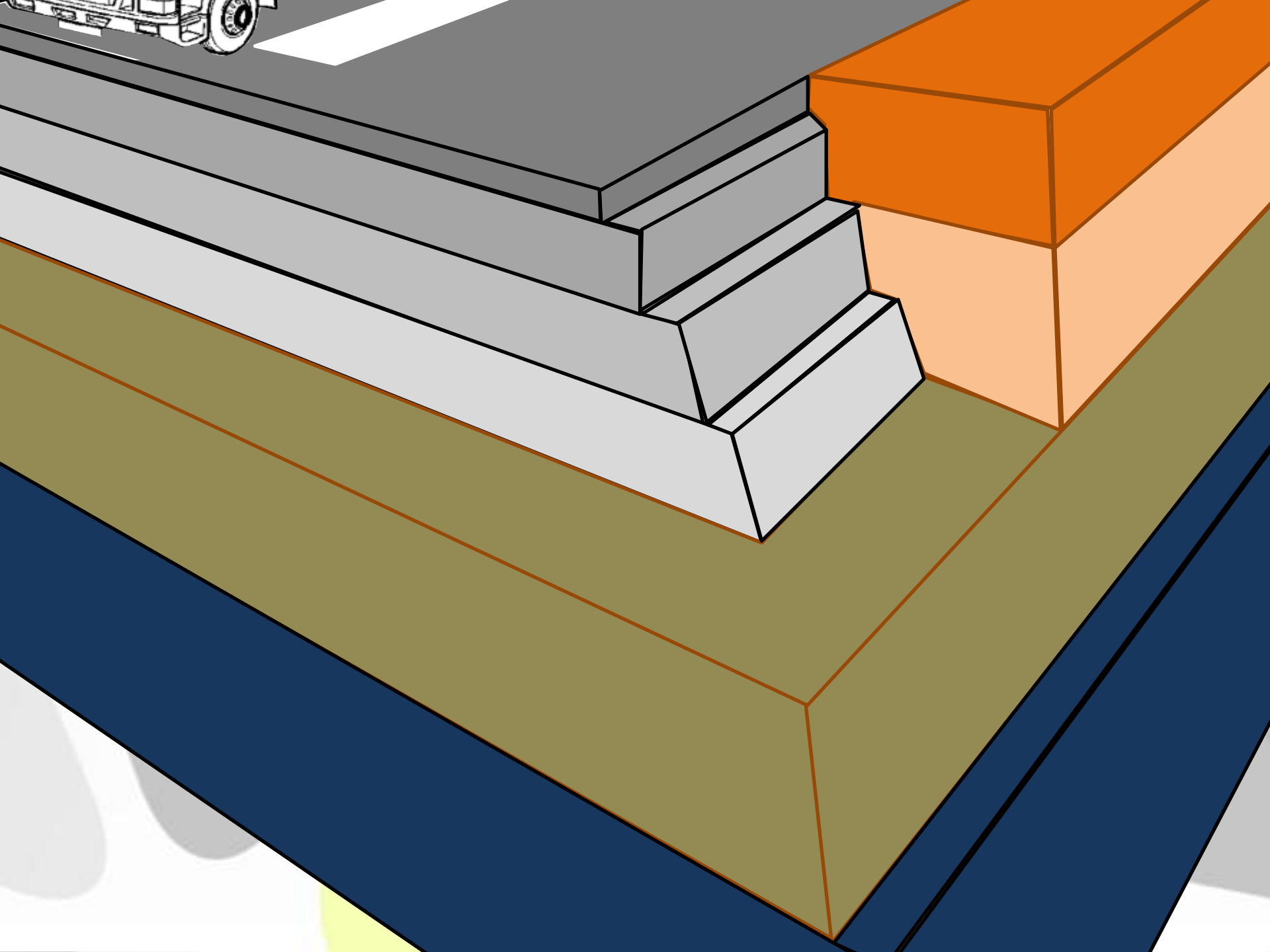
LES GRANULATS DE VERRE DANS LE CORPS DE CHAUSSÉE URBAINE

Michel Vaillancourt
Daniel Perraton

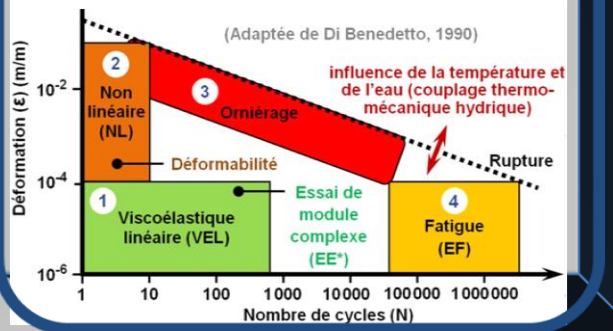
ÉTS
Le génie pour l'industrie

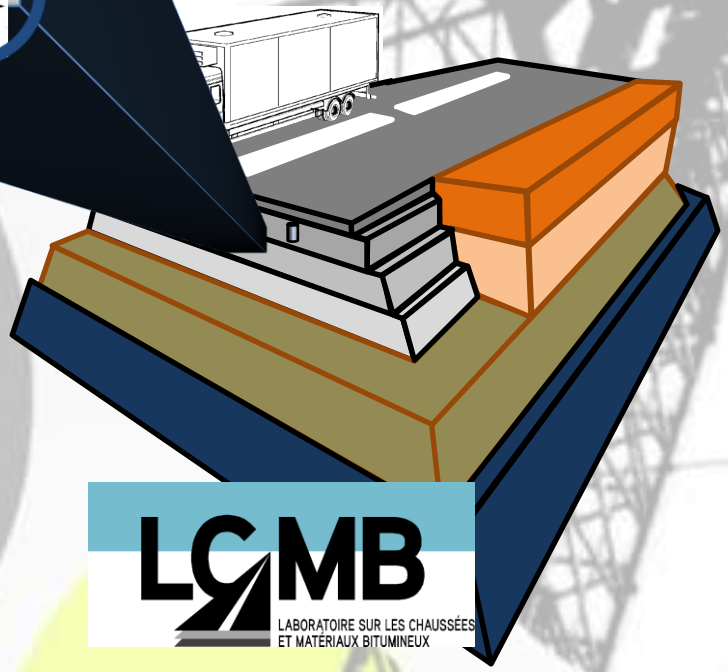
LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

CERIU
CONGRÈS INFRA 2015
30 novembre au 2 décembre
Centre des congrès de Québec
Valorisation des infrastructures dans l'espace public



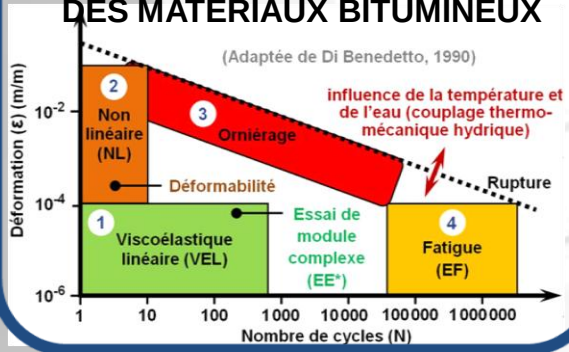
CLASSES DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX BITUMINEUX

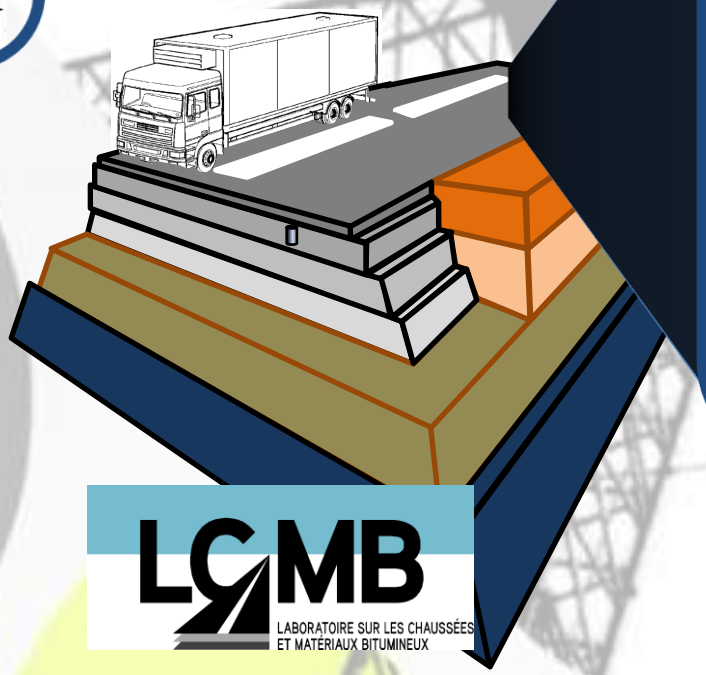




LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

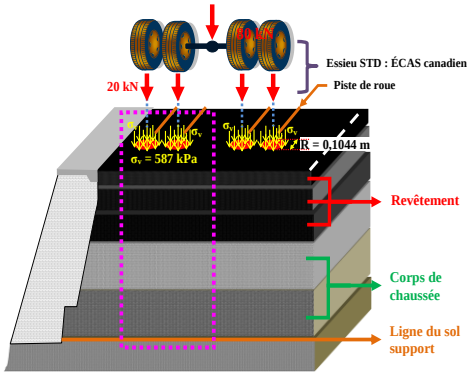
CLASSES DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX BITUMINEUX





LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

THÈME – DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES SOUPLES



ÉTS Université du Québec
École de technologie supérieure

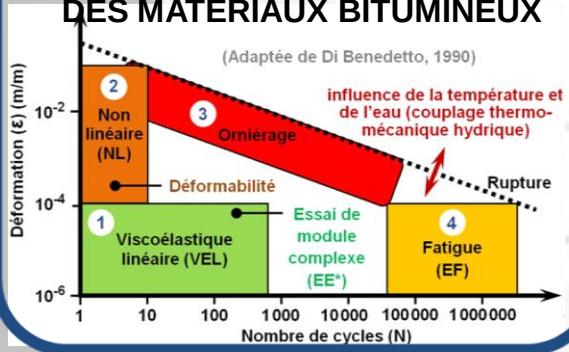
LCMB

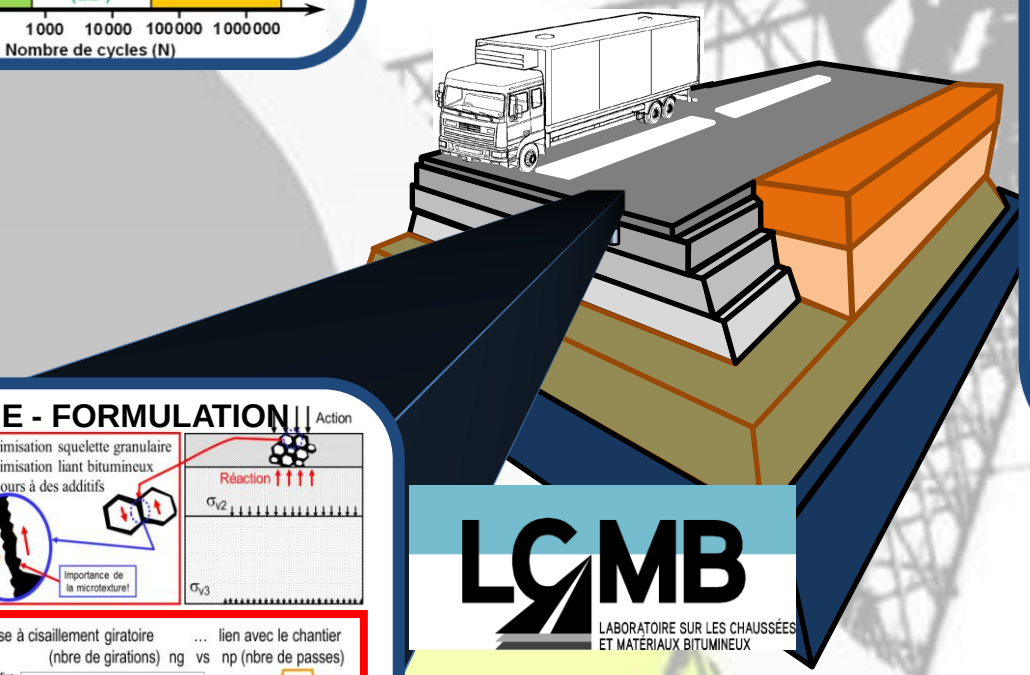
OPECC

Outil de Prédiction de l'Évolution du Comportement des Chaussées

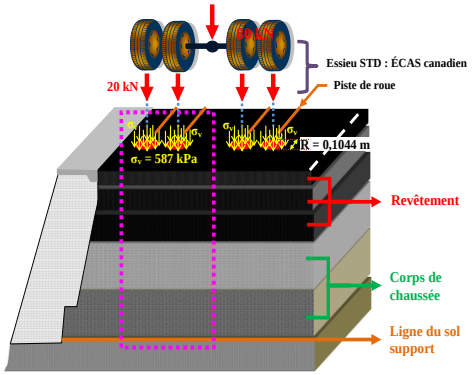
Fondement de l'approche MÉCANISTIQUE – EMPIRIQUE

CLASSES DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX BITUMINEUX





THÈME – DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES SOUPLES



ÉTS Université du Québec École de technologie supérieure

LCMB

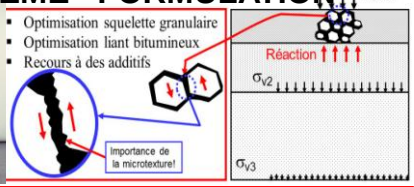
OPECC

Outil de Prédiction de l'Évolution du Comportement des Chaussées

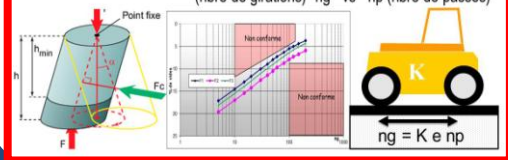
Fondement de l'approche MÉCANISTIQUE – EMPIRIQUE

THÈME - FORMULATION

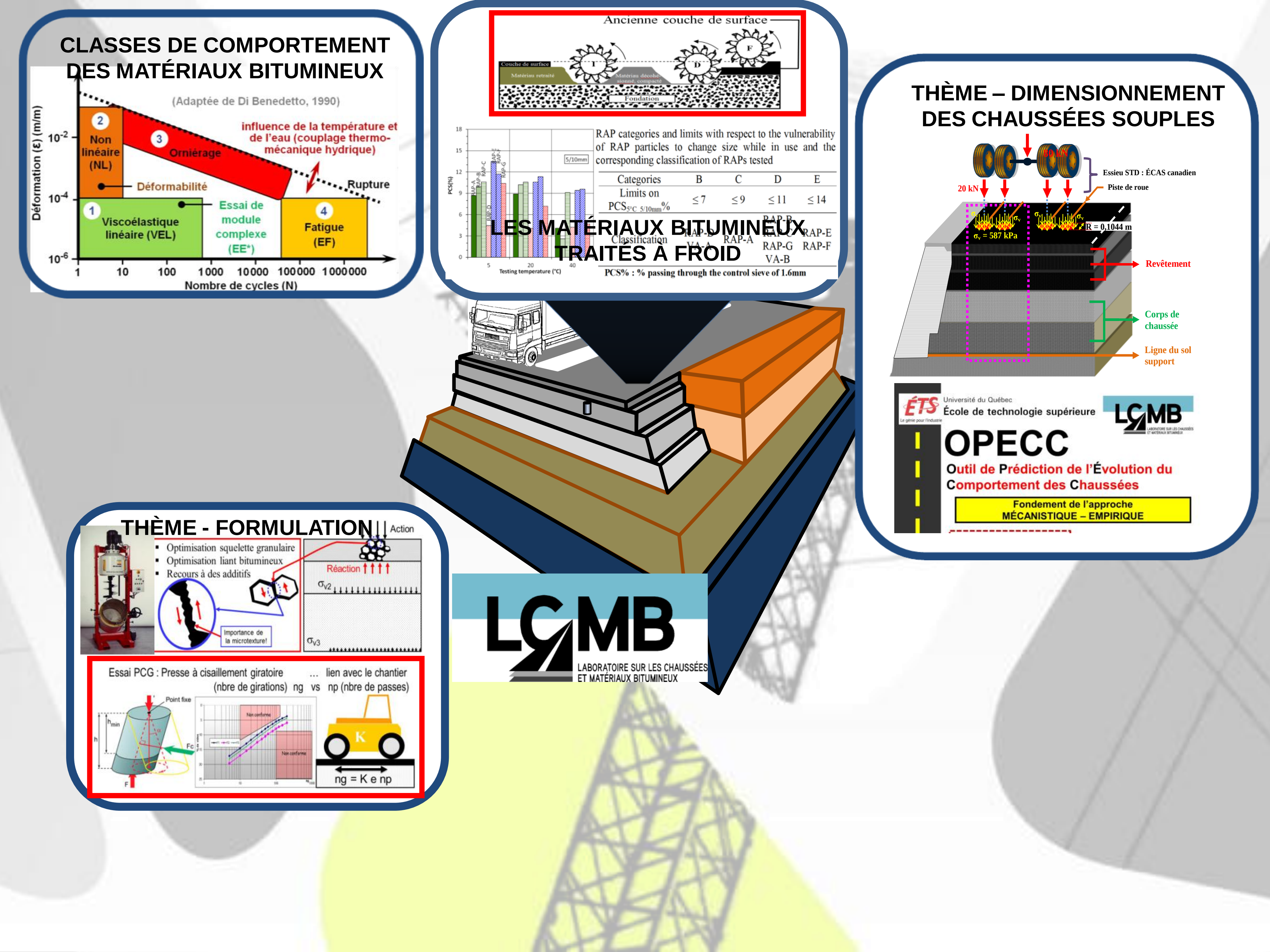
- Optimisation squelette granulaire
- Optimisation liant bitumineux
- Recours à des additifs



Essai PCG : Presse à cisaillement giratoire (nbre de girations) ng ... vs ... lien avec le chantier np (nbre de passes)

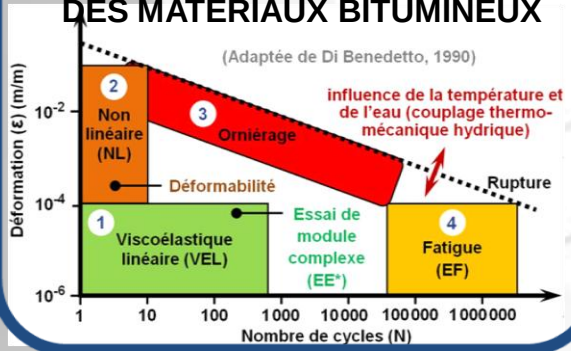


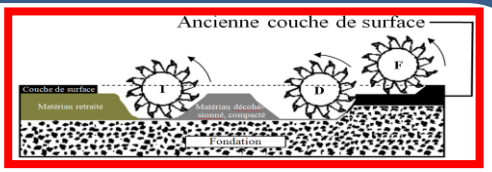
LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

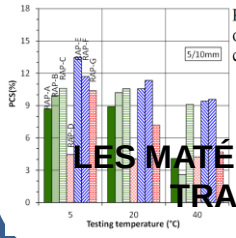

CLASSES DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX BITUMINEUX
(Adaptée de Di Benedetto, 1990)
Déformation (ε) (m/m)
Nombre de cycles (N)
Non linéaire (NL)
Ornièrage
Déformabilité
influence de la température et de l'eau (couplage thermo-mécanique hydrique)
Rupture
Viscoélastique linéaire (VEL)
Essai de module complexe (EE*)
Fatigue (EF)
Ancienne couche de surface
Fondation
RAP categories and limits with respect to the vulnerability of RAP particles to change size while in use and the corresponding classification of RAPs tested
Categories B C D E
Limits on PCS5°C 5/10mm% ≤7 ≤9 ≤11 ≤14
Classification RAP-D VA-A RAP-A RAP-B RAP-C RAP-G VA-B RAP-E RAP-F
PCS% : % passing through the control sieve of 1.6mm
Testing temperature (°C)
LES MATÉRIAUX BITUMINEUX TRAITÉS À FROID
THÈME – DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES SOUPLES
Essieu STD : ÉCAS canadien
Piste de roue
20 kN
σv = 587 kPa
R = 0,1044 m
Revêtement
Corps de chaussée
Ligne du sol support
ÉTS
Université du Québec
École de technologie supérieure
LCMB
OPECC
Outil de Prédiction de l'Évolution du Comportement des Chaussées
Fondement de l'approche MÉCANISTIQUE – EMPIRIQUE
THÈME - FORMULATION
Action
Optimisation squelette granulaire
Optimisation liant bitumineux
Recours à des additifs
Réaction
Importance de la microtexture!
Essai PCG : Presse à cisaillement giratoire … lien avec le chantier
(nbre de girations) ng vs np (nbre de passes)
Point fixe
Non conforme
ng = K e np
LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

LES MATÉRIAUX BITUMINEUX TRAITÉS À FROID

CLASSES DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX BITUMINEUX





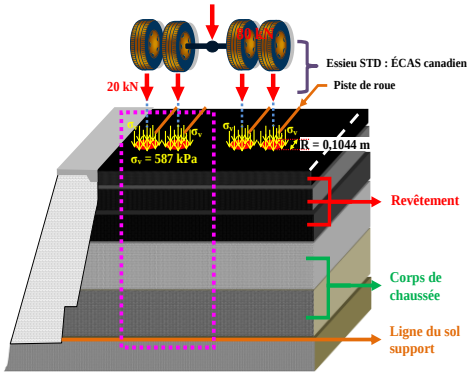


RAP categories and limits with respect to the vulnerability of RAP particles to change size while in use and the corresponding classification of RAPs tested

Categories	B	C	D	E
Limits on $PCS_{5°C\ 5/10mm}$ %	≤ 7	≤ 9	≤ 11	≤ 14
Classification	RAP-A VA-A RAP-B	RAP-A	RAP-B RAP-C RAP-G VA-B	RAP-E RAP-F

PCS% : % passing through the control sieve of 1.6mm

THÈME – DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES SOUPLES



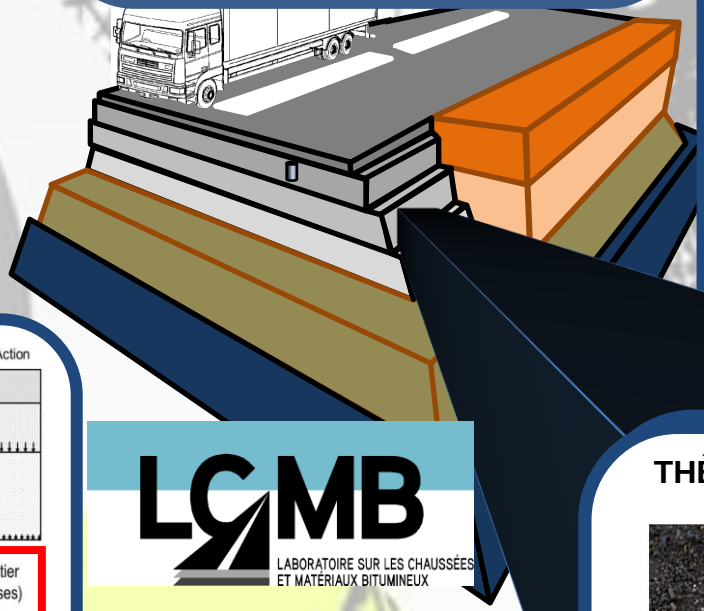
ÉTS Université du Québec École de technologie supérieure

LCMB

OPECC

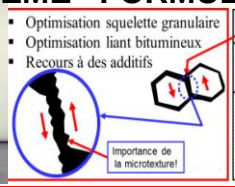
Outil de Prédiction de l'Évolution du Comportement des Chaussées

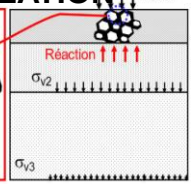
Fondement de l'approche MÉCANISTIQUE – EMPIRIQUE

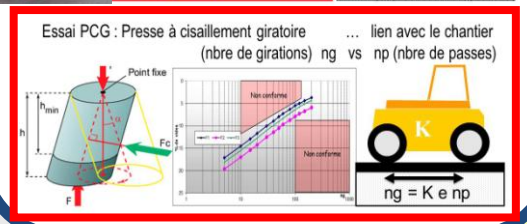


THÈME - FORMULATION

- Optimisation squelette granulaire
- Optimisation liant bitumineux
- Recours à des additifs







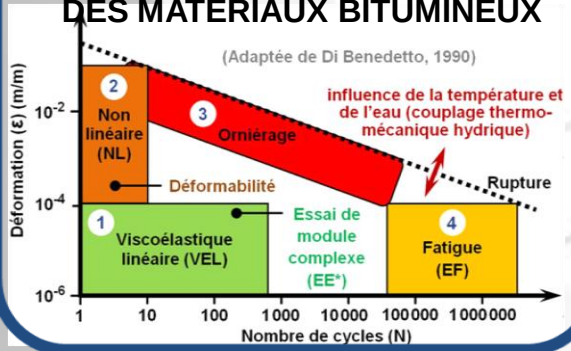
LCMB LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

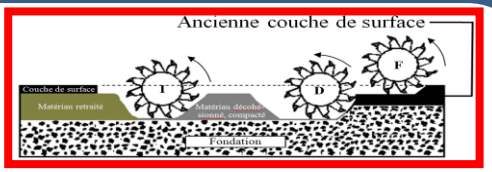
THÈME – UTILISATION DE MATÉRIAUX RECYCLÉS

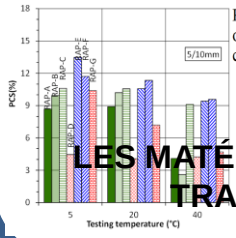
EE

LES MATÉRIAUX BITUMINEUX TRAITÉS À FROID

CLASSES DE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX BITUMINEUX





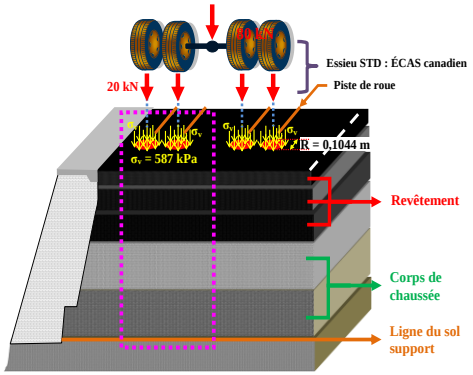


RAP categories and limits with respect to the vulnerability of RAP particles to change size while in use and the corresponding classification of RAPs tested

Categories	B	C	D	E
Limits on $PCS_{5°C\ 5/10mm}$ %	≤ 7	≤ 9	≤ 11	≤ 14
Classification	RAP-A VA-A RAP-B	RAP-A	RAP-B RAP-C RAP-G VA-B	RAP-E RAP-F

PCS% : % passing through the control sieve of 1.6mm

THÈME – DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES SOUPLES



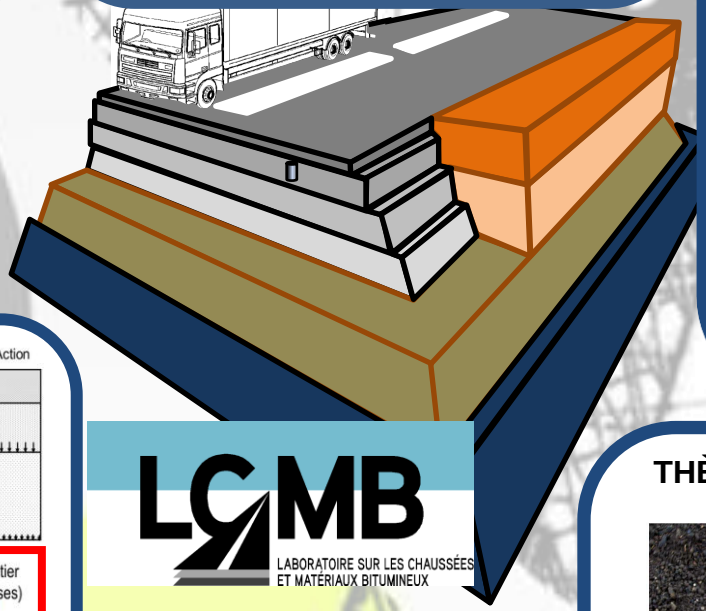
ÉTS Université du Québec École de technologie supérieure

LCMB

OPECC

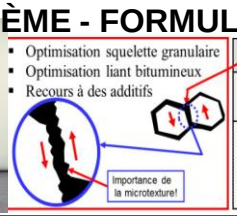
Outil de Prédiction de l'Évolution du Comportement des Chaussées

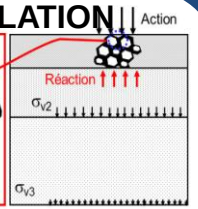
Fondement de l'approche MÉCANISTIQUE – EMPIRIQUE



THÈME - FORMULATION

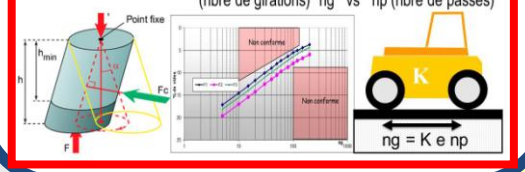
- Optimisation squelette granulaire
- Optimisation liant bitumineux
- Recours à des additifs





Essai PCG : Presse à cisaillement giratoire ... lien avec le chantier

(nbre de girations) ng vs np (nbre de passes)



LCMB LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

THÈME – UTILISATION DE MATÉRIAUX RECYCLÉS

THÈME – UTILISATION DE MATÉRIAUX RECYCLÉS

Enrobé recyclé

Bardeaux d'asphalte

LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

Poudrette de caoutchouc

Verre postconsommation

LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

Verre postconsommation dans les chaussées

LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

Verre postconsommation dans les enrobés bitumineux et les mastics

Est-ce que le verre postconsommation peut améliorer les performances :

- **En fatigue**
- **Au retrait thermique**
- **À la mise en œuvre et compactage**
  - **Température de pose**
  - **Maniabilité**

Est-ce que le verre postconsommation peut permettre une diminution du bitume

Verre postconsommation dans les enrobés bitumineux et les mastics

En remplaçant une partie du granulat dans l'EB on étudie :

- **La rhéologie**
- **La tenue à l'eau**
- **L'adhésion verre bitume**
- **Les changements thermiques**
- **La réponse au critère de performance du MTQ**
- **Pour des mélanges de référence**

Verre postconsommation dans les fondations granulaires peut influencer :

Le comportement hydrique

Le comportement thermique

Le comportement mécanique

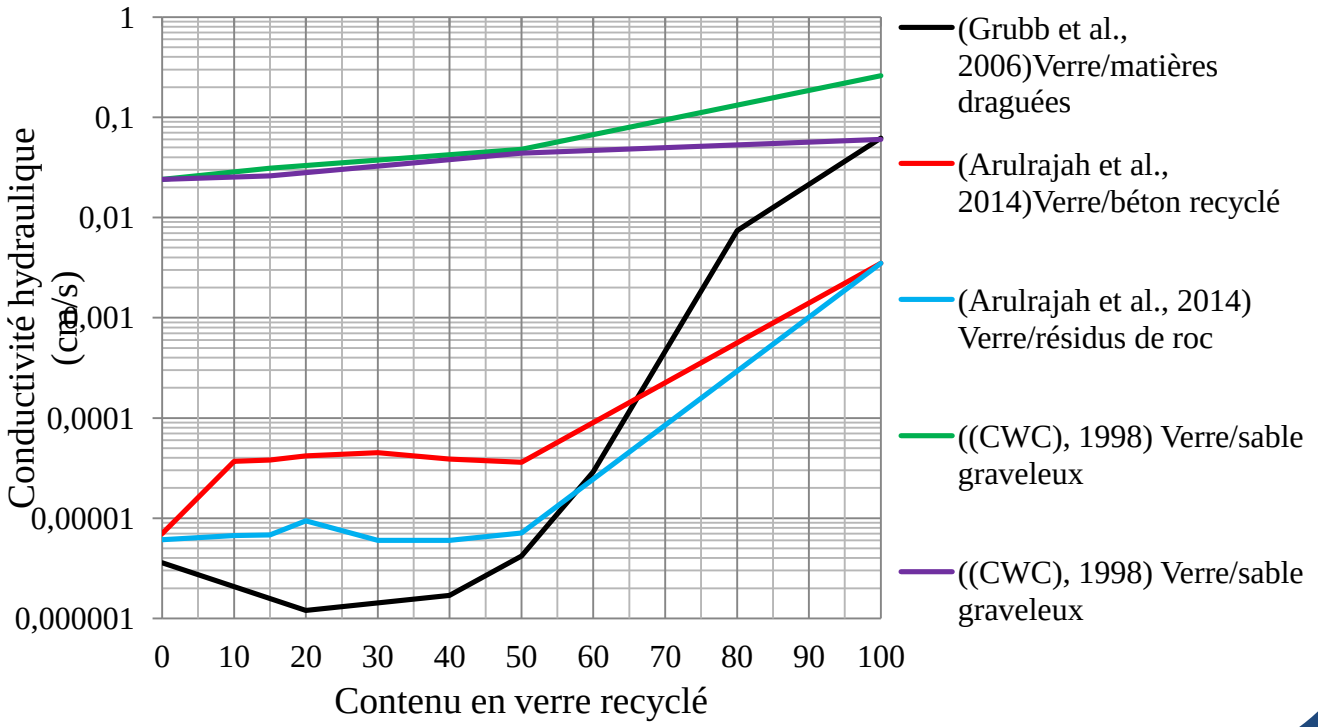
COMMENT

- **Le calibre des particules de verre**
- **La proportion de verre dans des combinés granulaires**

VONT MODIFIER LE COMPORTEMENT

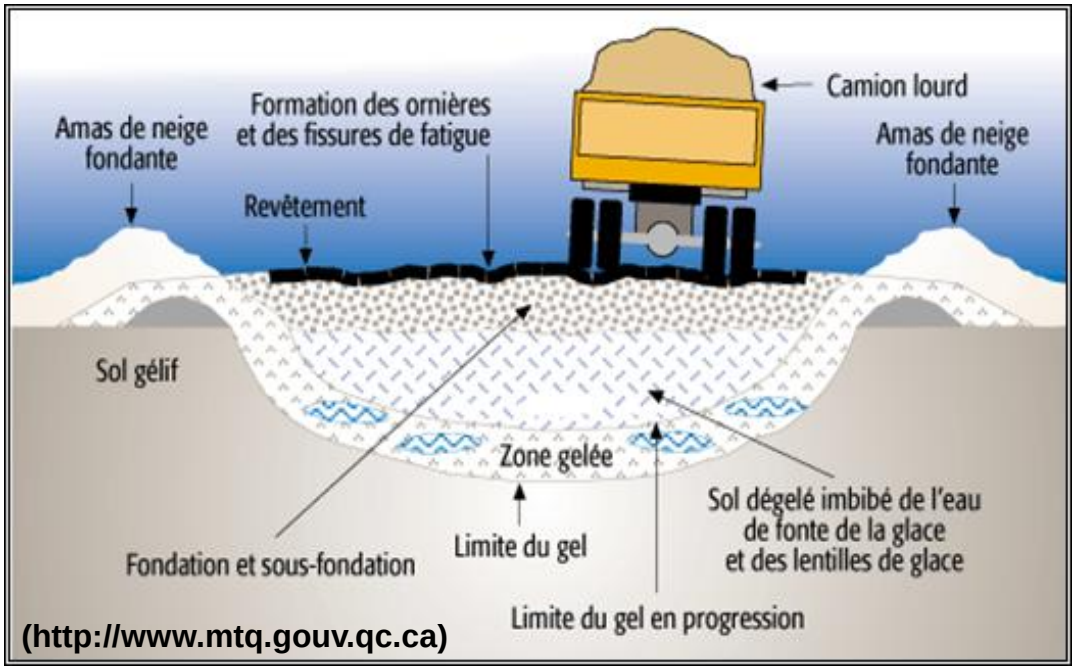
Verre postconsommation dans les fondations granulaires peut influencer :

Le comportement hydrique (Littérature)



Verre postconsommation dans les fondations granulaires

Le comportement hydrique
L'eau dans les chaussées peut entraîner des problèmes de gel et de capacité portante



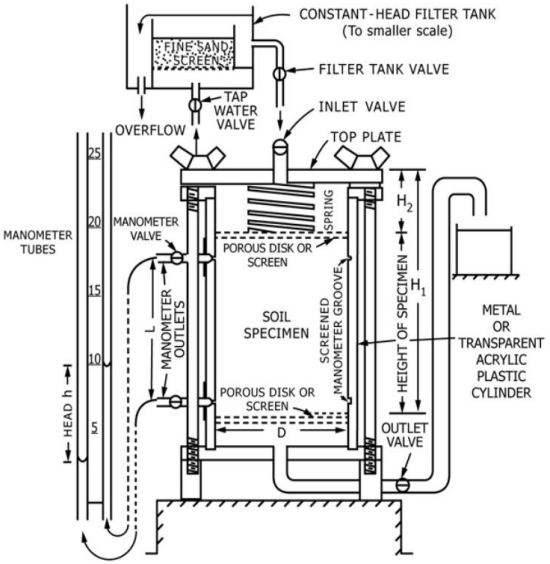
(http://www.mtq.gouv.qc.ca)

LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement hydrique

On veut mesurer l'influence du verre sur :

- **La perméabilité**
- **La capillarité**
- **Le drainage**



Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement hydrique

En étudiant :

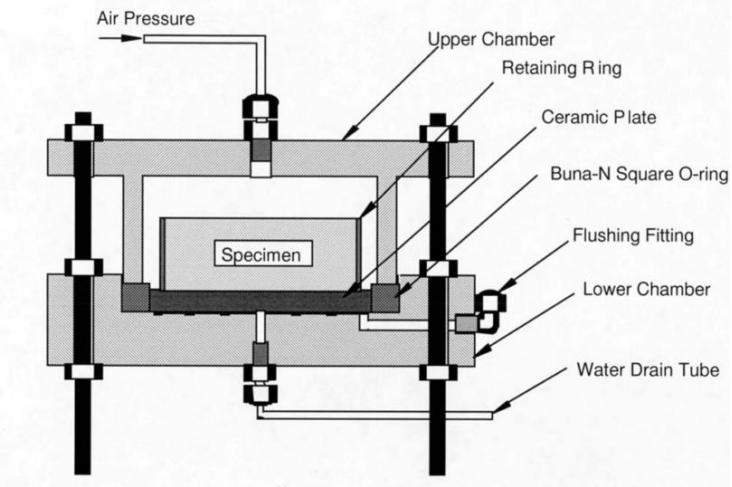
- **La porosité**
- **L'absorption**
- **La rugosité**
- **La capillarité**

} **Propriétés qui modifient l'écoulement**

Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement hydrique

Plusieurs essais en laboratoire

- Absorption
- Densité spécifique (Gs)
- Perméabilité à charge constante
- Succion

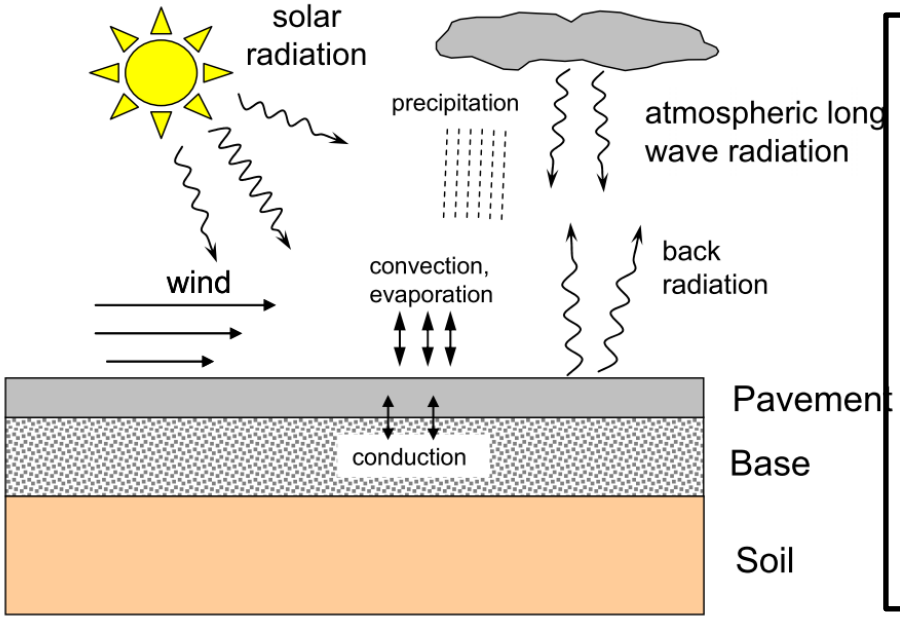


Verre postconsommation dans les fondations granulaires peut influencer :

Le comportement thermique

Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement thermique

Les propriétés thermiques du verre sont différentes de celles du granulat standard



Principaux phénomènes entrant en jeux

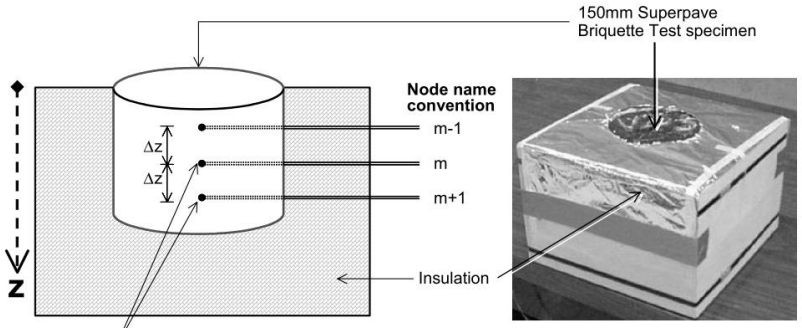
- Rayonnement solaire
- Convection
- Conduction
- Rayonnement infrarouge

LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement thermique

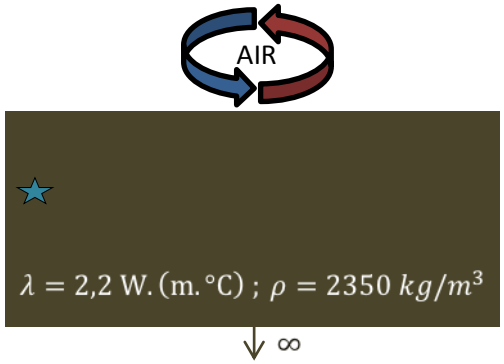
Essais de laboratoire

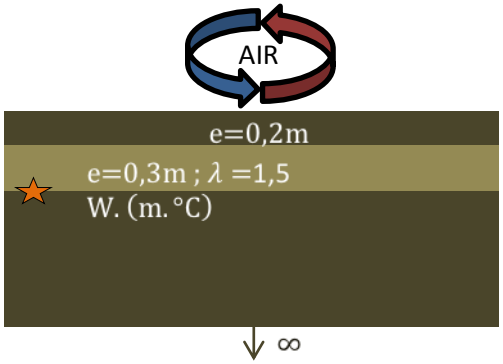
- La conductivité thermique
- La diffusivité thermique
- Capacité thermique

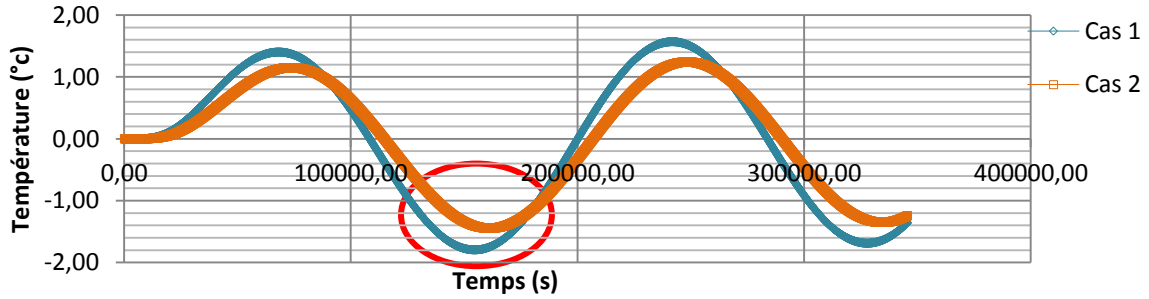


Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement thermique

Modélisation numérique







Verre postconsommation dans les fondations granulaires peut influencer :

Le comportement mécanique

Le verre est « FRAGILE »
Peut-il supporter les charges routières, l'effritement et l'usure

Verre postconsommation dans les fondations granulaires

Le comportement mécanique
Programme d'essai en laboratoire

- Essai au cône d'écoulement
- Aptitude au compactage
  - Masse volumique sèche
  - Quantité de fines générées lors du compactage
  - Porosité du mélange
- Résistance au cisaillement
- Friabilité et résistance à l'usure
- Module résilient

Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement mécanique - Résultats partiels

Nature minéralogique		Calcaire	Verre
Masse volumique des solides ρ_s (g/cm^3)		2,718	2,496
Absorption en eau (%)		0,65	0,2
Granulométrie	Tamis (mm)	% retenu sur tamis	% retenu sur tamis
	5,00	0	0
	2,50	0,1	0
	1,25	58	62
	0,630	38	38
	0,315	3,3	0
	0,160	0,2	0
	0,080	0,2	0

Verre postconsommation dans les fondations granulaires

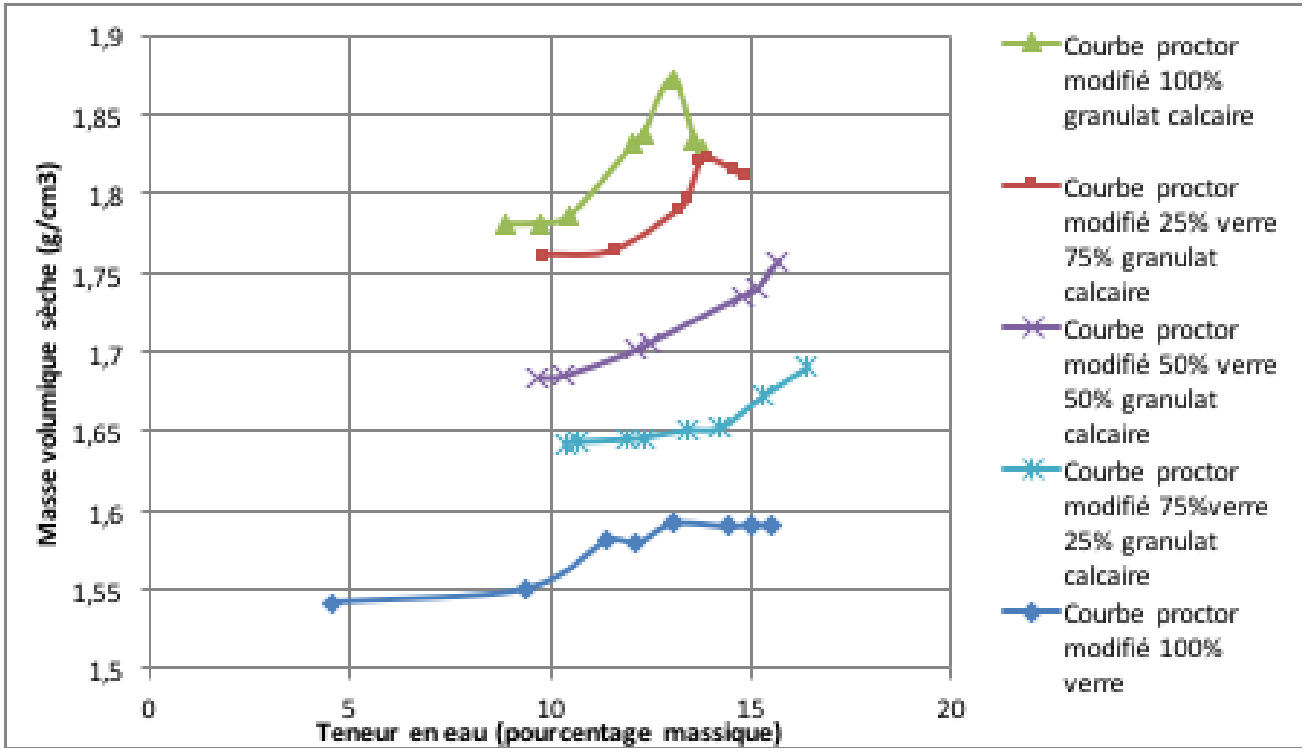
Le comportement mécanique - Résultats partiels

Essai au cône d'écoulement

Comparé un un granulat de calcaire de même calibre
(0,630mm à 1,25 mm)
le verre possède un coefficient d'écoulement plus faible et est donc moins anguleux

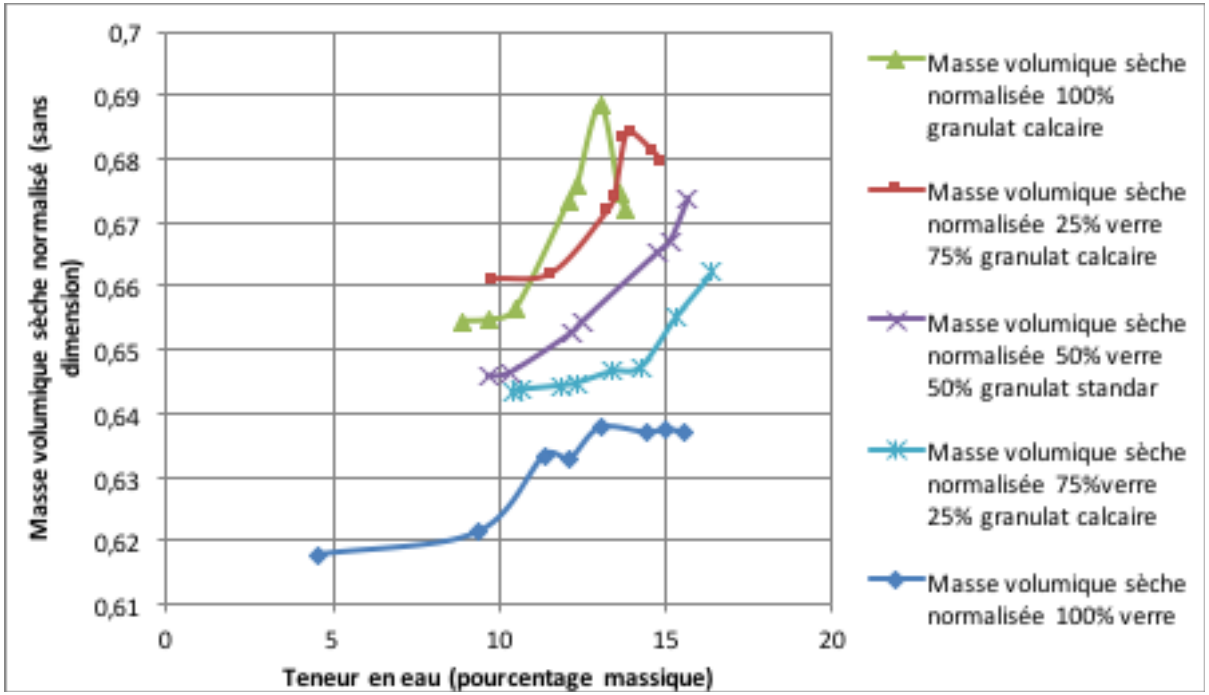
Coefficients d'écoulement	
Verre D	Pierre Calcaire
94	121

Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement mécanique - Résultats partiels
Masse volumique sèche



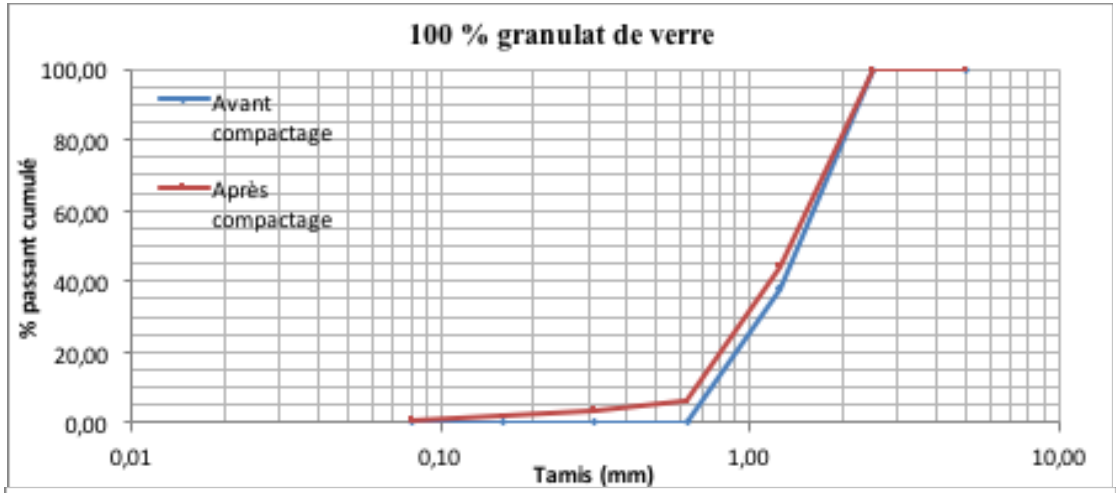
ρ verre = 2,496 g/cm^3 ρ calcaire = 2,718 g/cm^3

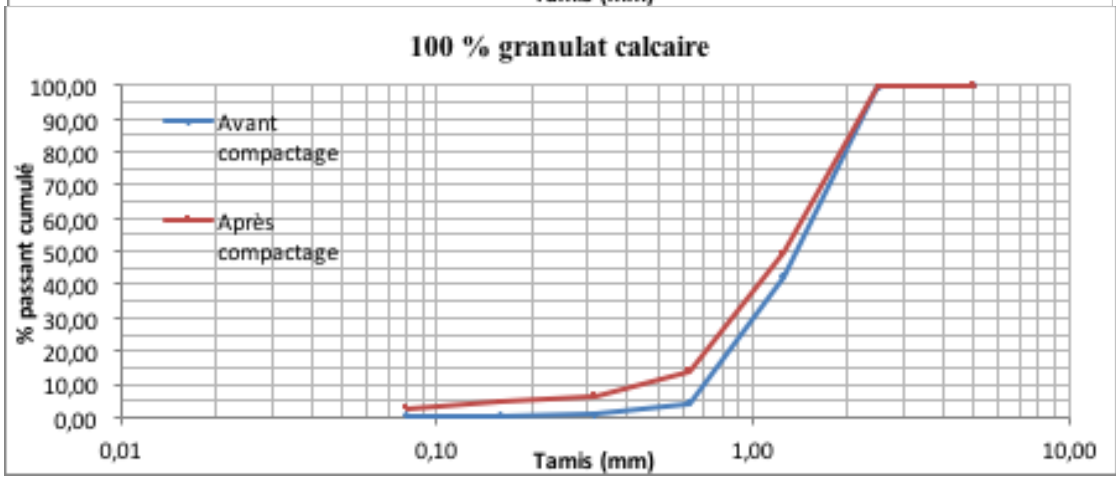
Verre postconsommation dans les fondations granulaires
Le comportement mécanique - Résultats partiels
Masse volumique sèche



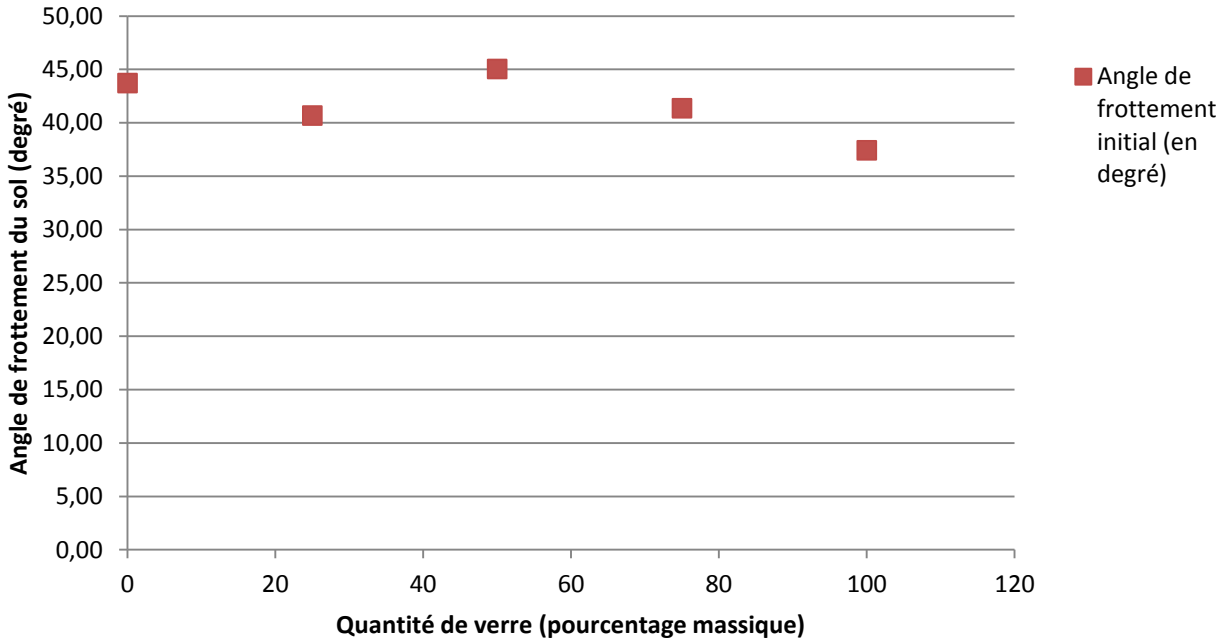
Masse volumique sèche normalisée en fonction des proportions et de la masse volumique des constituants

Le comportement mécanique - Résultats partiels
Génération de fines au compactage



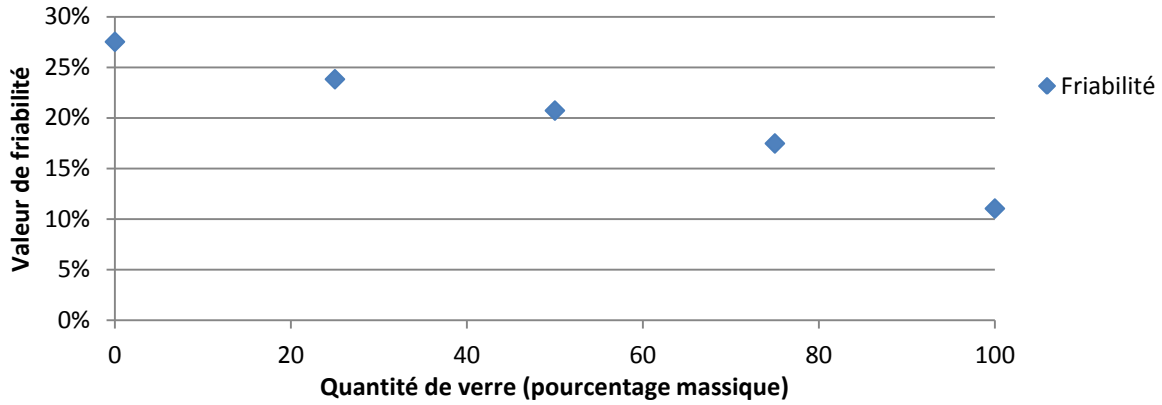


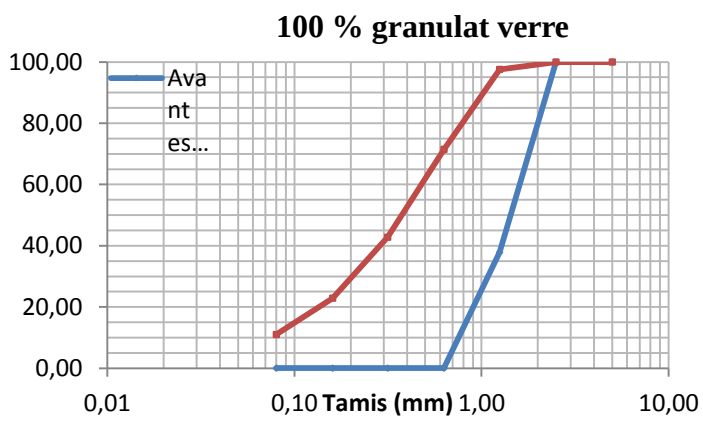
Le comportement mécanique - Résultats partiels
Résistance au cisaillement

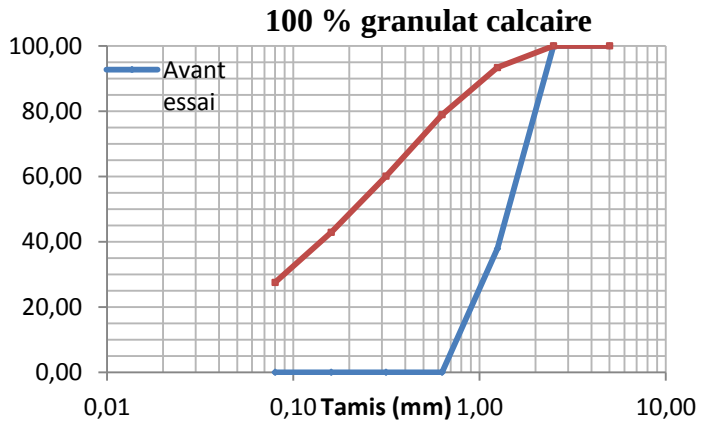


Le comportement mécanique - Résultats partiels

Friabilité (Catégorie 1 LC 21-080 pour EB)

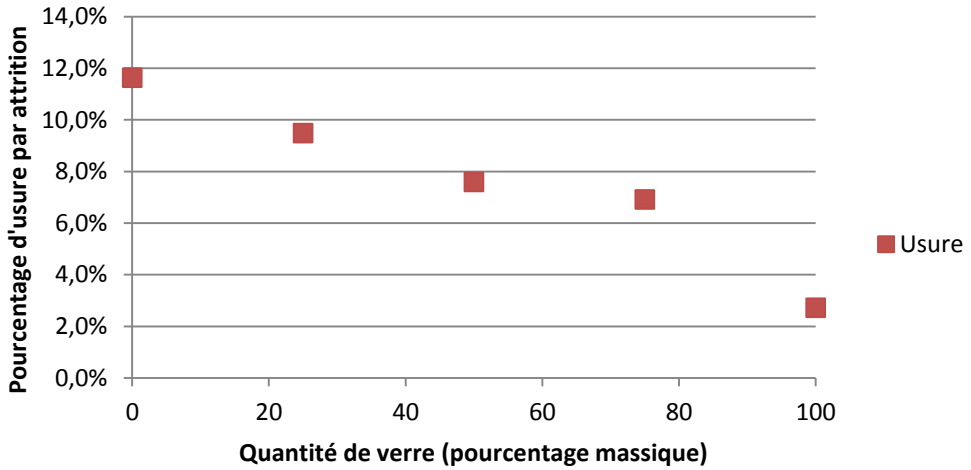


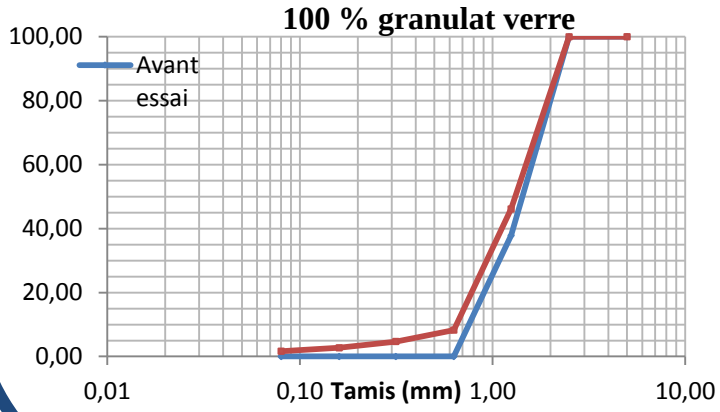


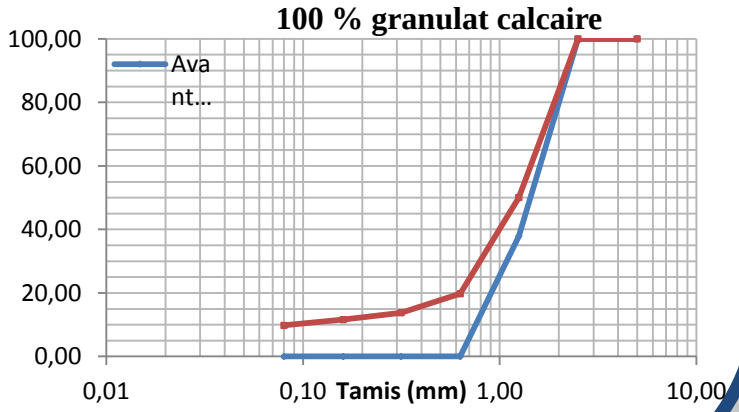


Le comportement mécanique - Résultats partiels

Usurepar attrition (Catégorie 1 LC 21-101 pour EB)







Verre postconsommation dans les chaussées

CONCLUSION

- Plusieurs résultats surprenants qui vont à l'encontre de l'intuition
- Il est possible d'incorporer du verre dans les fondations de chaussée

Mais quel est l'intérêt
Gain en terme de comportement hydrique
Gain en terme de comportement thermique
…
À SUIVRE…

LCMB
LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX

MERCI !