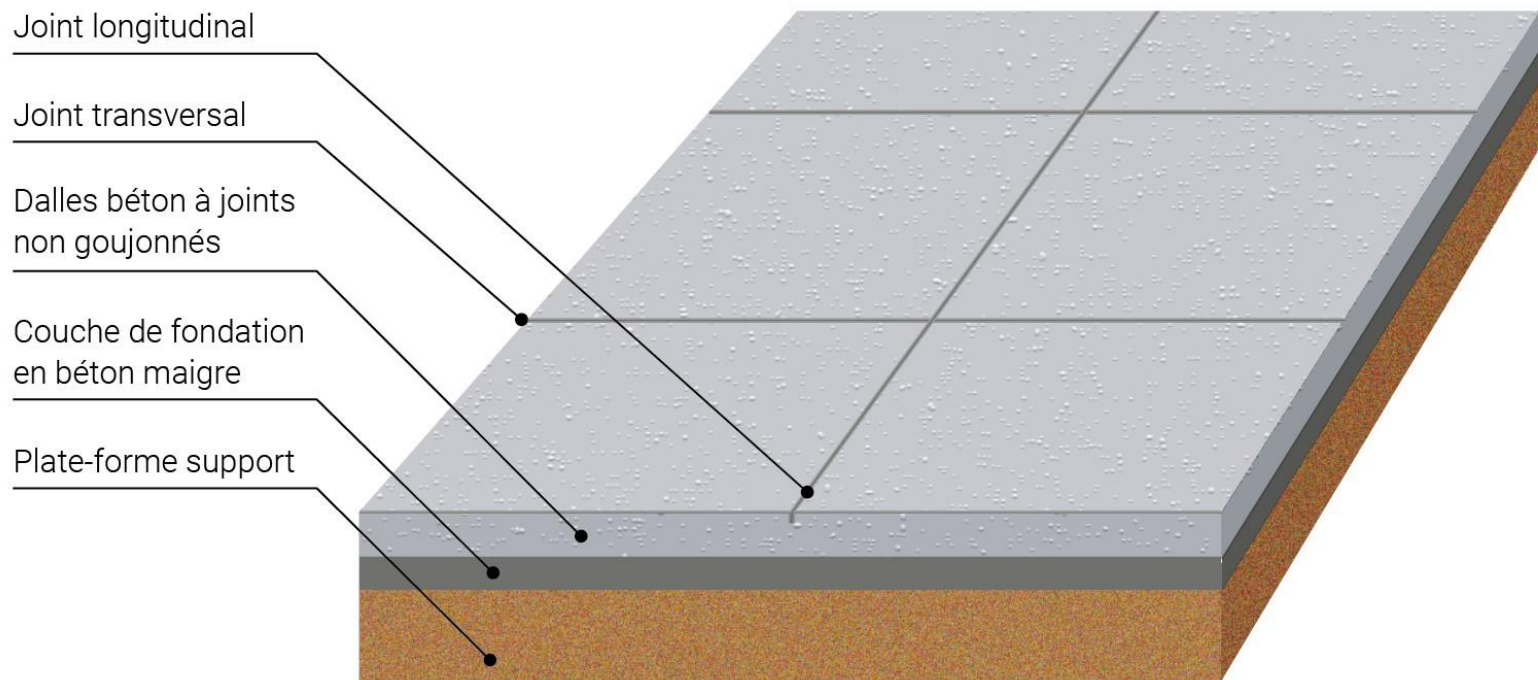
Couche de roulement + traitement de surface

- Dalles béton non armé et à joints non goujonnés Bci
- Dalles béton non armé et à joints goujonnés Bcig
- Béton Armé Continu BAC



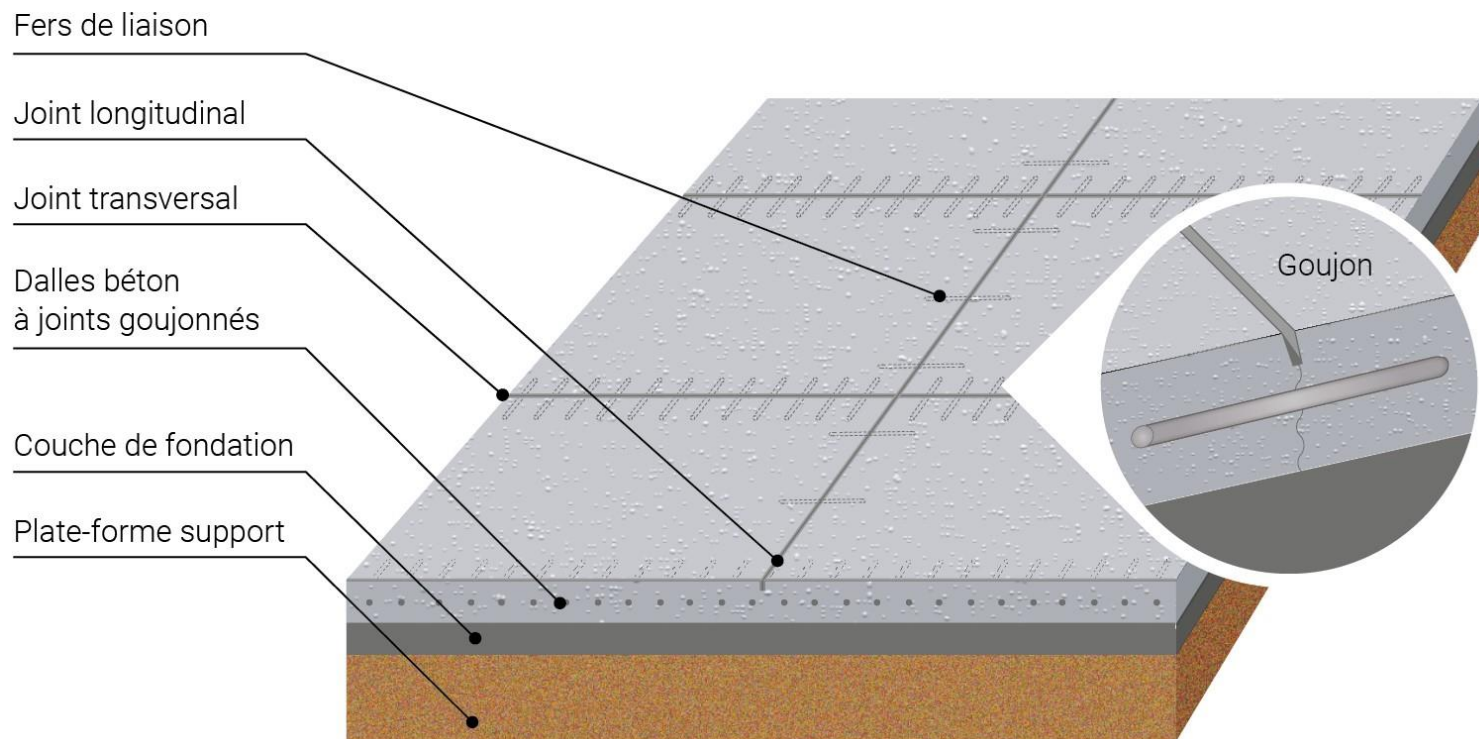
TYPOLOGIE DE LA STRUCTURES EN BÉTON

Schéma de calepinage d'un revêtement en béton non armé et à joints non goujonnés.



TYPLOGIE DE LA STRUCTURES EN BÉTON

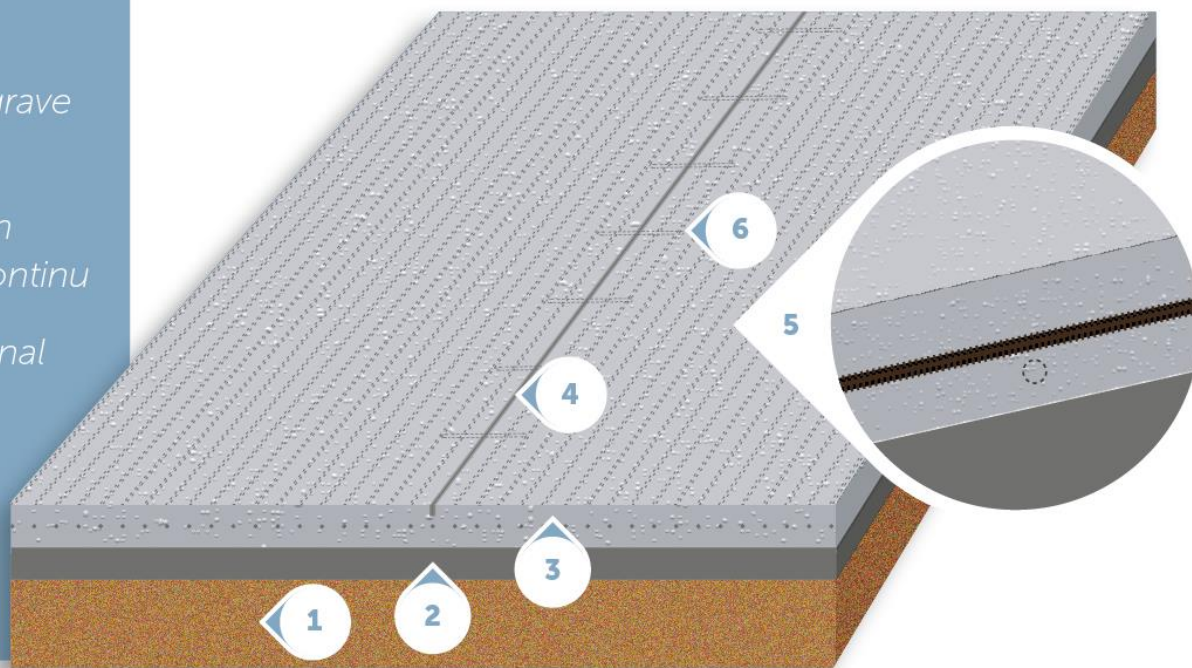
➤ Schéma 1. Schéma de calepinage d'un revêtement en béton non armé et à joints goujonnés.



TYPLOGIE DE LA STRUCTURES EN BÉTON

BÉTON ARMÉ CONTINU POUR UN UNI ET UNE QUALITÉ DE ROULEMENT

- 1 Plate-forme support
- 2 Couche de fondation en grave bitume
- 3 Revêtement en béton armé continu
- 4 Joint longitudinal
- 5 Armatures continues longitudinales
- 6 Fers de liaison



TYPLOGIE DE LA STRUCTURES EN BÉTON

Typologie du revêtement béton et nécessité ou non d'une fondation

Typologie des structures de voiries	Trafic poids lourds (TMJA/sens)			
	T < 50	50 ≤ T < 300	300 ≤ T < 1200	T ≥ 1200
Revêtement BC	Autorisé		Déconseillé	
Revêtement BCg	Autorisé		Recommandé	Déconseillé
Revêtement BAC	Autorisé		Recommandé	
Fondation	Non	Oui		





DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

- Trafic
- Plate-forme support
- Classe mécanique des matériaux de chaussées
- Interface collées, semi-collées ou décollées



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Trafic

Trafic	T5	T4	T3	T2	T1	T0	TS	TEX
PL-MJA / sens								
	faible/moyen			fort		très fort		

Trafic	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
NCPL / sens (10 ⁶)								
	Faible/moyen			fort		très fort		

Un Poids Lourd PL est un véhicule de Poids Total Autorisé en Charge PTAC est supérieur ou égal à 3,5 tonnes.

Sur un carrefour giratoire, le calcul du trafic doit être bien évalué en prenant soit la somme des trafics de toutes les voies aboutissant sur le carrefour (Evaluation sécuritaire), soit la moitié de la somme des trafics de toutes les voies aboutissant sur le carrefour (Evaluation couramment utilisée).



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Plate-forme Support $\geq$ PF2

Classe de portance à long terme	Module EV2 (MPa)					
	0 - 20	20 - 50	50 - 80	80 - 120	120 - 200	> 200
Arase	AR0	AR1	AR2		AR3	AR4
Plate-forme support		PF1	PF2	PF2qs	PF3	PF4



Classes de portance nécessitant la réalisation d'une couche de forme ou d'un traitement du sol en place



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Classes de résistance des bétons de voirie

Classification des bétons routiers	Classes de résistance du béton selon NF P 98 170	Résistance caractéristique en compression (MPa)	Classes de résistance à la compression selon NF EN 206/CN (MPa)	Classes de résistance En fendage (MPa)	Observation
Béton de fondation	BC1	15	C15/20	S 1,3	Fondation en béton poreux
	BC2	20	C20/25	S 1,7	Classe optionnelle
	BC3	25	C25/30	S 2,0	Classe de référence
Béton de revêtement	BC4	29	C30/37	S 2,4	Autorisé pour une voirie dont le trafic est inférieur ou égale à T3 (150 PL/j)
	BC5	32	C35/45	S 2,7	Classe de référence
	BC6	38	C40/50	S 3,3	Routes à fort trafic et revêtements aéroportuaires

 Pour information



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Classes de résistance des graves bitume

Classification de la GB

GB = conforme à la norme NF EN 13 108-1 « enrobés bitumineux » et satisfait aux conditions suivantes :

- Classe mécanique minimale GB3
- Compacité de la grave-bitume supérieure à 92 %
- Epaisseur minimale exigée de 8 cm. L'épaisseur maximale pour la mise en œuvre en une seule couche est de 14 cm.



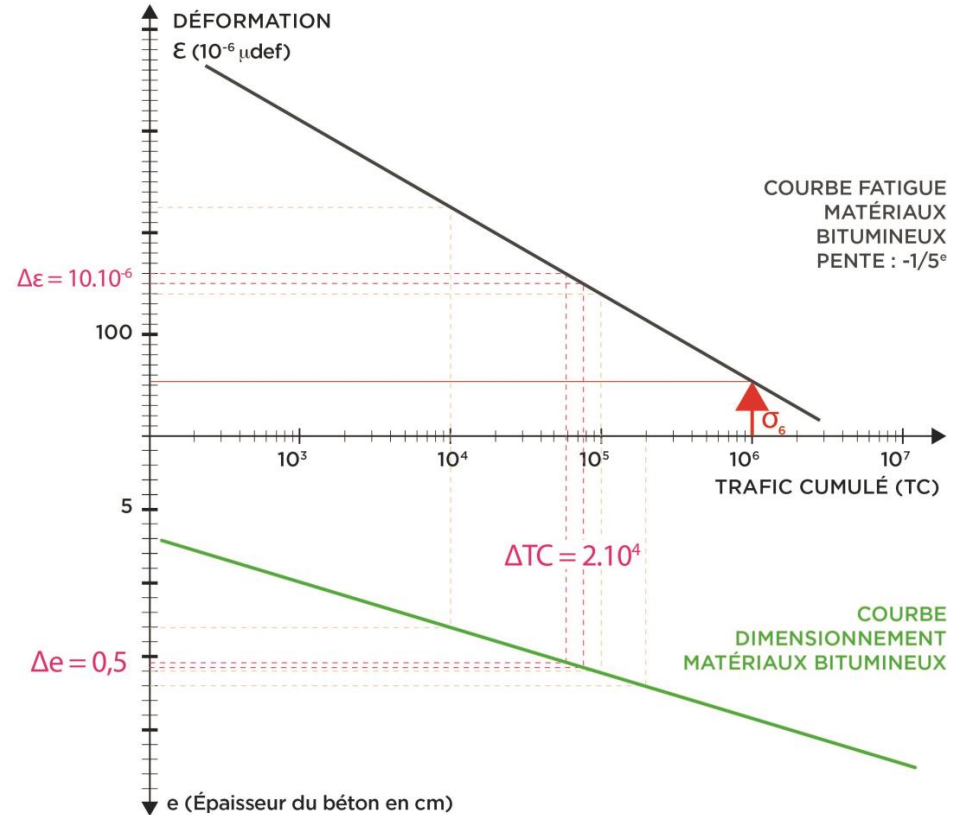
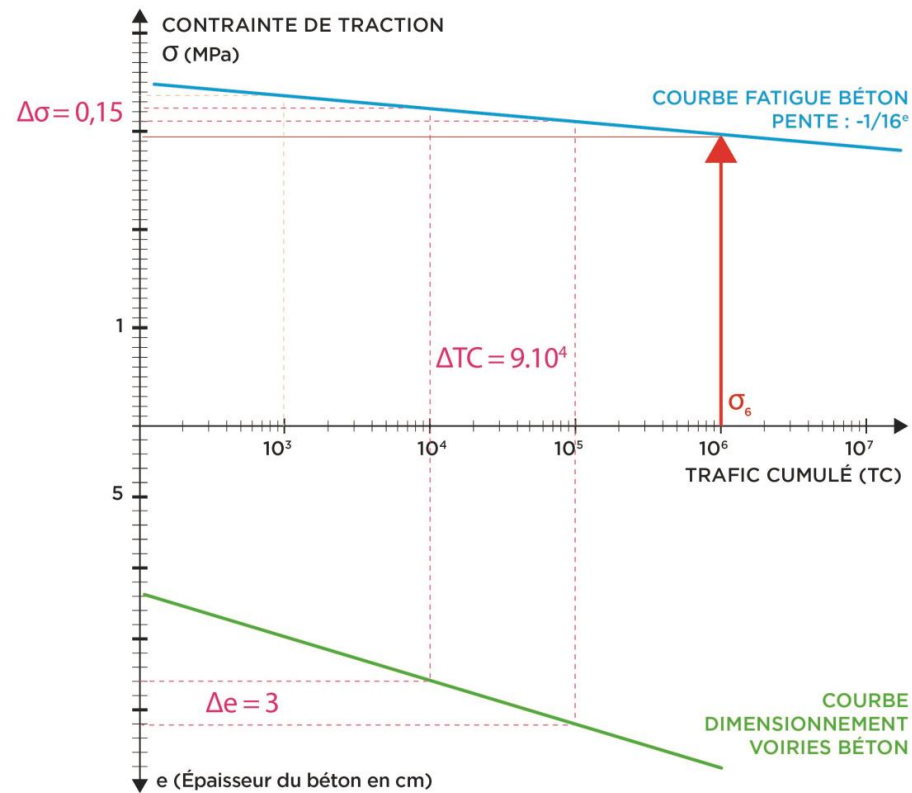
DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Caractéristiques des matériaux/dimensionnement ALIZE

MATÉRIAU	MODULE E (MPa)	ε_6 (μDef)	σ_6 (MPa)	-1/b
GNT/CG 1	600	-	-	-
GB3	9 000 – 11 000	90 - 100	-	5
EME2	14 000	130	-	5
GC/T3	23 000	-	0,75	15
GC/T4	25 000	-	1,20	15
BC3	24 000	-	1,63	15
BC4	30 000	-	1,95	15
BC5	35 000	-	2,15	16

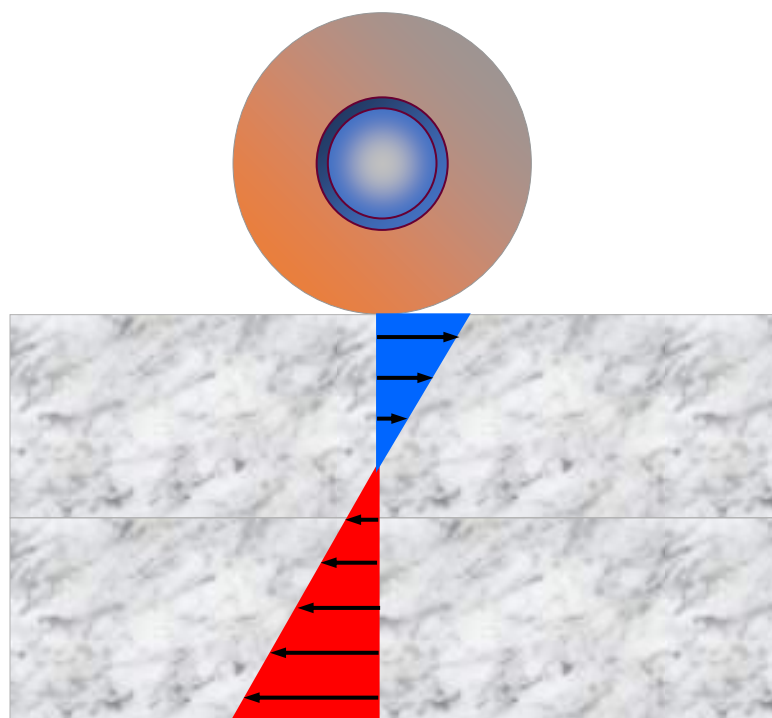


DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

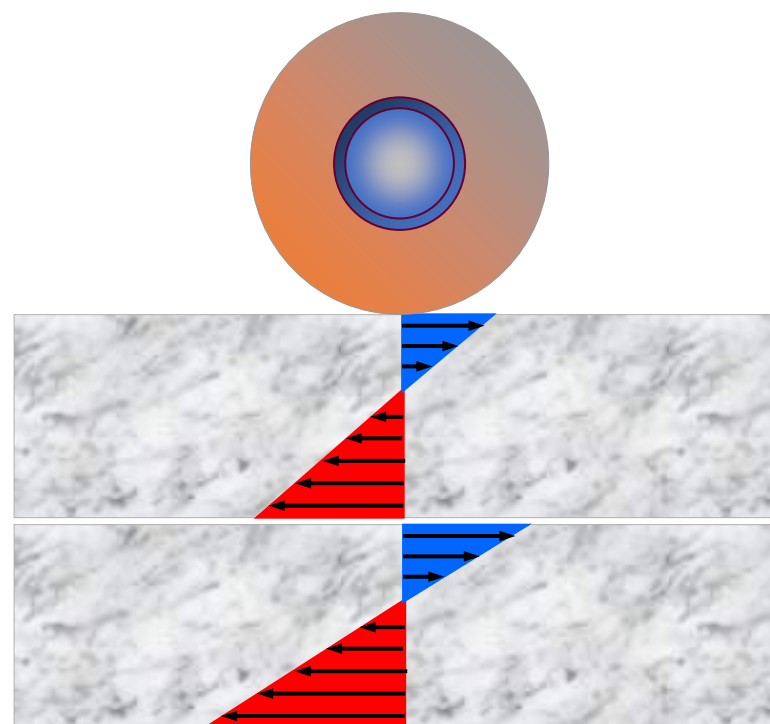


DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Modes de fonctionnement : couches collées vs décollées



couches collées



couches décollées

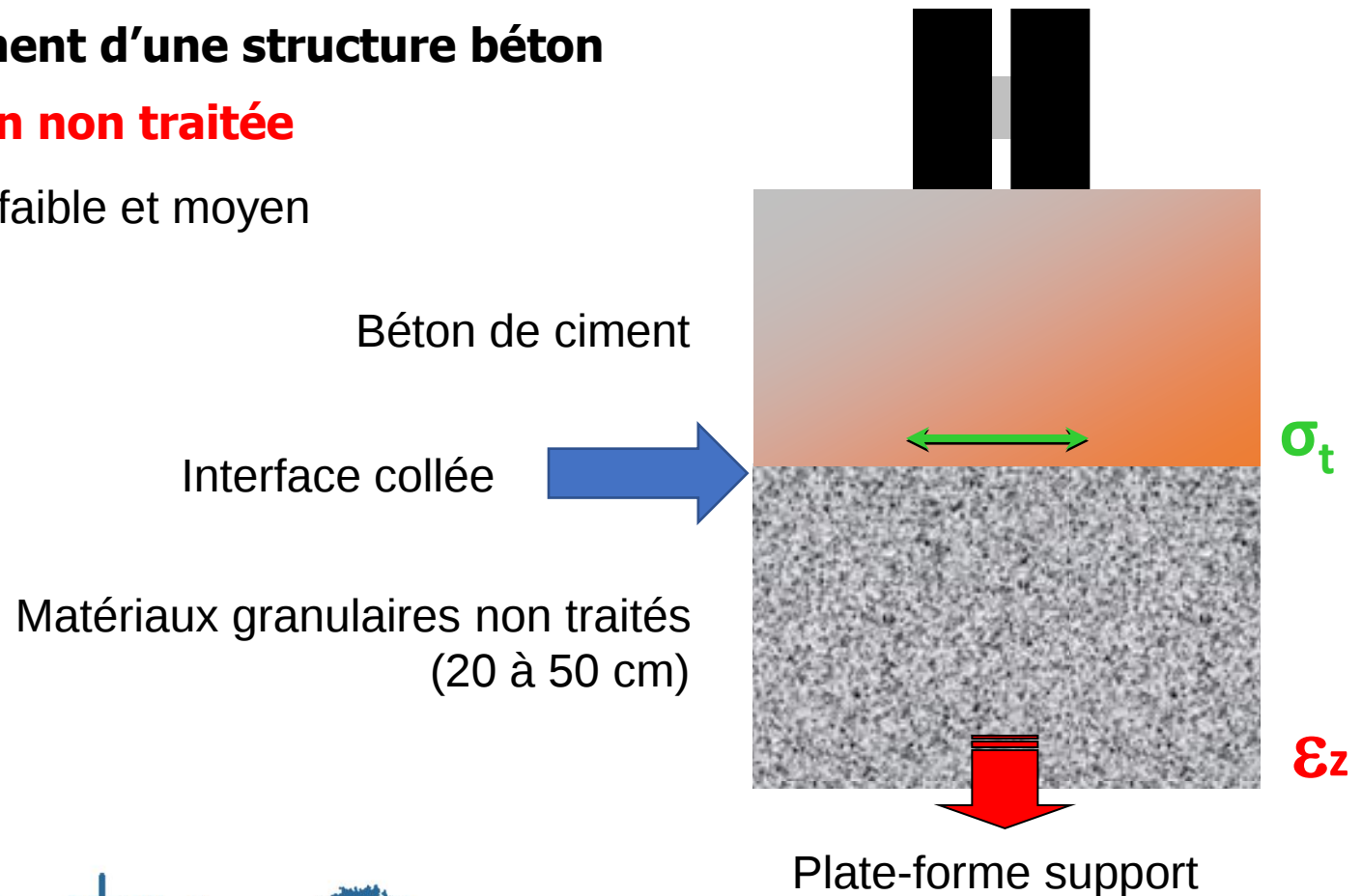


DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Fonctionnement d'une structure béton

Sur fondation non traitée

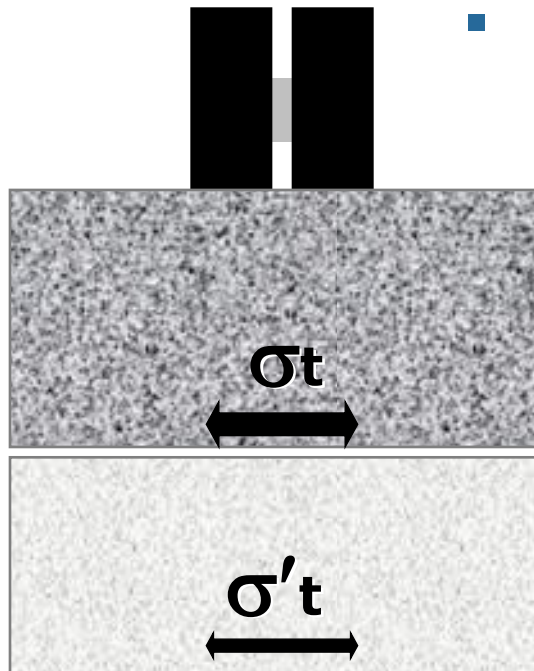
- Trafic faible et moyen



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Fonctionnement d'une structure béton **sur fondation traitée au ciment**

- Voirie à moyen ou fort trafic



BC5 (10 to 25 cm)

Interface décollée →
Epaisseurs importantes

BC3 (12 to 18 cm)

Ou

GC (15 to 20 cm) ou
BCR (15 cm)

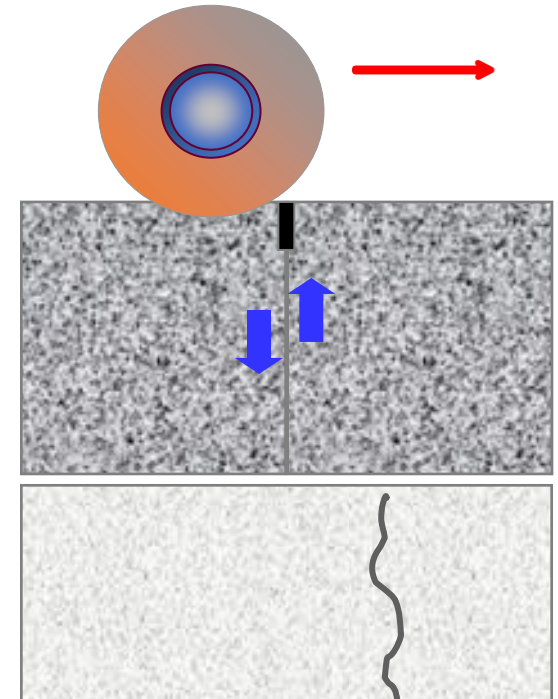


Plate-Forme PF ≥ PF2



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Collage ou non collage : un choix essentiel de conception
Intérêt d'une interface collée entre le revêtement et la fondation

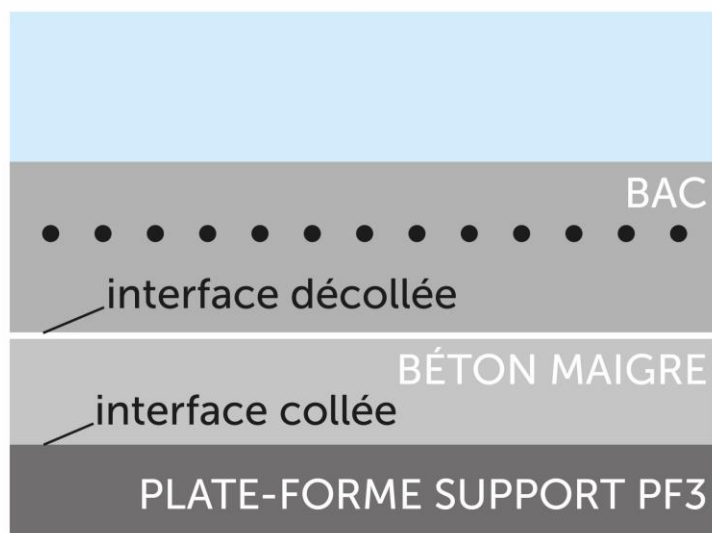


Figure 2. Structure BAC classique (BAC/ Béton maigre) avec collage entre fondation et plate-forme et décollement entre BAC et béton maigre.

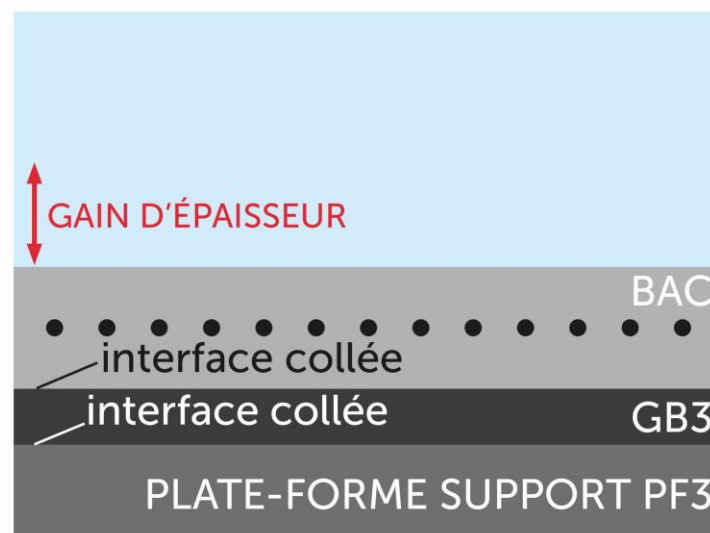
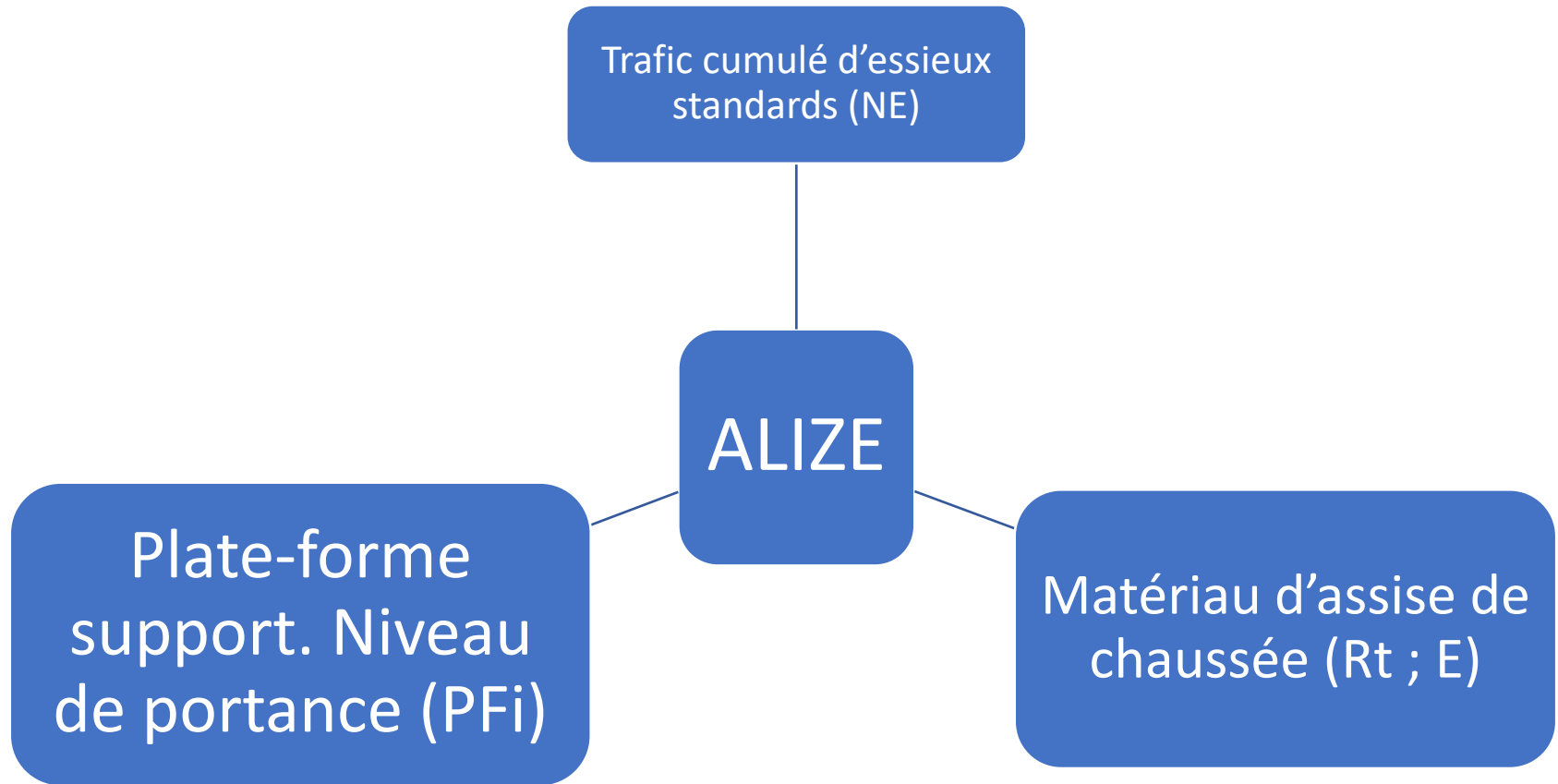


Figure 3. Structure composite BAC / GB3 illustré par un collage entre GB3 et plate-forme mais aussi un collage entre BAC et GB3.



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

COLLECTION

TECHNIQUE

CIMBÉTON

T 50

VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BÉTON

TOME 1

Conception
et dimensionnement



CIMbéton
CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

Hypothèses de calculs de dimensionnement

- Béton : BC5 , BC5g , BC3
- Trafic : croissance arithmétique PL 2% par an
- Durée de service : 20, 30 et 50 ans
- Interfaces : BC/sol et BCg/GB3 collés
BC5/BC3 et BC5g/BC3 décollés

Nota:

La norme dimensionnement NF P 98 086, stipule la majoration des épaisseurs des couches pour prendre en compte les sollicitations particulières des carrefours giratoires:

- 10% pour les couches en béton,
- 15% pour les couches bitumineuses.



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

DURÉE DE VIE 50 ANS

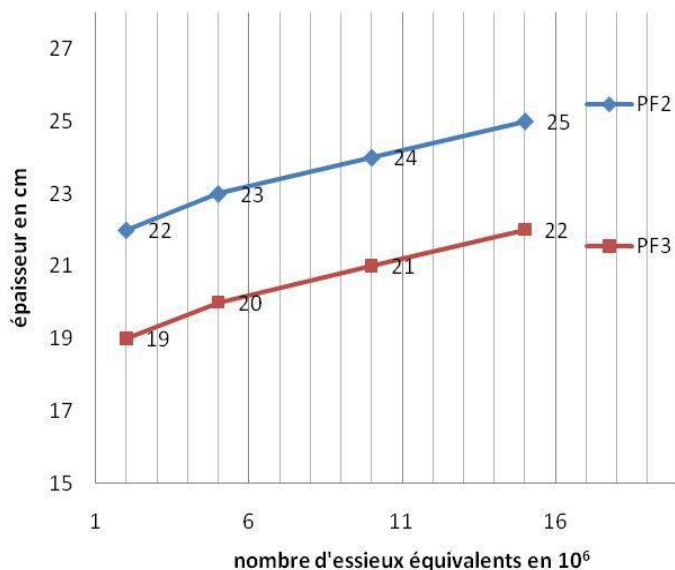
Tableau 17 : Dimensionnement des structures en béton pour une période de service de 50 ans							
Plate-forme support	Trafic						
	T6 50 ans	T5 50 ans	T4 50 ans	T3- 50 ans	T3+ 50 ans		
	TC $0,25 \cdot 10^5$	TC $1,65 \cdot 10^5$	TC $4,75 \cdot 10^5$	TC $1,145 \cdot 10^6$	TC $2,325 \cdot 10^6$		
PF1	24 BC5	26 BC5	21 BC5 15 BC3	22 BC5 15 BC3	23 BC5 15 BC3	20 BC5g 15 BC3	–
PF2	21 BC5	22 BC5	24 BC5	19 BC5 15 BC3	20 BC5 15 BC3	17 BC5g 15 BC3	–
PF2qs	19 BC5	21 BC5	22 BC5	18 BC5 15 BC3	19 BC5 15 BC3	16 BC5g 15 BC3	17 BC5g 9 GB3
PF3	18 BC5	19 BC5	20 BC5	16 BC5 15 BC3	18 BC5 15 BC3	15 BC5g 15 BC3	16 BC5g 9 GB3

T5 20 ans	T5 30 ans
TC $0,17 \cdot 10^5$	TC $0,3 \cdot 10^5$
23 BC5	24 BC5
20 BC5	21 BC5
18 BC5	20 BC5
17 BC5	18 BC5

DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Guide technique Carrefours giratoires en béton IDRRIM 2015

BC5 goudonné sur 15 cm BC3,
épaisseur de béton en fonction de NE



nb de
PL/Jour

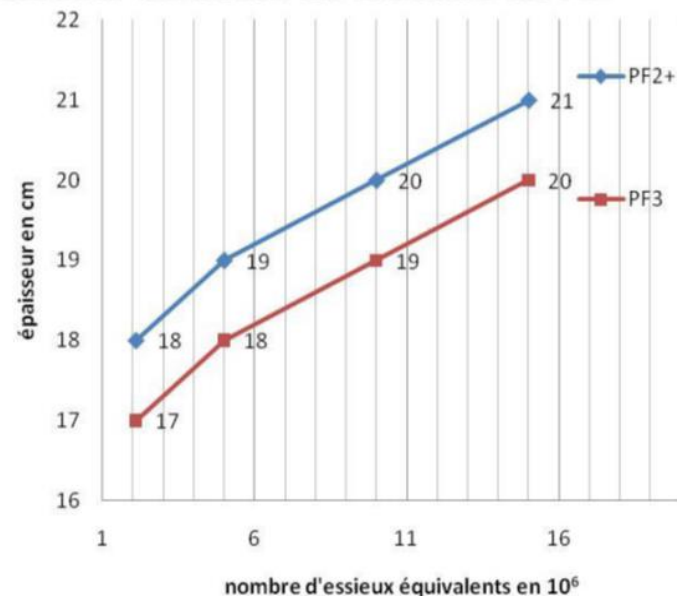
150

350

750

1000

BC5 goudonné sur 10 cm GB3,
épaisseur de béton en fonction de NE



nb de
PL/Jour

150

350

750

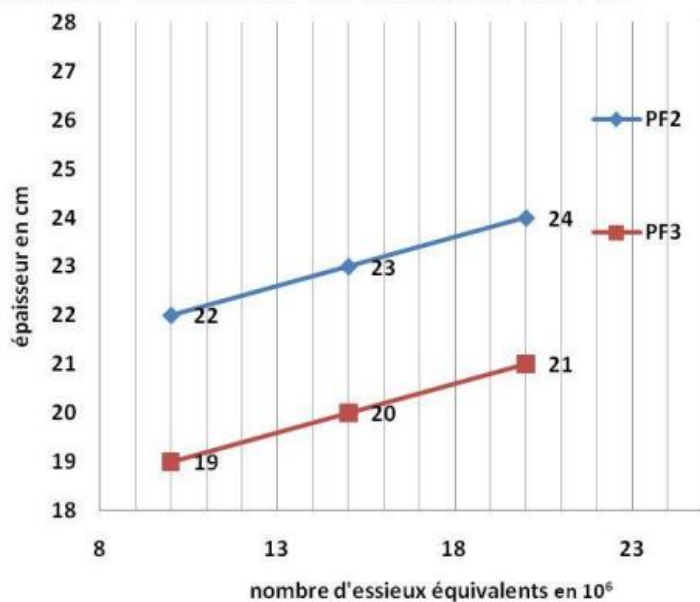
1000



DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE BÉTON

Guide technique Carrefours giratoires en béton IDRRIM 2015

BAC sur 15 cm de BC3,
épaisseur de béton en fonction de NE



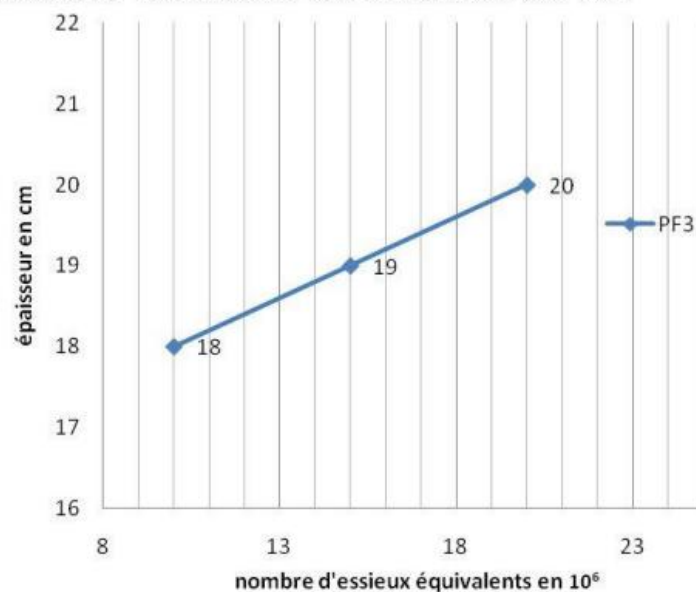
nb de
PL/Jour

750

1000

1500

BAC sur 10 cm GB3,
épaisseur de béton en fonction de NE



nb de
PL/Jour

750

1000

1500





LA NORME BÉTON NF EN 206/CN



LA NORME NF P 18-545

ARTICLE 9 - GRANULATS POUR CHAUSSÉES EN BÉTON

USAGES	CARACTÉRISTIQUES	CLASSES DE TRAFIC	
		TRAFIC ≤ T3	TRAFIC > T3
BÉTON DE FONDATION OU BÉTON POREUX	Intrinsèques des gravillons	Code D	
	De fabrication des gravillons	Code III bis	
	De fabrication des sables	Code a bis	
BÉTON DE ROULEMENT	Intrinsèques des gravillons	Code C	Code B
	De fabrication des gravillons	Code III bis	
	De fabrication des sables	Code a bis	

CODE	LOS ANGELES LA	MICRO DEVAL - MDE	POLISHING SURFACE VALUE – PSV
B	LA 20	MDE 15	PSV 50
C	LA 25	MDE 20	-
D	LA 30	MDE 25	-





LA NORME NF EN 206/CN — BPS

NF EN 206/CN

Béton à Propriétés Spécifiées

**Classes de résistance
en compression**

Classes d'exposition

Classes de consistance

Dimension maximale des granulats

Classes de teneur en chlorures



LES CLASSES MÉCANIQUES DES BÉTONS

- Conformité à la NF EN 206/CN, NF EN 13877-1 et NF P 98 170.
- Classe d'exposition XFi pour les couches de surface.
- Le choix de la classe du béton se fait en fonction du trafic et de l'usage. Les épaisseurs varient avec les classes du béton.

NF P 98-170 Classe	Résistance caractéristique (en MPa)	Classe de compression (NF EN 206-1)	Classe de fendage
BC2 – Assise	20	C 20/25	S 1,7
BC3 – Assise. Surface si trafic inférieur à 25 PJL/j	25	C 25/30	S 2,0
BC4 – Surface si trafic inférieur à 150 PL/j	29	C 30/37	S 2,4
BC5 – Surface	32	C 35/45	S 2,7
BC6 – Route et Aéroport	38	C 40/50	S 3,3



LA NORME NF EN 206/CN — BPS

FOCUS SUR LES CLASSES D'EXPOSITION

Courantes

X0

0 = 0 agression

XC

C = Carbonatation

XF

F = Froid

Particulières

XS

S = Sels marins

XD

D = sels Divers

XA

A = Attaques chimiques

Choix de la classe
d'exposition



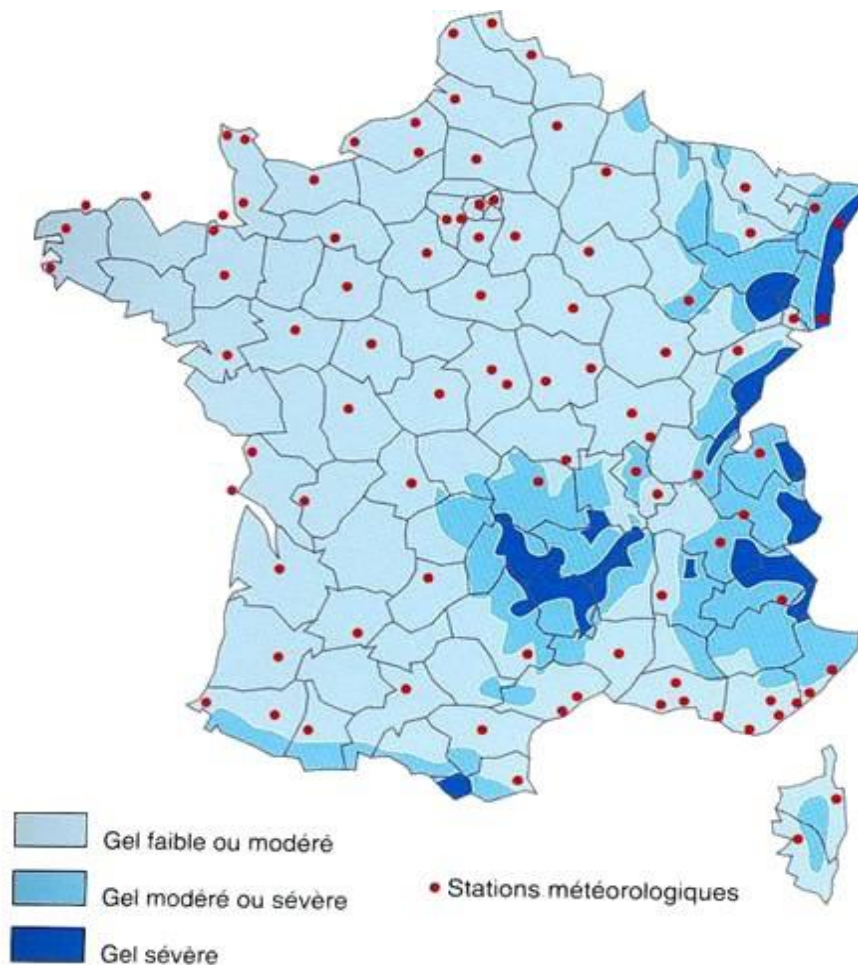
Responsabilité du client-
prescripteur



LA NORME NF EN 206/CN

CLASSES D'EXPOSITION COURANTES

Carte des zones de gel



LA NORME NF EN 206/CN

CLASSES D'EXPOSITION COURANTES

Tableau NA.1 - Classes d'expositions en fonction de l'intensité du gel et de la fréquence de salage

Gel \ Salage	Aucun	Peu fréquent	Fréquent	Très fréquent
Faible ou modéré	XF1	XF1	XF2	XF2*
Severe	XF3	XF3	XF4	XF4

* à l'exception des chaussées béton et des éléments d'ouvrages d'art très exposés qui seront classés en XF4.

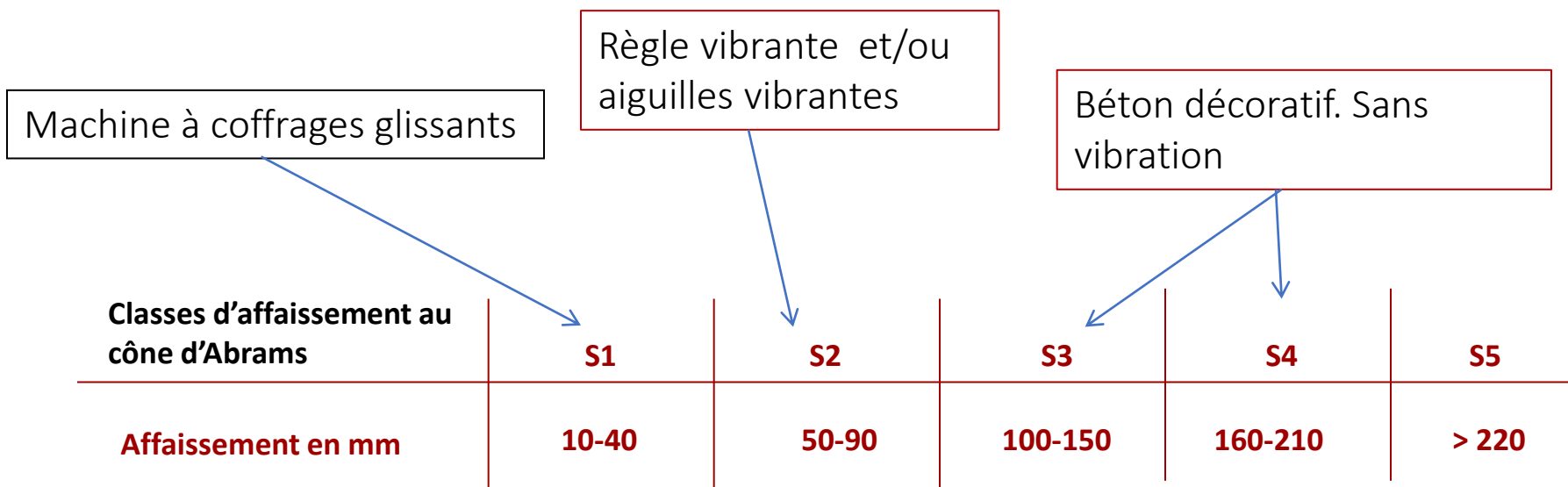
Valeurs limites applicables en France	Classes d'exposition			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Rapport maxi Eeff/(Liant éq)	0,60	0,55	0,55	0,45
Classe de résistance minimale	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37
Dosage mini en liant équivalent (kg/m ³) pour Dmax = 20 mm	280	300	315	340
Teneur minimale en air (%)	-	4	4	4
Addition maximum. Ex. Cendres volantes	0,30	0,30	0,30	0,15





LA NORME NF EN 206/CN — BPS

CLASSES DE CONSISTANCE



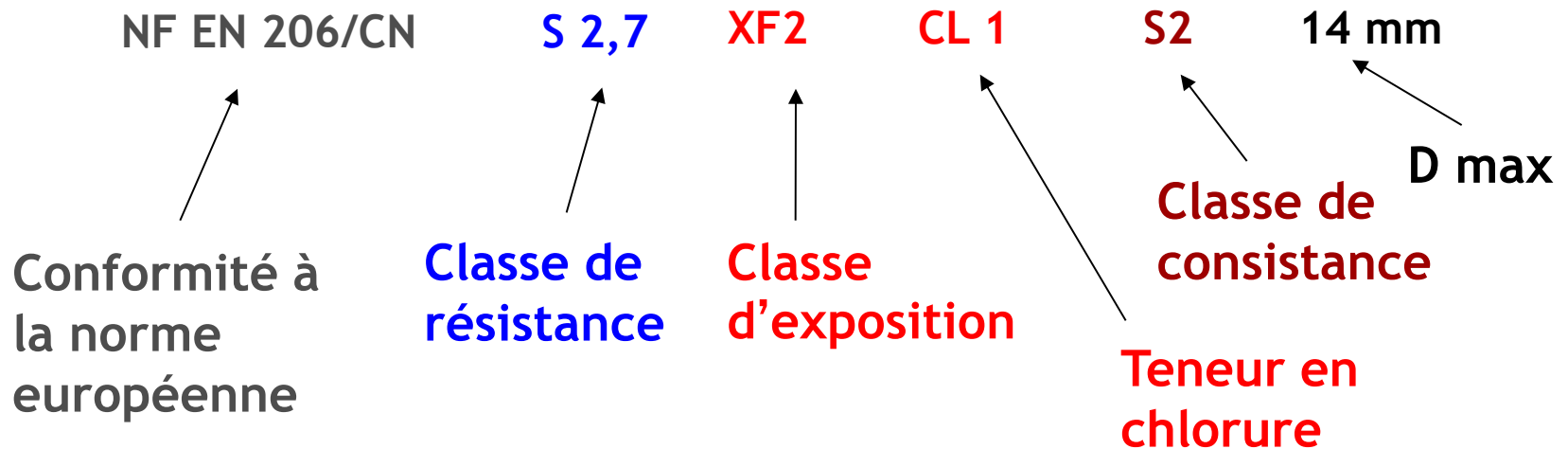
LA NORME NF EN 206/CN — BPS

CLASSES DE TENEUR EN CHLORURES

Utilisation du béton	Classe de chlorures	Teneur maximale en Cl ⁻ rapportée à la masse de ciment
Dalles Béton non armé et à joints non goudonnés	Cl 1,0	1 %
Dalles Béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées, et formulé avec un ciment de type CEM III	Cl 0,65	0,65 %
Dalles Béton contenant des armatures en acier (BAC) ou des pièces métalliques noyées (Goudons)	Cl 0,40	0,40 %

LA COMMANDE D'UN BÉTON ROUTIER

EXEMPLE DE BÉTON À PROPRIÉTÉS SPÉCIFIÉES (BPS)





BIBLIOGRAPHIE



BIBLIOGRAPHIE

- T50. Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 1 - Conception et dimensionnement. CIMbéton, 2019.
- T65. Chaussées composites en béton de ciment. Tome 1: Structures neuves en BAC collé sur GB. Guide dimensionnement. CIMBETON, 2000.
- Les bétons décoratifs : voiries et aménagements Urbains. Tome 3 - Les règles de l'art. SPECBEA.
- Plaque « Chaussées composites en BC5g/GB3 ». CIMbéton / SNBPE.
- Plaque « Chaussées composites en BAC/GB3 ». CIMbéton / SNBPE.



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

