



Résistance au roulement

Projet Européen ROSANNE (2013 – 2016)

Dr ir Johan Maeck
BRRC

26-1-2017



WP3 sur la résistance au roulement

objectifs

round robin test

résultats

projet de norme

Objectif:

- Préparer la **normalisation européenne et internationale** des méthodes de mesure pour une caractérisation représentative et précise des propriétés de résistance au roulement des revêtements routiers

Contexte:

- Résultats du projet MIRIAM, divers projets (inter)nationaux

Tâches du programme

- Analyse des **méthodes disponibles** et des équipements d'essai.
- Définition et analyse des **paramètres influents**: réalisation d'essais en laboratoire et sur site
- Proposition d'une méthode de **calibration** solide pour les remorques
- Comparaison avec d'autres méthodes (**consommation** et **coast-down**)
- Rédaction d'un **projet de norme** pour la mesure harmonisée de la résistance au roulement, validée par un **programme "Round Robin Test"**

Round Robin Test (RRT)



- Mesures sur une **piste d'essai** (IFSTTAR) avec 12 revêtements & mesures sur des **routes circulées** (impact des défauts **d'uni** et de la **dégradation** du revêtement)
- 5 équipes et 7 appareils au total:
 - ✓ **5 remorques RR** (TUG, CRR (ARW1 & ARW2), BAST, Colas)
 - ✓ 1 véhicule d'essai pour les essais de **consommation de carburant** et **coast-down** (VTI)
 - ✓ 1 **Road Surface Tester** (texture, consommation de carburant, rugosité longitudinale et transversale, IRI, etc) (VTI)

objectifs

round robin test

résultats

projet de norme

Round Robin Test (RRT)



Méthodes
alternatives



Caractéristiques
de surface



Paramètres de mesure

- 2 types de pneus d'essai:
 - P1 (ASTM SRTT F2493): P225/60 R16 97S
 - H1 (Avon AV4 Supervan): 195 R14C 106/104N
- Pression: 210 +/- 5 kPa
- Charge: 4 ± 0.02 kN
- 2 vitesses de référence: 50 et 80 km/h

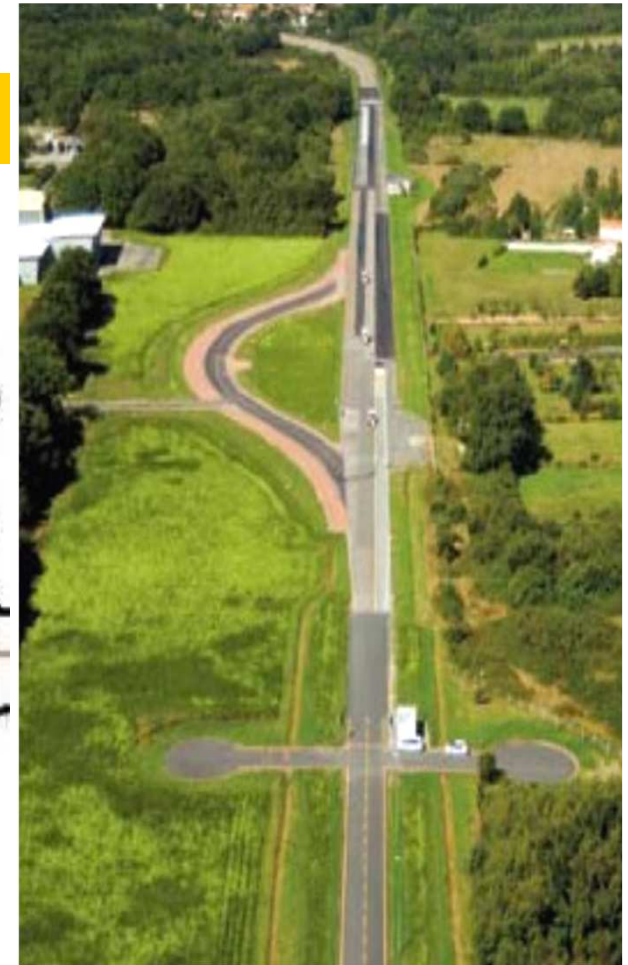
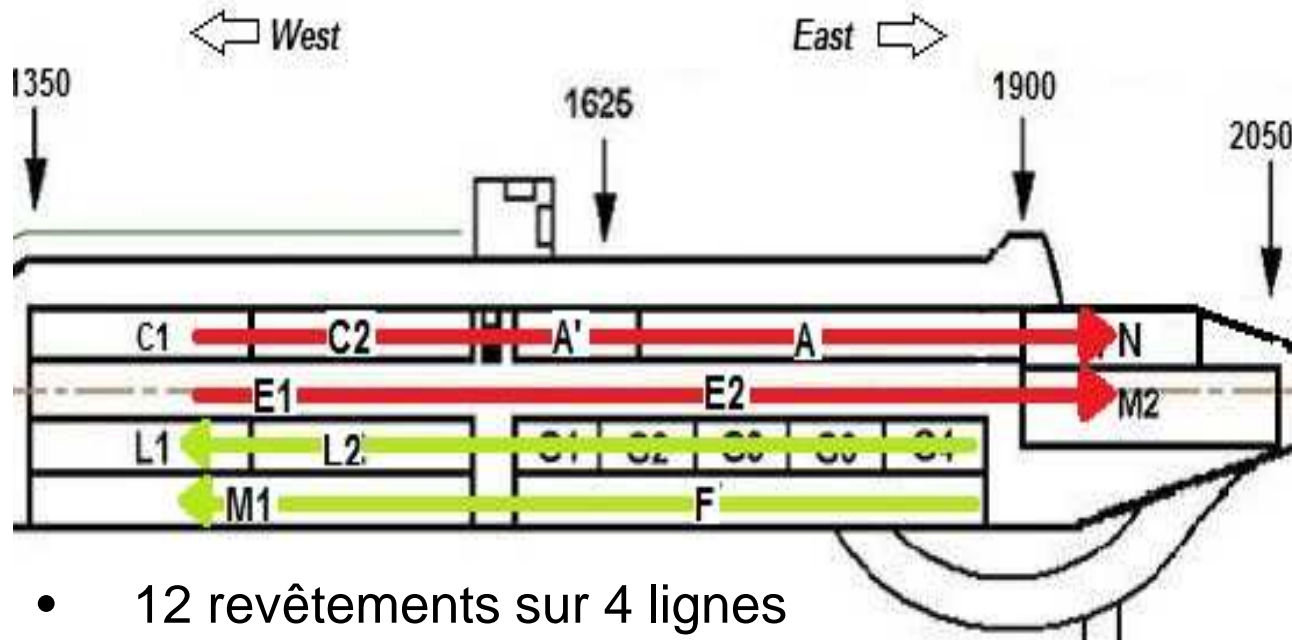


Important:

- Temperature de l'air (et du pneu et du revêtement)
- Procédure de chauffe (15 min. à la vitesse d'essai)



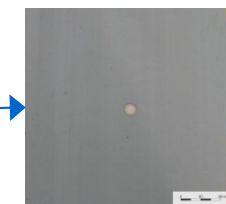
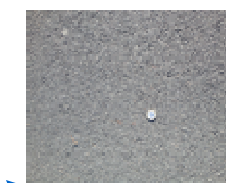
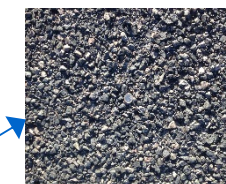
Mesures sur la piste d'essai



- 12 revêtements sur 4 lignes
 - Large variété de textures (MPD allant de 0,12 à + 3)
 - 50m à 250m de long
 - En ligne droite, aucun défaut d'uni
- **Mesure C_{RR}** : 1 essai "standard" + 2 répétitions à court terme + répétition le jour suivant
- Essais optionnels (autre direction, autres pneus, autres revêtements, etc.)

Revêtements de la piste d'essai

Code	Ligne	Type de revêtement	Longueur (m)	MPD (mm)	IRI
C1	L1	Enduit fin	140	0,33	1,83
C2	L1	Enduit grossier 0/14	100	3,96	2,21
A'	L1	Enduit grossier 8/10	50	3,08	2,15
A	L1	Enrobé drainant 0/6	220	1,23	1,02
N	L1	Enrobé dense 0/6 – type ISO	186	0,36	1,94
E1	L2	Enrobé dense 0/10 (nouveau)	252	0,87	1,87
E2	L2	Enrobé dense 0/10 (ancien)	250	1,12	1,59
M2	L2	Enrobé mince 0/6, classe 2	150	130	1,69
L1	L3	Résine époxy (lisse)	128	0,11	1,15
L2	L3	Sable enrobé 0/4	116	0,71	1,68
M1	L4	Enrobé mince 0/10, classe 1	244	1,42	1,59
F	L4	Enduit à haute adhérence 1/3	250	1,42	1,41



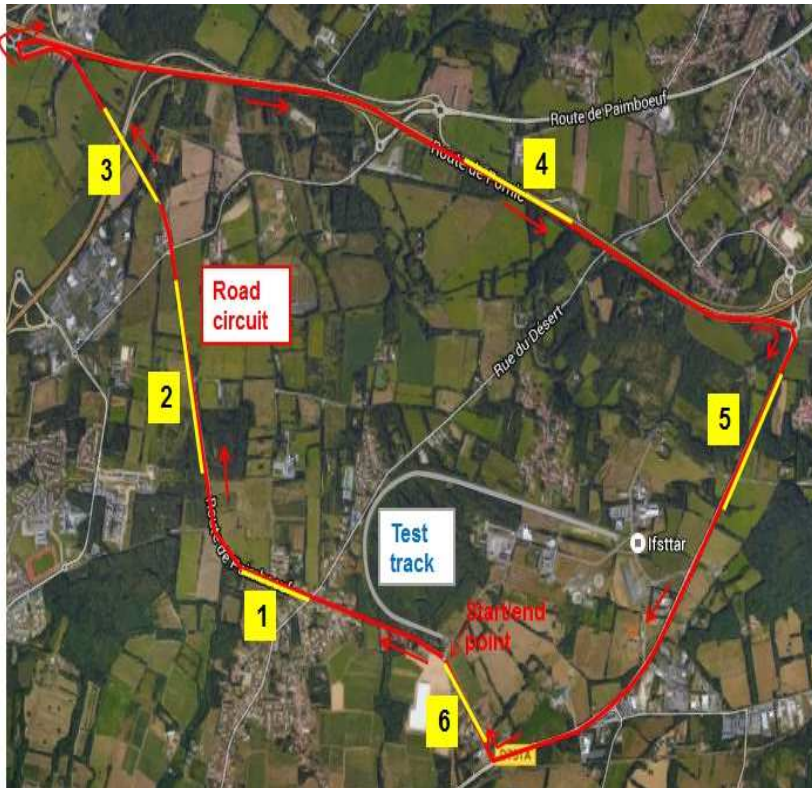
Mesures sur route

objectifs

round robin test

résultats

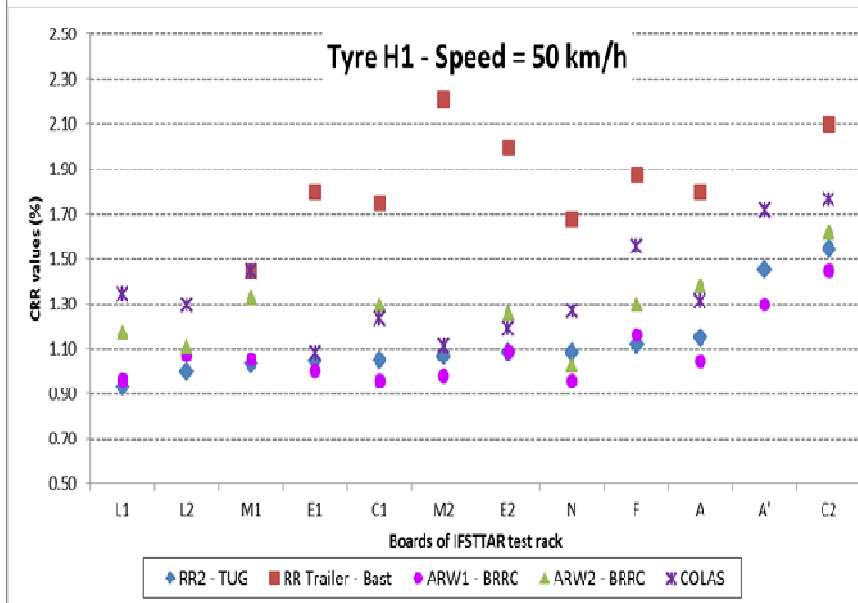
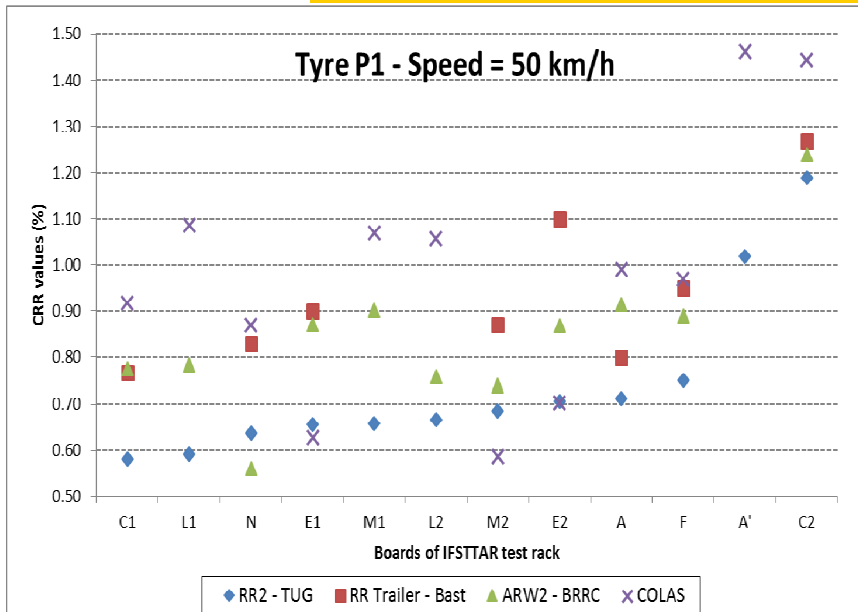
projet de norme



- Circuit de 11 km de long
- 6 sections en enrobé dense
- Réalisées par 2 remorques + véhicule énergie + RST
- Mesures répétées 3 fois

	Longueur	Vitesse	IRI	
# 1	~ 300 m	50 km/h	~ 6	Route urbaine - Ancienne
# 2	~ 700 m	80 km/h	~ 5	Route rurale – Ancienne
# 3	~ 400 m	50 km/h	~ 3	Route rurale – Ancienne
# 4	~ 500 m	80 km/h	~ 1	Route nationale – Neuve
# 5	~ 700 m	80 km/h	~ 1	Route rurale – Neuve, avec pente
# 6	~ 350 m	50 km/h	~ 4	Route semi-urbaine - Ancienne

Comparaison des appareils



- Résultats aberrants (*outliers*): remorques BAST et COLAS
- Pour les autres, tendances similaires
- Résultats proches pour CRR (ARW1) et TUG (pneu H1)

Répétabilité



Répétabilité à court terme

Ecart type de répétabilité
% valeur moyenne

%	PNEU P1		PNEU H1		Avg
	50 km/h	80 km/h	50 km/h	80 km/h	
ARW1			1.4	1.8	1.6 %
ARW2	2.3		7.5		4.9 %
BASt	5.6	8.1	0.5	1.4	3.9 %
TUG	2.4	3.9	2.2	1.7	2.6 %
COLAS	19.0	6.3	9.1	11.3	11.4 %

- ✓ Dépend de l'appareil
- ✓ Relativement indépendante de la vitesse (moins clair pour pneu P1)
- ✓ Remorques CRR (ARW1) & TUG: répétabilité de 1,6 à 2,6 %
(similaire à RRT 2011)
- ✓ Remorque BASt: environ 1 % avec le pneu H1, 6 - 8 % avec le pneu P1
- ✓ Remorque COLAS: résultats irréguliers donnant un écart type élevé
- ✓ L'application de l'ISO 5725 a donné un écart type général de répétabilité (pneu H1, deux vitesses, 3 remorques): $\sigma_R = 0.035$

Répétabilité



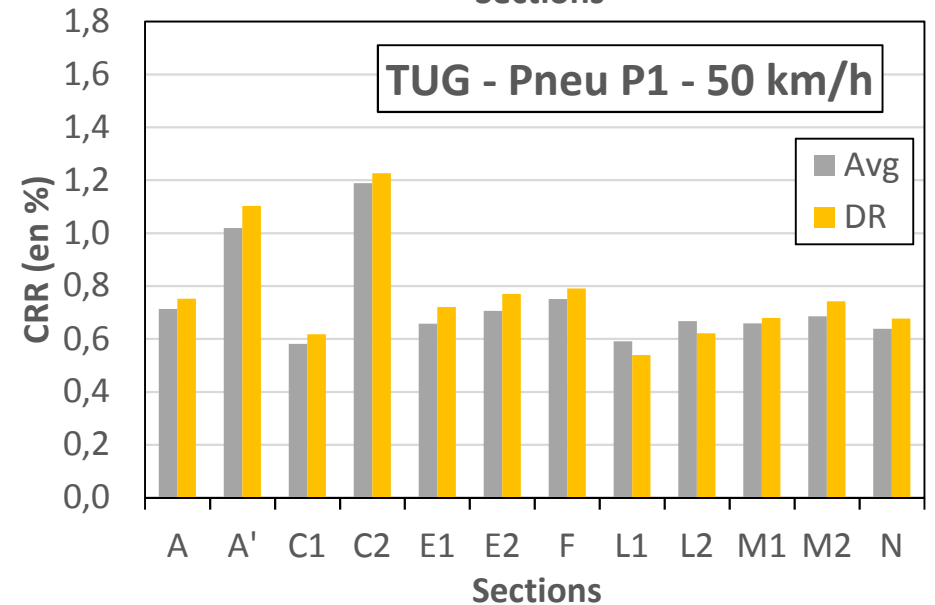
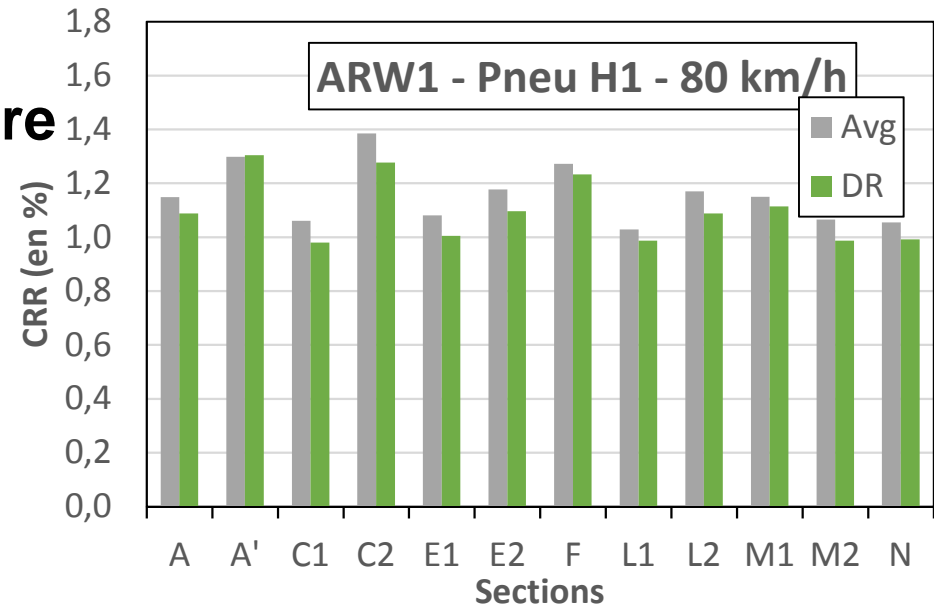
Répétabilité d'un jour à l'autre

- ✓ Dépend de l'appareil
- ✓ Calcul de la moyenne de

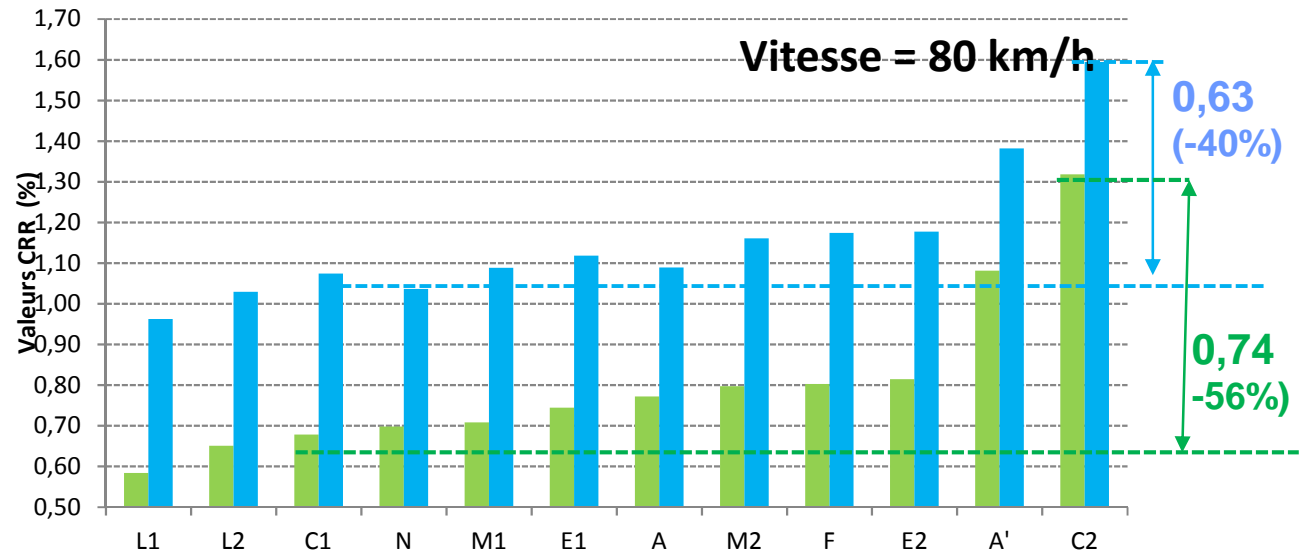
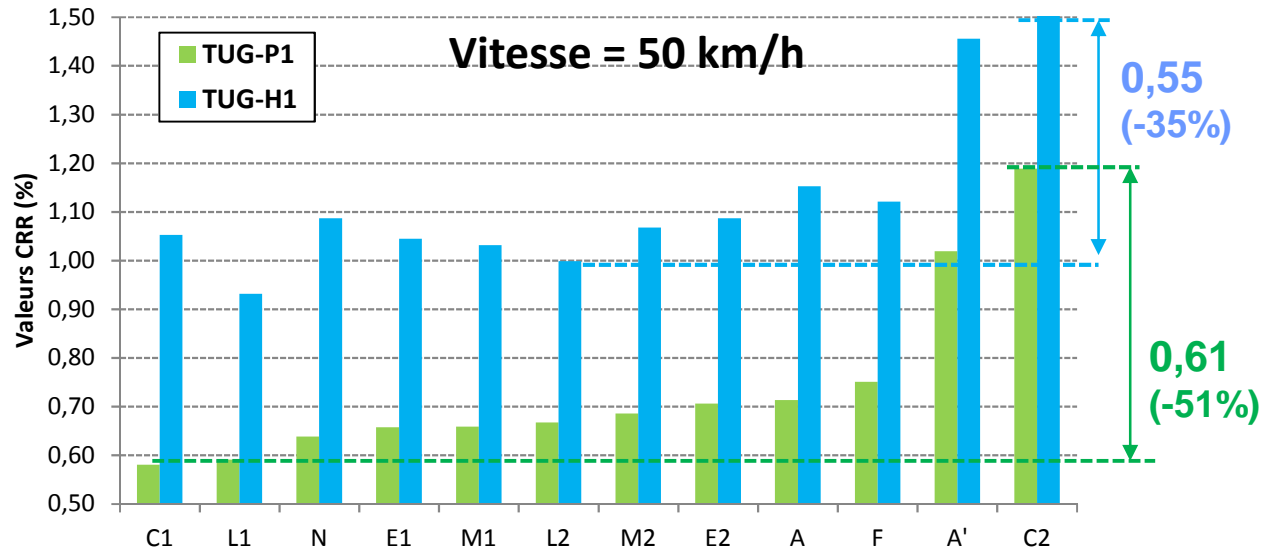
$$100 \times \frac{|C_{RR,D1} - C_{RR,D2}|}{C_{RR,D1}}$$

TUG: < 4%
 CRR (ARW1): 7%
 BAST: 10% (1 aberrant, 4,5% quand exclu)

Amélioration depuis RRT 2011
 (sauf pour BAST)

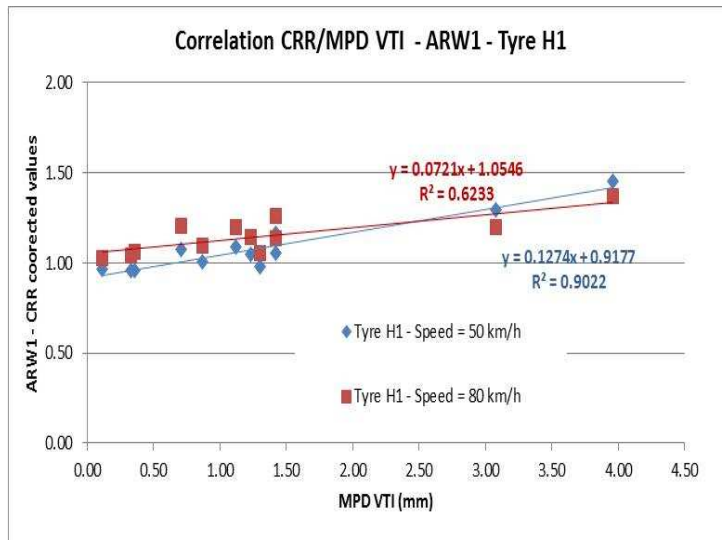
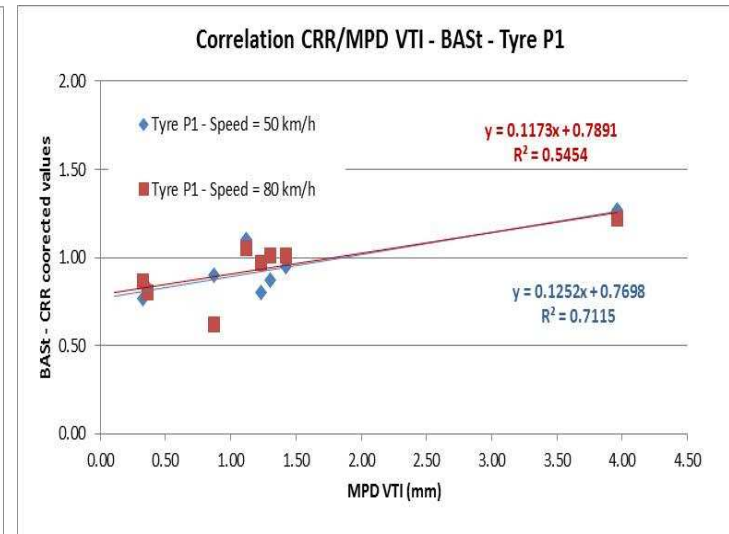
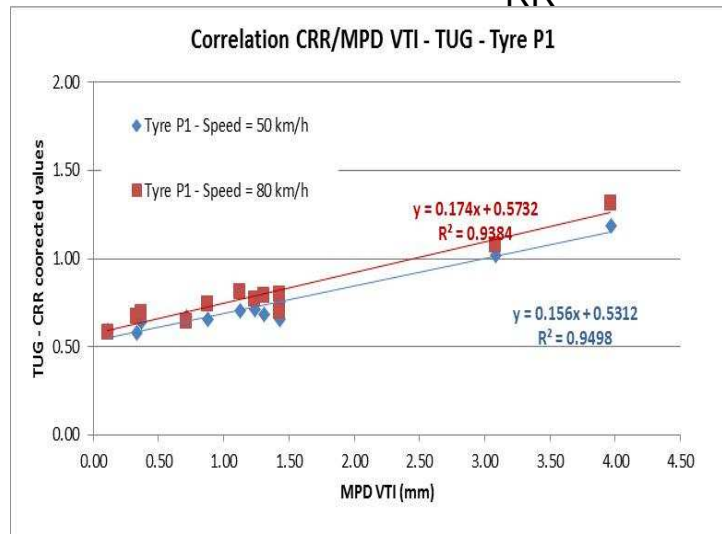


Revêtement vs. effet du pneu



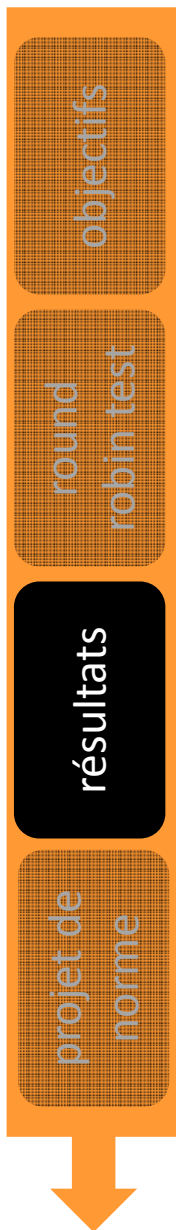
Impact de la texture du revêtement

Corrélations entre C_{RR} et indicateur de texture MPD

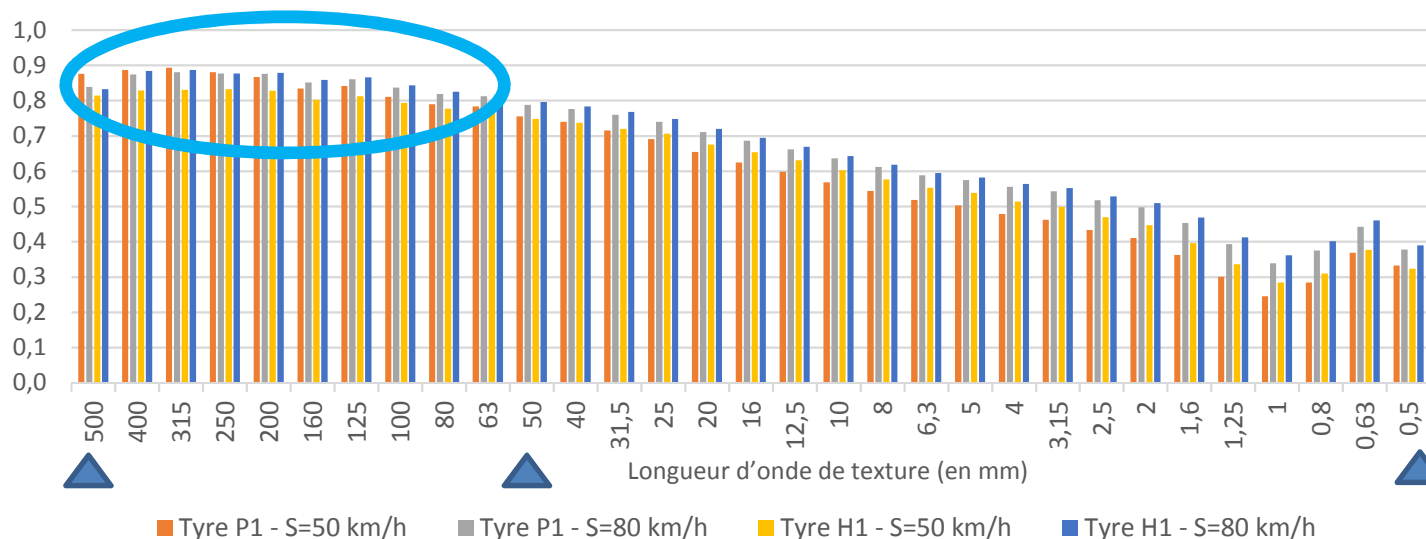


- Relation linéaire claire pour tous les pneus et les appareils
- La qualité de la corrélation dépend de l'appareil

Impact de la texture du revêtement



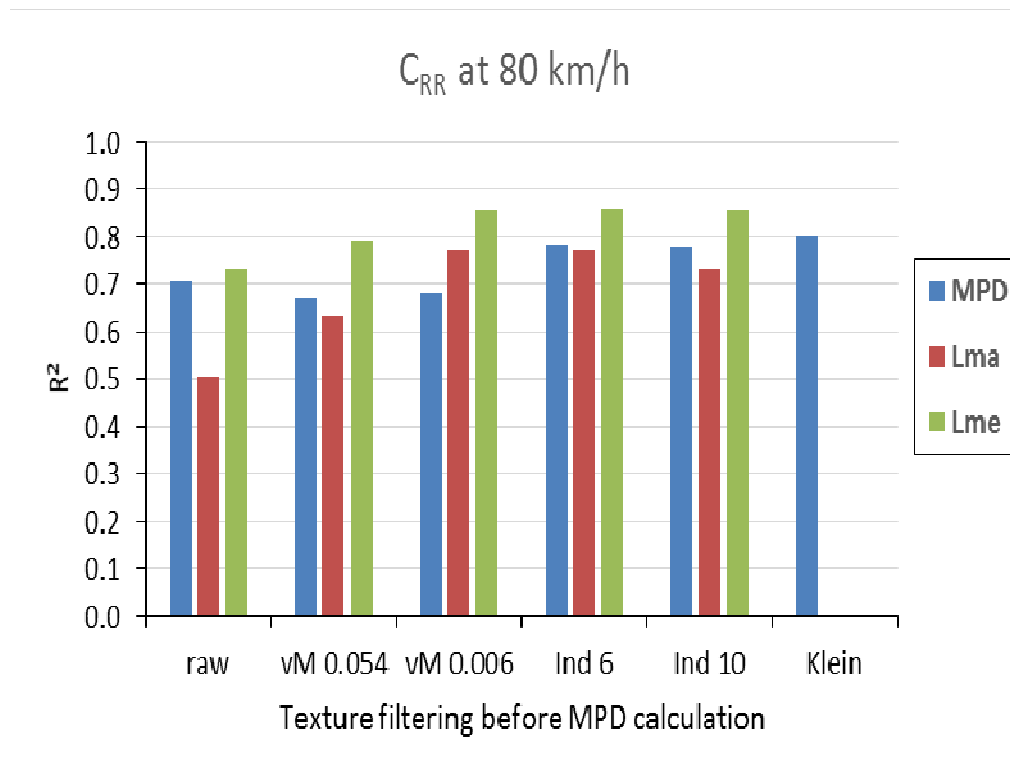
Coefficient de corrélation entre C_{RR} et bandes spectrales de texture



- corrélation claire entre C_{RR} et mégatexture (longueurs d'ondes de ~ 50 à 500 mm) pour toutes les configurations de pneus et de vitesses

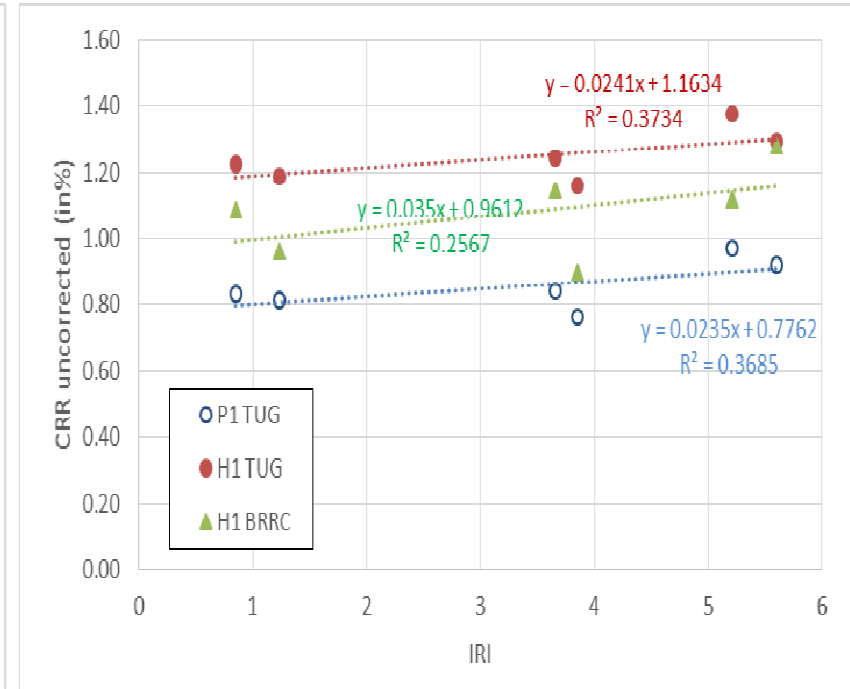
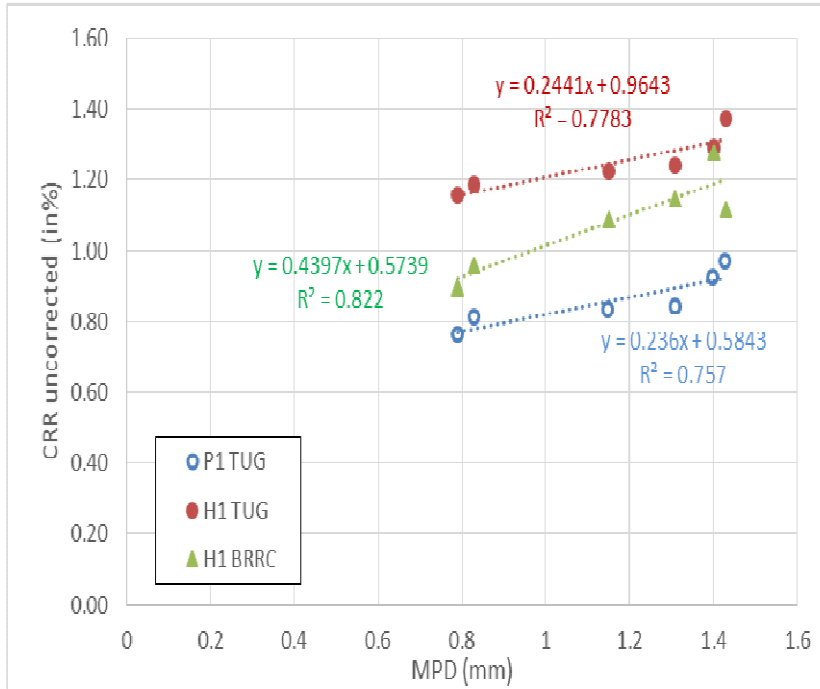
Impact de la texture du revêtement

Corrélation entre C_{RR} et MPD calculés après filtrage du profil de texture avec différentes procédures d'enveloppement



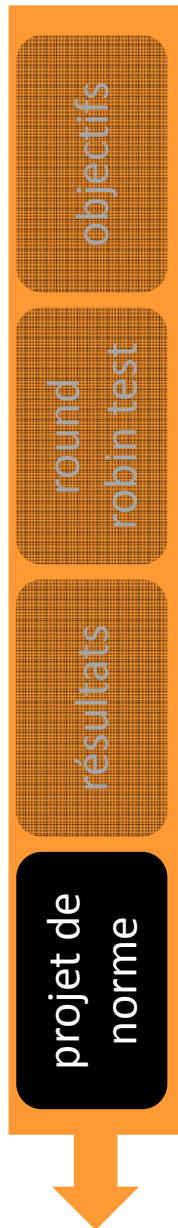
- Bonne corrélation avec **MPD** et **LMe** (niveau de mégatexture)
- Meilleure corrélation lorsqu'on applique une procédure d'**enveloppement**
- Les méthodes d'enveloppement avec fonction de Green [Klein et *al.*] (avancée) et indentation (simple) fonctionnent bien

C_{RR} sur circuit routier



- ✓ Malgré des imprécisions opérationnelles sur route, des différences de vitesse et d'éventuelles pentes, une assez bonne corrélation a été observée entre C_{RR} et MPD
- ✓ Par contre, la corrélation avec IRI est assez mauvaise

Préparation du projet de norme



- **Scope du projet de norme:** mesure de la RR
 - dans des conditions réalistes
 - sur des revêtements routiers réels
 - en utilisant des pneus de référence
 - méthode avec remorque

1. Méthodes d'essai

- **Angle**

p. ex. remorques CRR(ARW1), TUG

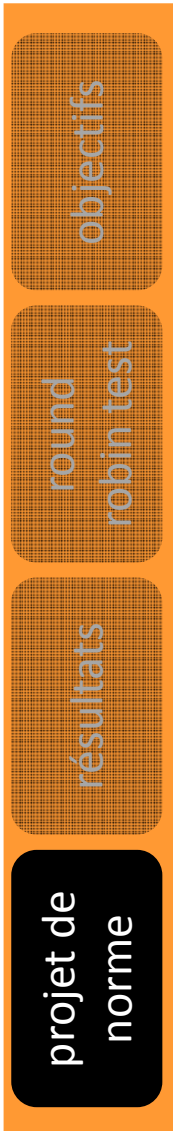
- **Force**

p.ex. remorques CRR (ARW2), BAST



Impact significatif, influence parasite:

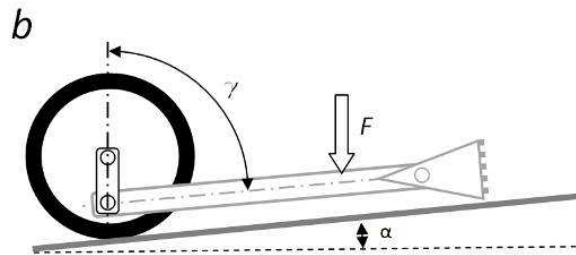
- Pentes
- Angle du véhicule tracteur (carburant et charge du passager)
- Accélération
- Résistance de l'air
- Offset des capteurs
- Pertes de friction
- ...



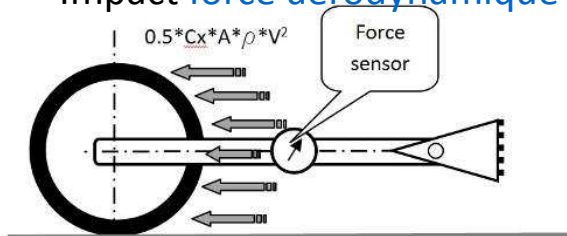
2. Equipement

- Procédures de certification/ calibration

- 1) Test charge pneu
- 2) Impact pente



- 3) Impact accélération/décélération
- 4) Impact force aérodynamique

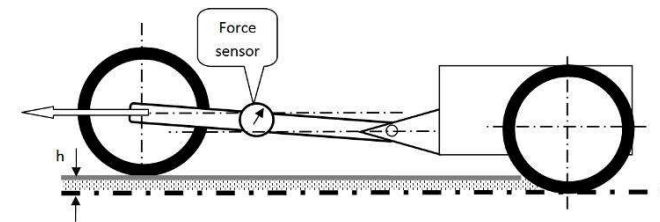


- 5) Calibration des capteurs de température

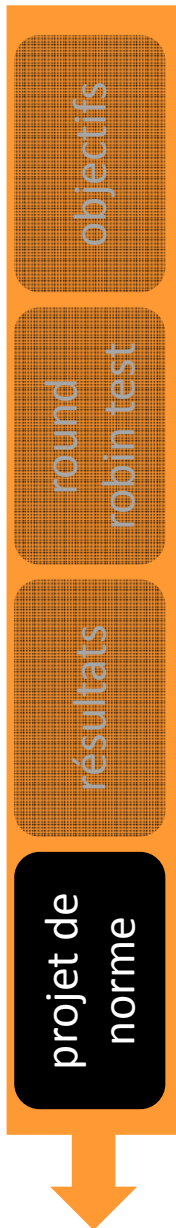
- 5) Calibration capteur gonflement pneu
- 6) Influence taille des pneus



- 7) Calibration équipement de mesure de vitesse
- 8) Calibration capteur RR
- 9) Influence de l'orniérage et du véhicule tracteur



- 10) surface de référence RR pour contrôle



3. Conditions d'essai et météorologiques

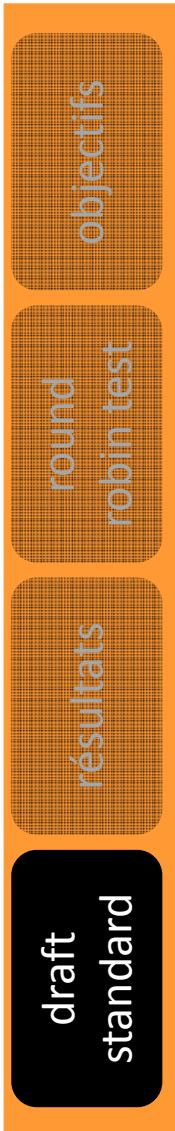
- Vitesses de référence: 80, 50 et 30 km/h
- Charge pneu: p.ex. 4 kN pour P1 et H1
- Gonflement pneu : p.ex. 210 kPa pour P1 et H1
- Mesures de température (air, pneu, revêtement)
- Exigences site d'essai
- Vent
- Intervalle de température
- Humidité et pluie: sec!

4. Procédure

- Conditionnement thermique
- Contrôle de l'état du pneu
- Ajustement de la pression de gonflement
- Chauffe à une vitesse de référence, p. ex. 20 min. pour P1
- Position latérale
- Position longitudinale
- Mesure et enregistrement



projet de
norme



5. Interprétation et analyse des données

- Coefficient de résistance au roulement C_r
- Correction de la température:

$$F_{r20} = F_r [1 + K_t (t_{amb} - 20)]$$

où

F_r résistance au roulement, exprimée en newtons;

t_{amb} température de l'air ambiant, exprimée en degrés Celsius;

K_t constante, ayant les valeurs suivantes:

0,015 pour P1

0,010 pour H1

- Correction pour la pente:
 - Appareil mécanique
 - Conduite dans les deux directions
 - Calculs mathématiques
- Correction accélération/décélération



- D'importantes quantités de **données** ont été collectées et auront un intérêt au-delà de ce projet
- Deux remorques ont présenté des résultats proches en termes de
 - répétabilité à court terme 2 %– 3%
 - répétabilité d'un jour à l'autre 4% - 7%
 - tendances similaires pour le **classement** des revêtements
- La comparabilité des appareils doit être améliorée: les différences sont plus importantes que l'impact du revêtement sur la RR
- Les revêtements testés montrent un **potentiel de réduction** de la RR de 35% à 56% (en fonction du pneu)
- Bonne **corrélation** avec indicateurs de texture : MPD, mégatexture (Lme)
- Les mesures de RR in situ sont très **complexes** et doivent encore faire l'objet d'études
- Meilleure connaissance des **paramètres influents** (pneus H1/P1, charge, T°, humidité, revêtement, etc.)
- Valorisation: future **norme** d'essais

Merci de votre attention

Johan MAECK

Chercheur

Division Environnement - Routes en Béton - Géotechnique - Caractéristiques de Surface

Unité Caractéristiques de Surface, Marquages et Bruit

Centre de recherches routières

Boulevard de la Woluwe 42, 1200 Bruxelles, Belgique

TEL.: +32 (0)2 766 03 48

j.maeck@brrc.be