

Opération de Recherche 11L041

Chaussées urbaines démontables - CUD

Séminaire de restitution, jeudi 09 Octobre 2008

La CUD de Saint-Aubin-lès-Elbeuf Conception et Test sur le manège de fatigue

J.-M. Balay, LCPC



Démarche générale de l'opération CUD

- **Enquête LPC: domaines potentiels d'application des CUD**
 - ...
 - Lotissement neuf
 - ...

- **Recherche Maitrise d'Ouvrage**
 - Saint-Aubin-lès-Elbeuf
 - accord de partenariat Saint-Aubin - LCPC

- **Choix du projet à Saint Aubin**
 - Site de Manopa à Saint-Aubin:
 - voie nouvelle dans futur lotissement



Cahier des charges: Type d'aménagement visé

- **Plan masse: alignement droit**

- **Trafic urbain moyen-faible**
 - Travaux: 20 000 PL
 - Service: MJA= 10PL/j/sens → 100 000 PL
 - Durée de service: 30 années
 - Niveau de service élevé → risque de calcul= 5%

- **Glissance-Confort-Bruit**
 - Idem solution classique BB

- **Aspect**
 - Urbain, en relation avec l'environnement

Cahier des charges: Spécifications techniques

- **Dalles de grandes dimensions**
 - Béton de ciment routier BC5 non armé
 - Hexagonales → angles moins fragiles
 - Indépendantes → montage/démontage facilités
 - $P_{maxi} = 700$ kg
 - Joints élastomères

- **Lit de pose en gravillons**
 - Pose des dalles facilitée
 - Drainage

- **Fondation GC ré-excavable**
 - Excavation facile à la mini-pelle
 - Remblaiement au mortier autocompactant
 - Protection de surface: émulsion

- **Plate-forme PF2**

Cahier des charges: Démontabilité

- **Démontabilité**
 - Totale hors passages des réseaux
 - Partielle au droit des passages réseau

- **Charge de levage**
 - Maxi: 1000 kg (→ Poids des dalles < 700 kg)

- **Type d'accroche: ventouse exclue**

- **Temps d'ouverture-fermeture**
 - 4 heures y compris remblayage

- **Largeur des fouilles: 0.40 m à 2 m**

- **Profondeur minimale des réseaux**
 - 2 m (France Télécom)



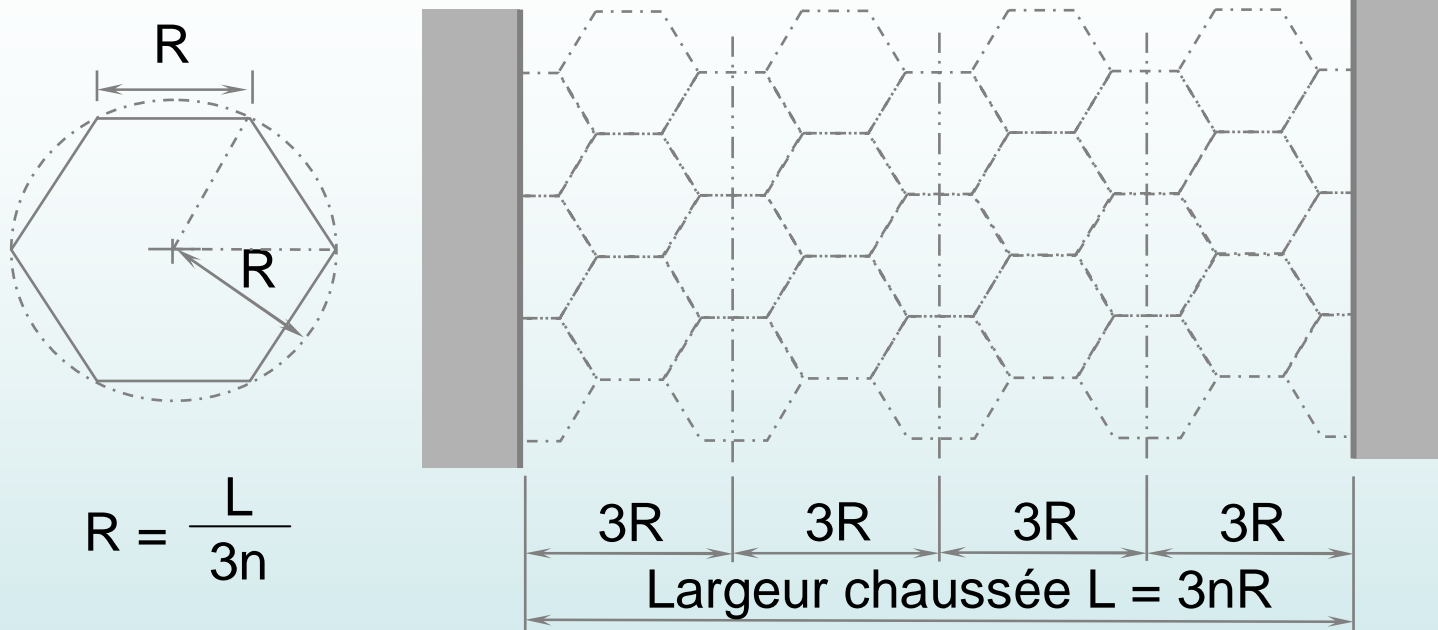
Phases Etudes et Mise au point

- **Laboratoire**
 - Formulation de la GC ré-excavable
 - Performances mécaniques pour le dimensionnement

- **Modélisation - dimensionnement**
 - Dimensions – épaisseur des dalles BC5
 - Epaisseur GC ré-excavable

- **Validation expérimentale en vraie grandeur**
 - Préalable à la réalisation du chantier de Saint Aubin
 - Expérience sur le manège de fatigue du LCPC

Pré-dimensionnement en plan



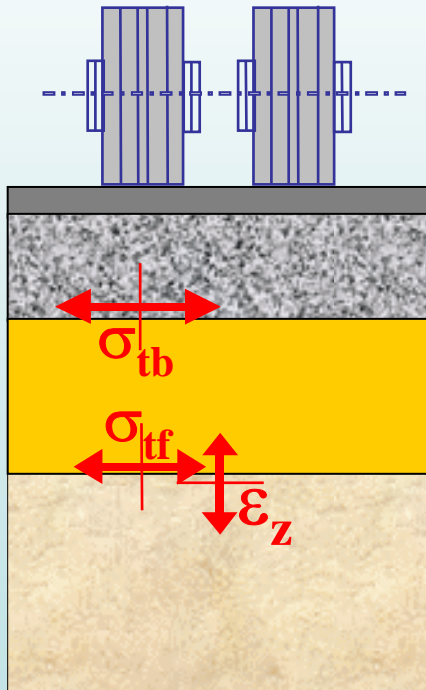
Largeur de la chaussée 7 m,
hypothèse Hdalle = 20 cm

- n = 1 → R = 2.33 m P = 6 506 kg
- n = 2 → R = 1.16 m P = 1 627 kg
- n = 3 → R = 0.77 m P = 723 kg



Démarche générale de dimensionnement: Méthode rationnelle LCPC-SETRA

**Modélisation mécanique:
calcul des sollicitations maxi
créées par le trafic**

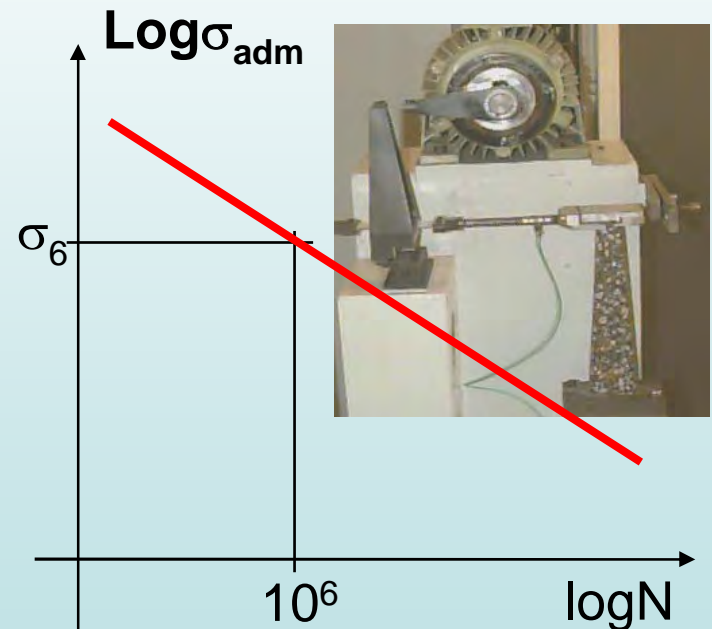


Critère de dimensionnement:

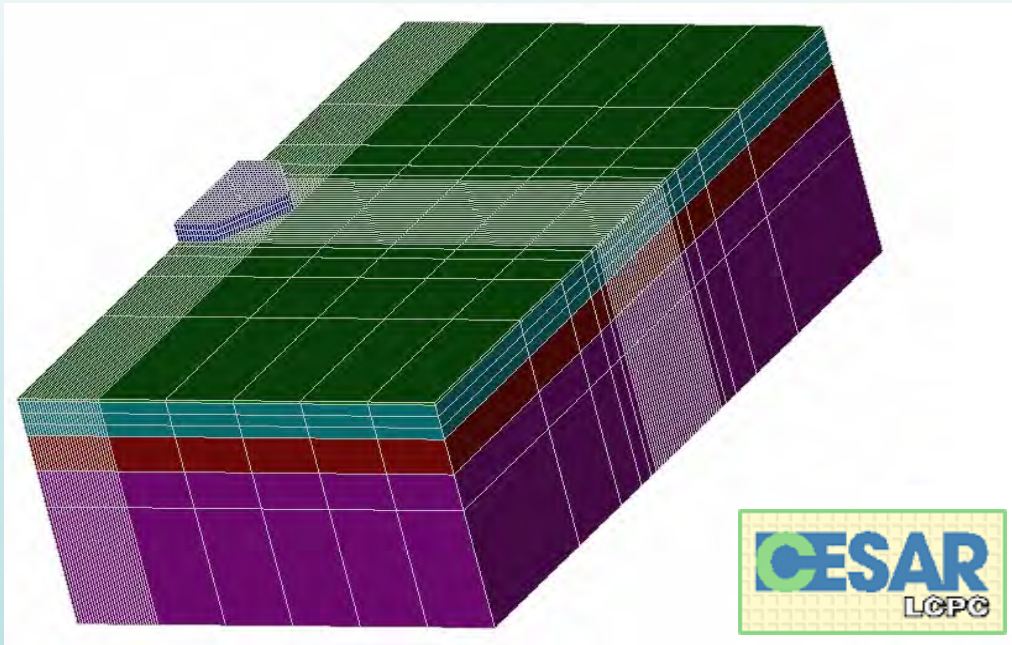
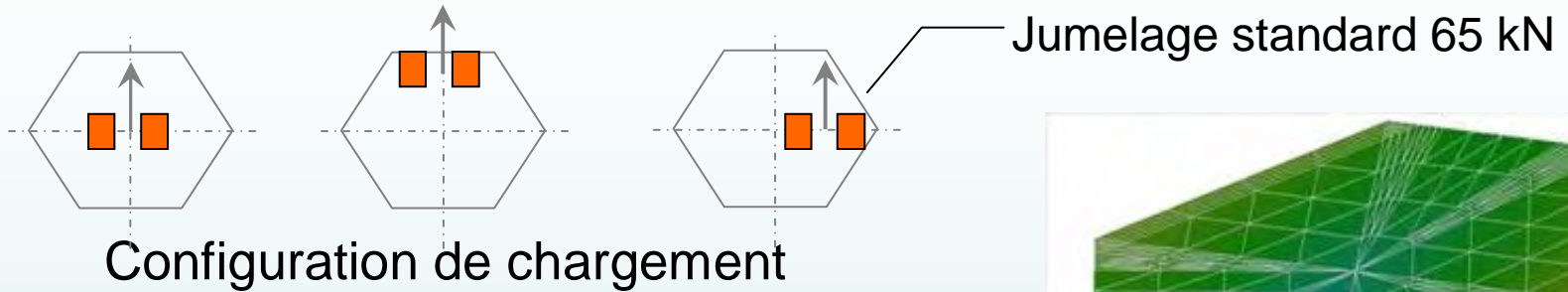
$$\sigma_{tmaxi} \leq \sigma_t \text{ admissible}$$

CUD: structures 3D → outil usuel (Alizé ...) non directement applicable

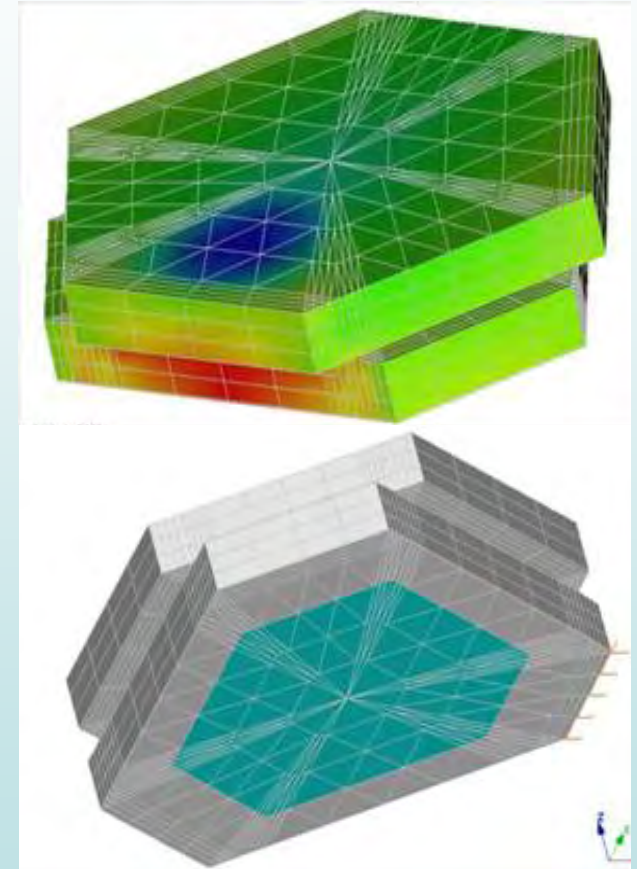
**Comportement en fatigue:
essais en laboratoire (ou corrélation)
+ calage in situ**



Calcul des sollicitations mécaniques: Modélisation EF-3D par César-LCPC

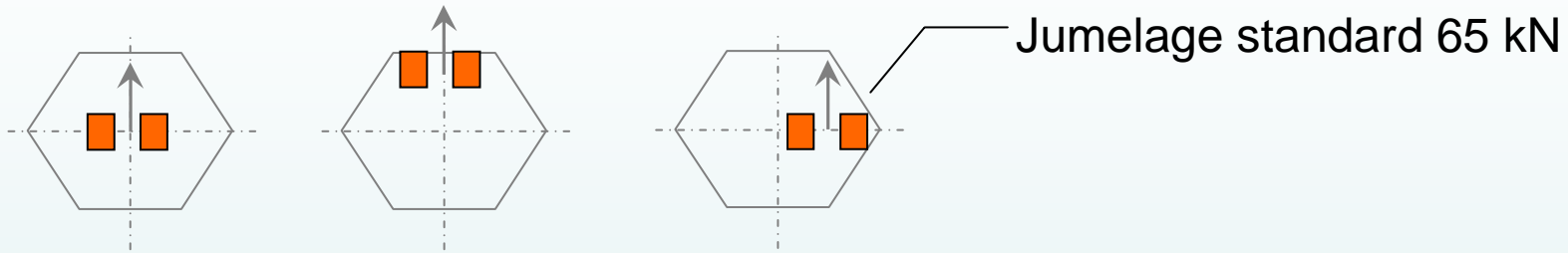


Modèle EF-3D dalles indépendantes



Dalles emboîtées – détail EF

Vérification du modèle Dalle indépendante EF-3D en hall d'essais



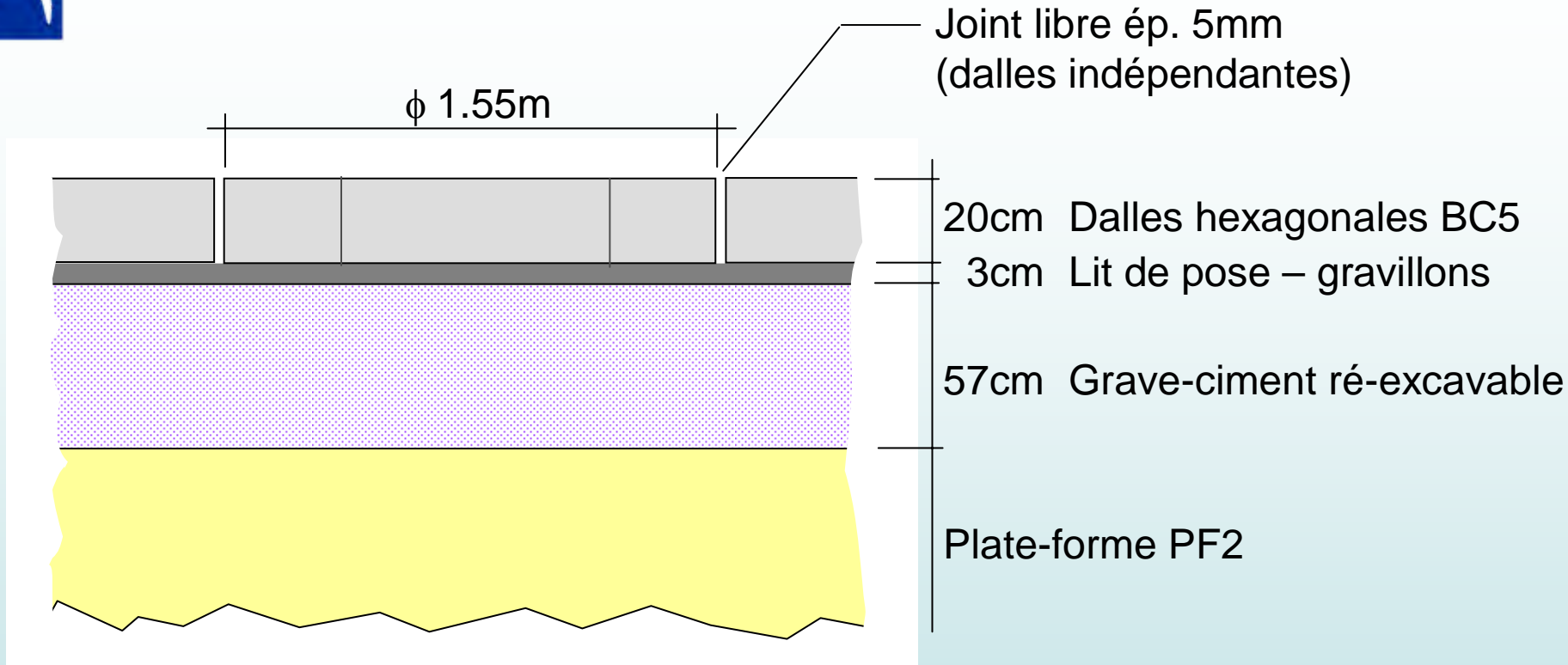
Configurations de chargement:

- chargements élémentaires simples
- positions "critiques" du jumelage 65 kN

Cycles de chargement-déchargement sur dalle hexagonale instrumentée (jauges extensiométriques en face inférieure)



Dimensionnement CUD – Saint-Aubin



Besoin d'expérimentation en vraie grandeur

Une évidence et une certitude

Modèle de dimensionnement semi-mécanistique: les données sur structures réelles sont indispensables au développement et à la validation de modèles et d'outils opérationnels.

Une obligation

norme française

NF P 98-086

Décembre 1992

Indice de classement : P 98-086

Chaussées – Terrassements

Dimensionnement des chaussées routières

Éléments à prendre en compte
pour le calcul de dimensionnement

”...Un modèle de calcul de dimensionnement ne décrit que partiellement le comportement réel d'une chaussée ; il est donc impératif de vérifier par des observations sur chaussées réelles, intégrées ou non à un réseau routier, les résultats des calculs issus des modèles...”

Le Manège de fatigue du LCPC: simulateur - accélérateur de trafic lourd



www.lcpc.fr/fr/presentation/moyens/manege/index.dml

Expérience CUD sur le manège

- Rotation de mai 2005 à mai 2006 par intermittences
- Tests successifs de 2 grave-ciment ré-excavables
→ 2 fois 120 000 chargements lourds (jumelage 65 kN)
- Financement : DRAST (50 k€) et LCPC



Début des tests

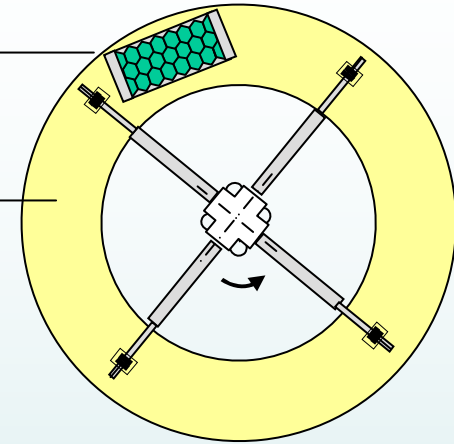


Fin des tests

Configuration de l'anneau C du manège

Structure CUD

Partie restante de l'anneau C utilisée
simultanément pour d'autres tests



9.56m

3.88 m

Cadre rigide
en BA

Jumelage
standard 65 kN

Bande de
roulement 1.6 m

$R=19m$

Autres données de l'expérience Manège

▪ Structure testée

	Classe de plate-forme	Portance Module E	Risque de rupture	Epaisseur dalles BC	Epaisseur Grave-ciment
Saint-Aubin	PF2	50 MPa	5%	21 cm	57 cm
Manège	PF2 ⁺⁺	105 MPa	20%	20 cm	38 cm

▪ Paramètres de rotation

- Charges roulantes: jumelage standard 65 kN
- Vitesse 32 km/h (4.5 tours/mn)
- Balayage transversal standard ± 50 cm selon distribution gaussienne

Vues du chantier de construction (1/2)

Travaux réalisés par l'Entreprise SAUVETRE-TP (44)



Massif en sable argileux de Missillac



Réglage de la plateforme



Mise en œuvre de la GC ré-excavable



Vues du chantier de construction (2/2)



Pose des dalles sur gravillons 2/4 mm

Mise au point du concept CUD à dalles indépendantes

Problèmes rencontrés

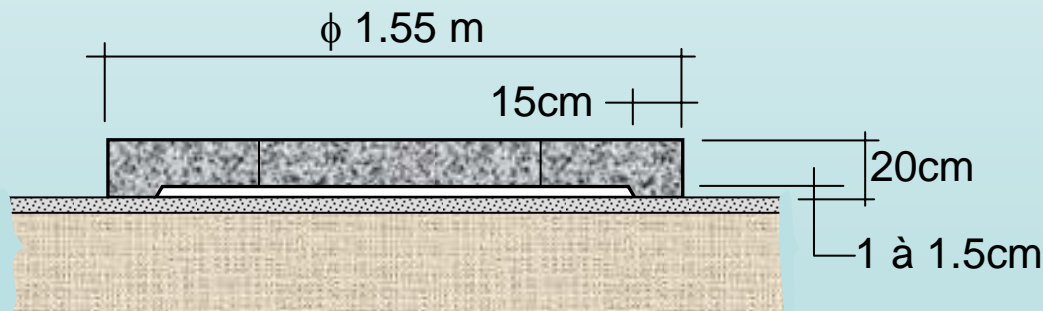
- Défauts de planéité de la sous-face des dalles
- Lit de pose initial en gravillons 2/4 mm: granulométrie et épaisseur 5-7 cm mal adaptées:

- Pose initiale et réglage très fastidieux
- Uni initial médiocre, se dégradant rapidement sous trafic
- Instabilité sous trafic dès le début des rotations: battements maxi \gg 5 mm
- Arrachement des joints caoutchouc préformés
- Drainage peu efficace
- Tentative de "Post-compactage" au compacteur vibrant lourd: inefficace.



Nouvelles dispositions

- **Lit de pose: nouvelle granulométrie**
→ gravillons 6/10, épaisseur 2 à 3 cm
- **Evidement de la sous-face des dalles**
→ Rabotage sur épaisseur 1 à 1.5 cm
→ Appui périphérique largeur 15 cm
- **Nouveau joint entre dalles:**
→ Joint polyuréthane polymérisé moulé à la pompe.



Deux phases de tests (1/2)

▪ Phase 1:

- Mai à Octobre 2005
- 120 000 chargements lourds (jumelage 65 kN) dont 6 000 sous arrosage
- Grave ciment "ré-excavable" type A: en fait difficilement ré-excavable
- Comportement sous trafic satisfaisant, moyennant les nouvelles dispositions (lit de pose, évidemment en sous face, joint polyuréthane moulé):
 - ✓ décalage maxi entre dalles: 6 mm
 - ✓ battement maxi: 40 mm/100



Deux phases de tests (2/2)

Phase 2:

- Mars à Mai 2006
- 120 000 chargements lourds
- Grave ciment "ré-excavable" type B ("GC1"): ré-excavabilité démontrée
 - ✓ $f_{c_{28j}} = 2.2 \text{ MPa}$
 - ✓ $f_{t_{28j}} = 0.18 \text{ MPa}$
 - ✓ $E_{28j} = 4800 \text{ MPa}$
- Comportement sous trafic satisfaisant:
 - ✓ décalage final maxi entre dalles: 8 mm
 - ✓ battement maxi: 50 mm/100
 - ✓ pas de dégradations des joints



Chantier de construction – phase 2



Excavation sur une largeur 2.20 m



Compactage de la nouvelle GC



Remontage des dalles centrales

Achèvement de la phase 2



Une dalle endommagée: efforts excessifs de manutention ou effet du trafic ?



Essai de ré-excavabilité



Absence de dégradation de la GC après 120 000 chargements lourds

Conclusions (1/2)

- Bon comportement sous trafic des 2 grave-ciment.
Matériau retenu: grave-ciment "GC1" testée en 2^{nde} phase
 - Granulométrie 0/10 mm
 - 1.1% Ciment
 - f_t (fendage)= 0.18MPa, E_{28j} =4 800 MPa
 - Ré-excavabilité démontrée
- Joint polyuréthane polymérisé moulé à la pompe: bien adapté
- Attention au lit de pose: gravillons 6/10 mm
→ réglage des dalles amélioré et bon drainage de la structure
- Mise en place – tassement des dalles sous trafic: 5 à 8 mm par densification du lit de pose
- Prévoir une forme concave des dalles en face inférieure:
 - Amélioration de la pose, du remontage et de l'uni
 - Mais: sollicitations critiques dans le béton (ép 20cm) en traction-flexion → envisager un béton fibré, ou armé ...

Conclusions (2/2)

- Manutention assez délicate et fastidieuse des dalles: procédure de pose et réglages divers à améliorer
- Sur le Manège: uni, sécurité (2 roues ...), bruit, confort, esthétique: performances CUD très critiques, rechercher des améliorations
- Trafic cumulé supporté par les dalles: 2 x 120 000 passages lourds de 65 kN:
 - Agressivité: probablement $0.5 < CAM < 0.8$
 - Donc, trafic équivalent PL supporté par les dalles (très) supérieur à 2x120 000 PL
 - Résistance au trafic des dalles: rupture de 1 dalle sur les 7 dalles pleinement circulées. Endommagement par le trafic ou efforts excessifs de manutention ?

Remarques finales

- Un essai sous trafic accéléré ne constitue jamais une fin en soi:
→ poursuivre l'évaluation et la mise au point du concept CUD par une ou des réalisation(s) sur site réel, avec suivis attentifs et réguliers permettant les retours d'expérience sur le moyen et long terme.

- Sur le chantier de Saint-Aubin-lès-Elbeuf, des améliorations indiscutables:
 - tolérance d'épaisseur des dalles,
 - rapidité et qualité de pose,
 - uni,
 - esthétique ...

