

9<sup>E</sup> JOURNÉE  
TECHNIQUE  
DU CTMNC

20 AVRIL 2016  
LNE / PARIS 15<sup>E</sup>

# la pierre naturelle et l'économie circulaire

Terre et Pierre  
Expertise et Innovation



CONTACT  
NADÈGE VERRIER  
CTMNC-ROC@CTMNC.FR  
TÉL : 01 44 37 50 00

# la pierre naturelle et l'économie circulaire

## 9<sup>E</sup> JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

MERCREDI 20 AVRIL 2016

LNE  
1, RUE GASTON BOISSIER  
PARIS 15<sup>E</sup>

PARTICIPATION AUX FRAIS  
35,00 € TTC

COMPREND  
ACCÈS AUX CONFÉRENCES,  
REPAS, PAUSE, DOSSIER

DANS LA LIMITE DES PLACES  
DISPONIBLES (80 MAXI)



INSCRIPTION À L'AIDE DU BULLETIN JOINT, AVANT LE 13 AVRIL 2016

# PROGRAMME

Animation de la journée : **Claude Gargi** - revue Pierre Actual

9h30 Accueil

## 9h45 INTRODUCTION

**Jean-Louis Vaxelaire**, Vice-président du CTMNC

## 10h00 L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE. LES BASES POUR COMPRENDRE

**Alain Geldron**, ADEME

## 11h00 LES ACTIONS DU CTMNC POUR LA VALORISATION DES CO-PRODUITS

**Shahinaz Sayagh**, CTMNC

## 11h30 DES EXEMPLES DE VALORISATION DE CO-PRODUITS DE CARRIÈRE

**Jean-Louis Vaxelaire**, Graniterie Petitjean

## 11h45 LA VALORISATION DES BOUES DE SCIAGE DANS LES ENROBÉS BITUMINEUX

**Paul Marsac**, IFSTTAR

12h30 Déjeuner

## 14h00 LA RÉUTILISATION DE PIERRES NATURELLES EN ARCHITECTURE

**Lionel Devlieger**, ROTOR

## 14h45 LA RÉUTILISATION DES PAVÉS DE LA VILLE DE PARIS

**Pierre Pestel**, EIVP et **Patrick Marchetti**, Ville de Paris

## 15h30 L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE. LES ATOUTS DES PIERRES NATURELLES FRANÇAISES

**Jacques Benharrous**, SNROC

## 15h45 TABLE RONDE

### « L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE : QUELLES PERSPECTIVES POUR LA FILIÈRE ? »

**PARTICIPANTS : Lionel Devlieger**

**Patrick Marchetti**

**Paul Marsac**

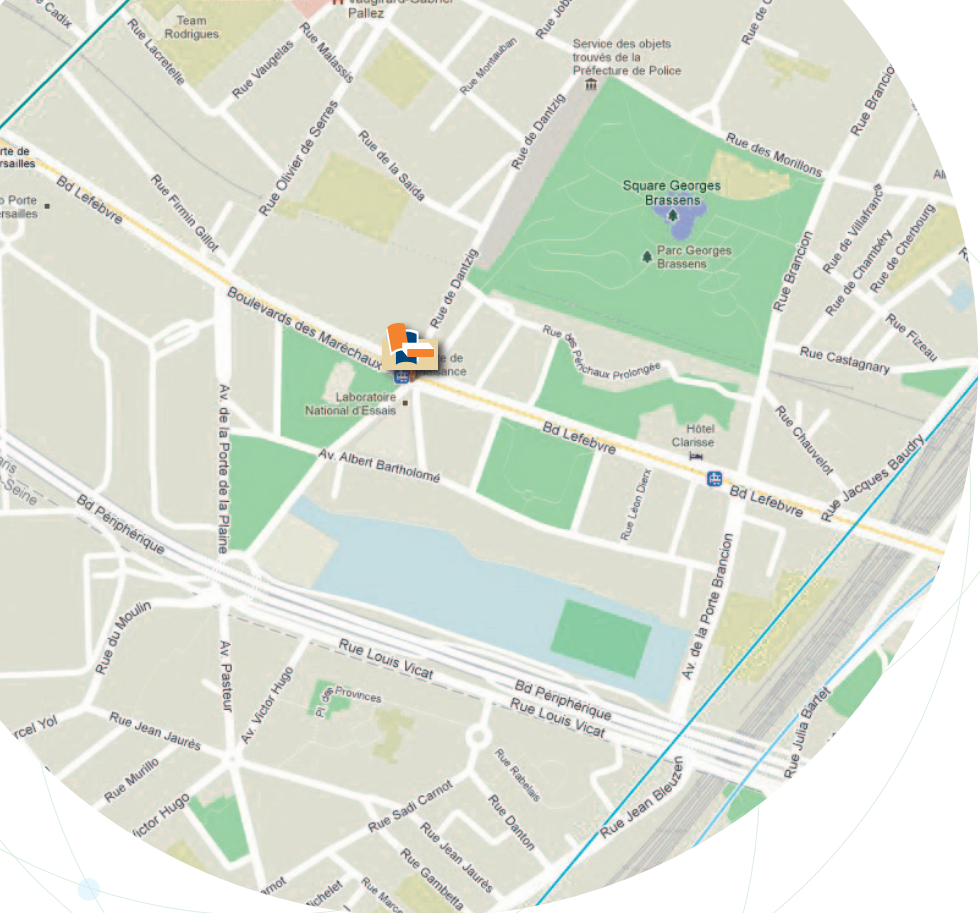
**Shahinaz Sayagh**

**Jean-Louis Vaxelaire**

## 16h30 SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

**Jean-Louis Vaxelaire**, Vice-président du CTMNC

16h45 Fin de la journée



Terre et Pierre  
Expertise et Innovation



LTNE - 1, RUE GASTON BOISSIER - 75015 PARIS

**MÉTRO** : M12 (STATION PORTE DE VERSAILLES) - M13 (STATION PORTE DE VANVES)

**TRAMWAY** : T3a (STATION GEORGES BRASSENS)

**CONTACT**

NADÈGE VERRIER

CTMNC-ROC@CTMNC.FR

TÉL : 01 44 37 50 00

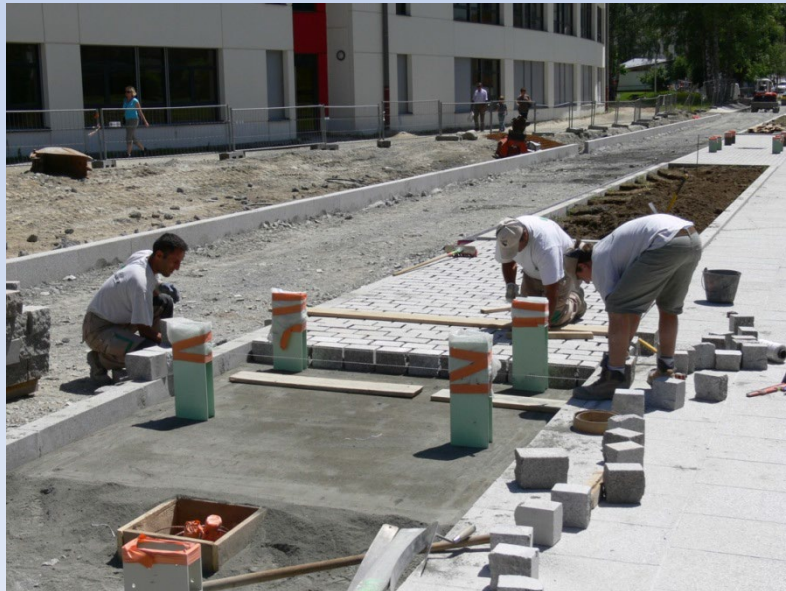
LOGOS

## JOURNEE TECHNIQUE

# LES PIERRES NATURELLES EN AMENAGEMENT URBAIN

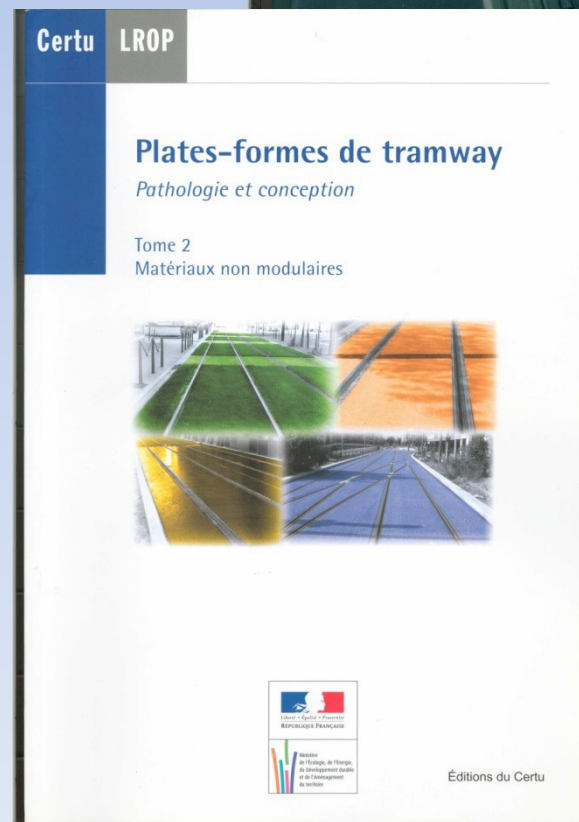
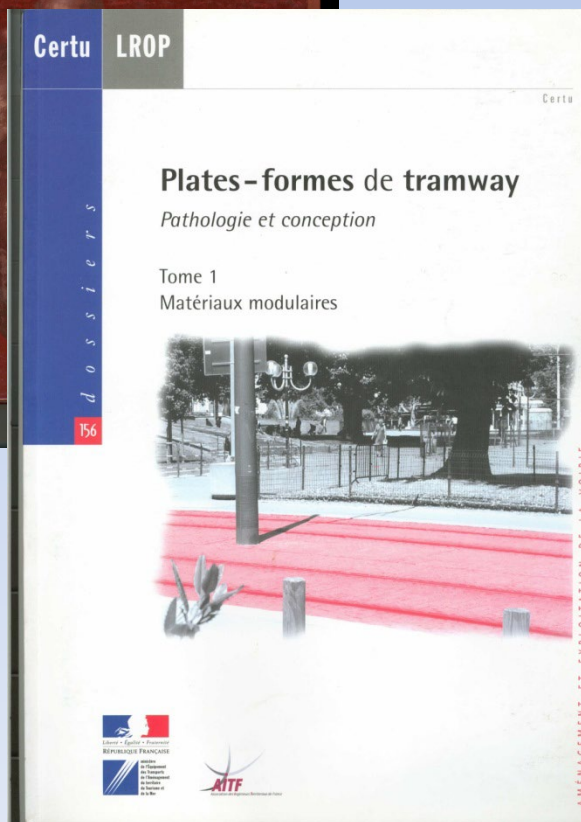
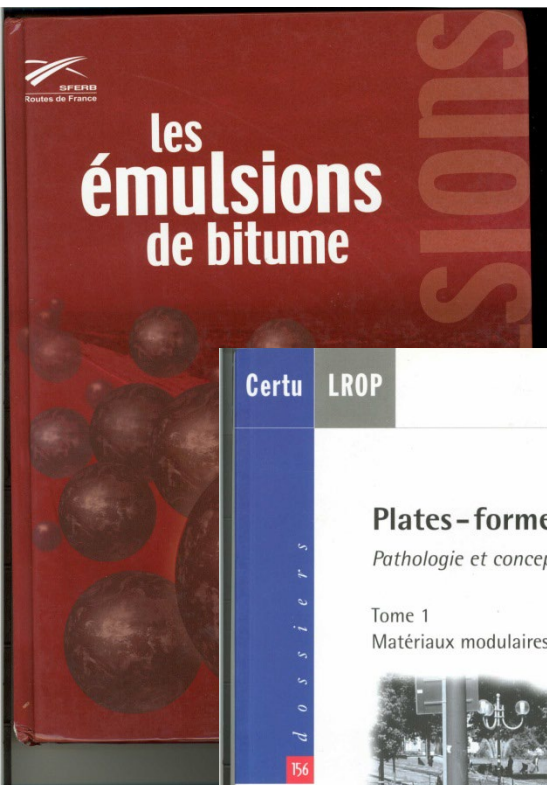
## LE « DESIGN STRUCTUREL »

## PRINCIPES ET CONTENU

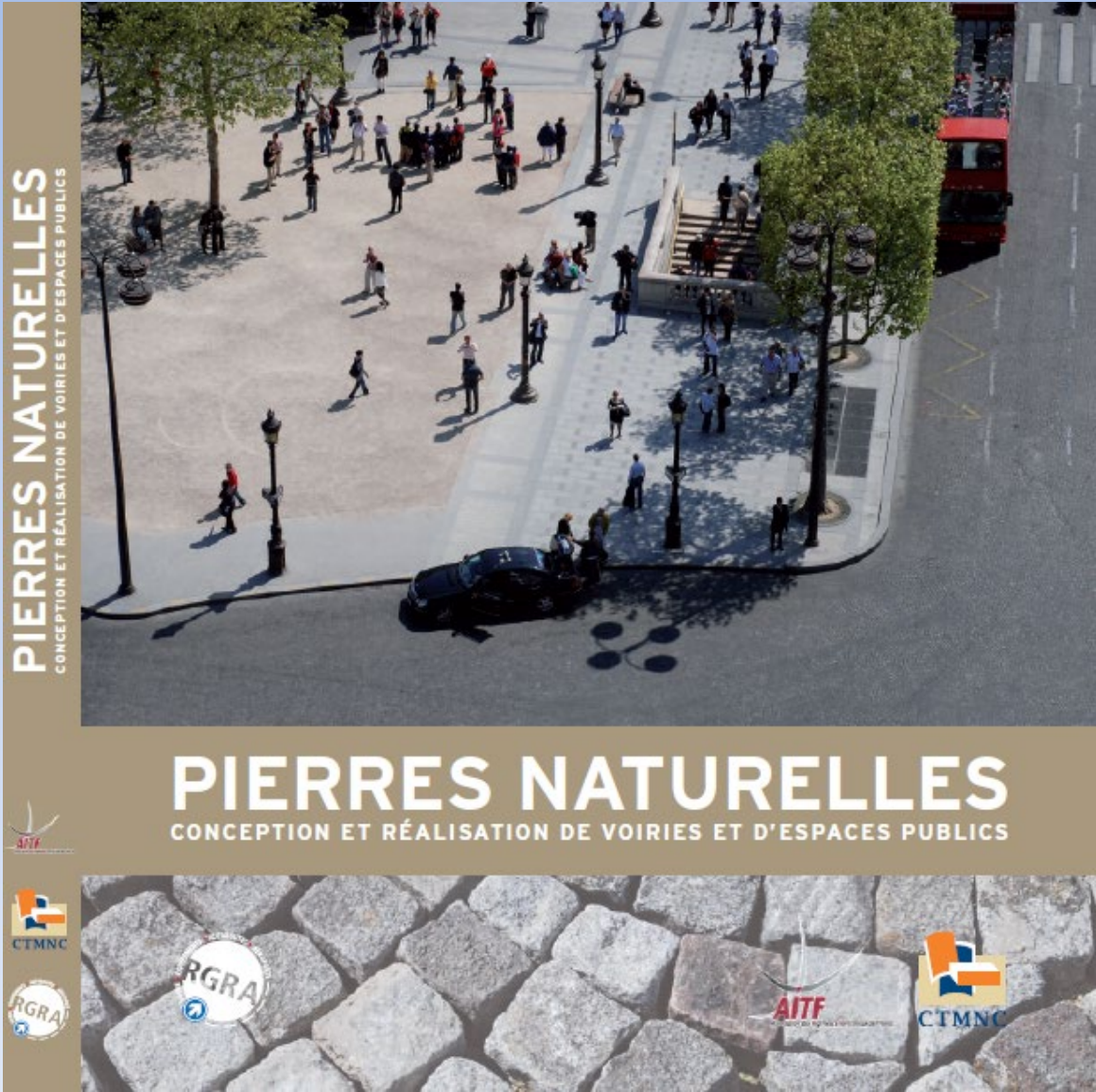


LYON, le 07 Avril 2016  
*Jean Pierre CHRISTORY*

# INTRODUCTION



# INTRODUCTION





# INTRODUCTION

L'ALLIANCE DU BEAU...



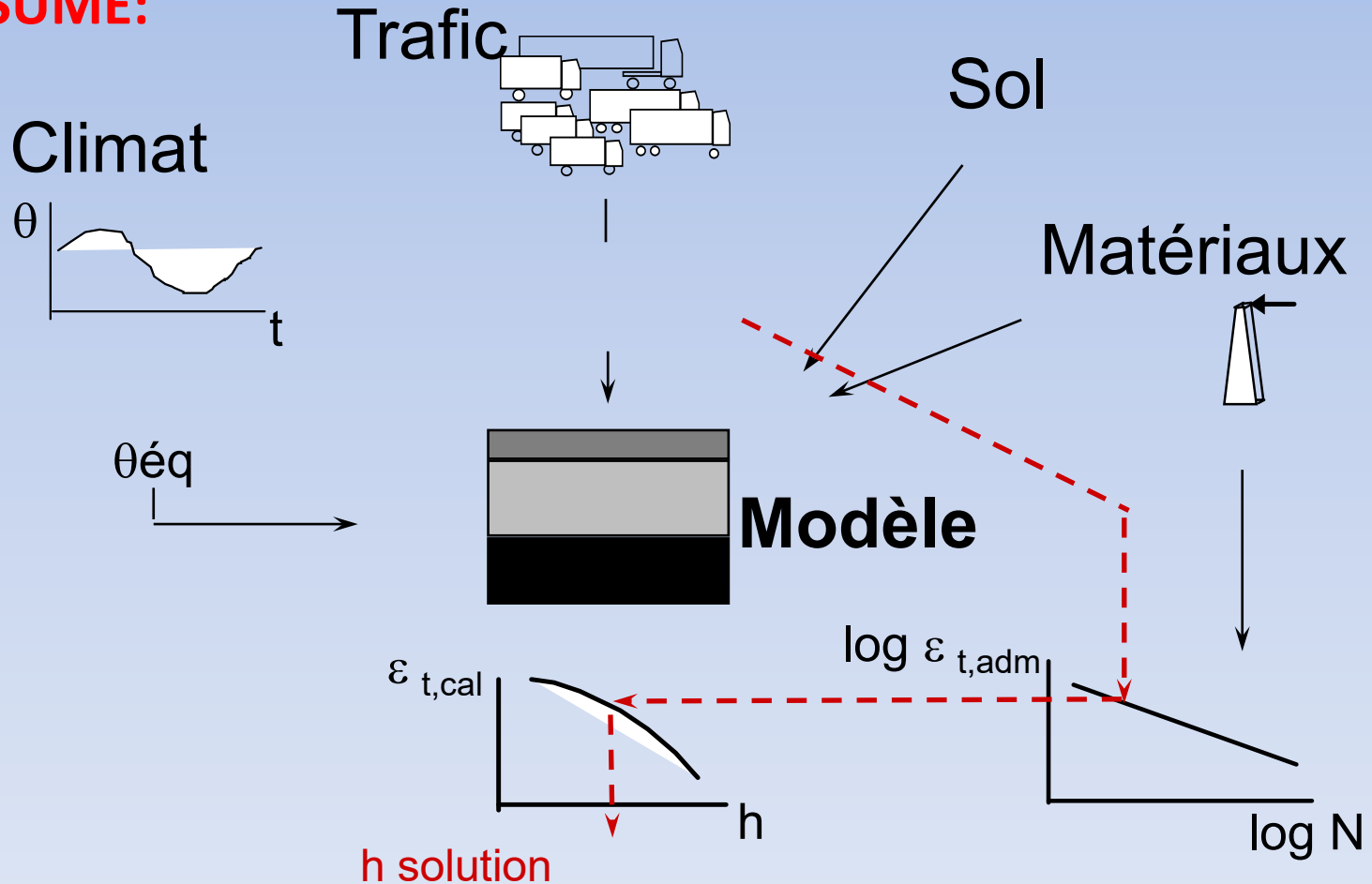
# INTRODUCTION

ET DU ROBUSTE...



# INTRODUCTION

LE DIMENSIONNEMENT MECANIQUE DE LA STRUCTURE D'UNE VOIRIE  
**EN RESUME:**



**h solution**

tr 7

# INTRODUCTION

## VOIES EN PAVES

Traffic Plate-forme	T2 151 - 300 PL/ 151 - 300 Bus/		T1 301 - 750 PL/ 301 - 750 Bus/	
	PF 4 > 200 MPa			
PF 3 > 120 MPa				
PF 2 > 50 MPa				
PF 1 > 20 MPa	Privilégier une augmentation de la portance	Privilégier une augmentation de la portance	Privilégier une augmentation de la portance	Privilégier une augmentation de la portance

— Pavés — PF1 — PF2 — PF2+ — PF3



### Abréviations

BCP

BC2

Béton de ciment pore ux (porosité > 20 % de vides et résistance en compression > 15 MPa)

Béton de ciment de classe 2

# INTRODUCTION

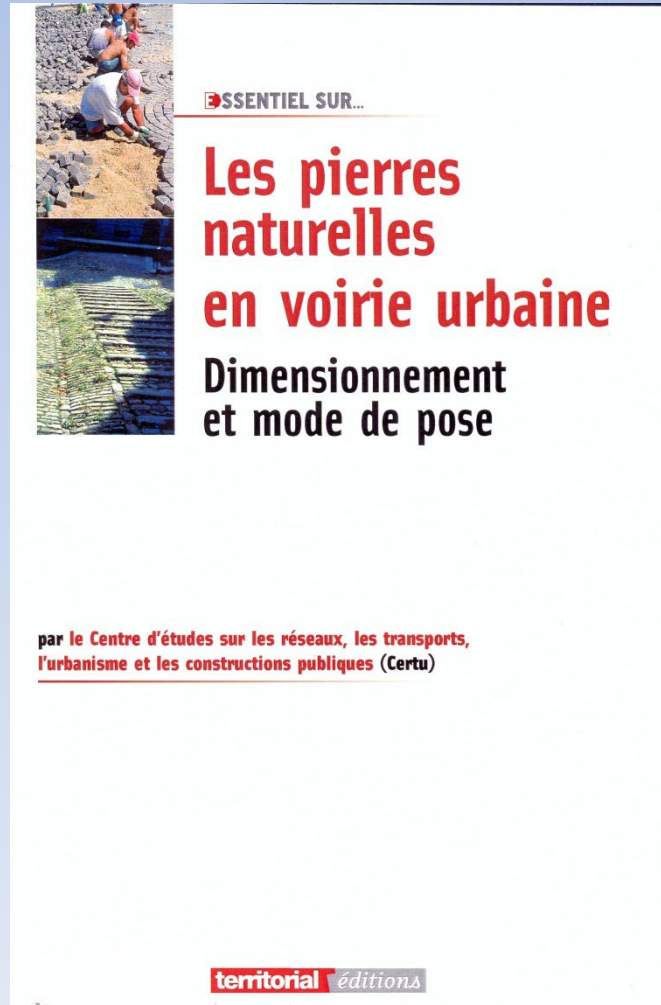
## VOIES EN PAVES



# INTRODUCTION

LE DIMENSIONNEMENT DES ASSISES :

**UNE CONDITION NÉCESSAIRE ... MAIS PAS SUFFISANTE**



# INTRODUCTION

LE DIMENSIONNEMENT DES ASSISES :

**UNE CONDITION NÉCESSAIRE ... MAIS PAS SUFFISANTE**

**Béton de catégorie 5 de la norme NF EN 98-170**

Plate-forme	Épaisseur de la couche d'assise par voie en cm				
	Desserte (25 PL/j)	Distribution (150 PL/j)	Principale (300 PL/j)	Bus jusqu'à 50 PL/j	Bus jusqu'à 150 PL/j
PF1	23	25	30	28	29
PF2	20	22	27	25	26
PF2+	18	19	24	22	23
PF3	17	18	23	21	22

**Grave-ciment catégorie T3 de la norme NF EN 13286-2**

Plate-forme	Épaisseur de la couche d'assise par voie en cm				
	Desserte (25 PL/j)	Distribution (150 PL/j)	Principale (300 PL/j)	Bus jusqu'à 50 PL/j	Bus jusqu'à 150 PL/j
PF1	21 + 21	22 + 22	25 + 26	24 + 24	25 + 25
PF2	18 + 18	19 + 19	22 + 23	21 + 21	22 + 22
PF2+	28	18 + 18	21 + 22	20 + 20	21 + 21
PF3	26	30	20 + 21	19 + 19	20 + 20

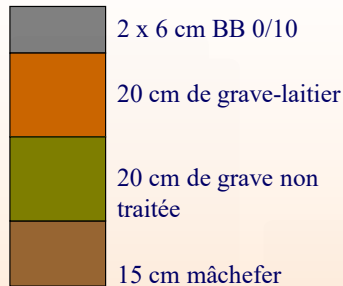
# INTRODUCTION

LE DIMENSIONNEMENT DES ASSISES :

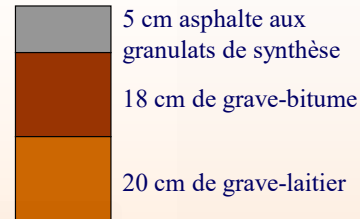
**UNE CONDITION NÉCESSAIRE ... MAIS PAS SUFFISANTE**

## EXEMPLES DE STRUCTURES DE COULOIRS BUS

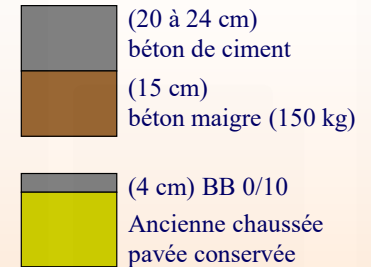
### Béton bitumineux



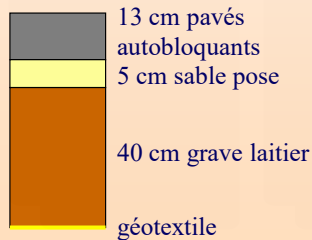
### Asphalte



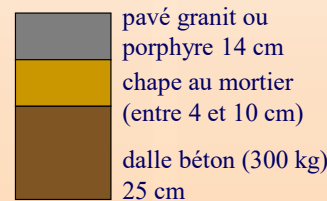
### Béton de ciment



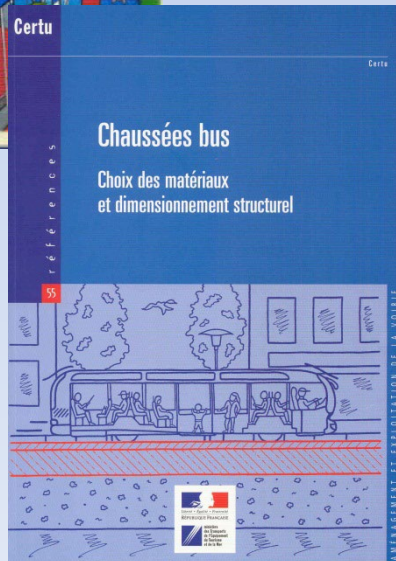
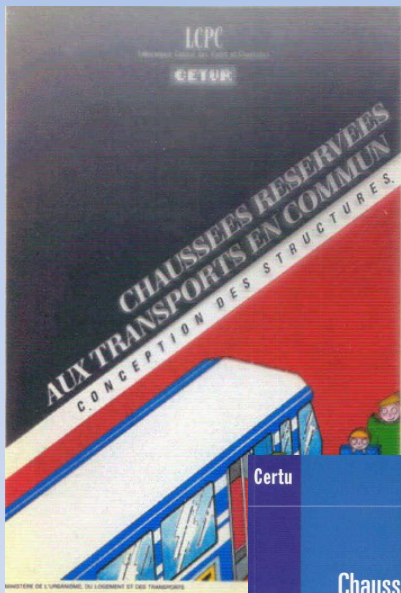
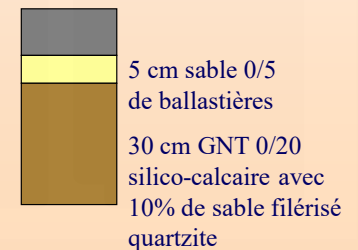
### Pavés de béton



### Pavés de pierre



### Dalles préfabriquées de béton armé





# INTRODUCTION

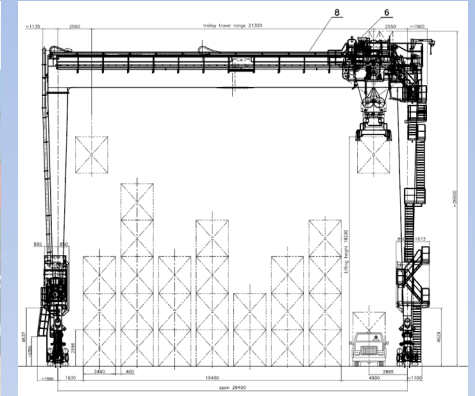
LE DIMENSIONNEMENT DES ASSISES :

**UNE CONDITION NÉCESSAIRE ... MAIS PAS SUFFISANTE**



# INTRODUCTION

**AU-DELA DES LIMITES DU SUJET** POUR ILLUSTRER LE PROPOS...



**Reach Straker RTG**

**75 T** sur l'essieu avant, 37,5 T par jumelage

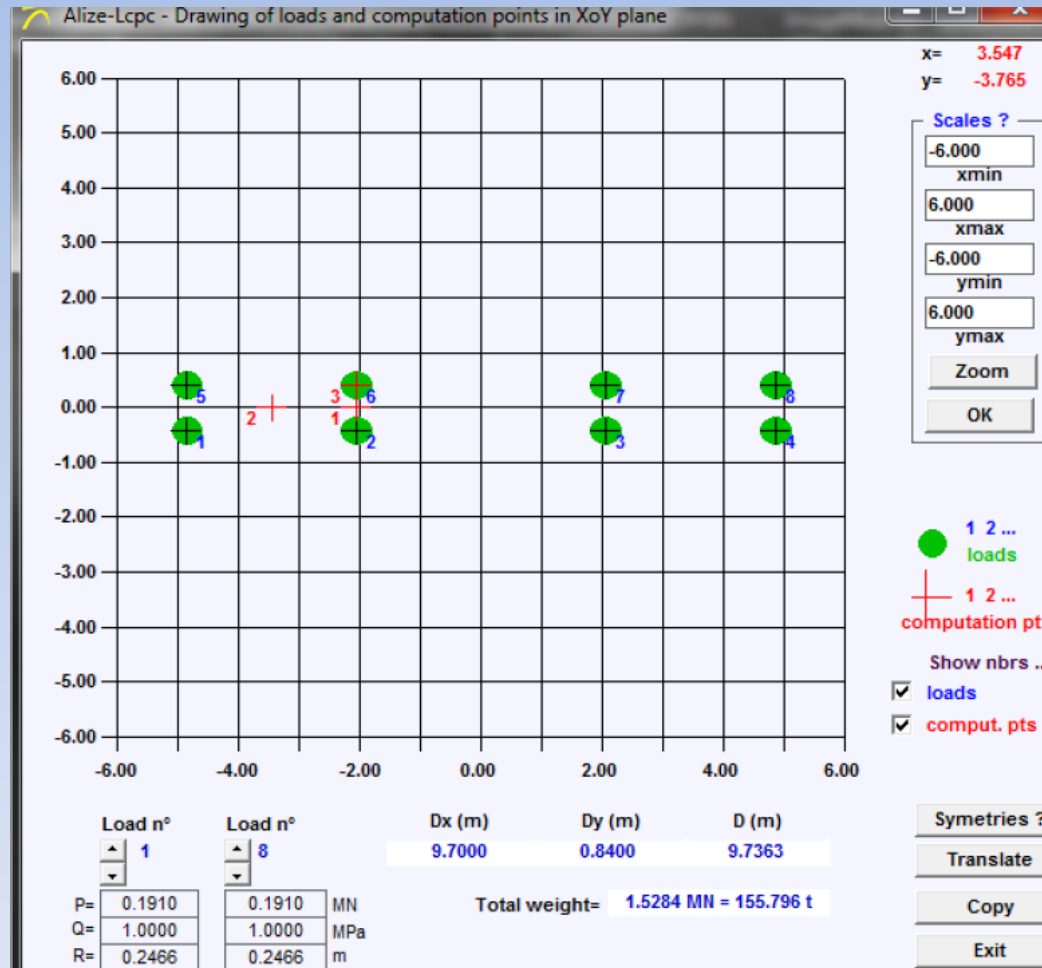


**Rubber Tyred Gantry Crane**

**38 T** par jumelage, 19T par roue

# INTRODUCTION

**AU-DELA DES LIMITES DU SUJET** POUR ILLUSTRER LE PROPOS...



Exemple de modélisation des jumelages d'un RTG

# INTRODUCTION

**AU-DELA DES LIMITES DU SUJET** POUR ILLUSTRER LE PROPOS...

		Alolowable bending stress at bottom of RCC layer
Quay 30 for passes of 88,000 RTG, 4,000 reach stackers and container stacking	10 cm concrete blocks 3 cm bedding sand <b>55 cm C16/20 lean concrete</b> 20 cm natural gravel Subgrade 80 MPa	4.201 Mpa under RTG loading
Quay 31 for 174,600 reach stackers passes	10 cm concrete blocks 3 cm bedding sand <b>60 cm C16/20 lean concrete</b> 20 cm natural gravel Subgrade 80 MPa	4.025 Mpa
Customs area for 800,598 reach stackers passes	10 cm concrete blocks 3 cm bedding sand <b>62 cm C16/20 lean concrete</b> 20 cm natural gravel Subgrade 80 MPa	3.660 Mpa



# INTRODUCTION

**AU-DELA DES LIMITES DU SUJET** POUR ILLUSTRER LE PROPOS...



*Boues blanches d'attrition à côté des traces de roues jumelées des RTG  
(source photo : groupe de travail PIANC chaussées portuaires – avril 2014)*

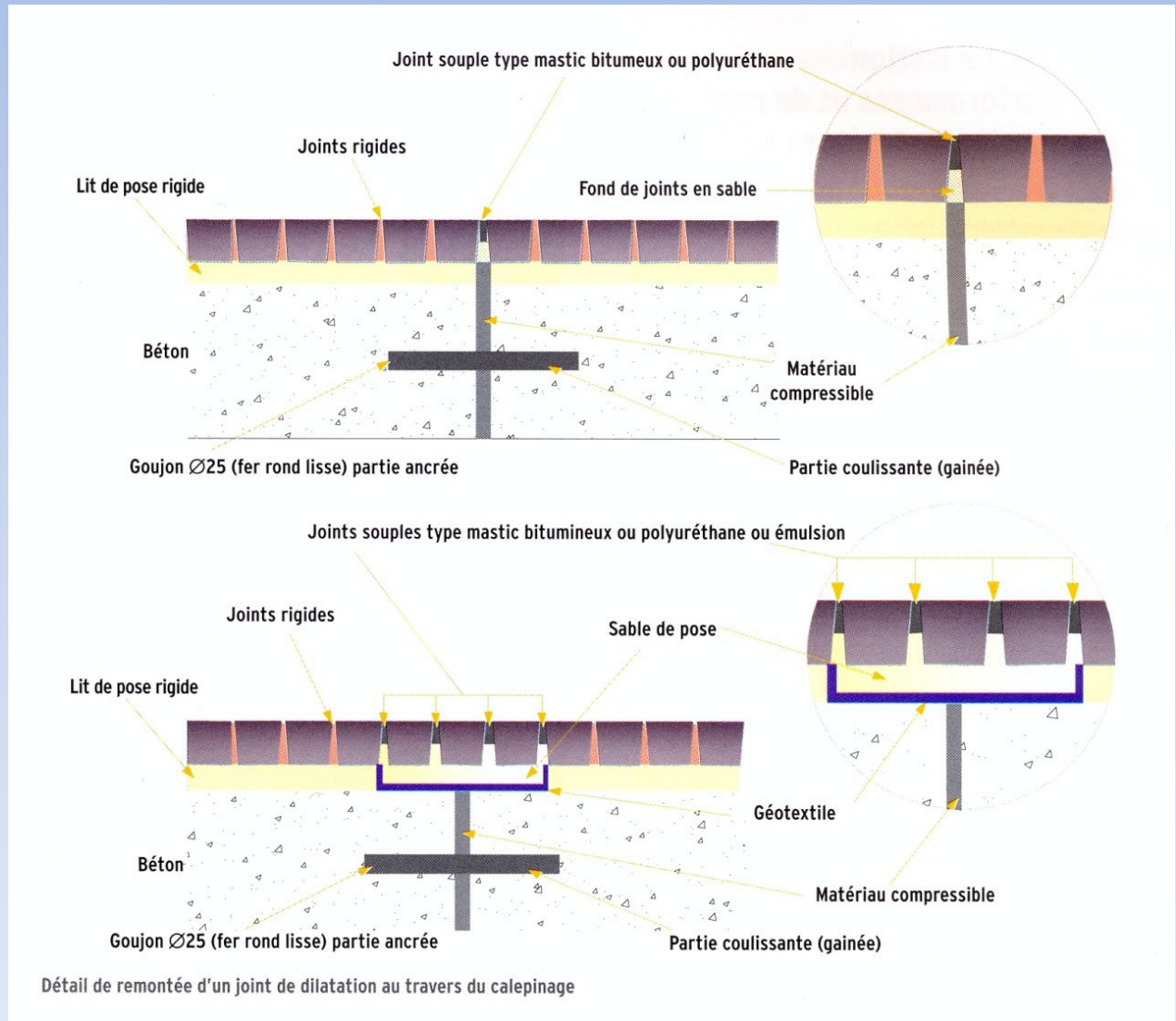
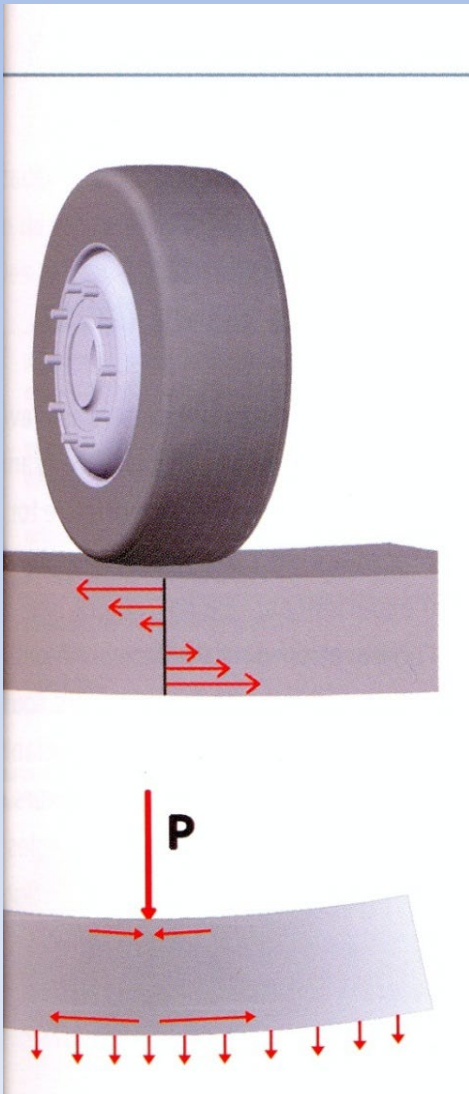
# INTRODUCTION

**AU-DELA DES LIMITES** DU SUJET POUR ILLUSTRER LE PROPOS...



# INTRODUCTION

QUAND L'ACCESSOIRE DEVIENT **ESSENTIEL** : INVERSER LE REGARD...

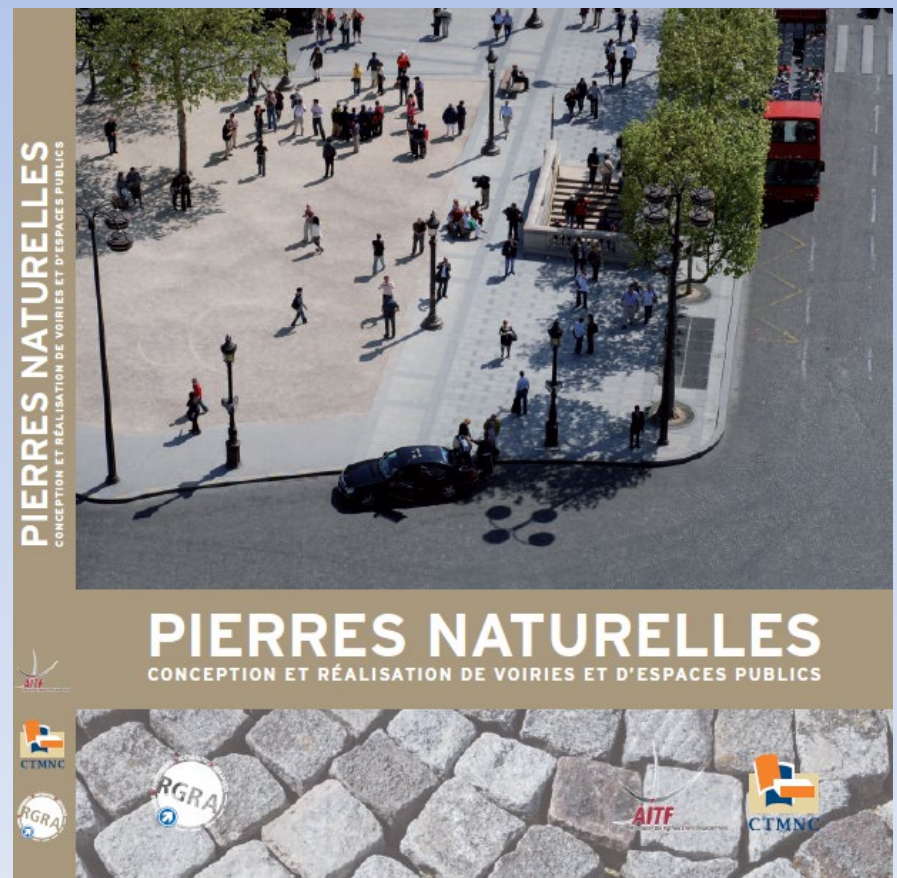


# INTRODUCTION

QUAND L'ACCESSOIRE DEVIENT **ESSENTIEL** : INVERSER LE REGARD...

## ① Le pavé, la dalle dans leur environnement

- Choix
- Conception
- Dimensionnement
- Formats
- Sollicitations
- Appareillage
- lits de pose
- Jointement
- blocage de plaque
- drainage d'interface
- exécution



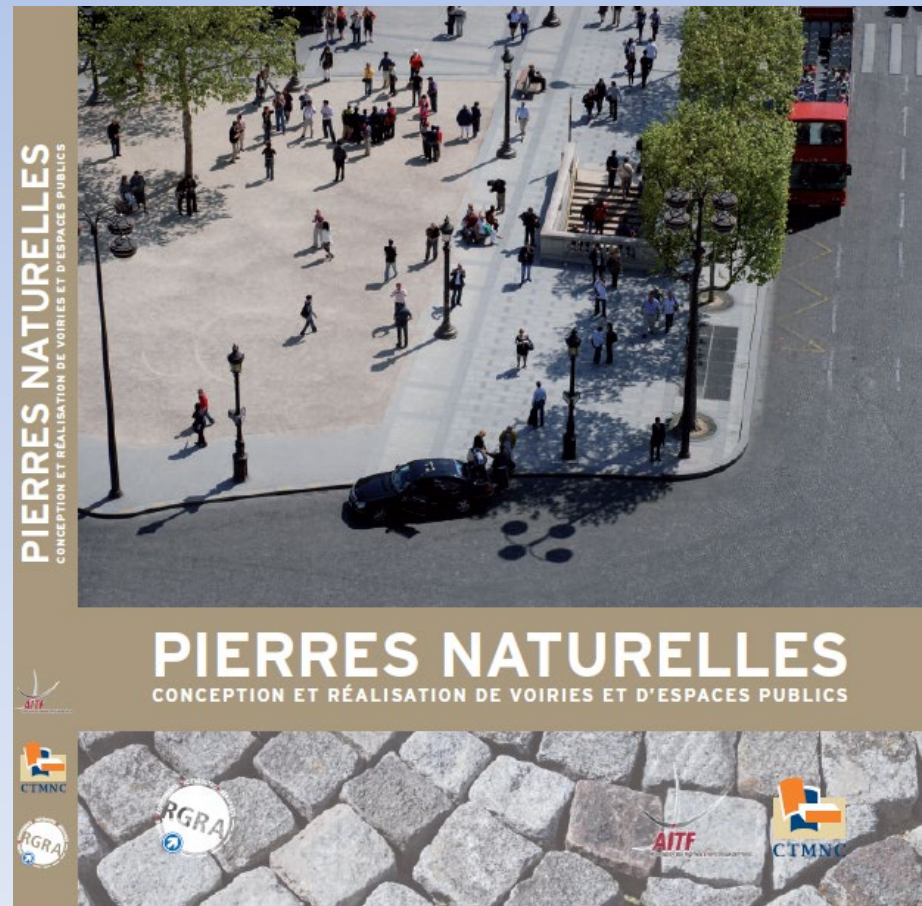


# INTRODUCTION

QUAND L'ACCESSOIRE DEVIENT **ESSENTIEL** : INVERSER LE REGARD...

## ② L'assise dans son environnement

- . choix
- . dimensionnement
- . sollicitations
- . plate-forme
- . drainage
- . exécution



# INTRODUCTION

QUAND L'ACCESSOIRE DEVIENT **ESSENTIEL** : INVERSER LE REGARD...



**L'ESSENTIEL DE LA  
CONCEPTION  
EN RÉSUMÉ**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN RÉSUMÉ

### 1/ RÉSISTANCE ET DIMENSIONS DES PAVÉS ET DALLES

*Cohérence avec trafic PL*

### 2/ FORMES D'APPAREILLAGE

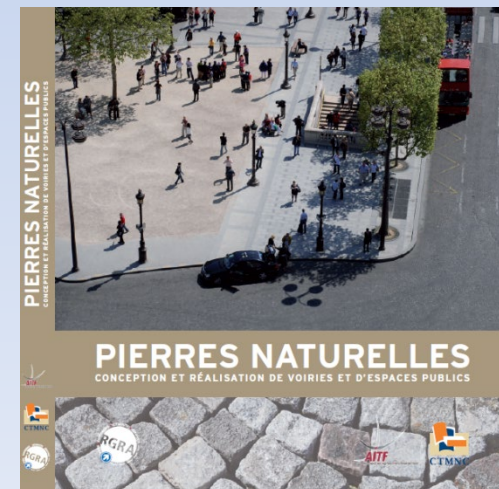
*Rapport aux sollicitations*

### 3/ BLOCAGES DE LA PLAQUE PAVÉE OU DALLÉE

*Dispositions constructives pour les blocages transversaux et longitudinaux*

### 4/ DRAINAGE

*Ruissellement, interface, conception exécution maintenance*



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN RÉSUMÉ

### 5/ COHÉRENCE ASSISE - LIT DE POSE - JOINTEMENT

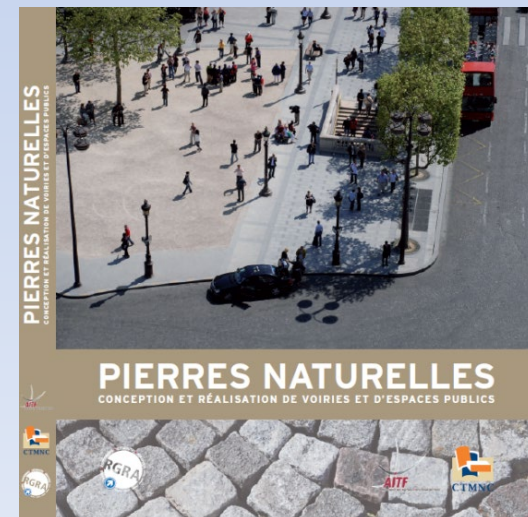
*Dilatation*

### 6/ CONDITIONS D'EXÉCUTION

*Maîtrise des délais de prise et durcissement*

### 7/ CONTRÔLES QUALITÉ ET RÉCEPTION DES MATÉRIAUX

### 8/ PERFORMANCES ET CONTRÔLE DES BÉTONS ET MORTIERS SPÉCIAUX

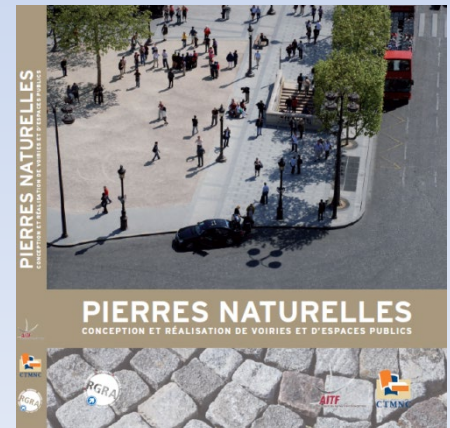


# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN RÉSUMÉ

### UN « THERMOMÈTRE » POUR CARACTÉRISER LA ROBUSTESSE, LES NIVEAUX D'EFFICACITÉ

- A** principe ou valeur offrant les **garanties optimales** pour le critère considéré
- B** principe ou valeur d'un **niveau d'efficacité moyen** pour le critère considéré
- C** principe ou valeur **d'efficacité minimale** pour le critère considéré
- D** principe ou valeur d'**efficacité insuffisante** ou inexistante pour le critère considéré



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN RÉSUMÉ

### LA VISION GLOBALE POUR L'AIDE A LA DECISION

	Pavés			Dalles
Traffics	T3	T2	T1	T4
Nombre de PL/j < 3,5 t	51 - 150	151 - 300	301 - 750	26 - 50
Caractéristiques de résistance des produits	B	A	A	A
Contrôles qualité et des procédures de réception	B	A	A	A
Formes d'appareillages	B	B	A (B)*	A
Blocages de rives et longitudinaux	B	A (B)*	A	A
Principes de drainage	B	A	A	A
Conditions d'exécution	B	A	A	A
Cohérence assise/mode de pose/jointement	A (B)*	A	A	A
Caractérisation des performances et du contrôle d'emploi des bétons et mortiers spéciaux	B	A	A	A

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN RÉSUMÉ





**L'ESSENTIEL DE LA  
CONCEPTION  
EN DETAIL**

**CRITERE N°1:  
RESISTANCE ET DIMENSIONS  
DES PAVES ET DES DALLES**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 1/ RÉSISTANCE ET DIMENSIONS DES PAVÉS ET DALLES

#### 1.1/ Cohérence avec trafic PL

Conception et dimensionnement des chaussées

Paramètres d'entrée du dimensionnement:

Trafic	T5	T4	T3	T2	T1	T0	TS	TEX
PL-MJA / sens	25	50	150	300	750	2 000	5 000	
	FAIBLE/MOYEN			FORT		TRÈS FORT		

Trafic	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
NCPL / sens (10 <sup>6</sup> )	0,2	0,5	1,5	2,5	6,5	17,5	43,5	
	FAIBLE/MOYEN			FORT		TRÈS FORT		




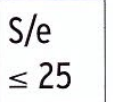
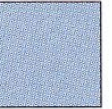


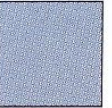
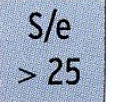
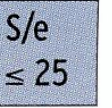
Plate-forme	PF1	PF2	PF3	PF4
Module (MPa)	20	50	120	200

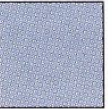
# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 1/ RÉSISTANCE ET DIMENSIONS DES PAVÉS ET DALLES

#### 1.1/ Cohérence avec trafic PL

		Trafic en nombre de poids lourds par jour de PTAC $\geq 3,5$ t				
		T5 1-25 PL	T4 26-50 PL	T3 51-150 PL	T2 151-300 PL	T1 301-750 PL
Épaisseurs minimales des pavés en cm	Lit de pose en sable	 $\geq 8$	 $\geq 8$	 $\geq 8$	 $\geq 10$	 $\geq 10$
	Lit de pose en mortier ou béton	 $\geq 8$	 $\geq 8$	 $\geq 8$	 $\geq 10$	 $\geq 10$

 *Choix à valider par une étude de conception particulière*

*S/e = Rapport de la surface en cm<sup>2</sup> par son épaisseur en cm*

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 1/ RÉSISTANCE ET DIMENSIONS DES PAVÉS ET DALLES

#### 1.2/ Résistance et dimensions

##### PAVÉS



Résistance en compression	Classes de trafic PL					
	T1	T2	T3	T3	T4	T5
Rc MPa						
> 120	A	A	A	A	A	A
110 à 120	B	B	A	A	A	A
100 à 110	C	C	B	A	A	A
60 à 100	D	D	C	B	A	A

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 1/ RÉSISTANCE ET DIMENSIONS DES PAVÉS ET DALLES

#### 1.2/ Résistance et dimensions

##### DALLES

$$T = \sqrt{\frac{P \times F_s \times 1500 \times L}{W \times R_{tf}}}$$

T épaisseur

L longueur de la dalle

W largeur

R<sub>tf</sub> Valeur Minimale Attendue de la résistance en flexion

F<sub>s</sub> coefficient de pose et de sécurité

Dimensions du produit	Pose sur mortier	Pose sur sable
Pour W et L ≤ 600 mm	F <sub>s</sub> = 1,2	F <sub>s</sub> = 1,8
Pour W ou L > 600 mm	F <sub>s</sub> = 1,8	F <sub>s</sub> = 2,4

##### Autres conditions de robustesse

R mini : 25 ou 30 KN, classe 250 ou 300

Dimension maxi : 60 cm, 40 cm pour T = 6 cm

Elancement (L/W) :

< 1,5 pour T = 8, 10, 12 cm

< 1 pour T = 6 cm

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 1/ RÉSISTANCE ET DIMENSIONS DES PAVÉS ET DALLES

#### 1.2/ Résistance et dimensions

PAS SEULEMENT LA RESISTANCE...

MAIS AUSSI LES CARACTERISTIQUES DE SURFACE ET L'ADHERENCE...

Les indicateurs des essais conventionnels :

- Abrasion (Usure )
- Coefficient de frottement

**...ne suffisent pas** selon le tracé et la pente de la chaussée.

Il faut aussi considérer :

- **la microtexture**
- la macrotexture
- la mégatexture



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 1/ RÉSISTANCE ET DIMENSIONS DES PAVÉS ET DALLES

#### 1.2/ Résistance et dimensions

Pour garantir les caractéristiques de **RUGUOSITE** de la surface, il faut des pierres:

- ° **DURES**
- ° **PRENANT DES FINITIONS PEU POLISSABLES**
- ° **RESISTANTES à L'USURE, au CHOC et à la FRAGMENTATION**

**ESSAI CEN/TS 12633 – 2014** (*étude en cours au CTMNC*)

*AUTRES PISTES ? :*

<b>RESISTANCE AU POLISSAGE</b>	<b>PSV ( ex CPA)</b>	<b>&gt; 0,5</b>
<b>RESISTANCE A L'USURE Micro Deval</b>	<b>MDA</b>	<b>&lt; 20</b>
<b>RESISTANCE A LA FRAGMENTATION Los Angeles LA</b>		<b>&lt; 25</b>

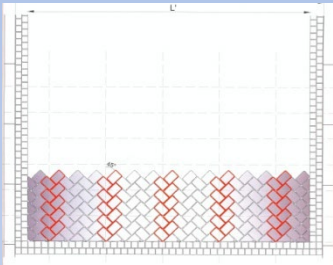


**CRITERE N°2:  
FORMES D'APPAREILLAGE  
ET DE PROFIL**

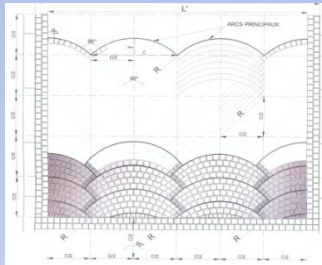
# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

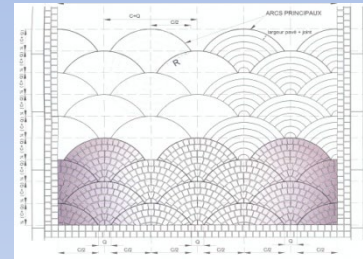
### 2/ FORMES D'APPAREILLAGE ET DE PROFIL



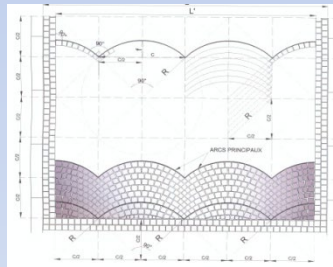
Chevrons



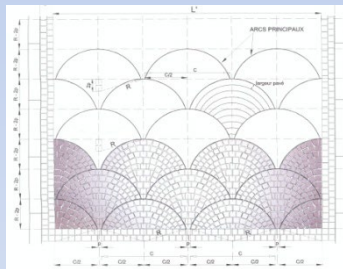
Arceaux à redans



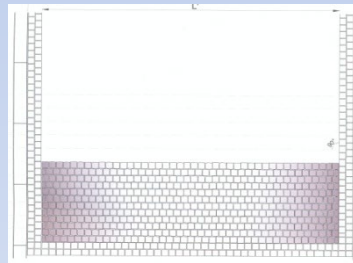
Fausse queue de paon



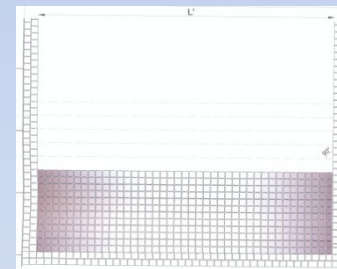
Arceaux classiques



Queue de paon



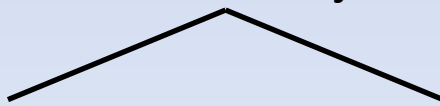
Ranges droite  
joints décalés



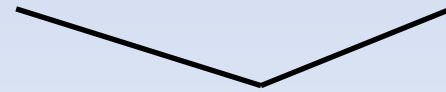
Panneaux joints  
alignés



Parabole



Toit



En V

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 2/ FORMES D'APPAREILLAGE ET DE PROFIL



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 2/ FORMES D'APPAREILLAGE ET DE PROFIL

Appareillage	Forme du profil en travers		
	Parabolique	En Toit	En V
Chevrons	A	B	C
Arceaux à redans	A	B	C
Fausse queue de paon	A	B	C
Arceaux classiques	A	B	C
Queue de paon	A	B	C
Range droite à joints décalés	A ou B	C	D
Panneaux joints alignés	D	D	D

**CRITERE N°3 :**  
**BLOCAGES DE LA PLAQUE**  
**PAVEE OU DALLEE**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

3/ BLOCAGES DE LA PLAQUE PAVÉE OU DALLÉE, BLOCAGES DE RIVES, LONGITUDINAUX, TRANSVERSAUX

### 3.1/ QUELQUES PATHOLOGIES À ÉRADIQUER

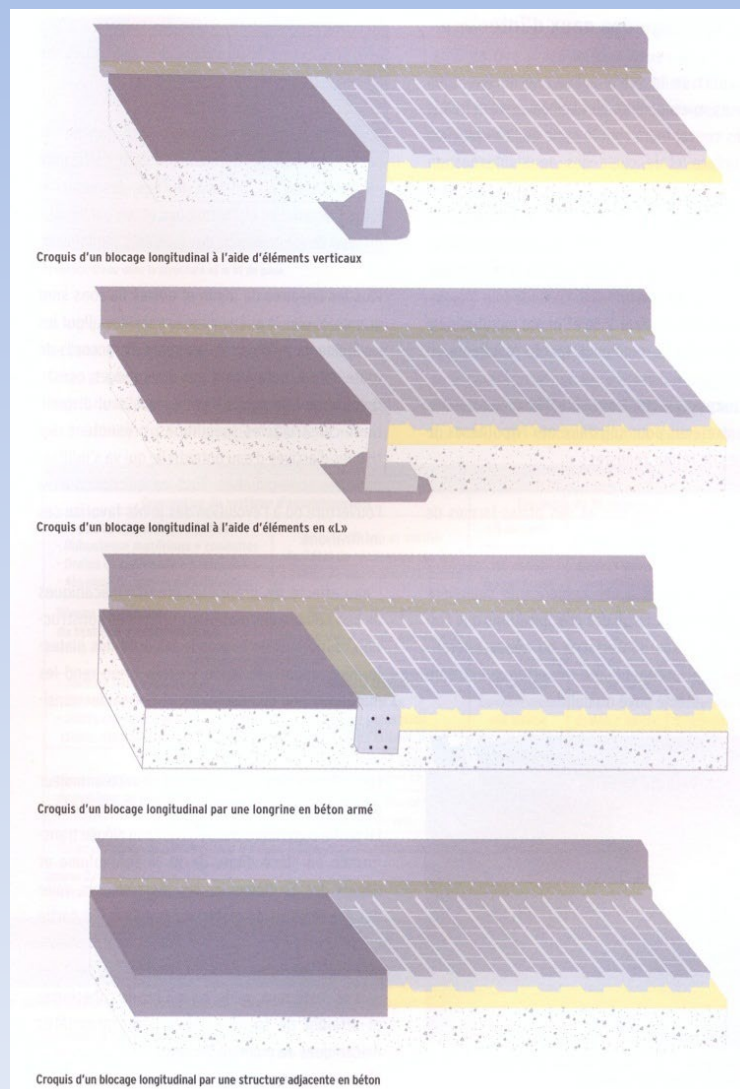


# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 3/ BLOCAGES DE LA PLAQUE PAVÉE OU DALLÉE, BLOCAGES DE RIVES, LONGITUDINAUX, TRANSVERSAUX

#### 3.2/ BLOCAGES



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 3/ BLOCAGES DE LA PLAQUE PAVÉE OU DALLÉE, BLOCAGES DE RIVES, LONGITUDINAUX, TRANSVERSAUX

#### 3.2/ BLOCAGES

Nature de la « butée »	Taille maximale de la maille de blocage		
	50 m <sup>2</sup>	100m <sup>2</sup>	150m <sup>2</sup>
Structure adjacente en béton	A	A	A
Profilés transversaux en L noyés	A	A	A
Longrines armées	A	A	A
Éléments verticaux	B	B	C
Pavés ép > 14 cm scellés à la résine	B	B	C
Structure adjacente semi-rigide	B	C	C
Structure adjacente souple	D	D	D



**CRITERE N°4:  
DRAINAGE, EAUX DE  
RUISSELLEMENT, EAUX  
D'INTERFACE**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

#### 4.1/ LE RÔLE DESTRUCTEUR DE L'EAU, DÉCOUPLÉ PAR LA PRESSION

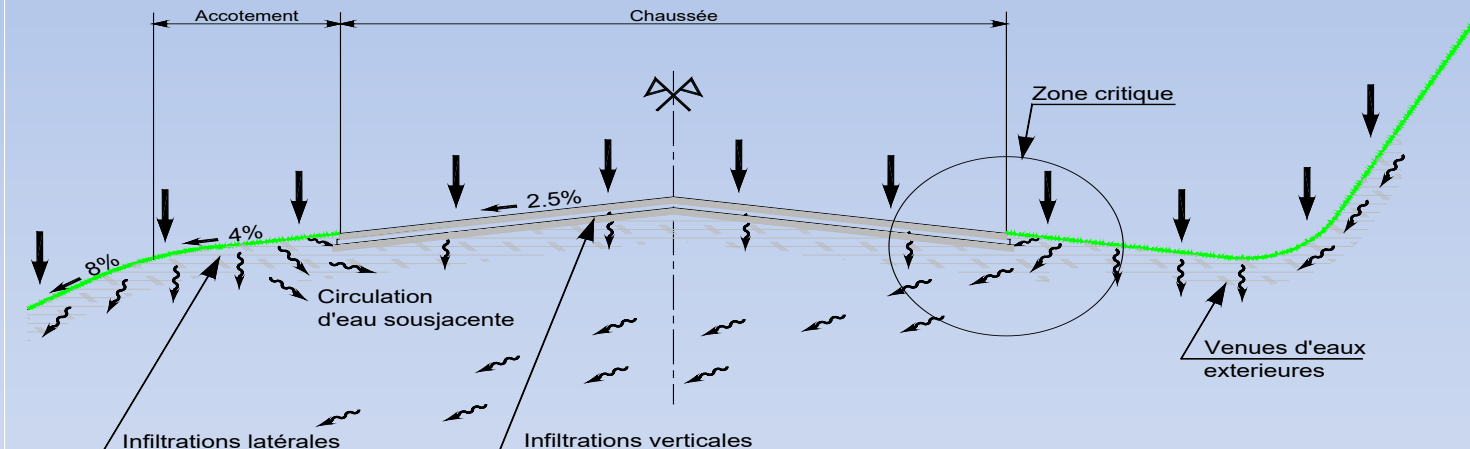


# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

#### 4.2/ L'EAU SOUS TOUTES SES FORMES



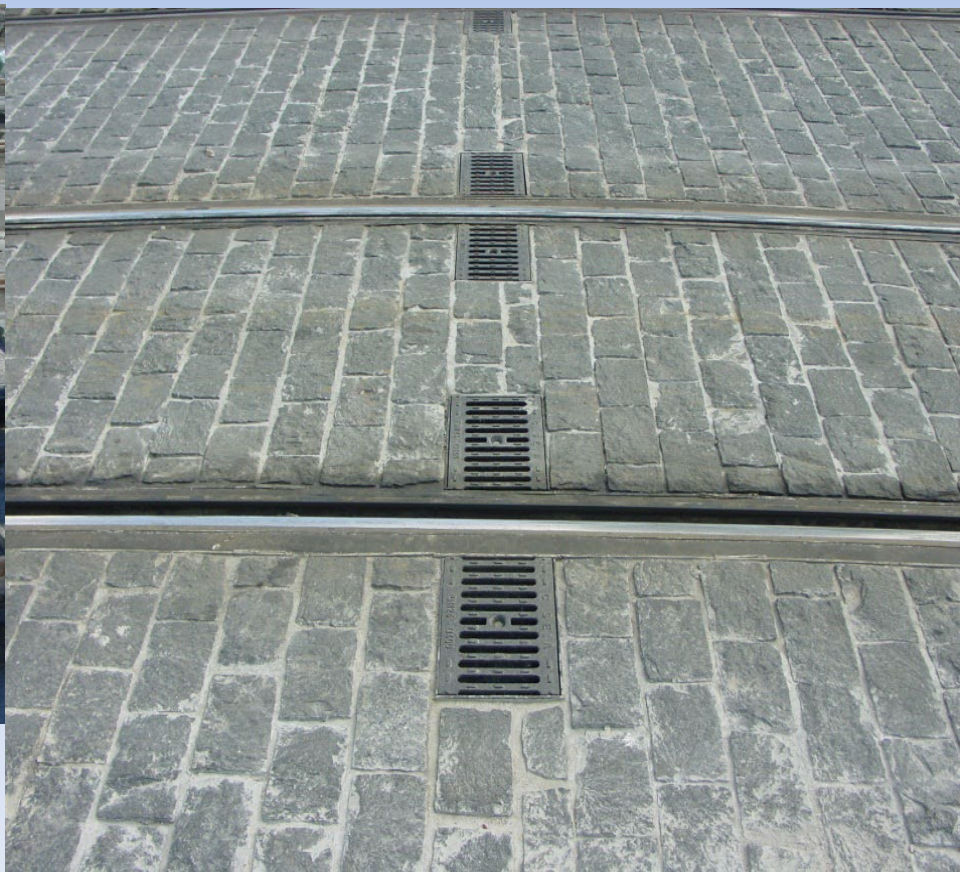
**CYCLE : Émission/apport - Écoulement - Évacuation**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

4.3/ L'EAU « DYNAMIQUE » BIEN MAITRISEE...



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

#### 4.4/ L'EAU « STATIQUE » PEU ABONDANTE MAIS SOURNOISE...



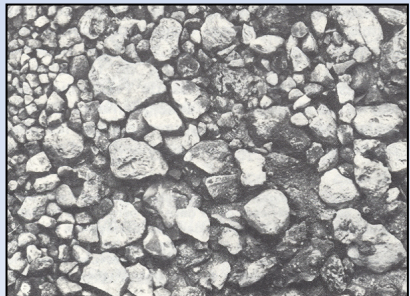
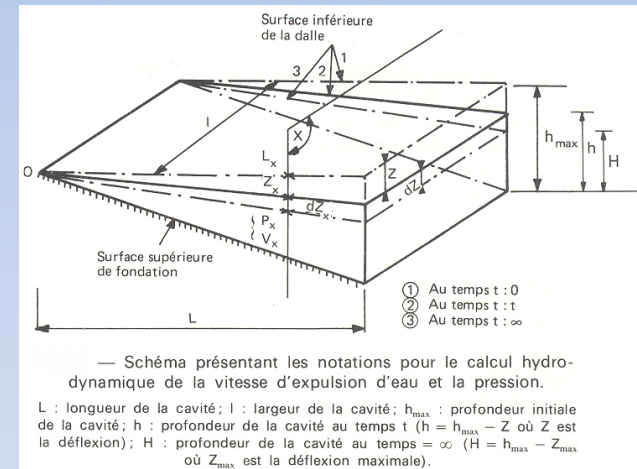
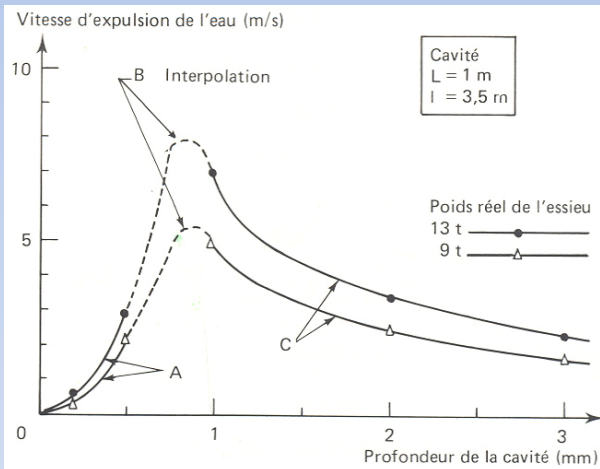
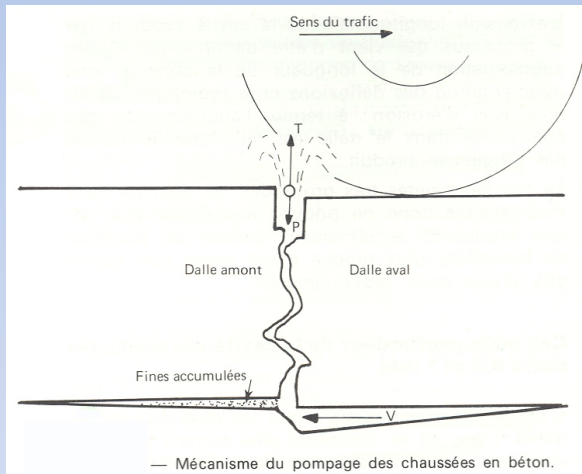
**Aucun revêtement et assemblage n'est « étanche », au mieux imperméable à l'état neuf.....**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

#### 4.5/ L'EAU « STATIQUE » D'INTERFACE



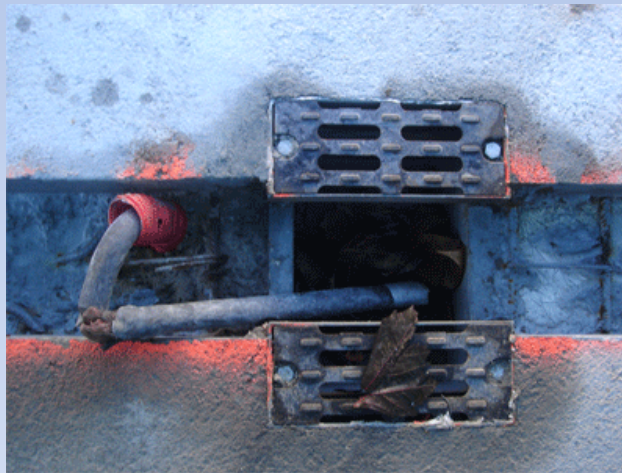
**Pression et érosion sous cycles répétés**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

4.6/ L'EAU « DYNAMIQUE » DEVIENT EAU « STATIQUE »



Nécessité d'introduire le concept D'EXPLOITATION en sus des dimensionnements

- PHYSIQUE
- MECANIQUE
- HYDRAULIQUE

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

#### 4.7/ LES EQUIPEMENTS DE DRAINAGE LOCAUX OU PONCTUELS



**Robustes et curables ( $\varnothing > 12\text{cm}$ )**

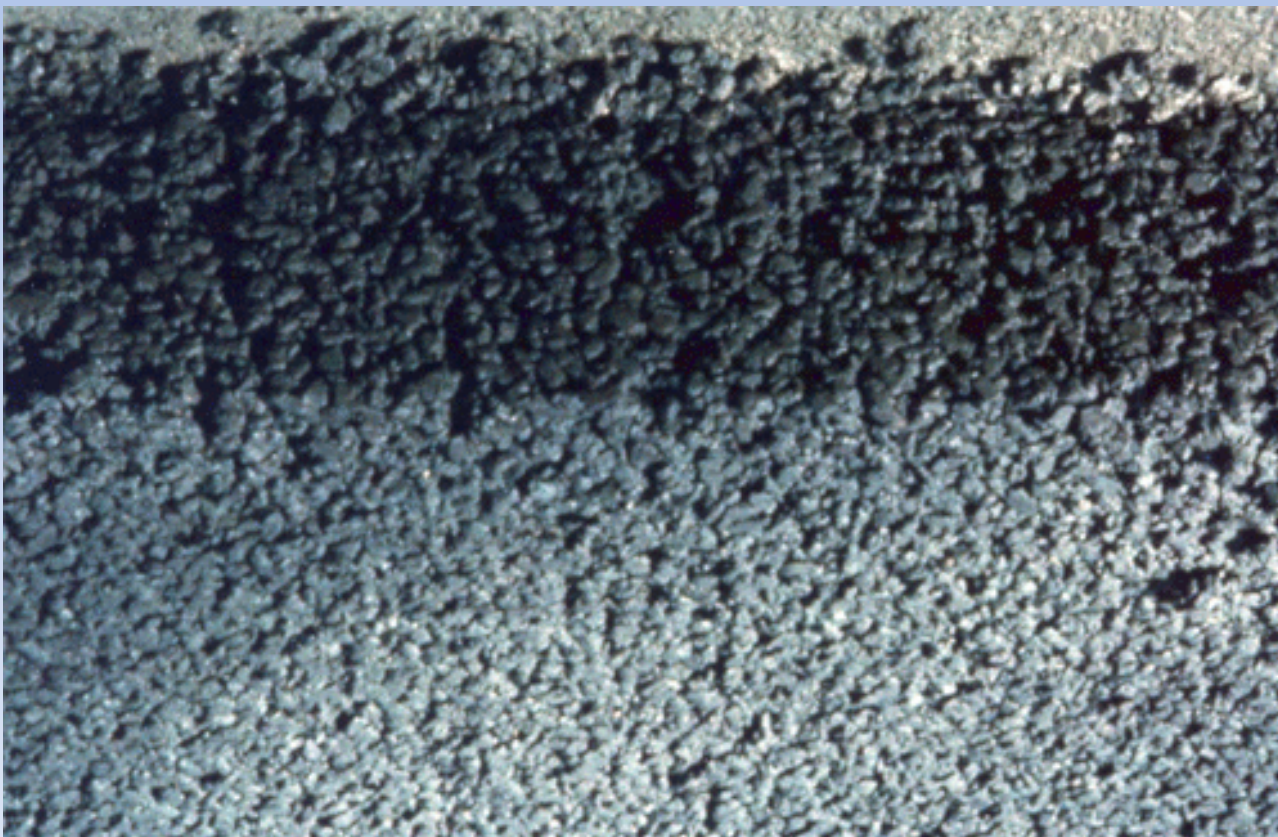


# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

4.8/ LES EQUIPEMENTS DE DRAINAGE REPARTIS



**LE BETON DRAINANT, LE BETON POREUX**

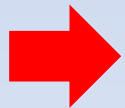
# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

#### 4.9/ LES LEVIERS D'ACTION CONTRE LES EFFETS DOMMAGEABLES

- un cycle de l'eau de **ruissellement** efficace... > conception du système d'assainissement
- une **imperméabilisation** toute relative... > système de jointements
- une **évacuation** toujours prête à fonctionner > typologie du lit de pose et de l'assise (porosité ...)



**1. DÉRIVER L'EAU**

**2. EMPÊCHER L'EAU DE PÉNÉTRER DANS LA STRUCTURE ET LES INTERFACES**

**3. ÉVACUER L'EAU QUI S'EST NÉANMOINS INTRODUITE ...**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 4/ DRAINAGE, EAUX DE RUISSELLEMENT, EAUX D'INTERFACE

#### 4.10/ LES CRITERES D'EFFICACITE :

conception du **système d'assainissement**

capacité hydraulique  
robustesse matériaux + drains et conduites  
drains et caniveaux entretenables  
absence de barrières d'écoulement

**système de jointement**

jointes à haute adhérence

bitume  
résine  
mortier spécial

jointes conventionnels

sable  
stabilisé  
mortier

typologie du **lit de pose et de l'assise**

lit de pose conventionnel sur assise non poreuse

lit de pose drainant + drains sur assise non poreuse

lit de pose drainant + assise béton poreux ou GB

drainante

**CRITERE N°5 :**  
**COHÉRENCE :**  
**ASSISE - LIT DE POSE -**  
**JOINTEMENT**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 5/ COHÉRENCE ASSISE - LIT DE POSE - JOINTEMENT

Nature de l'assise	Nature du lit de pose	Type de joint	Niveau d'efficacité pour les pavés	Niveau d'efficacité pour les dalles
<b>Souple</b> (non traitée)	Sable Sable Mortier	<b>Joints souples (sables, sables stabilisés, produits bitumineux)</b> Joints rigides (mortiers) Joints rigides (mortiers)	A Proscrit proscrit	C Proscrit proscrit
<b>Bitumineuse épaisse</b> (déflexion < 50/100e mm)	<b>Sable</b> Sable Mortier Mortier	<b>Joints souples (sables, sables stabilisés, mélange bitumineux)</b> Joints rigides (mortiers) Joints rigides (mortiers + joints de dilatation) Mortier sans joint de dilatation	A Proscrit C Proscrit	B Proscrit C Proscrit
<b>Semi-rigide ou mixte</b> (déflexion < 40/100e mm)	<b>Sable</b> Sable Mortier Mortier	<b>Joints souples (sables, sables stabilisés, mélange bitumineux)</b> Joints rigides (mortiers) Mortier (hydraulique ou organique + joint de dilatation) Mortier sans joint de dilatation	A Proscrit C Proscrit	B Proscrit D Proscrit
<b>Rigide</b> (déflexion < 15/100e mm)	<b>Sable</b> Sable Mortier Mortier <b>Mortier spécial</b> Mortier spécial	<b>Joints souples (sables, sables stabilisés, mélange bitumineux)</b> Joints rigides (mortiers) Mortier (hydraulique ou organique + joint de dilatation) Mortier sans joint de dilatation <b>Mortier spécial de jointement et joint de dilatation</b> Mortier spécial sans joint de dilatation	A Proscrit B Proscrit A Proscrit	A Proscrit B Proscrit A Proscrit

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

5/ COHÉRENCE ASSISE / LIT DE POSE/ JOINTEMENT / JOINT DILATATION



**CRITERE N°6:  
CONDITIONS D'EXÉCUTION**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 6/ CONDITIONS D'EXÉCUTION : RISQUES DE NON MAÎTRISE DES DÉLAIS DE PRISE ET DURCISSEMENT

Typologie du chantier	Typologie du lit de pose et jointement	Lit de pose sable joint sable, sable stabilisé, gravillon	Lit de pose mortier ou béton		Lit de pose sable émulsion, mastic bitumineux, joints, résine ...
			Traditionnels	Spéciaux	
Espace physiquement inaccessible à la circulation		A	A	A	A
Opération neuve isolée barriérée		A	C	B	A
Opération de réhabilitation Chantier fermé avec barriérage lourd		A	B	A	A
Opération de réhabilitation à avancement progressif sur site en exploitation		A	C	B	A



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

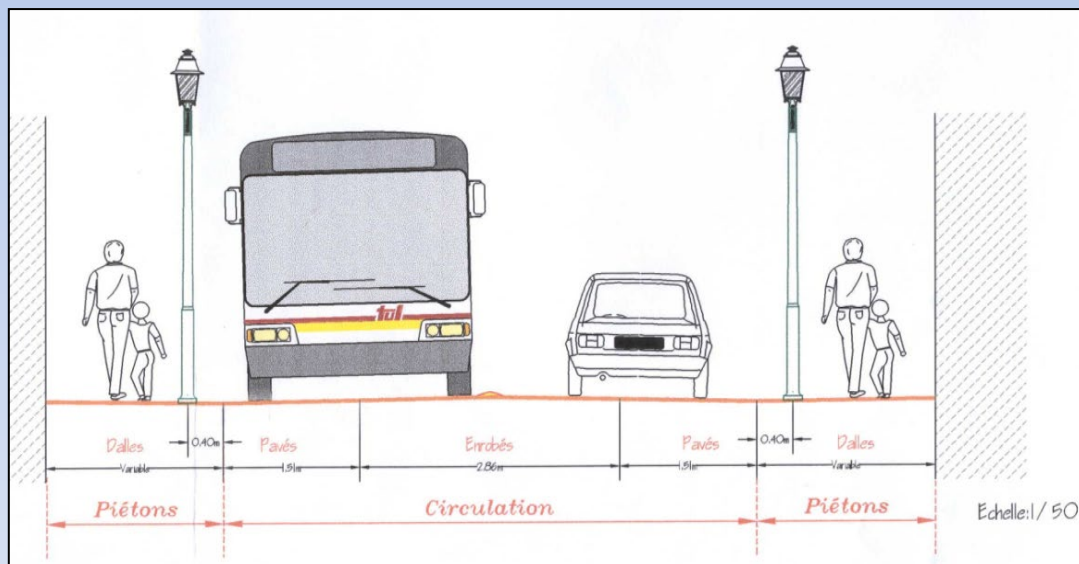
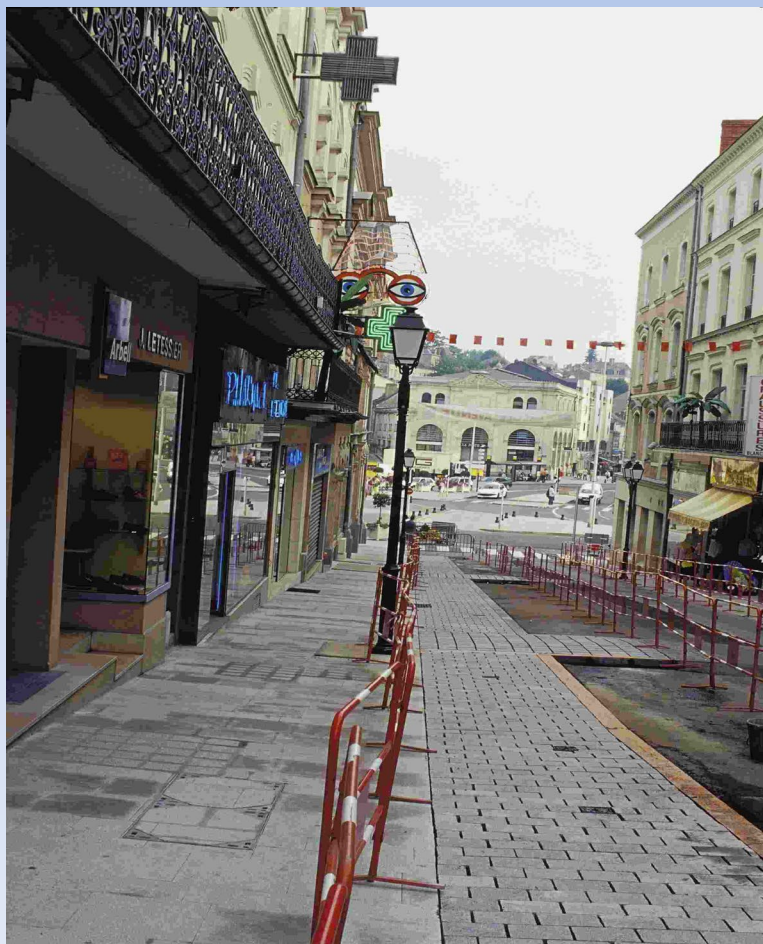
6/ CONDITIONS D'EXÉCUTION : RISQUES DE NON MAÎTRISE DES DÉLAIS DE PRISE ET DURCISSEMENT



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

6 bis/ CONDITIONS D'EXÉCUTION :  
RISQUES DE NON MAÎTRISE DE LA QUALITE DE COMPACTAGE DE  
L'ASSISE



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

6 bis/ CONDITIONS D'EXÉCUTION :

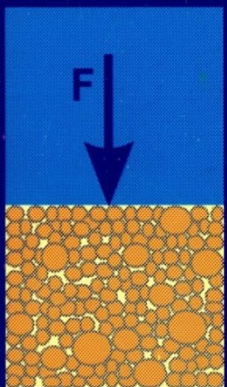
RISQUES DE NON MAÎTRISE DE LA QUALITE DE COMPACTAGE DE L'ASSISE

REMBLAYAGE DES TRANCHÉES ET RÉFECTION DES CHAUSSÉES

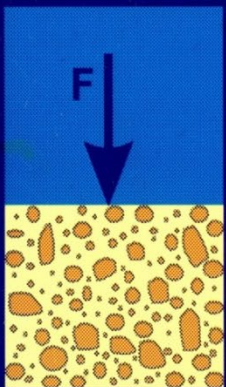
RÉFECTION

Difficulté de compactage

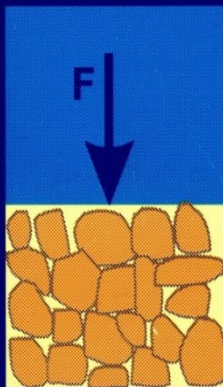
DC1



DC2



DC3



Les matériaux DC1 ont un faible indice de concassage : les grains se mettent facilement en place pour un niveau d'énergie donné.

Les matériaux DC2 ont un indice de concassage moyen : pour un même niveau d'énergie, la mise en place des grains est plus difficile.

Les matériaux DC3 ont un indice de concassage élevé : pour un même niveau d'énergie, la mise en place des grains devient encore plus difficile.



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

6 bis/ CONDITIONS D'EXÉCUTION : RISQUES DE NON MAÎTRISE DE LA QUALITE DE COMPACTAGE DE L'ASSISE

REMBLAYAGE DES TRANCHÉES ET RÉFECTION DES CHAUSSÉES  
*MATÉRIELS*



**Compacteur tandem deux cylindre vibrants PV2**



**Plaque vibrante PQ3**



**Pilonneuse vibrante PN2**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

6 bis/ CONDITIONS D'EXÉCUTION : RISQUES DE NON MAÎTRISE DE LA QUALITE DE COMPACTAGE DE L'ASSISE



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

6 bis/ CONDITIONS D'EXÉCUTION :

RISQUES DE NON MAÎTRISE DE LA QUALITE DE COMPACTAGE DE L'ASSISE

INCIDENCE DU COMPACTAGE SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES MATERIAUX :

**POUR COMPENSER UNE BAISSSE DU TAUX DE COMPACTAGE DE 5%, IL FAUT UNE SUREPAISSEUR DE COUCHE DE GRAVE CIMENT DE 4 A 5 CM**

**CRITERE N°7 :**  
**CONTRÔLES QUALITÉ ET**  
**PROCÉDURES DE RÉCEPTION**  
**DES PRODUITS**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 7/ CONTRÔLES QUALITÉ ET PROCÉDURES DE RÉCEPTION DES PRODUITS

Niveau d'efficacité	Contrôles qualité	Procédures de réception des produits
Niveau A	<b>PV d'identité et d'essais d'aptitude à l'emploi certifiés</b> , datés et réalisés par un laboratoire indépendant pour chaque origine des pierres	Réception par lot ou/et par type de produit au prorata de la quantité livrée selon indications du marché par le maître d'œuvre (modalités et fréquence) avec <b>constats de réceptions partielles transmis au MO et Moe à l'avancement</b>
	<b>Fourniture d'échantillons de référence</b> pour contrôle d'aspect à la remise des offres et d'éprouvettes pour vérification des caractéristiques des pierres par un laboratoire indépendant avant l'attribution du marché	<b>Contrôles d'aspect</b> en comparaison à l'échantillon de référence, contrôles dimensionnels
	<b>Contrôle qualité interne en continu</b> , SOPAQ ou SPU, PAQ <b>Contrôle extérieur</b> à la demande du maître d'œuvre	<b>Vérification des caractéristiques</b> par un laboratoire accrédité sur des échantillons prélevés contradictoirement sur des lots désignés par le maître d'œuvre
	Rédaction d'un système de réfaction contractualisé pouvant aller jusqu'à l'arrachage du revêtement	<b>Essais d'identité</b> , en compression pour les pavés et en flexion pour les dalles avec en option essais de glissance et résistance à l'usure



# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

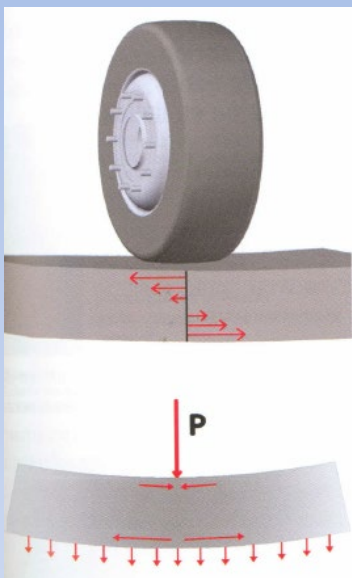
### 7/ CONTRÔLES QUALITÉ ET PROCÉDURES DE RÉCEPTION DES PRODUITS



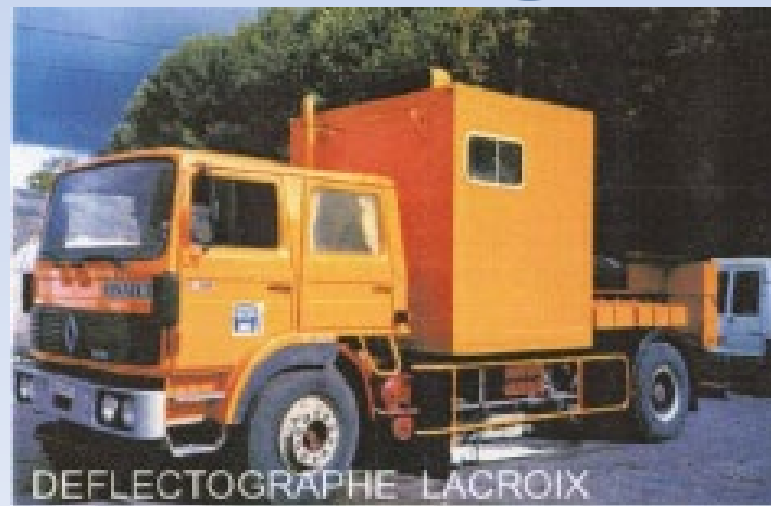
# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 7/ CONTRÔLES QUALITÉ ET PROCÉDURES DE RÉCEPTION DES PRODUITS



Type et matériaux de l'assise	Déflexion maximale en 1/100 de millimètres sous revêtement de Pavés
Souple GNT	Déflexion non spécifiée (pose des pavés en mode souple)
Souple Bitumineuse épaisse	50
Semi-rigide MTLH*	40
Rigide Béton de ciment	15



**CRITERE N°8 :**  
**PERFORMANCE ET CONTRÔLES**  
**DES BÉTONS ET MORTIERS**  
**SPÉCIAUX**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 8/ PERFORMANCE ET CONTRÔLES DES BÉTONS ET MORTIERS SPÉCIAUX

Niveau A	Vérification positive des conditions de fabrication et de mise en œuvre avec le contexte du chantier et de toutes caractéristiques garanties des mortiers et bétons spéciaux SOPAQ de mise en œuvre avec contrôle continu
Niveau B	Vérification positive des conditions de fabrication et de mise en œuvre avec le contexte du chantier, des caractéristiques garanties pour au moins celles relatives à la maniabilité, à la flexion, et au gel sévère. Respect des seuils diminués d'au maximum de 10 % des caractéristiques garanties pour le retrait et l'adhérence, SOPAQ de mise en œuvre avec contrôle continu.
Niveau C	Vérification positive des conditions de fabrication et de mise en œuvre avec le contexte du chantier, des caractéristiques garanties pour au moins celles relatives à la maniabilité, à la flexion, et au gel sévère. Respect des seuils diminués d'au maximum 10 % des caractéristiques garanties pour le retrait et l'adhérence sans système qualité
Niveau D	Information manquante ou vérification négative sur une seule des exigences requises pour relever du niveau C

Les points de vigilance :

Maniabilité, Résistance à la flexion, gel, retrait, adhérence....

# RESUME

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

### 9/ RÉSUMÉ D'UNE LOGIQUE EN TROIS ÉTAPES :

- Introduire le concept de **niveau d'efficacité A, B, C D**
- Instruire chacun des **8 leviers d'action** en terme d'efficacité
- **Consolider** la synthèse par la vision globale des **niveaux d'efficacité** des **8 leviers d'actions** et les mettre en perspective avec les exigences du **niveau de sollicitation**

# L'ESSENTIEL DE LA CONCEPTION

## EN DETAIL

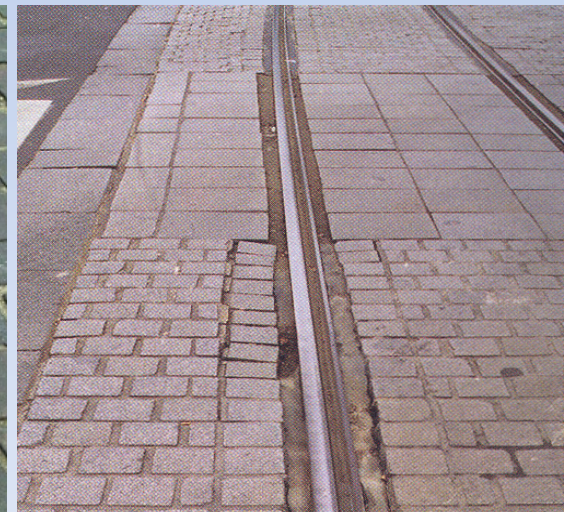
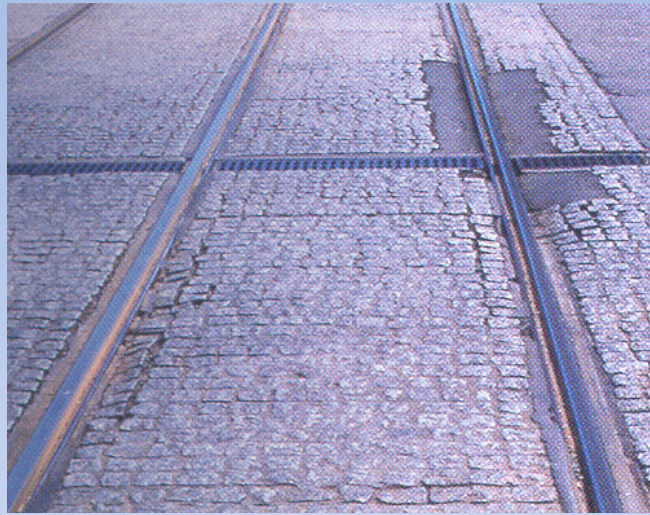
### 9/ RÉSUMÉ – VISION GLOBALE POUR L'AIDE A LA DECISION:

	Pavés			Dalles
Traffics	T3	T2	T1	T4
Nombre de PL/j < 3,5 t	51 - 150	151 - 300	301 - 750	26 - 50
Caractéristiques de résistance des produits	B	A	A	A
Contrôles qualité et des procédures de réception	B	A	A	A
Formes d'appareillages	B	B	A (B)*	A
Blocages de rives et longitudinaux	B	A (B)*	A	A
Principes de drainage	B	A	A	A
Conditions d'exécution	B	A	A	A
Cohérence assise/mode de pose/jointement	A (B)*	A	A	A
Caractérisation des performances et du contrôle d'emploi des bétons et mortiers spéciaux	B	A	A	A

**CONSEILS  
ET  
EXEMPLES**



# ATTENTION AUX SOLLICITATIONS...



Les dégradations des voies Tramways

# ATTENTION AUX SOLLICITATIONS...



Les coûts de maintenance et de rénovation doit-être très sérieusement considérés en amont car près de 90% des coûts sont figés à la construction

Les dégradations des voies Tramways

# ATTENTION AUX SOLLICITATIONS...



NE PAS VOIR TROP PETIT...



# ATTENTION AUX SOLLICITATIONS...

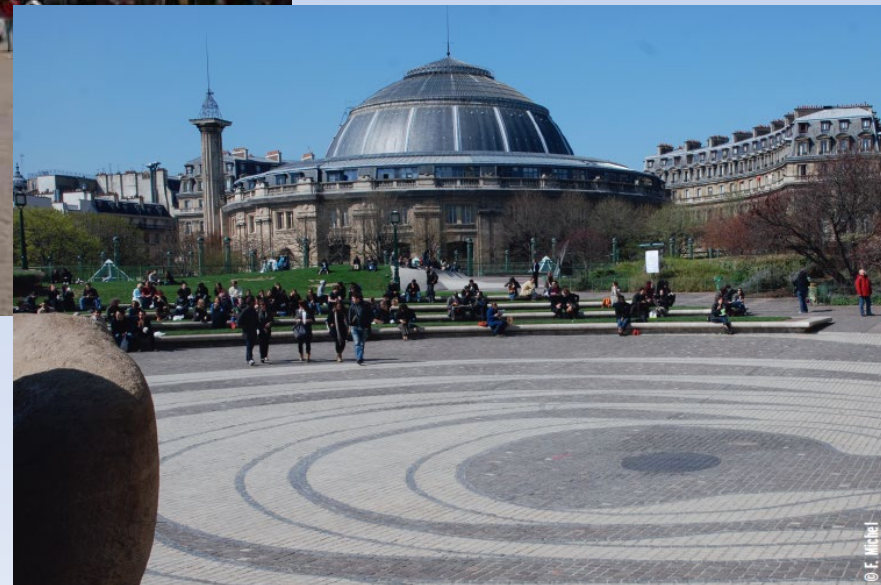


**NE PAS VOIR TROP PETIT...**

Une sous-estimation systématique de l'événementiel...

# DES REALISATIONS ...

# BELLES ET DURABLES ...



# DE NOUVEAUX CRITERES A PRENDRE EN COMPTE...



## ■ Carte schématique des impacts potentiels du changement climatique en France métropolitaine à l'horizon 2050 et au-delà

### TOUTES LES RÉGIONS :

- ☀️ Réchauffement plus marqué en été et dans le quart sud-est :
- Forte augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur en été
- Évaporation avec diminution des débits d'étiage et des ressources en eau pour l'agriculture
- Effets sur les rendements agricoles
- Déplacement des zones d'attrait touristique

### ● GRANDES VILLES :

- Amplification des vagues de chaleur avec des conséquences sanitaires et sur la consommation d'énergie
- Augmentation des risques d'inondations urbaines ; débordement des réseaux d'assainissement, inondation des infrastructures souterraines

### 🔥 FORÊTS :

- Extension du risque de feux de forêt vers le nord de la France

### ⚔️ MONTAGNES :

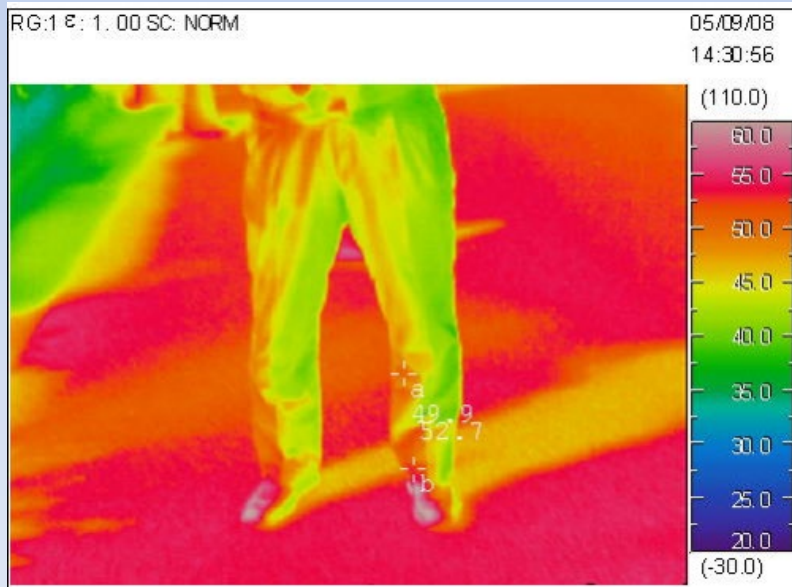
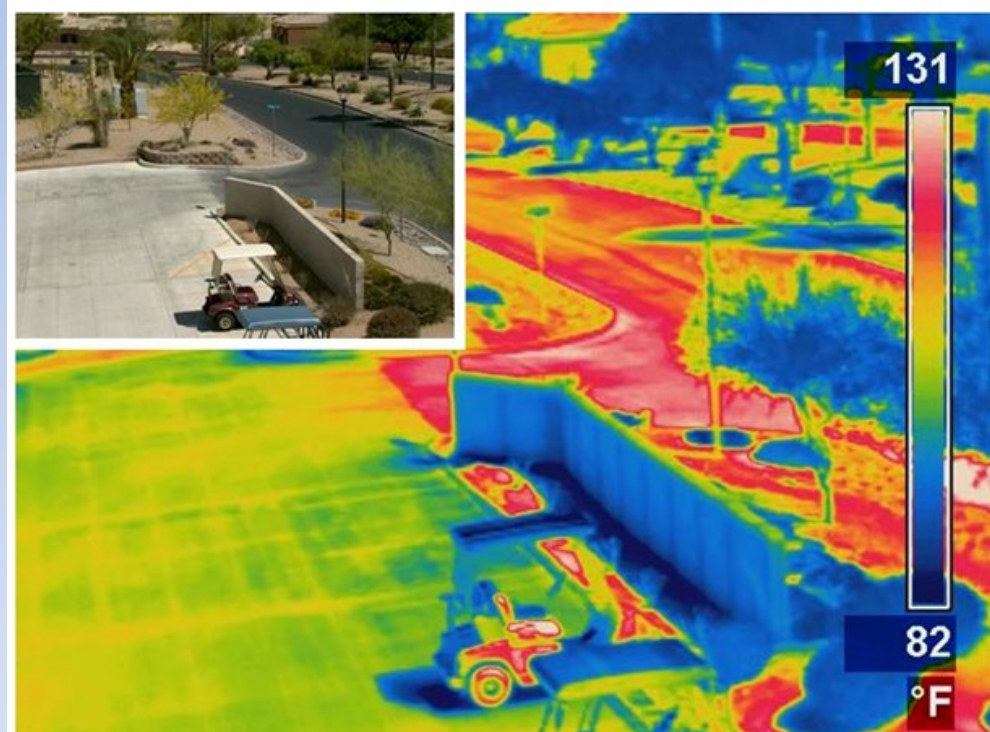
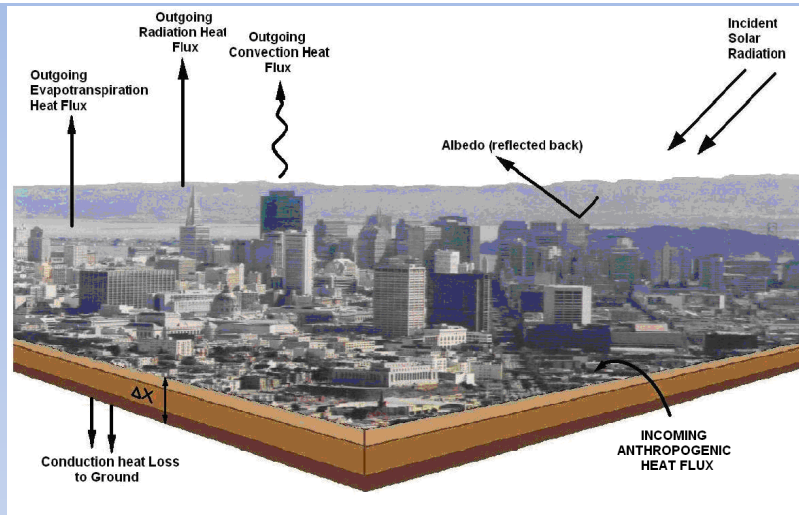
- Réduction de la superficie des domaines skiables
- Risques naturels accrus ; coulées de débris dans certains massifs
- Biodiversité : modification de la répartition des espèces

### 🏠 LITTORAUX :

- 🏠 - Accentuation des risques d'érosion, de submersion et de salinisation des aquifères liée à la montée du niveau de la mer
- 🌊 - Risques de submersion partielle plus fréquente des polders et îlots
- 🚢 - Ports et industries associées menacés par les inondations marines
- 🐟 - Changement dans la répartition de la ressource halieutique avec déplacement vers le nord



# DE NOUVEAUX CRITERES A PRENDRE EN COMPTE...



# DE NOUVEAUX CRITERES A PRENDRE EN COMPTE...





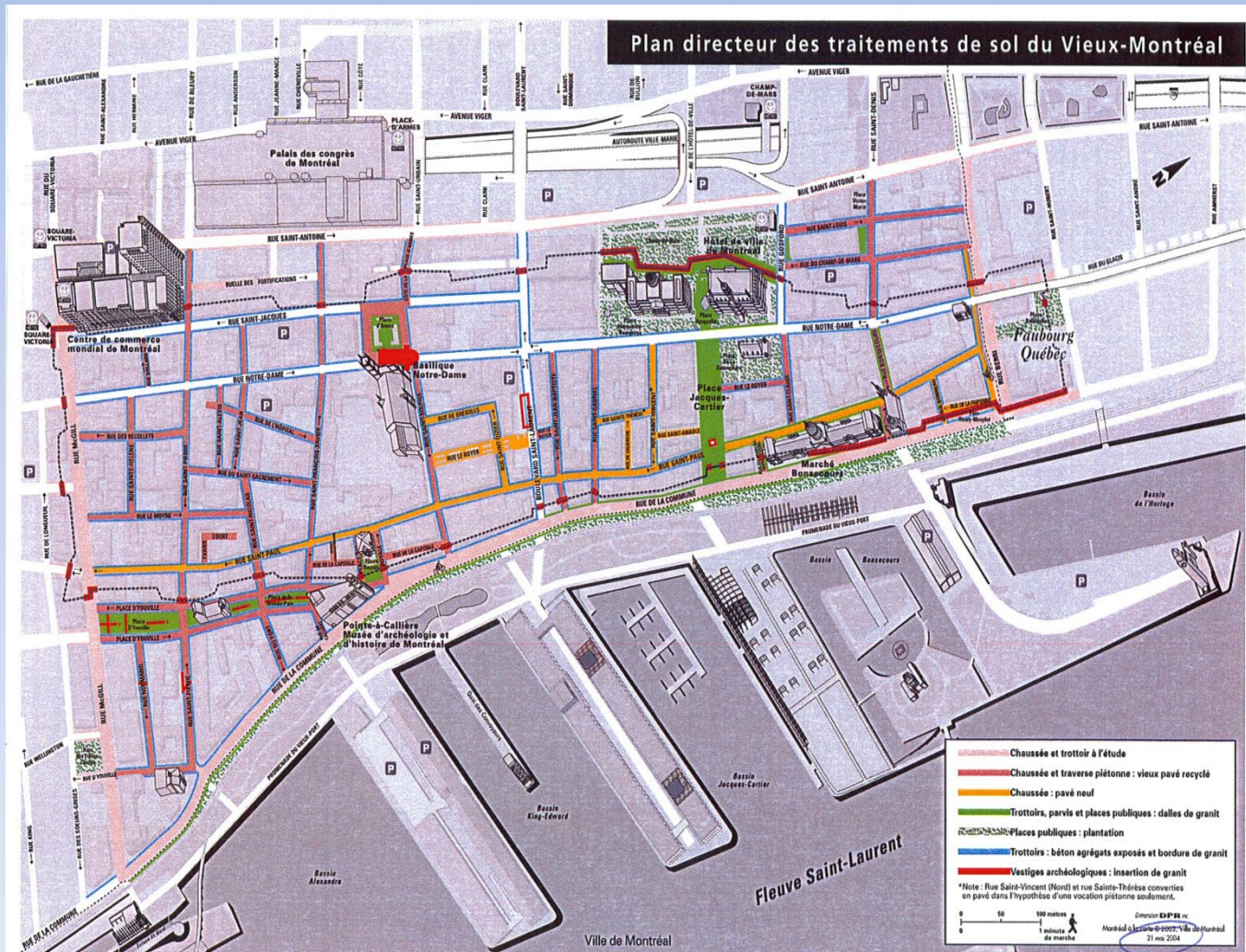
# DE NOUVEAUX CRITERES A PRENDRE EN COMPTE...



La Direction des infrastructures,  
un partenaire incontournable

# DE NOUVEAUX CRITERES A PRENDRE EN COMPTE...

## Rues du Vieux-Montréal



# DE NOUVEAUX CRITERES A PRENDRE EN COMPTE...

Pavé brut - Rapport de 1882 - Comité des chemins - Montréal

- « *Nous croyons que les preuves ... et nos propres observations nous justifient de recommander à la cité de paver toutes les rues servant au **trafic lourd** telles que les rues des Commissaires, William, Wellington, Craig et toutes les rues semblables avec le meilleur **granit posé sur une fondation de béton** ».*
- « *Nous adhérons fortement à l'opinion que nous avons émise que pour les rues où il y a un trafic lourd, le pavage en **blocs de granite** est meilleur et le plus durable* ».

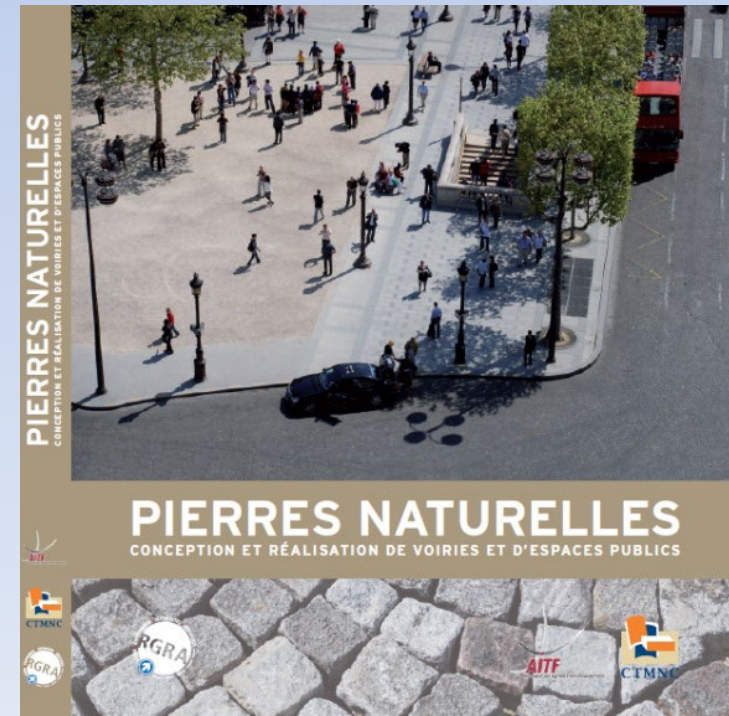


# CONCLUSIONS

# CONCLUSION 1

UNE NOUVELLE APPROCHE:  
DU « DIMENSIONNEMENT EPAISSEUR » AU « DESIGN STRUCTUREL »

***LA PIERRE NATURELLE EN EST L'AIGUILLON***



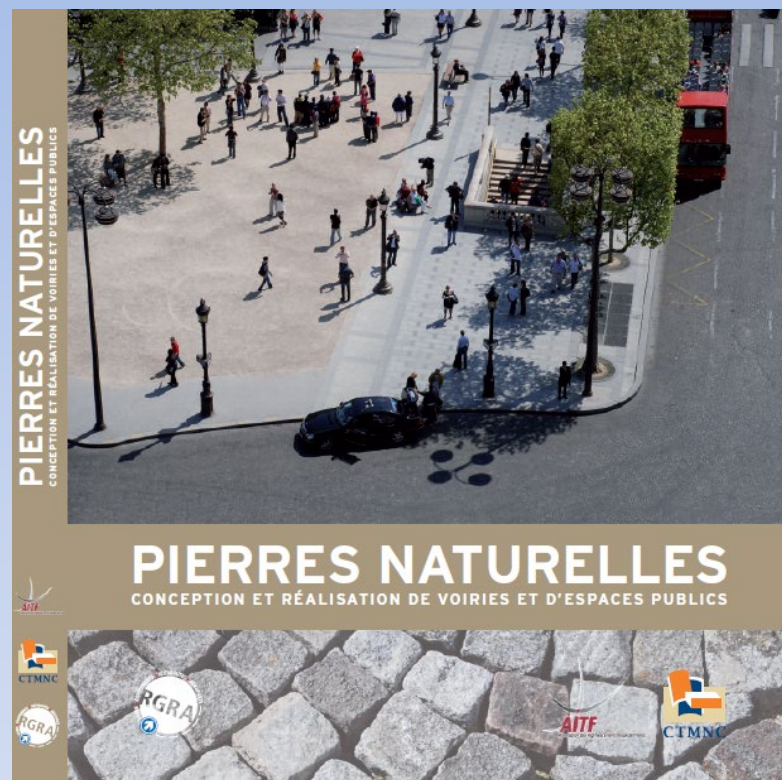
# CONCLUSION 2

SELON LE « DESIGN STRUCTUREL » :

- LE «COMPLEXE DE SURFACE»
- « L' ENVIRONNEMENT» DE L'ASSISE
- LES «SUJETIONS» D'EXECUTION
- LE «NIVEAU DE RISQUE» QUALITE

SONT PARTIE INTEGRANTE DE LA CONCEPTION

***UN EXEMPLE DE PROGRES PORTE PAR LE LIVRE RGRA/AITF/CTMNC***



# SOURCES ET REMERCIEMENTS

- \* AITF
- \* CERTU
- \* CEREMA ex CETE ILE DE FRANCE LROP LREP
- \* CIMBETON
- \* CTMNC
- \* CTI
- \* ENPC / PFE
- \* JM. CLUZAUD CONSEIL
- \* IFSTTAR
- \* MAIRIE DE PARIS
- \* RGRA
- \* SPECBEA
- \* USIRF