



STAC

# Comparison of U.S. and French Airport Pavement Design Procedures

---

Comparison of U.S. and French Airport Pavement Design Procedures



- Navneet Garg, PhD : **FAA William J. Hughes Technical Center**
- David BRILL PhD : **FAA William J. Hughes Technical Center**
- Jean-Noël THEILLOUT : **DGAC/STAC**

Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

Présent  
pour  
l'avenir

Service technique de l'aviation civile

# Outline of Presentation

- Summary of Previous FAA/STAC Cooperation Meeting.
- Correlation of material libraries from Alize-Airfield to FAARFIELD and vice-versa.
- Progress on Laboratory Testing and Material Comparisons.



# Summary of Previous FAA/STAC Cooperation Meeting

- ♣ Meeting held June 9-10, Bonneuil-sur-Marne, France.
- ♣ Agreement on common objectives in three areas:

<p>1/ <u>Lab comparison of material properties</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FAA -&gt; STAC: asphalt (P401), subbase (uncrushed and crushed aggregates), subgrade</li> <li>- STAC -&gt; FAA: asphalt materials (including beams for fatigue testing), 2 UGA (gradation available + sample), subgrade (+available characterization)</li> <li>- Crossed reference for material library with agreed material equivalencies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Define quantities and specimen size</li> <li>- Sampling, delivery</li> <li>- Laboratory tests</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- STAC and LCPC (P. Hornysch) review of the FAA draft</li> </ul>	<p>ASAP</p> <p>?</p>
<p>2/ <u>Rigid pavements</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exchange of information on concrete curling:               <ul style="list-style-type: none"> <li>o FAA-&gt;STAC: initial conditions for FEAFAA analyses and STAC computations</li> <li>o early age curling: influence of seasonal effects and early age conditions</li> <li>o behavior of joints under HWD tests (thermal variations)</li> </ul> </li> <li>- STAC-&gt;FAA: bibliography on the determination of Kd</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informal exchange</li> <li>- FAA comments on STAC draft</li> <li>- STAC-&gt; FAA: delivery of data files</li> <li>- Check the compatibility of CarlBro format</li> <li>- Check</li> </ul>	<p>ASAP</p>
<p>3/ <u>Flexible pavements</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FAA-&gt;STAC: bibliography (Carpenter's papers)</li> <li>- FAA-&gt;STAC: NAPTF results used for the validation of the French rational method</li> <li>- characterization of asphalt materials according to the RDEC model</li> <li>- comparisons based on the new HMA fatigue model</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Delivery</li> <li>- STAC definition of the needs (test items: CC1 and CC3)</li> <li>- FAA to make available and in suitable format</li> <li>- Laboratory tests on asphalt samples</li> <li>- FAA-&gt;STAC: delivery of the new HMA fatigue model</li> <li>- STAC and FAA computations for comparisons</li> </ul>	<p>ASAP</p>



# Correlation of Material Libraries

- ♣ Related to cooperative material testing program currently in progress.
- ♣ Cross-referencing should be based on a correct understanding of the relevant material specifications & standards (i.e., not just on matching *E*-moduli).
- ♣ Relevant materials:
  - \_ FAA: AC 150/5370-10E, AC 150/5320-6E, ASTM standards
  - \_ LCPC/STAC:
    - λ French Design Manual for Pavement Structures – Guide technique.
    - λ Guide to Application of Standards (GAN) – Bituminous mixtures and surface dressings for airport pavements (2009).
    - λ Relevant NF EN series European standards.



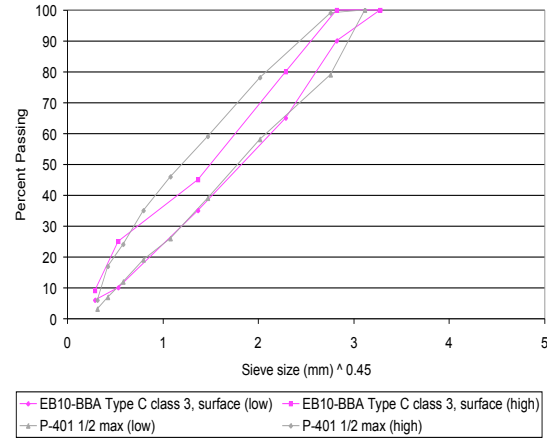
# Preliminary Cross-Reference Table

BITUMINOUS MATERIALS			
bb	surface asphalt	P-401	
bbdr	surface asphalt, roads only		no FAA equivalent
bbme	surface asphalt, high modulus	P-401	
gb1	base HMA	P-401/P-403	
gb2	base HMA	P-401/P-403	
gb3	base HMA *most common	P-401/P-403	
gb4	base HMA	P-401/P-403	
eme1	base HMA – high modulus	P-401/P-403	not commonly used
eme2	base HMA – high modulus	P-401/P-403	
HYDRAULICALLY BOUND MATERIALS			
gc3	cement-treated graded aggregate, 2-3% cement	P-304	
gc4	cement-treated graded aggregate, higher % cement	P-304	
gcv	fly ash-bound graded aggregate		no FAA equivalent
glg	?		
glp	slag-bound graded aggregate		no FAA equivalent
glp+ch	?		
glr	?		
sc3	cement-treated sand	P-301	
sc2	cement-treated sand	P-301	
sc1	cement-treated sand	P-301	
sl3	slag-bound sand		no FAA equivalent
sl2	slag-bound sand		no FAA equivalent
sl1	slag-bound sand		no FAA equivalent
bcc	?		
CEMENT CONCRETE			
bc5	PCC strength class 5	P-501	E = 35000 MPa
bc4	PCC strength class 4	P-501	E = 24000 MPa
bc3	PCC strength class 3		
bc2	PCC strength class 2	P-306	lean concrete

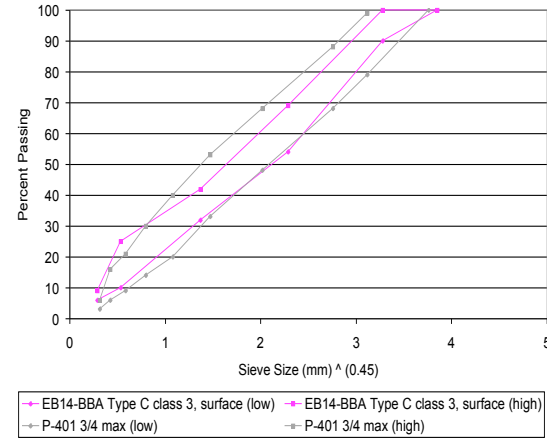
UGA (Untreated Graded Aggregate) FLEXIBLE PAVEMENT			
gnt1	GNTB=GRH= humidified graded aggregate	P-209/P-154	use layer subdivision for subbase
gnt2	GNTA used for "capping" layers	P-154	use layer subdivision for subbase
gnt3		P-154	use layer subdivision for subbase
UGA in bb/gb AND INVERTED PAVEMENT			
gnt-be	GNT used for base/subbase in thick bituminous (be) structure	P-209/P-154	use layer subdivision for subbase
gnt-inv	GNT used for base/subbase in inverted (inv) structure		Inverted pavements not FAA standard
SOILS			
pf1	pavement formation class 1	subgrade	E=20 MPa (3000 psi)
pf2	pavement formation class 2	subgrade	E=50 MPa (7500 psi)
pf3	pavement formation class 3	subgrade	E=120 MPa (18000 psi)
pf4	pavement formation class 4	subgrade	E=200 MPa (30000 psi)

# Comparison of Aggregate Gradations P-401 versus French Surface and Base Mixes

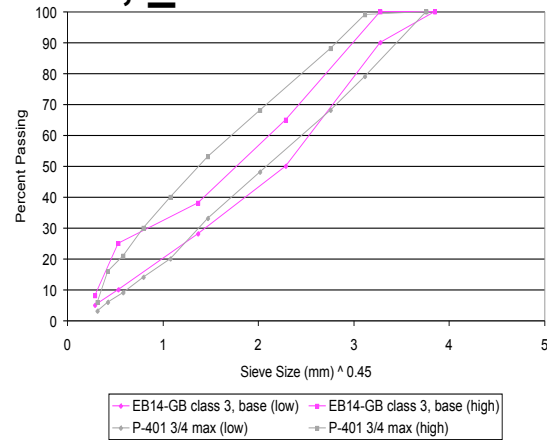
## Surface, 1/2 in. Max.



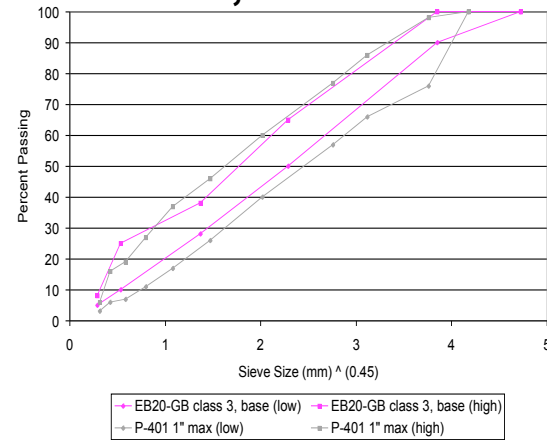
## Surface, 3/4 in. Max.



## Base, 1/2 in. Max.



## Base, 1 in. Max.



# Outline of Presentation

- ♣ Summary of Previous FAA/STAC Cooperation Meeting.
- ♣ Correlation of material libraries from Alize-Airfield to FAARFIELD and vice-versa.
- ♣ Progress on Laboratory Testing and Material Comparisons.



# Progress on Laboratory Testing

- U.S. material samples received by STAC April 2011:
  - (2) Econocrete (lean concrete) beams, Item P-306, in steel molds.
  - (3) Econocrete (lean concrete) cylinders, Item P-306.
  - (2) Blocks of asphalt base material, Item P-403.
  - (4) Buckets and (1) bag of crushed aggregate base material, Item P-154 (Crushed quarry screenings).
- All materials from NAPTF test items.
- Testing is in progress.





## Progress on Laboratory Testing

- French materials received by FAA November 2010:
  - Asphalt materials from 1995 facility:
    - 101x69x20 cm block (includes surface and base HMA layers).
  - Asphalt materials from Bonneuil instrumented facility:
    - 63x54x21 cm block (includes surface and base HMA layers).
    - 6 HMA cores of varying depth.
  - Approximately 150 kg of bagged GNT2 (capping layer) from Bonneuil instrumented facility.
- Materials are currently being tested.



# Testing Program – French Materials

## • Asphalt Materials:

- Dynamic modulus and flow number (AASHTO TP-79)
- Beam Fatigue (AASHTO T321)
- Permanent Deformation
- Binder extraction analysis
  - Aggregate gradation.
  - Binder content & PG.
- Asphalt Pavement Analyzer (APA) rutting performance

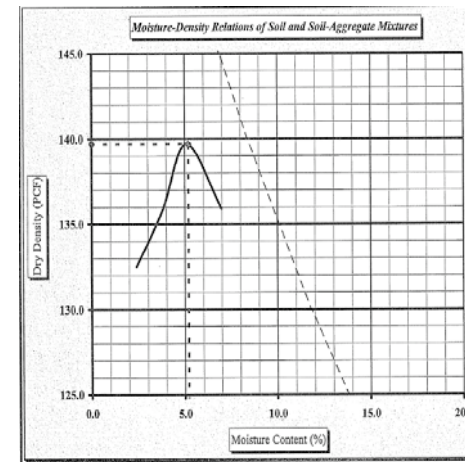
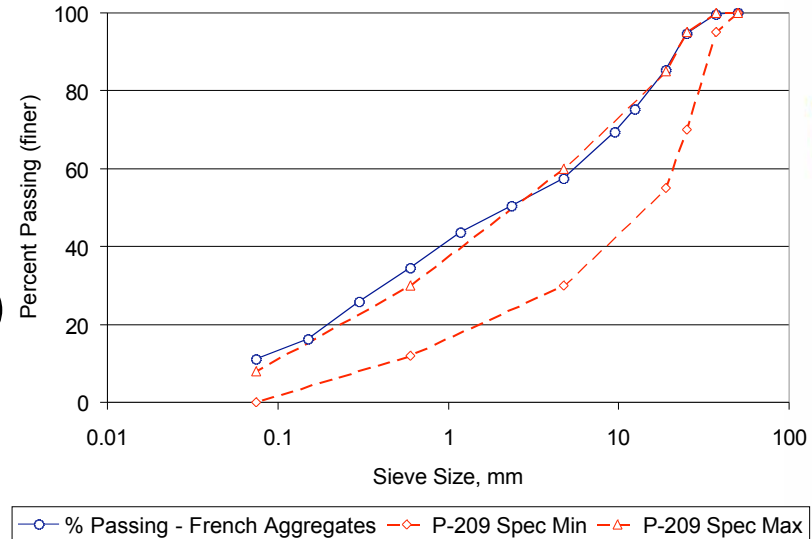
## • Aggregate Materials:

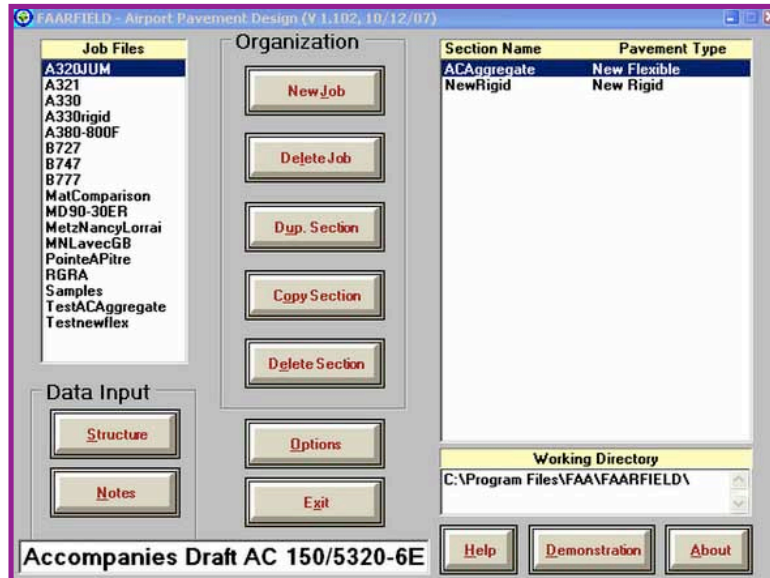
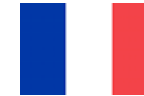
- Washed gradation analysis (ASTM C136, C117).
- Atterberg Limits.
- Moisture-Density Curve (Modified Proctor).
- Resilient Modulus (AASHTO T307) including quick shear vs. strain.



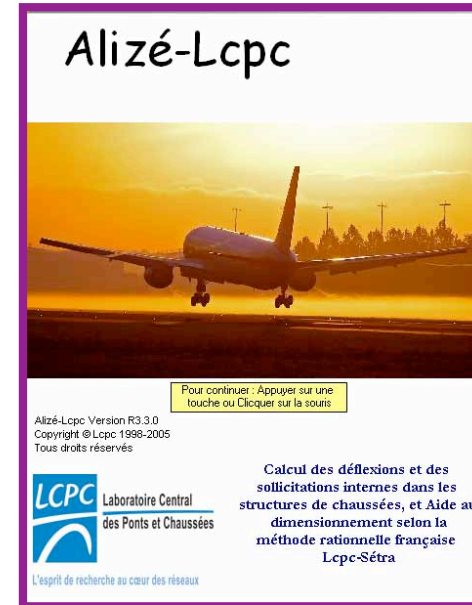
# Summary of Aggregate Test Results

- Moisture-Density
  - ASTM D1557 reports  
 $\rho_{dmax} = 139.7$  pcf (2.34 tcm)  
 $w_{opt} = 5.2\%$ .
  - Discrepancy with STAC results ( $w_{opt} = 6.5\%$ ).
- Atterberg Limits
  - LL = 24, PI = 8, USC = CL
- Sieve Analysis
  - Material is outside the gradation limits for P-209.





Logiciel US: FAARFIELD devient en septembre 2009 le logiciel de dimensionnement des chaussées (AC 150/5320-6E)



Logiciel français: ALIZE-Aéronautique n'est pas encore opérationnel pour le dimensionnement mais il est utilisé à des fins de recherche et d'expertise

# Principales améliorations

## Méthode CBR

**Prise en compte du trafic:** nécessité de recourir à des procédures pour se ramener à une charge simple ou un avion

**Balayage latéral:** la prise en compte du balayage est indépendante

La chaussée est prise en compte suivant un modèle de Boussinesq

## Méthode rationnelle

Le trafic peut-être entièrement pris en compte

US: le recouvrement (Pass-to-coverage ratio) dépend de l'épaisseur de la structure; le balayage latéral est fixé à  $\sigma=0.775\text{m}$  (30.5 in.)

FR: Les contraintes sont calculées en tous points et pour toutes les positions des aéronefs

Introduction de :

- L'analyse élastique multicouche
- De l'endommagement (cumul des dommages suivant la loi de Miner)

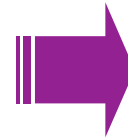
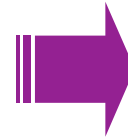
- Cumul des dommages =  $\sum (n_i/N_i)$ 
  - $n_i$  nombre de recouvrement  $i$
  - $N_i$  nombre admissible de recouvrement

# Principales améliorations

## Méthode CBR

**Critères de rupture:**  
- Contrainte verticale de compression au sommet du sol support

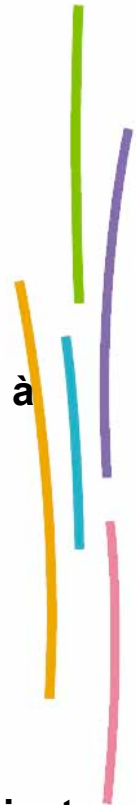
Définit une épaisseur équivalente protéger le sol support.  
La structure de chaussée est déduite de cette épaisseur équivalente



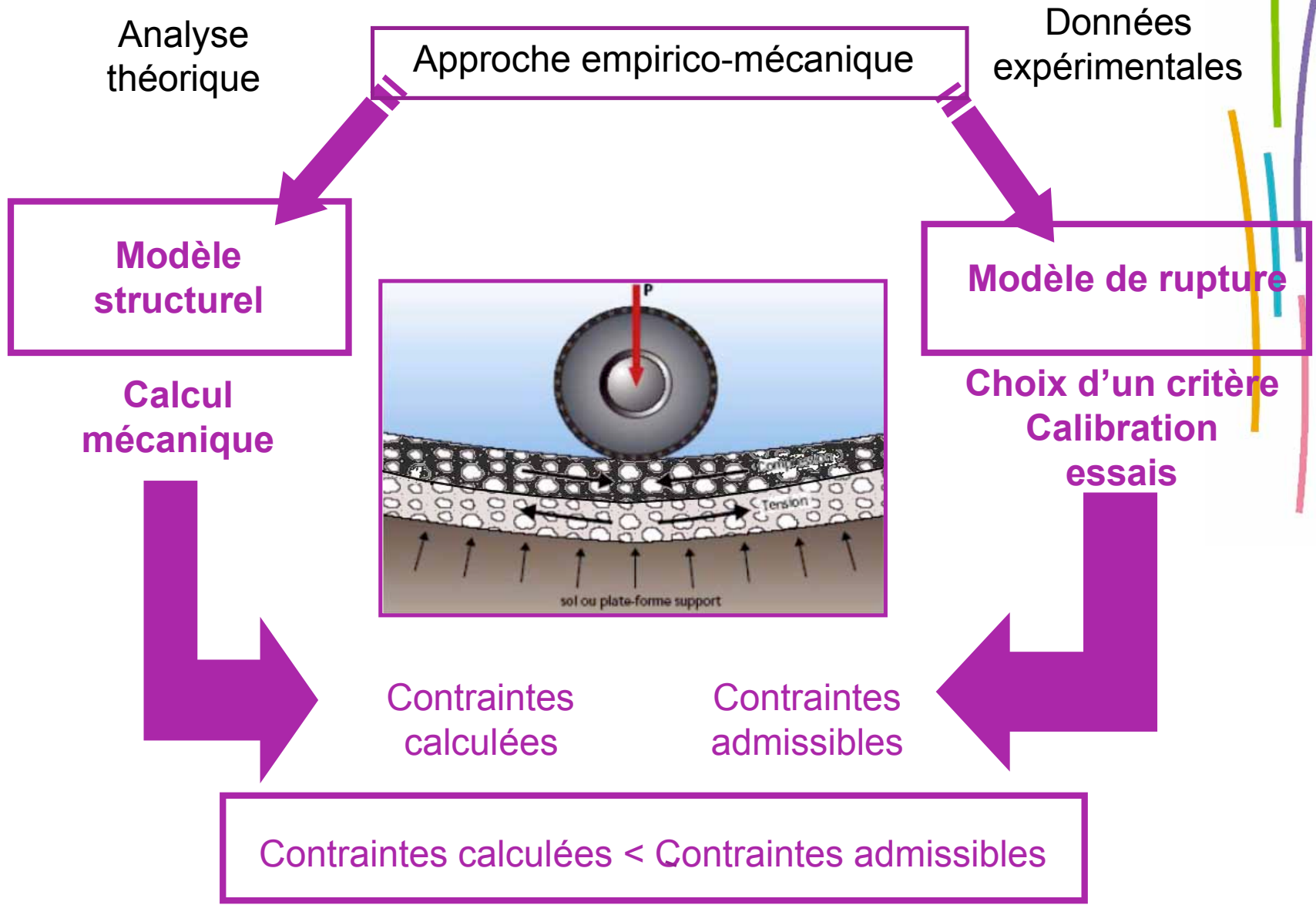
## Méthode rationnelle

**Critères de rupture:**  
- Contrainte de traction horizontale à la base des couches hydrocarbonées  
- Contrainte verticale de compression au sommet du sol support

Les données matériaux sont les modules d'élasticité et les coefficients de Poisson.  
• Possibilité d'introduire des matériaux nouveaux ou de nouvelles pratiques de construction  
• Possibilité de prendre en compte la fatigue de matériaux, les effets saisonniers et journaliers ainsi que la vitesse de chargement



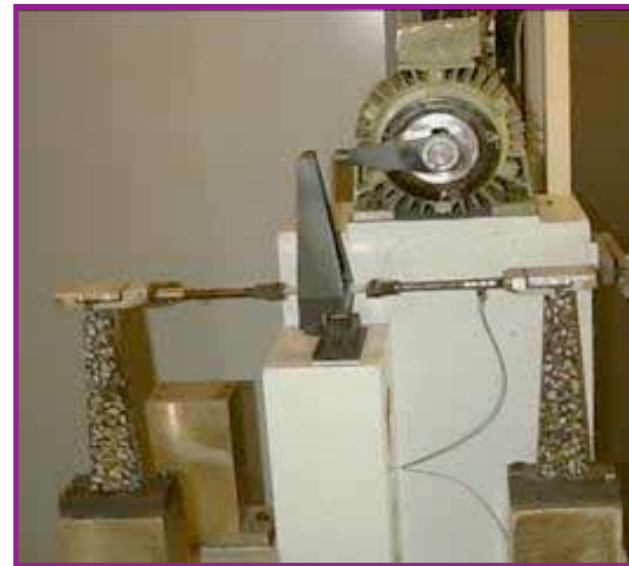
# Détermination des contraintes admissibles



# Critères de rupture

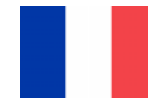


Les critères de ruptures sont déterminés par des essais en vraie grandeur sur les pistes couvertes du National Airport Pavement Test Facility (Atlantic City, NJ)



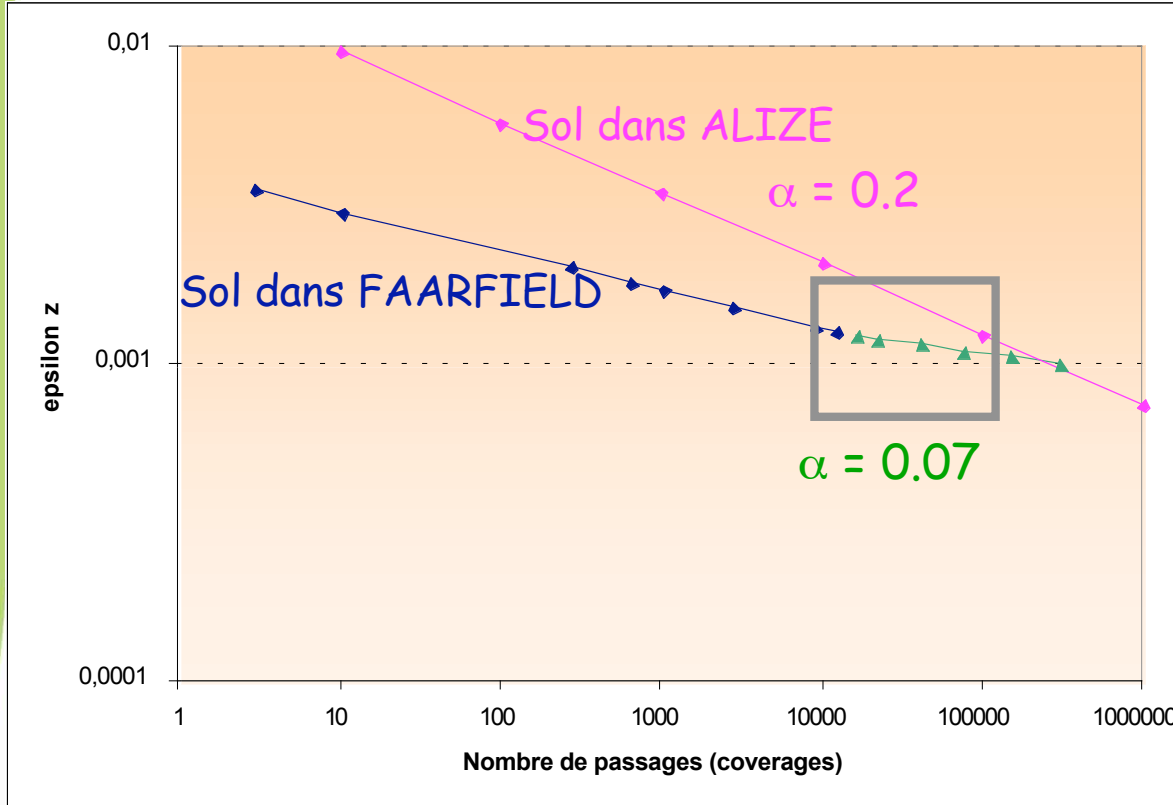
Les critères de rupture sont déterminés :

- Pour les couches d'enrobés par des essais de fatigues
- Pour les matériaux non-traité et le sol par des critères issus de l'expérience routière.





# Courbe de Wolher



Au sommet  
du sol  
support

Contraintes  
admissibles  
Alizé > Faarfield

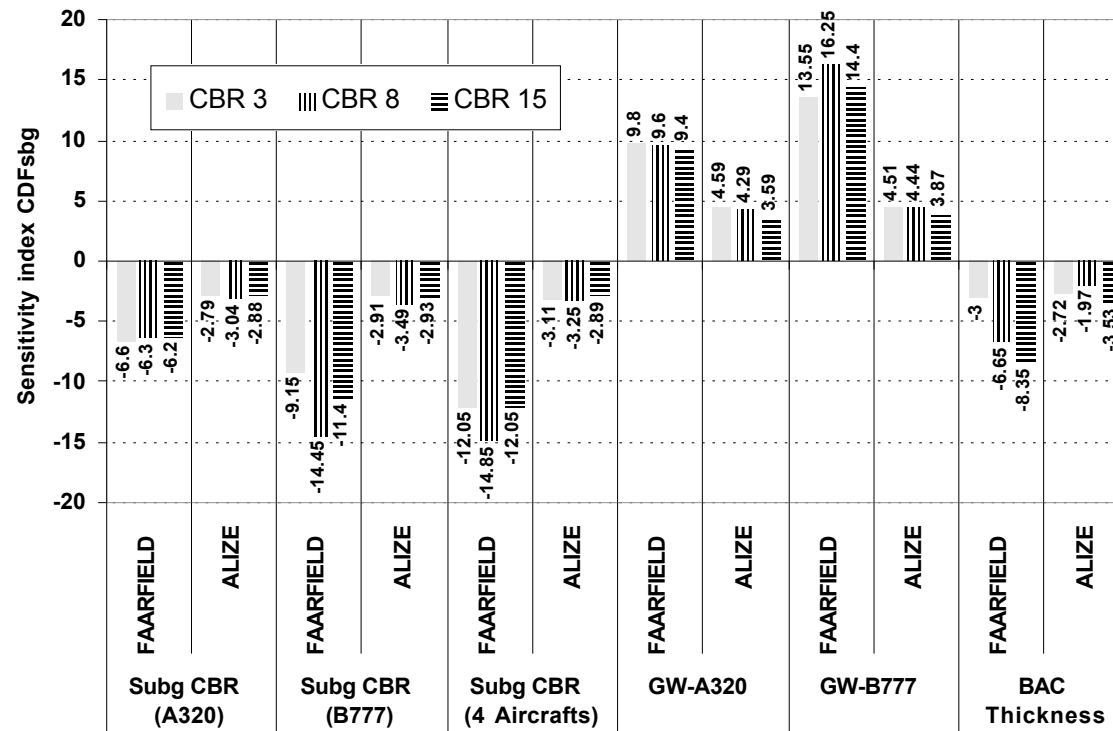
Epaisseurs  
calculées

Alizé < Faarfield

# Etudes comparatives: 1/ étude de sensibilité

But : mesurer la variation du dimensionnement par variation des paramètres d'entrée (critère sur le sol support : sensibilité de l'endommagement calculé au sommet du sol support par les deux logiciels)

- ✿ Dans les deux logiciels, l'endommagement est plus sensible aux variations du chargement et au variation du CBR du sol support qu'à la variation d'autres variables d'entrée (épaisseur et modules des couches de chaussée, nombre de passages d'avions).
- ✿ Globalement FAARFIELD est plus sensible aux variations des variables d'entrée qu'ALIZE-Aéronautique(ceci peut-être dû à la détermination empirique des critères de rupture du sol support).



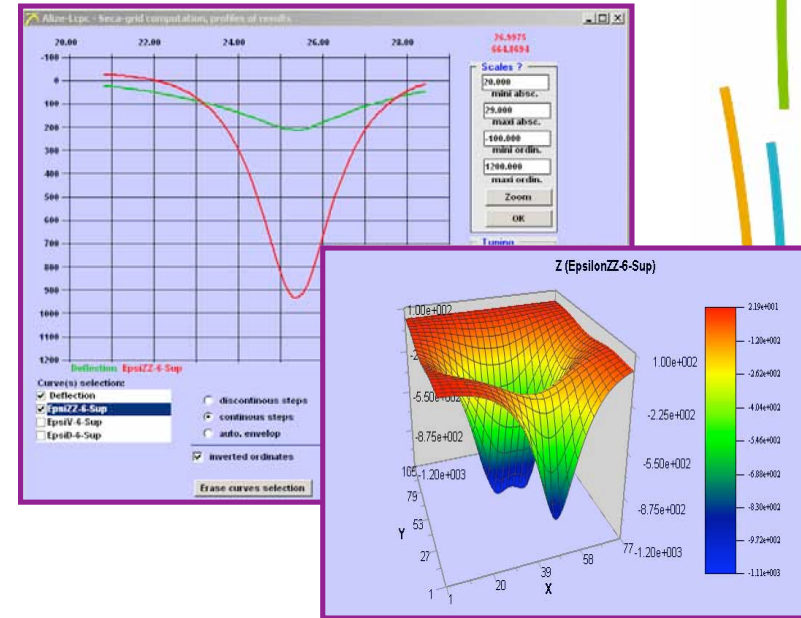
# Etudes comparatives : 2/ valeurs calculées

## Fichier de sortie FAARFIED

```

Aircraft No.6 MD11ER Belly
Eval Point = 1 Layer No. = 6
X.Coord. = 18.750 Y.Coord. = 0.000 Z.Depth = 37.528337
VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5.5247E+00 6.31931E-01 1.32401E-01 -9.8246E-01 0.00000E+00 0.00000E+00
Strain 7.89165E-04 3.48072E-04 2.51519E-04 -3.6913E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
Disph 7.34651E-02 0.00000E+00 5.09495E-03
Eval Point = 2 Layer No. = 6
X.Coord. = 14.063 Y.Coord. = 0.000 Z.Depth = 37.528337
VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5.7122E+00 6.62325E-01 1.9155E-01 -7.3294E-01 0.00000E+00 0.00000E+00
Strain -4.17691E-04 3.53000E-04 2.66532E-04 -2.6914E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
Disph 7.45076E-02 0.00000E+00 3.8819E-03
Eval Point = 3 Layer No. = 6
X.Coord. = 9.375 Y.Coord. = 0.000 Z.Depth = 37.528337
VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5.62739E+00 6.83070E-01 2.21041E-01 -4.8176E-01 0.00000E+00 0.00000E+00
Strain -4.35995E-04 3.59904E-04 2.75641E-04 -1.76974E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
Disph 7.52492E-02 0.00000E+00 2.61648E-03
Eval Point = 4 Layer No. = 6
X.Coord. = 0.000 Y.Coord. = 0.000 Z.Depth = 37.528337
VERT STR HOR Y STR HOR X STR XZ SHEAR YZ SHEAR XY SHEAR
Stress -5.90795E+00 6.98743E-01 2.34438E-01 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
Strain 8.48239E-04 3.65234E-04 2.79954E-04 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
    
```

## Graphiques ALIZE-Aéronautique



- A charges égales et structures identiques les déformations et contraintes calculées par les deux programmes sont quasiment identiques
- Les déformations correspondent aux déformations mesurées par les capteurs mis en place dans les chaussées expérimentales en France (PEP) et aux US (NAPTF)

# *En guise de conclusion*

- ♣ Du travail de comparaison reste à faire en ce qui concerne les chaussées rigides et les chaussées renforcées.
- ♣ Ces approches basées sur la méthode rationnelle n'est plus compatible avec les méthodes relatives à la définition de l'ACN des avions et du PCN des chaussées aéronautiques.

