Annex 1

PROCEDIMENT DE L'ASSAIG DE FATIGA AMB LA PRESA COOPER NU-14

(NORMA 12697-24 ANNEX E)

Índex

1. Instal·lació de la proveta 2
1.1. Preparació de la proveta 2
1.2. Praparació de l'aparell d'aplicació de la carrega 4
1.3. Posem la proveta a l'aparell 5
1.4. Posem la proveta a la màquina Cooper 7
2. Arranquem el programa 8
2.1. Iniciació del programa i insersió de dades 8
2.2. Podem els captors de desplaçament 9
3. Comença l'assaig 10
3.1. Verificacions 10
3.2. Recollida de dades 11

1. Instal·lació de la proveta

1.1. Preparació de la proveta

Comencem l'assaig elegint els quatre punts, alineats perpendicularment, que presentin un millor aspecte a la superfície per a enganxar-hi les barres que suportaran els captors de desplaçament i per aplicar-hi les forces.

Per això, elegim primerament a vista els quatre punts i els alineem amb l'ajuda del pràctic dibuix que veiem a la foto següent.

Figura 1

Col·locant la proveta al damunt podem marcar els quatre punts que ens ajudaran a alinear els captors i els punts d'aplicació de les forces.

Figura 2

Un cop marcats aquest punts, situem la proveta a l'aparell especialment dissenyat per fixar les barres de suport dels captors. A la foto següent podem veure la proveta situada . Podem veure com s'està procedint a la seva alineació pel costat esquerra, per verificar que realment es troba al mig de l'aparell, ben centrada i simètrica.

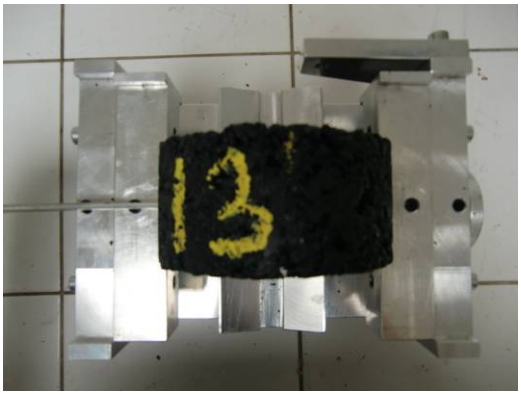


Figura 3

Un cop la proveta situada procedim a enganxar les barres, aquestes barres han de ser fixades amb la màxima precisió per garantir la precisió de l'assaig. En les figures següents veiem com s'enganxen les barres amb l'ajuda de l'aparell especialment dissenyat per aquesta funció. Instal·lant els dos cilindres que podem veure a la figura 6 mantenim les barres sota pressió durant uns segons per tal d'endurir la cola i fixar les barres.

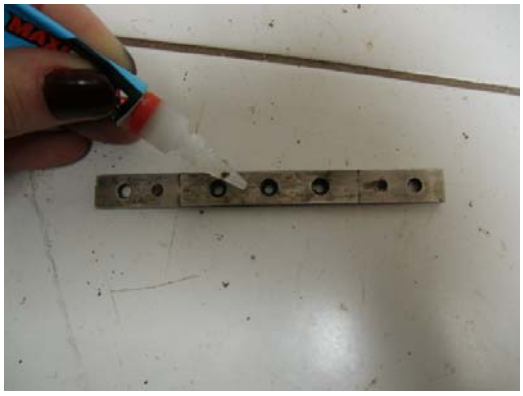


Figura 4

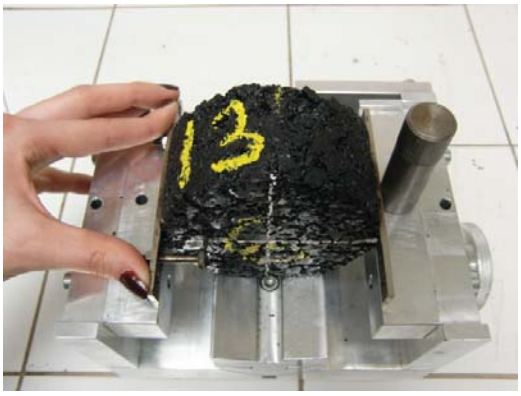


Figura 5

Figura 6

1.2. Preparació de l'aparell d'aplicació de la carrega

Un cop preparada la proveta preparem l'aparell que la mantindrà i li aplicarà la força. Primer disposem dos tubs de plàstic, com veiem a la figura 8, per tal d'evitar que la part superior (part que instal·larem més endavant i podem veure a la figura 11) caigui sobre els captors en el trencament de la proveta.

Figura 7

Figura 8

Per instal·lar la part superior de l'aparell, hem de tenir en compte que aquesta llisca gracies a petites bitlles, així doncs, cal engrassar-la abans d'instal·lar-la com mostra la figura 11 per tal de que llisqui correctament quan les carregues repetides siguin aplicades.

Figura 9

Figura 10

Figura 11

1.3. Posem la proveta a l'aparell

Un cop preparat tot l'aparell d'aplicació de la força, cal posar-hi la proveta, assegurant-se de que esta situada al mig i els captors estaran completament perpendiculars a l'aplicació de la força.

Figura 12

Figura 13

Figura 14

Abans de posar-la a la maquina Cooper cal posar-hi una petita bitlla sobre de la part superior de l'aparell d'aplicació de la força per garantir que aquest no es mourà amb l'aplicació repetida de les forces.

Figura 15

Finalment la situem a la maquina Cooper, amb dos protectors que podem veure a la figura 17, per evitar la projecció de partícules al seu trencament. Darrera d'aquests protectors col·loquem dues esponges per evitar que aquests danyin la maquina amb la força aplicada.

1.4. Posem la proveta a la màquina Cooper

Figura 16

Figura 17

Figura 18

2. Arranquem el programa

2.1. Iniciació del programa i inserció de dades

Comencem l'assaig. Primerament, cal assegurar-se de que la maquina està encesa i que hi ha els captors LVDT de l'assaig de fatiga connectats (i no els de l'assaig de mòdul com seria possible realitzar amb la mateixa màquina Cooper).

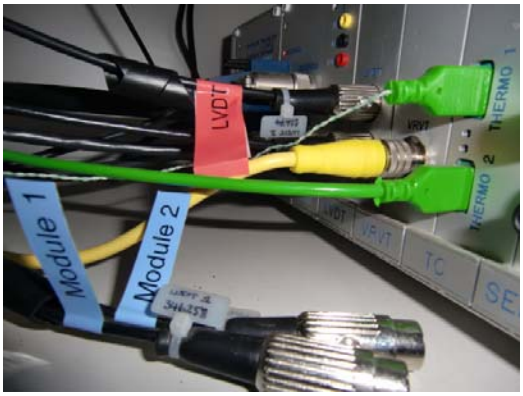


Figura 19

Engeguem el programa i trobem la pantalla següent (figura 20) i procedim com ens demana el programa i com veiem en les figures que segueixen definint el nom de la proveta i introduïm el diàmetre, l'alçada i la força que volem aplicar:

Figura 20

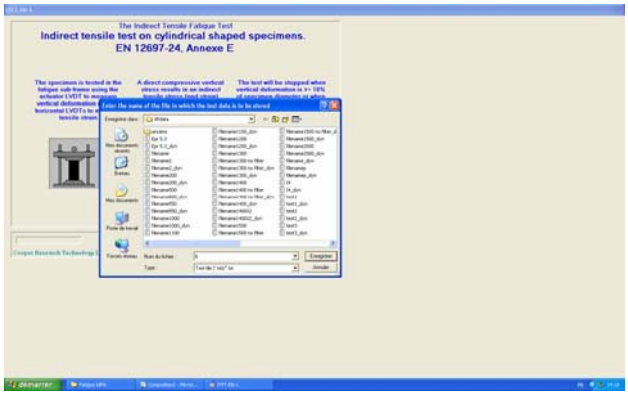


Figura 21

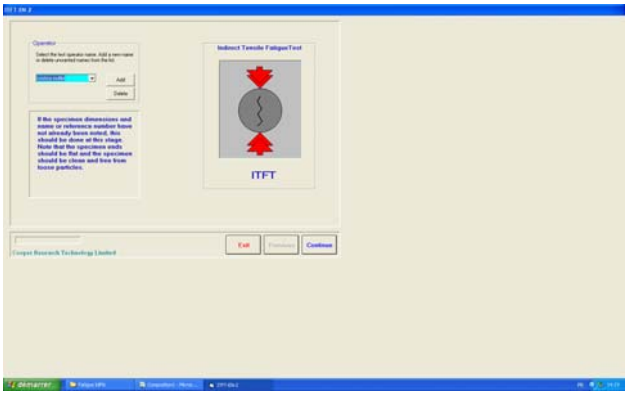


Figura 22

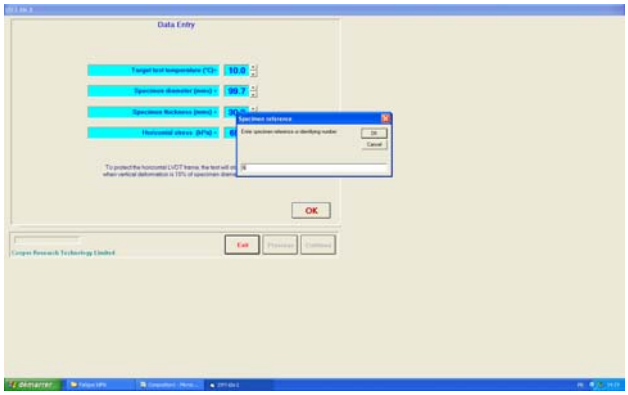


Figura 23

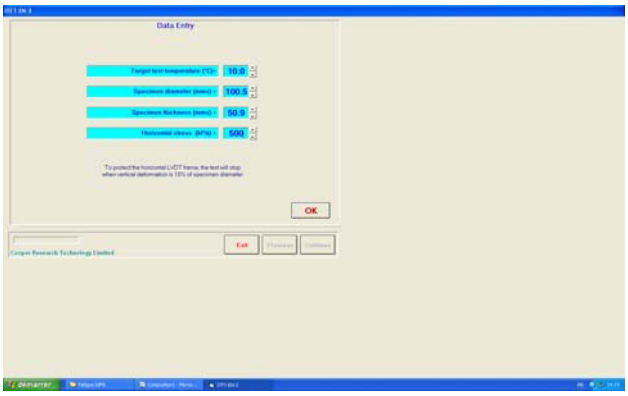


Figura 24

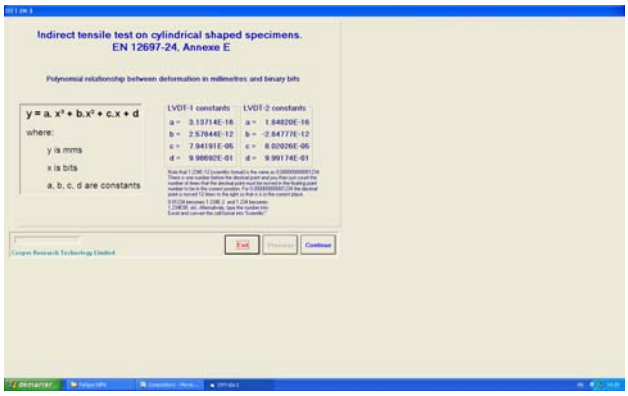


Figura 25

2.2. Podem els captors de desplaçament

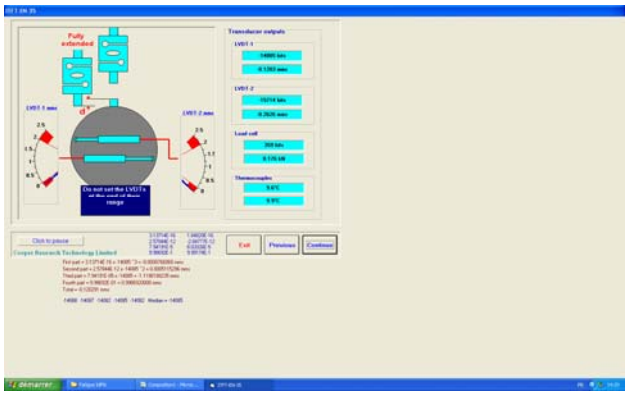


Figura 26

Arribats a la pantalla anterior hem de col·locar els captors com indica la figura següent per tal de verificar que, tant el captor LVDT-1 com el LVDT-2, es troben a una distància d' aproximadament 1.95bits per tal de que estiguin en el seu punt òptim tant a l'hora d'allargar-se com d'escurçar-se. Si aquests s'han de collar una mica més o descollar, es farà amb les eines adequades com veiem en la figura 29.

Figura 27

Figura 28

Figura 29

3. Comença l'assaig

3.1. Verificacions

Un cop ben instal·lada la proveta amb els captors adients, tanquem la màquina Cooper i esperem a que la temperatura s'estabilitzi per tal de realitzar l'assaig amb una temperatura constant i homogènia. Durant aquesta estona podem verificar que la premsa està connectada i que estem a 0.9 MPa per tal de poder aplicar les carregues corresponents.

Figura 30

Figura 31

3.2. Recollida de dades

Un cop la màquina estabilitzada podem clickar "Start test" i començar l'assaig, verificant que l'"Initial dynamic horitzontal μstrain" indicada a la figura 33 al cap de 100 cicles és la correcte i la que ens convé per traçar la recta logarítmica N_f-μdef amb la màxima precisió possible.

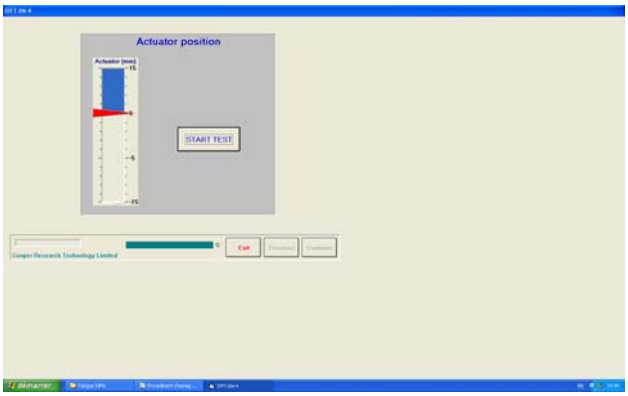


Figura 32

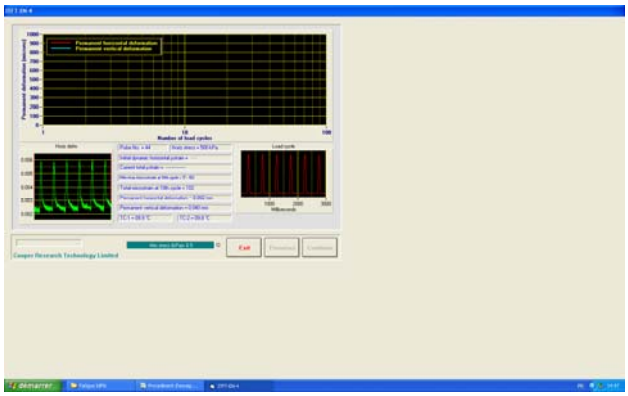


Figura 33

Figura 34

A la figura següent veiem l'aspecte de la pantalla mostrada pel programa un cop la proveta ha trancat, indicant el nombre de cicles que ha fet abans d'aquest trencament així com la deformació inicial trobada calculada entre els 60 i els 100 cicles.

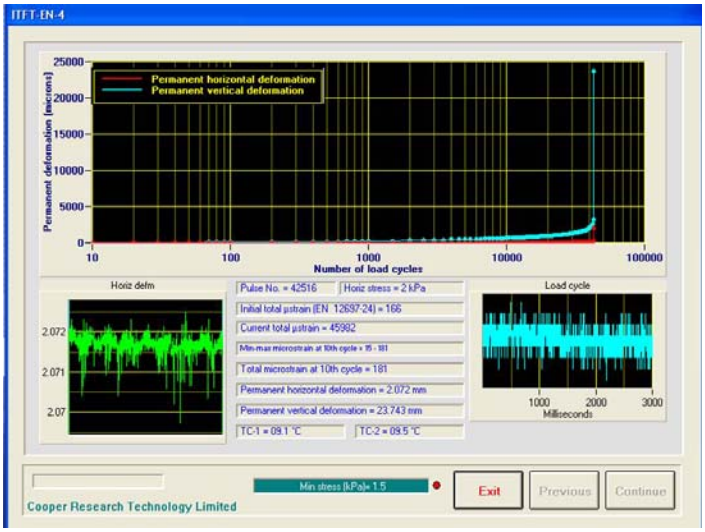

ITFT-EN-4
Permanent horizontal deformation
Permanent vertical deformation
Permanent deformation (microns)
25000
20000
15000
10000
5000
0
10
100
1000
10000
100000
Number of load cycles
Horiz defm
2.072
2.071
2.07
Pulse No. = 42516
Horiz stress = 2 kPa
Initial total µstrain (EN 12697-24) = 166
Current total µstrain = 45982
Min-max microstrain at 10th cycle = 95 - 181
Total microstrain at 10th cycle = 181
Permanent horizontal deformation = 2.072 mm
Permanent vertical deformation = 23.743 mm
TC-1 = 09.1 °C
TC-2 = 09.5 °C
Load cycle
1000
2000
3000
Milliseconds
Min stress (kPa) = 1.5
Exit
Previous
Continue
Cooper Research Technology Limited

Figura 35

Annex 2

ASSAIGS PER DETERMINAR LA FATIGA

(Annex del capítol 5)

Índex

5.1. Assaig de flexió en dos punts sobre provetes trapezoïdals 3
5.1.1 Equipament 3
5.1.2 Provetes 4
5.1.3 Procediment 4
5.1.4 Estudi dels resultats 4
5.2. Assaig de flexió en dos punts sobre provetes prismàtiques 5
5.2.1 Equipament 5
5.2.2 Dimensionament de les provetes 5
5.2.3 Procediment 6
5.2.4 Estudi dels resultats 6
5.3. Assaig de flexió en tres punts sobre provetes prismàtiques 7
5.3.1 Equipament 7
5.3.2 Dimensionament de les provetes 7
5.3.3 Procediment 8
5.3.4 Estudi dels resultats 8
5.4. Assaig de flexió en quatre punts sobre provetes prismàtiques 9
5.4.1 Equipament 9
5.4.2 Dimensionament de les provetes 10
5.4.3 Procediment 11
5.4.4 Estudi dels resultats 11
5.5. Assaig de tracció indirecte sobre provetes cilíndriques 12
5.5.1 Equipament 12
5.5.2 Dimensionament de les provetes 13

5.5.3 Procediment 13
5.5.4 Estudi dels resultats 14
5.5.5 Informe de l'assaig 17

5.1. Assaig de flexió en dos punts sobre provetes trapezoïdals

Aquest mètode caracteritza el comportament de les mescles bituminoses sotmeses a carrega de fatiga amb un desplaçament controlat per flexió en dos punts, utilitzant provetes trapezoïdals. Aquest mètode pot ser utilitzat per mescles bituminoses, amb àrids de granulometria màxima 20 mm, sobre provetes preparades al laboratori o obtingudes de capes de carretera amb una espessor de 40 mm com a mínim. Per mescles amb una granulometria màxima D, compresa entre 20 mm i 40 mm, l'assaig pot realitzar-se utilitzant el mateix principi, però adaptant les mides de les provetes. Per una freqüència de desplaçament sinusoïdal donada, el mètode ha de realitzar-se sobre diversos elements assajats en una atmosfera ventilada i a una temperatura controlada.

5.1.1 Equipament

Per a realitzar aquest assaig cal una màquina capaç d'aplicar un desplaçament sinusoïdal a la part superior de la proveta amb una freqüència fixa de 25±1Hz i a altre freqüències amb una tolerància de ±4%.

Necessitem també una càmera termostàtica ventilada i capaç de mantenir la temperatura de la base metàl·lica de les provetes i de fixar una temperatura mitja del corrent d'aire a desenes de mil·límetres de la proveta amb una precisió de ±1°C durant tot l'assaig.

Finalment, cal un equip de mesura capaç de mesurar la força a la part superior de les provetes i el desplaçament a la part superior de les provetes utilitzant sensors.

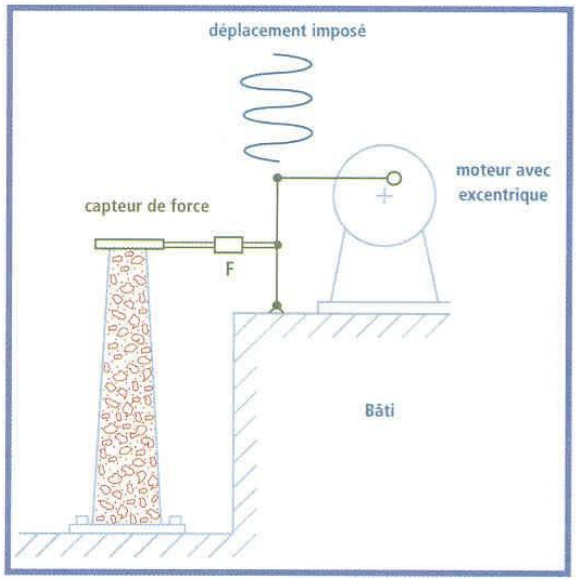


Figura 1 Assaig de fatiga amb provetes trapezoïdals segons l'annex A de la norma EN 12697-24

5.1.2 Provetes

Les provetes han de tenir forma trapezoïdal isòsceles, d'espessor constant; les seves mides han de tenir una precisió de 0.1mm. És per això que cal una serra elèctrica informatitzada (aparell que encareix força l'assaig).

Foto 1 Proveta trapezoïdal per a l'assaig de fatiga segons l'annex A.

5.1.3 Procediment

Per a realitzar aquest assaig cal empotrar les provetes per la base inferior a una profunditat de 2mm aproximadament, amb una pel·lícula de cola tan fina com sigui possible. La proveta es posarà dins de la maquina i es verificarà que aquesta estigui a la temperatura de l'assaig i aquesta sigui estable, fins que això no hagi estat verificat no podrà es començar l'assaig. Una vegada aquest començat s'aplicarà una força sinusoïdal, amb una amplitud de desplaçament imposada de ±5µm, a la part superior de la proveta, és a dir, a la base més petita, per tal de deformar-la a cada vegada d'una distància constant, fins que s'arribi al criteri d'error de la proveta, és a dir, a disminuir la força aplicada a la meitat de la força aplicada inicialment.

5.1.4 Estudi dels resultats

Podem calcular la vida útil de la proveta segons la corba en logaritmes neperians següent :

$$\ln(N) = a + \frac{1}{b} \times \ln(\varepsilon)$$ **Equació 5.1-1**

On :

N : vida fins a la fatiga

a : ordenada de la corba de fatiga

1/b : pendent de la corba de fatiga

ε : deformació relativa màxima de la proveta, corresponent al desplaçament imposat a la part superior de la mateixa.

D'aquesta corba en podrem extreure els valors desitjats, com el coeficient de regressió lineal r, o el valor de la deformació als 10^6cicles, per tal de comparar diferents tipus de mescla bituminosa.

5.2. Assaig de flexió en dos punts sobre provetes prismàtiques

Aquest mètode caracteritza el comportament de les mescles bituminoses sotmeses a carrega de fatiga per flexió en dos punts, utilitzant provetes prismàtiques quadrades. Aquest mètode pot ser utilitzat per a mescles bituminoses amb àrids de granulometria màxima 20 mm, sobre provetes preparades en laboratori o obtingudes de capes de carretera amb una espessor de 40 mm com a mínim.

5.2.1 Equipament

Per la realització d'aquest assaig es necessita una maquina amb un sistema que permeti aplicar un desplaçament sinusoïdal a la part superior de la proveta, amb una freqüència fixa (±4%). Aquesta aplicarà a la proveta un desplaçament constant, amb una variació de menys de 0,1μm/N.

Es requereix també d'una càmera termostàtica ventilada, capaç de mantenir la temperatura de la base metàl·lica de les provetes fixa, calibrada amb una precisió de 0,5ºC.

Finalment, cal un equip de mesura, que enregistri la força a la part superior de la proveta (amb una precisió del ±1N), el desplaçament (amb una precisió de $\pm 10^{-3}$m) i la temperatura (amb una precisió de 0,1ºC).

5.2.2 Dimensionament de les provetes

Les provetes utilitzades en aquest assaig són prismàtiques, de dimensions que depenen del tipus de mescla, 40±1 x 40±1 x 160±1 mm^3 per a mescles amb un granulat de diàmetre inferior o igual a 22mm i 80±1 x 80±1 x 320±1 mm^3, en el cas de provetes amb granulat més gran. Aquestes han de ser serrades de plaques preparades al laboratori o preses a la carretera, amb una preciso de 0,1mm.

L'assaig s'ha de realitzar entre dues i vuit setmanes després d'haver serrat les provetes.

5.2.3 Procediment

Per a la realització d'aquest assaig, en enganxarem la proveta per la part inferior i li aplicarem una força P_{ij} relacionada amb la tensió que es vol aplicar, $\sigma_{j\ maz}$, per la constant geomètrica $K_{\sigma\ i}$ segons la equació següent :

$$P_{ij} = \frac{\sigma_{j\,\max.}}{K_{\sigma i}} \qquad \textbf{Equació 5.2-1}$$

L'assaig s'ha de realitzar per, com a mínim, tres nivells de tensió, amb un mínim de sis repeticions per nivell. Aquests nivells de tensió s'han d'elegir de manera que la vida mitjana fins a la fatiga de les series estigui entre 10^4 i 10^6 cicles, per a un mínim d dos entre ells i entre 10^6 i 10^7 cicles, per, com a mínim, un nivell.

5.2.4 Estudi dels resultats

Els resultats obtinguts per aquests assaigs es representaran en una corba de vida útil. Obtindrem N_{ij} per a cada nivell de tensió $\sigma_{j\ maz}$, sent i el numero de la proveta i j el terme caracteritzant la tensió aplicada.

D'aquesta manera, finalment podrem traçar la corba de fatiga seguint l'equació logarítmica següent :

$$\ln(N_{ij}) = A_0 + A_1 \times \ln(\sigma_{j\,\max.}) \qquad \textbf{Equació 5.2-2}$$

On :

A_0 : part de l'eix de la corba de fatiga a esforç constant

A_1 : pendent de la corba de fatiga a esforç constant

Per a l'informe d'aquest assaig cal calcular també el coeficient de correlació de la regressió, R, així com les pendents, l'estimació de la desviació típica designada com $s_{\sigma\ x/y}$ i l'estimació de la tensió als 10^6 cicles ($\hat{\sigma}^6$) :

$$s_{\sigma x/y} = s_N \times \sqrt{\frac{(1-R^2)\times(N-1)}{N-2}} \qquad \textbf{Equació 5.2-3}$$

On :

S_N : estimació de la desviació típica de N_{ij}

N : nombre d'assaig de l'element

$$\hat{\sigma}^6 = e^{\frac{-A_0 + \ln(10^6)}{A_1}}$$ **Equació 5.2-4**

5.3. Assaig de flexió en tres punts sobre provetes prismàtiques

Aquest mètode caracteritza el comportament de les mescles bituminoses sotmeses a carrega de fatiga amb desplaçament controlat per tres punts, utilitzant provetes prismàtiques. El comportament es caracteritza mitjançant la determinació de la llei de fatiga en termes de deformació (relació entre la deformació i el numero de cicles de carrega aplicats fins que es produeixi la ruptura) i la llei de l'energia associada. Aquest mètode pot ser utilitzat per a mescles bituminoses amb àrids de granulometria màxima 22 mm, sobre provetes preparades en laboratori o obtingudes de capes de carretera amb una espessor de 50 mm com a mínim. Per una freqüència de desplaçament sinusoïdal donada, el mètode ha de realitzar-se sobre diversos elements assajats a una temperatura controlada.

5.3.1 Equipament

Per a la realització d'aquest assaig es requereix:

- d'una premsa amb control servo-hidraulic que pugui generar carregues cícliques sinusoïdals
- d'una cèl·lula de càrrega per mesurar la carrega dinàmica amb un apreciació de lectura de ±0,002kN
- d'un extensòmetre i un sensor de desplaçament
- d'un dispositiu de subjecció que permeti la llibertat de rotació i de translació horitzontal en tots els recolzaments
- d'un equip de recollida de dades que enregistrarà les funcions de càrrega, senyal de l'extensòmetre i desplaçament tots els 500 cicles, començant per 200è cicle.
- d'una càmera termostàtica amb una precisió de ±1ºC

5.3.2 Dimensionament de les provetes

Les provetes per aquest assaig han de ser serrades i de dimensions d'assaig de 300±10 x 50±3 x 50±3 mm^3. L'assaig s'ha de realitzar entre dues i vuit setmanes després d'haver serrat les provetes.

5.3.3 Procediment

Les provetes han d'estar subjectades al mecanisme de suport mitjançant dos peces de tub metàl·lic encolades en una de les seves cares i un pistó de tub encolat en la cara oposada. Una vegada instal·lada la proveta s'ha de fixar l'extensòmetre a la cara de la proveta on hi ha els dos tubs metàl·lics, seguidament, si la proveta es troba a la temperatura constant d'assaig, es procedirà a aplicar un desplaçament cíclic d'acord amb la funció sinusoïdal :

$$D_c = D_0 \times \sin(2\pi ft) \qquad \textbf{Equació 5.3-1}$$

On :

D_c : desplaçament en l'instant i (μm)

$2D_0$: amplitud total de la funció de desplaçament (μm)

f : freqüència d'ona (Hz)

t : temps (s)

El final de l'assaig és considerat quan l'amplitud de càrrega cíclica calculada pel cicle N sigui igual a la meitat de l'amplitud de la càrrega cíclica calculada pel cicle 200.

5.3.4 Estudi dels resultats

Determinarem els esforços per a cada cicle de al forma següent :

$$\sigma = P \times \frac{3(L-20)}{2(b \times e^2)} \qquad \textbf{Equació 5.3-2On :}$$

On :

P : càrrega instantània (MPa)

L : distància entre suports (mm)

b : amplada de la proveta (mm)

e : espessor de la proveta (mm)

La deformació de la proveta la calcularem segons la formula següent :

$$\varepsilon = \frac{2EXT(L-20)}{2B \times L - B^2 - 400} \qquad \textbf{Equació 5.3-3}$$

On :

EXT : senyal instantània de l'estesiòmetre (mm)

B : base de la mesura de l'extensòmetre (mm)

Finalment podem traçar la corba de la fatiga en funció del nombre de cicles i de la deformació inicial utilitzant la formula logarítmica que hem utilitzat ens els dos assaigs precedents.

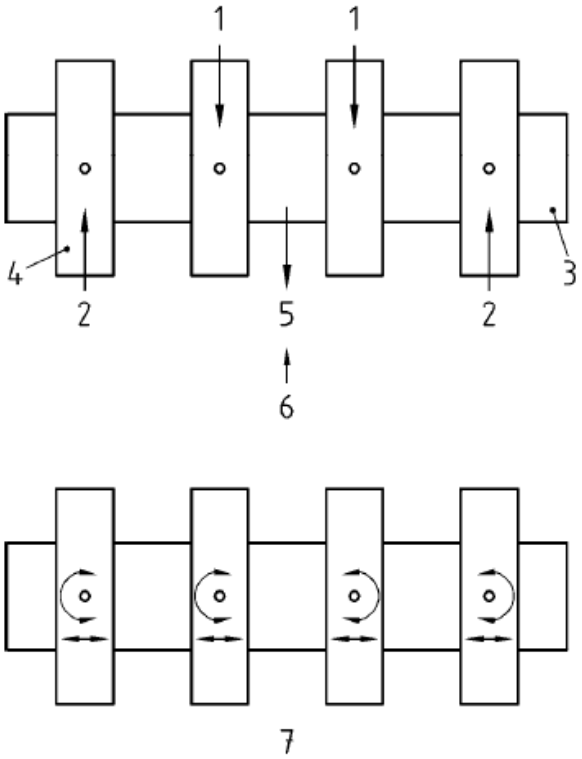
5.4. Assaig de flexió en quatre punts sobre provetes prismàtiques

Aquest mètode caracteritza el comportament de les mescles bituminoses sotmeses a carrega de fatiga en un equip d'assaig de flexió en quatre punts, en el qual les mordasses interiors i exteriors estan col·locades simètricament, utilitzant provetes rectangulars esveltes (provetes prismàtiques). La proveta prismàtica ha de ser sotmesa a carreges periòdiques de flexió en quatre punts, amb rotació i translació lliures en tots els punts de la carrega i la reacció d'aquestes. La flexió a de ser realitzada per l'aplicació de la carrega en dos punts interiors (mordasses interiors), en sentit vertical i perpendicularment a l'eix longitudinal de la proveta. S'ha de fixar la posició vertical dels suports de l'extrem (mordaces exteriors). Aquesta configuració de la carrega ha de ser aplicada de forma sinusoïdal. Durant l'assaig, s'ha de mesurar la carrega necessària per la flexió de la proveta, la deflexió i el desfase entre aquestes dues senyals, en funció del temps. Amb aquestes mesures s'han de determinar les característiques de fatiga del material sotmès a assaig.

5.4.1 Equipament

Per a la realització d'aquest assaig requerim d'una màquina d'assaig que sigui capaç d'aplicar una càrrega sinusoïdal amb una freqüència d'entra 0 i 60 ±0,1Hz. Aquesta càrrega serà aplicada perpendicul·larment a la proveta i sobre les mordaces interiors d'aquesta.

Necessitem també un dispositiu de subjecció que permeti la rotació i translació horitzontal de tots els recolzaments com podem veure en la figura dels principis bàsics de l'assaig.



Leyenda

1	Carga aplicada	5	Deflexión
2	Reacción	6	Retorno a la posición original
3	Probeta	7	Traslación y rotación libres
4	Mordaza de la probeta		

Figura 2 Principis bàsics de l'assaig de flexió en quatre punts

Per englobar tot el conjunt ens cal una càmera termostàtica que mantingui tot l'aparellatge a temperatura constant amb una precisió de 1ºC.

Finalment, cal un equip d'enregistrament que enregistrarà la força aplicada, la deformació en el punt mig de la proveta i els desfase entre aquestes dues.

5.4.2 Dimensionament de les provetes

Les provetes per a la realització d'aquest assaig han de ser prismàtiques amb una amplada i una alçada iguals o majors a tres vegades el diàmetre de l'àrid més gran i amb una llargada de, com a mínim, sis vegades les altres dues dimensions (amplada i alçada).

Com amb els altres assaigs, podem realitzar les provetes al laboratori o extreure-les directament del ferm de la carretera. Aquestes han de ser serrades per obtenir les dimensions desitjades i secades posteriorment entre 15 i 25ºC per passar després a ser emmagatzemades abans de l'assaig, el qual es durà a terme entre la segona i la vuitena setmana després del serratge de les provetes.

5.4.3 Procediment

El primer pas abans d'aplicar la força a la proveta és de mesurar les masses de tots els components de l'assaig, la proveta, les mordaces interiors que enganxarem a la proveta i la massa de totes les parts mòbils dels sensors, per tal de poder calcular finalment en quina mesura influeixen en el càlcul de la fatiga ; ja que, les pèrdues degudes a l'absorció d'energia per part del sistema poden ser molt importants si la freqüència a la qual es realitza l'assaig és semblant a la primera freqüència de ressonància de l'aparell. La freqüència de l'assaig sol ser força més petita, però cal vigilar-la.

Per realitzar l'assaig cal disposar quatre mordaces simètricament, les dues interiors per aplicar-hi la força i les dues exteriors per recolzar la proveta.

Finalment, podem aplicar la força, per tal de començar l'assaig a deformació constant o a força constant, segons es decideixi.

Enregistrarem les dades (força, desplaçament i desfase) a partir del 100è cicle i les escalarem de manera que se'n prenguin com a mínim 100 durant l'assaig.

L'assaig s'acaba quan el mòdul calculat S_{mix} hagi baixat fins a la meitat del seu valor inicial o fins a la ruptura de la proveta.

La vida de la fatiga s'ha de mesurar, com a mínim, en tres nivells de força o desplaçament (segons tipus d'assaig escollit), amb sis repeticions per nivell com a mínim.

5.4.4 Estudi dels resultats

Una vegada obtinguts els resultats calcularem la vida útil, $N_{i,j,k}$, de la proveta segons la corba en logaritmes neperians que relaciona aquesta amb la deformació inicial (amplitud de la deformació en el cicle numero 100)

$$\ln(N_{i,j,k}) = A_0 + A_1 \times \ln(\varepsilon_i) \qquad \textbf{Equació 5.4-1}$$

On :

i : numero de la proveta

j : criteri d'error elegit

k: conjunt de condicions de l'assaig

ε_i : amplitud de la deformació inicial mesurada en el 100è cicle.

D'aquesta corba podrem extreure els valors que ens permetran de comparar diferents mescles bituminoses, A_1, la pendent, r, el coeficient de regressió o la desviació típica residual,

$\sigma_{x/y}$; així com l'estimació de la deformació inicial per el criteri d'error elegit, per el qual es pot esperar una vida de fins a 10^6 cicles.

5.5. Assaig de tracció indirecte sobre provetes cilíndriques

Aquest mètode caracteritza el comportament de les mescles bituminoses quan es sotmeten repetidament a assaig de fatiga amb carrega, amb un mètode de carrega constant aplicant una carrega de tracció indirecta. Per aquest assaig es poden utilitzar provetes cilíndriques elaborades al laboratori o un testimoni extret d'una capa de la carretera. La proveta cilíndrica a assajar ha de ser exposada a carreges de comprensió repetides amb una senyal de carrega a través del pla diametral vertical. Aquesta aplicació de carrega desenvolupa un esforç de tracció relativament uniforme, perpendicular a la direcció de la carrega aplicada i al llarg del pla diametral vertical; que fa que la proveta falli per excisió al llarg de la part central del diàmetre vertical. S'ha de mesurar la deformació horitzontal resultant de la proveta, i utilitzar una relació de Poisson assumida per calcular la deformació per tracció en el centre de la proveta. La vida fins a la ruptura ha de ser determinada com el numero total d'aplicacions de carrega realitzades abans que es produeixi la ruptura de la proveta.

5.5.1 Equipament

Maquina d'assaig capaç d'aplicar impulsos repetits amb períodes de descans en una gamma de nivells de carrega de 0.5kN a 10kN, amb una precisió del 0.25%.

Sensors de desplaçament amb una gamma de fins a 3.75mm, amb una precisió de 1μm.

Camara termostàtica amb temperatura controlable en una gamma de 2°C a 20°C, amb una precisió de 1°C.

Dispositius de mesura i d'enregistrament per determinar la carrega de com pressió i les deformacions horitzontals que pugui realitzar mesures a una freqüència mínima de 10Hz[1].

Bastidor d'aplicació de carrega amb dues regletes, la superior esta fixada a una biga muntada sobre dos pilars guiats amb casquets de bola.

Regletes de carrega còncaves i de cantos arrodonits amb un radi de curvatura igual al radi de la proveta.

[1] Part de la norma que ha estat modificada en la realització dels assaig per aquest treball. Explicació detallada a l'apartat 6.4.

Regletes de deformació d'acer corbades, amb un radi de curvatura igual al radi de la proveta i de 2x10x80mm[3]. Regletes que seran fixades a la proveta mitjançant cola o motlles[5].

5.5.2 Dimensionament de les provetes

La proveta ha de tenir:

- una espessor de, com a mínim, 40mm i un diàmetre de 100 ±3mm per una granulometria de 25 mm
- una espessor de, com a mínim, 60mm i un diàmetre de 150 ±3mm per una granulometria de 38 mm

5.5.3 Procediment

Les provetes han de ser assajades com a mínim 7 dies després de la seva fabricació i havent estat, com a mínim, 4 hores a la temperatura de l'assaig.

Les provetes s'han d'assajar a tres nivells d'esforç diferents[5], amb, com a mínim, tres provetes per cada nivell quan les provetes siguin realitzades al laboratori i cinc provetes, com a mínim, quan siguin extretes de la carretera. Amb un mínim total per corba de 18 provetes.

L'assaig ha de començar amb una amplitud de carrega de 250kPa aplicant així una carrega repetida durant un temps de carrega de 0.1s i deixar un temps de descans de 4s.

El fet de deixar 0.4s de repòs entre temps de carrega i temps de carrega justifica el fet de que aquest assaig es un assaig de fatiga, contràriament al que pot sentir-se a dir per part dels proposants a eliminar aquest assaig de la norma.

Durant l'assaig, la carrega i la deformació horitzontals s'han de controlar i enregistrar de forma controlada[2].

Quan apareixien senyals obvies de fissura s'ha de detenir l'assaig[5].

[2] Part de la norma que ha estat modificada en la realització dels assaig per aquest treball. Explicació detallada a l'apartat 6.4.

5.5.4 Estudi dels resultats

La deformació màxima per tracció i l'esforç (opcional) en el centre de la proveta, s'han de calcular amb les següents formules:

$$\sigma_0 = \frac{2P}{\pi \times t \times \Omega} \qquad \textbf{Equació 5.5-1}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{2\Delta H}{\Omega} \times \frac{1+3\nu}{4+\pi \times \nu - \pi} \qquad \textbf{Equació 5.5-2}$$

On :

σ_0 :esforç de tracció en el centre de la proveta (MPa)

P : càrrega màxima (N)

Ω : diàmetre de la proveta (mm)

ε_0 : deformació per tracció en el centre de la proveta (μm)

ΔH : deformació horitzontal (mm)

El càlcul de la deformació inicial es realitza mitjançant la resta entre la mitjana de les deformacions màximes dels cicles 98, 99, 100, 101 i 102 i la mitjana de les deformacions mínimes dels cicles 60, 61, 62, 63, 64[3].

$$MaxD_{100mitjana} = \sum_{j=98}^{102} \frac{MaxD_j}{5} \qquad \textbf{Equació 5.5-3}$$

$$MinD_{60mitjana} = \sum_{j=60}^{64} \frac{MinD_j}{5} \qquad \textbf{Equació 5.5-4}$$

$$\Delta H_0 = MaxD_{100mitjana} - MinD_{60mitjana} \qquad \textbf{Equació 5.5-5}$$

On:

$MaxD_i$: deformació màxima al cicle i

[3] Apartat no massa ben explicat a la norma

$MinD_i$: deformació mínim al cicle i

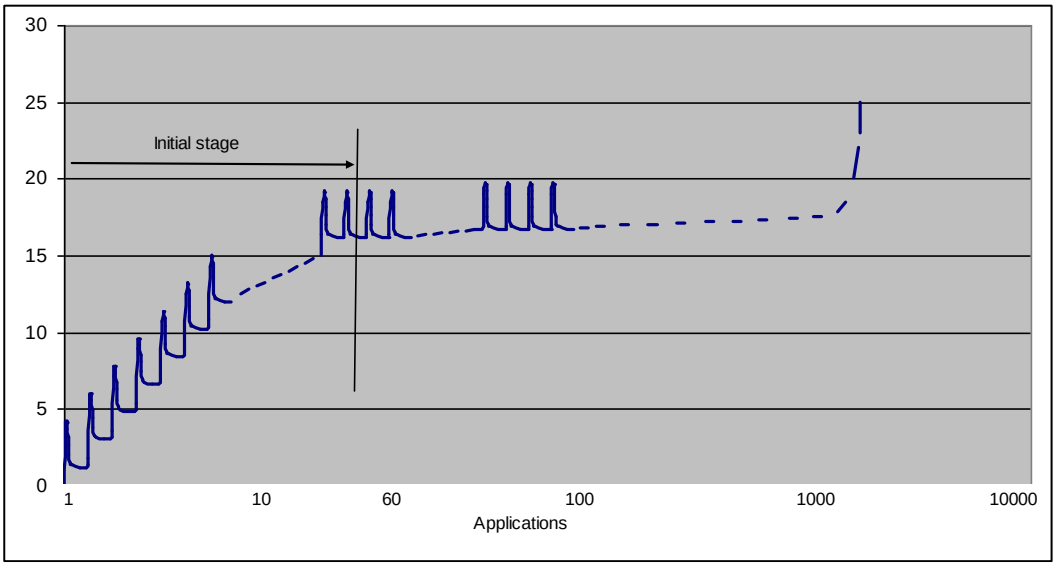
ΔH_0 : increment de la deformació horitzontal.

Coneixent l'increment de la deformació horitzontal podem calcular la deformació inicial segons la formula següent:

$$\varepsilon_0 = 2.1 \times \frac{\Delta H}{\Omega} \times 10^6$$ **Equació 5.5-6**

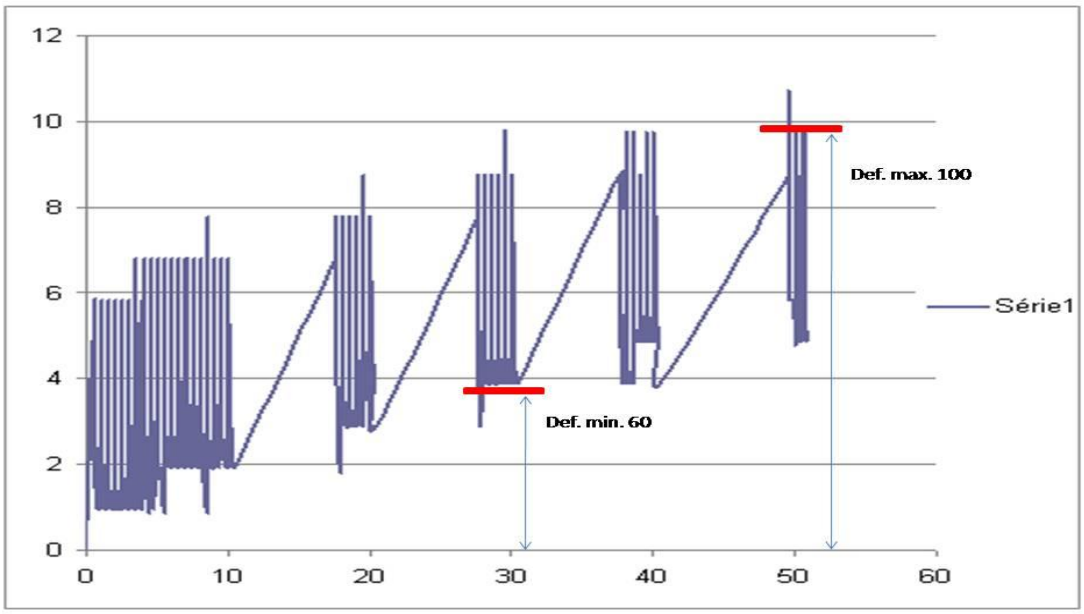
Que prové de la formula per al càlcul de ε_0 anterior prenent 0,35 pel coeficient de Poisson, valor típic per a les mescles bituminoses.

En la gràfica següent podem veure l'evolució de la deformació que segueix una proveta segons el nombre d'aplicacions, és a dir, segons el nombre de carregues aplicades.



Gràfica 1 Deformació en funció del nombre de cicles

Podem veure que la proveta tarda aproximadament 60 cicles a esdevenir estable, apreciació feta per SAID (1998), a partir d'aquest moment la proveta es deforma d'una manera constant i més lentament. Així doncs, la norma proposa trobar el màxim als 100 cicles i el mínim als 60 cicles, utilitzant-ne una mitjana dels 5 cicles al voltant, i fer-ne la resta per obtenir la deformació inicial, ε_0.



Gràfica 2 Deformació en funció del temps

La relació de la regressió dels mínims quadrats s'ha de fixar com a variable independent la dada del logaritme de la deformació inicial i com a variable dependent la dada del logaritme de la vida de ruptura d'acord amb les formules següents[4]:

$$N_f = 10^k \times \left(\frac{1}{\varepsilon_0}\right)^{|n|} \qquad \textbf{Equació 5.5-7}$$

El logaritme de la qual :

$$\log N_f = k - |n| \times \log \varepsilon_0 \qquad \textbf{Equació 5.5-8}$$

On:

N_f: numero d'aplicacions de carrega

k,n: constants del material

ε_0: deformació inicial per tracció al centre de la proveta

[4] Formules corregides pel que respecta a la norma

5.5.5 Informe de l'assaig

L'informe d'assaig ha de contenir una presentació gràfica i matemàtica del criteri de fatiga i el coeficient de correlació R.

Annex 3. Fitxa tècnica del/de la :

- **Compomodul H**
- **Grava Bituminosa 0/14 classe 2**
- **Grava Bituminosa 0/14 classe 2, reciclada al 20%**
- **Grava Bituminosa 0/14 classe 4**

SCREG

Décembre 2000

COMPOMODULE® H

ENROBÉ À MODULE ÉLEVÉ
AU LIANT BITUMINEUX DUR

ENROBÉS À MODULE ÉLEVÉ

R 321

COMPOMODULE H est un enrobé à module élevé à base de liant bitumineux dur spécial. Il présente une forte résistance à l'orniérage et une bonne tenue en fatigue.

Il est utilisé en couche de base ou de fondation, en chaussée neuve ou en renforcement. Son utilisation permet des réductions importantes d'épaisseur par rapport à des solutions classiques en grave-bitume.

Les COMPOMODULE H répondent aux exigences de la norme NF P 98-140 "Enrobés à module élevé" de novembre 1999 (Classes 1 et 2).

COMPOMODULE H, précédemment appelé COMPASPHALT, fait l'objet de l'Avis Technique n° 40 de juin 1991, en cours de renouvellement à la date d'édition de la fiche.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Constituants

Les *granulats* et *fines d'apport (filler)* répondent aux spécifications de la norme NF P 98-140 - paragraphe 5.1.

Le *liant* COMPOMODULE H est un bitume spécial très dur, ou un mélange de tels bitumes.

Il répond aux spécifications suivantes :

Caractéristiques	Liant testé	Intervalles
Densité à 25°C (NF T 66-007)	1,057	1,01 à 1,1
Pénétrabilité à 25°C (NF EN 1426) (1/10mm)	12	10 à 20
Indice de pénétrabilité LCPC	0,9	> 0
Température de ramollissement Bille-anneau (NF EN 1427)(°C)	67,5	65 à 80
Point de fragilité Fraass (NF EN 12593) (°C)	- 5	- 6 à + 2

Formulations et dosages

COMPOMODULE H peut être formulé suivant les Classes 1 ou 2 de la norme NF P 98-140, en granularité 0/10, 0/14 ou 0/20.

En conception de Classe 1 (module de richesse de 2,5 à 3,4) COMPOMODULE H se caractérise par une bonne tenue à l'orniérage et un module élevé.

En conception de Classe 2 (module de richesse ⩾ 3,4), COMPOMODULE H se caractérise, en plus de son module élevé et de sa bonne tenue à l'orniérage, par une très bonne résistance en fatigue.

La teneur en liant des COMPOMODULE H est comprise :

- entre 4,0 et 5,4 ppc en Classe 1
- entre 5,4 et 6,3 ppc en Classe 2.

Caractéristiques de l'enrobé en laboratoire

Des exemples de formulations et de caractéristiques de COMPOMODULE H de Classes 1 et 2 sont donnés dans les tableaux ci-après. Les fourchettes des caractéristiques correspondant aux cas courants figurent également.

SCREG

Décembre 2000

COMPOMODULE® H

ENROBÉ À MODULE ÉLEVÉ
AU LIANT BITUMINEUX DUR

ENROBÉS À MODULE ÉLEVÉ

R 321

CARACTÉRISTIQUES	COMPOMODULE H Classe 1		EME Classe 1 NF P 98-140
	Formule testée	Intervalles (cas courants)	Valeurs de référence
Granulat	Calcaire dur Wallers Trelon		
Granularité	0/14		
Teneur en fines (%)	7,5	6 à 9	
Teneur en liant (ppc)	4,8	4,8 à 5,4*	
Module de richesse	3,0	3,0 à 3,4*	≥ 2,5
Essai de compactage à la PCG (NF P 98-252) Vides à 100 girations (%)	6,0	4 à 9	≤ 10
Essai DURIEZ (NF P 98-251-1) Vides (%)	7,1		
Rapport r/R	0,73		≥ 0,70
Essai d'orniérage (NF P 98-253-1) Vides (%)	7,0		7 à 10
Profondeur d'ornière sur plaque 10 cm à 60°C - 30 000 cycles (%)	2,9		≤ 7,5
Essai de module et de perte de linéarité en traction directe (NF P 98-260-1) Vides (%)	7,3		7 à 10
Module à 15°C, 0,02s (MPa)	18 000	14 à 18 000	≥ 14 000
Essai de fatigue LPC (NF P 98-261-1) Vides (%)	7,4		
Déformation relative à 10^6 cycles 10°C et 25Hz	122.10^{-6}	110 à 130.10^{-6}	7 à 10 ≥ 100.10^{-6}

* Des COMPOMODULE H ayant un module de richesse compris entre 2,5 et 3,0 sont également réalisables, mais l'emploi de ces EME à très faible teneur en liant n'est possible que dans un petit nombre de cas bien définis (voir domaine d'emploi).

CARACTÉRISTIQUES	COMPOMODULE H Classe 2		EME Classe 2 NF P 98-140
	Formule testée	Intervalles (cas courants)	Valeurs de référence
Granulat	Calcaire dur Wallers Trelon		
Granularité	0/14		
Teneur en fines (%)	7,6		
Teneur en liant dur spécial (ppc)	6,0	5,4 à 6,3	
Module de richesse	3,8	≥ 3,4	≥ 3,4
Essai de compactage à la PCG (NF P 98-252) Vides à 100 girations (%)	4,5	≤ 6	≤ 6
Essai DURIEZ (NF P 98-251-1) Vides (%)	4,0		
Rapport r/R	0,88		≥ 0,75
Essai d'orniérage (NF P 98-253-1) Vides (%)	5,5		3 à 6
Profondeur d'ornière sur plaque 10 cm à 60°C - 30 000 cycles (%)	3,8		≤ 7,5
Essai de module et de perte de linéarité en traction directe (NF P 98-260-1) Module à 15°C, 0,02s (MPa)	20 200	16 à 20 000	≥ 14 000
Essai de module complexe (NF P 98-260-2) Module à 15°C, 10Hz (MPa)	18 700	15 à 19 000	≥ 14 000
Essai de fatigue (NF P 98-261-1) Déformation relative à 10^6 cycles 10°C et 25Hz	143.10^{-6}	130 à 150.10^{-6}	≥ 130.10^{-6}

DOMAINE D'EMPLOI

COMPOMODULE H convient pour les couches de base et de fondation, lorsqu'il s'agit de réduire les déformations et les contraintes dans le support ou de résister à l'orniérage.

Les domaines d'emploi sont les suivants :

- renforcement de chaussées existantes,
- reconstruction de corps de chaussées après décaissement partiel en traverse d'agglomérations,
- traitement de voies à trafic lourd, lent et canalisé telles que voies bus, rampes, voies poids lourds, etc,
- construction de chaussées neuves,
- construction de chaussées aéronautiques ou de sols industriels.

Au minimum une couche de roulement en béton bitumineux est obligatoire sur les COMPOMODULE H de Classes 1 et 2, (sauf dans certains cas de sols industriels et en Classe 2).

Trafic

COMPOMODULE H est utilisable sous tous les trafics, même les plus agressifs.

Nota : La norme NF P 98-140 permet de descendre le module de richesse des EME de Classe 1 jusqu'à 2,5 (soit une teneur en liant de l'ordre de 4 ppc). L'emploi de COMPOMODULE H de Classe 1 à faible teneur en liant n'est envisageable que dans un petit nombre de cas bien précis (support correct, couverture par une épaisseur suffisante d'enrobé, etc.). Leur utilisation nécessite une étude du cas par nos services techniques et leur accord explicite.

SCREG

Décembre 2000

COMPOMODULE® H

ENROBÉ À MODULE ÉLEVÉ
AU LIANT BITUMINEUX DUR

ENROBÉS À MODULE ÉLEVÉ

R 321

FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE

Fabrication

COMPOMODULE H peut être fabriqué dans tous types de centrale d'enrobage, discontinues ou continues.

Epaisseurs

Les épaisseurs à obtenir sont les suivantes :

Epaisseur (cm)	Minimale localisée	Moyenne (nominale)	Maximale localisée
Granularité 0/10	5	6 à 10	12
Granularité 0/14	5	6 à 12	13
Granularité 0/20	7	8 à 12	14

Préparation du support

Le fort module des COMPOMODULE H entraîne un niveau de contrainte élevé à la base du matériau et requiert un collage particulièrement soigné sur le support.

Mise en œuvre

Les points essentiels sont :

- application de la couche d'accrochage à la répandeuse,
- mise en œuvre du COMPOMODULE H avec un finisseur à table lourde ou HPC.

Le compactage doit être énergique. Il s'effectue avec des engins lourds, cylindres vibrants et/ou compacteurs à pneumatiques, pour atteindre un niveau de compacité élevé.

Le travail à la main est délicat.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Avis Technique n°40 : COMPASPHALT, Commission Générale des Avis Techniques, Juin 1991.
- High modulus asphalt mixes - Laboratory evaluation, practical aspects and structural design, **J.P. Serfass, A. Bauduin, J.F. Garnier**, 7ème Conférence Internationale sur les Chaussées Bitumineuses (ISAP), Nottingham, Août 1992.
- Properties and new developments of high modulus asphalt concrete, **JP. Serfass, P. Bense, Ph. Pellevoisin**, 8ème Conférence Internationale sur les Chaussées Bitumineuses (ISAP), Seattle, Août 1997.
- Norme NF P 98-140, Enrobés à module élevé, Novembre 1999.

Ce document n'est pas contractuel. Les indications données dans la présente fiche correspondent à nos connaissances à la date ci-dessus. Les caractéristiques de ce produit sont susceptibles d'évoluer en fonction de l'augmentation de nos connaissances et de notre souci constant d'adaptation et d'amélioration.

INDUSTRIES
Laboratoire
ZI des Mardelles
Rue Blaise Pascal
93605 Aulnay-sous-bois cedex
01.43.39.73.91
01.43.99.05.12

Fiche produit

EB 14 assise 35/50

Référence interne: A063 GB 2 0/14 *Norme :* NF EN 13108-1

Catégorie des Granulats	C III a	
Masse Volumique Réelle des granulats	2.693	
Module de Richesse de l'enrobé	2.6	> 2.5
Masse Volumique réelle de l'enrobé	2.532	

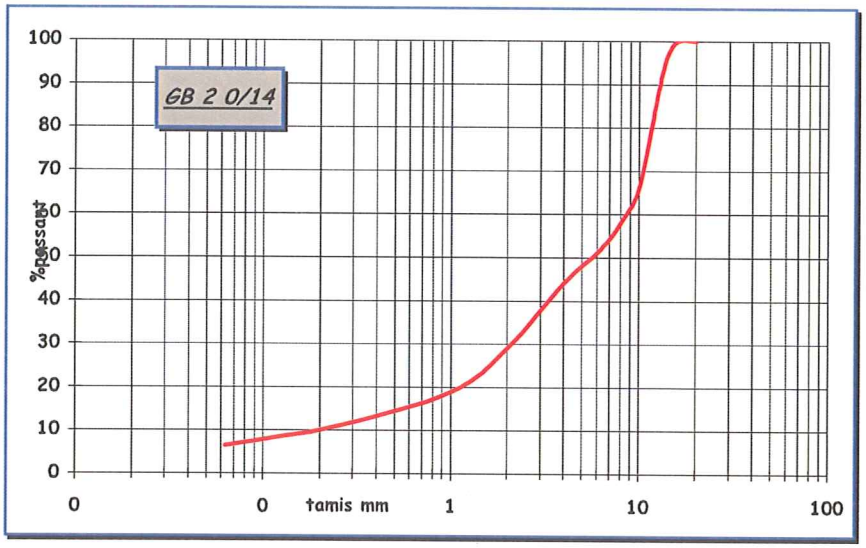
Conformément à la circulaire ministérielle du 03/10/2000 **EVA**,se réserve le droit,sous réserve de disponibilité, d'incorporer 10% d'agrégats d'enrobés dans ce produit. Les caractéristiques techniques du produit sont maintenue

Composition Granulaire

10/14	Calcaire dur	CCM Wallers	39.0%
6/10	Calcaire dur	CCM Wallers	8.0%
4/6	Calcaire dur	CCM Wallers	10.0%
0/4	Calcaire dur	CCM Wallers	43.0%
Bitume 35/50			4.10 PCE 3.90%

Granulométrie

Tamis (mm)	NF EN 933-1 Passant %
20	100
16	100
14	96
12.5	87
10	66
8	58
6.3	52
4	44
2	29
1	19
0.250	11
0.063	6.5



Recommandations d'utilisation à titre indicatif

Domaine d'utilisation : Couche de base ou de fondation

Etat du support :

Application d'une couche d'accrochage : 250g au moins de bitume résiduel au m² .

Epaisseur moyenne d'utilisation : 8 à 14 cm

Quantité : Environ 24 kg au m² par centimètre d'épaisseur .

Température de fabrication : 160 °C *(+/- 10 °C)*

Température minimale d'application : 130 °C

Caractéristiques mécaniques au dos

EB 14 assise 35/50

Référence interne: A063 GB 2 0/14 **Norme :** NF EN 13108-1

ETUDE DE NIVEAU

Caractéristiques DURIEZ (NF P 98-251-1)

M.V.R de l'enrobé :	2.532
M.V.A hydrostatique :	2.349
% Compacité :	92.8
% de vides :	7.2

Résistance à sec R (Mpa)	11.9	
Résistance avec Immers. r (Mpa)	8.6	
Rapport r/R	0.72	>0.65
% eau absorbée	2.9	

1

Caractéristiques P.C.G (NF P 98-252)

Nombre de girations			5	15	25	40	60	100	120	200
% de vides moyen			21.1	16.1	13.8	11.7	9.9	7.8	7.1	5.2

Résultats		Spécifications
% de vides à 10 girations :	17.9%	> 14
% de vides à 100 girations :	7.8%	< 11
% de vides à 200 girations:	5.2%	

Pente K :	4.18
% vides à C1 :	27.2%
Coéf.cor. :	1.000
Régression à :	

2

Essai d'orniérage (NF P 98-253-1)

Nombre de cycles	Profondeur d'ornière en %	Spécifications
100		
300	1.4	
1000	1.9	
3000	2.4	
10000	3.2	< 10%
30000	4.0	

Epaisseur 100.3 mm	% vides avt essai	T°C essai	Nb jours avt. Essai
Moyenne	9.3%	60	

A = 1.86 (ornière à 1000 cycles)

b = 0.230 (pente de la droite)

Module de rigidité (NF EN 12697-26)

Appareillage d'essai	Pots vibrants	Spécifications
MV moyenne des éprouvettes(kg/m3) NF EN 12697-6/29	2291	
Teneur moyenne des vides(%) NF EN 12697-8	9.7	
Température (°C)	15	
Fréquence (Hz)	10	
Déformation epsilon (µD)	50	
Module de rigidité IE*I (Mpa)	9 976	> 9000 Mpa

3

Date de l'étude de la présente formulation : Juillet 2007 par le laboratoire SCREG IdFN

Document rédigé par
Bernard FILLEUL

Validé par le directeur d'exploitation
Jean-Denis PIERRE

La reproduction du document est interdite sans l'autorisation de EVA INDUSTRIES

Société Parisienne de Matériaux Enrobés

Laboratoire

7 route de l'ile saint Julien
94388 Bonneuil / Marne cedex
☎ 01.43.39.73.91
🖷 01.43.99.05.12

Centrale S.P.M.E Bonneuil

7 route de l'ile saint Julien
94388 Bonneuil / Marne cedex
☎ 01.43.39.24.48
🖷 01.43.99.05.12

Fiche produit

EB14 assise 35/50

Référence interne: EC20006 GB 0/14 R20% *Norme :* NF EN 13108-1

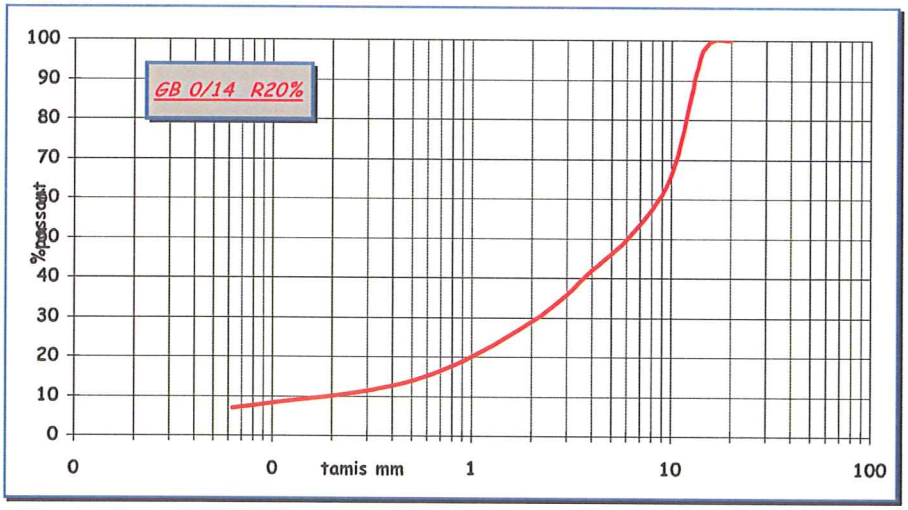
Catégorie des Granulats	C III a	
Masse Volumique Réelle des granulats	2,726	
Module de Richesse de l'enrobé		
Masse Volumique réelle de l'enrobé	2,571	

Composition Granulaire

10/14	Calcaire dur	CCM Wallers	39,0%	
6/10	Calcaire dur	CCM Wallers	9,0%	
4/6	Calcaire dur	CCM Wallers	6,0%	
0/4	Calcaire dur	CCM Wallers	25,0%	
	Agrégats d'enrobé		20,0%	
Filler	Calcaire	Piketty	1,0%	
Bitume d'apport 35/50			2,80 PCE	2,70%
Bitume total			3,80 PCE	3,70%

Granulométrie

Tamis (mm)	NF EN 933-1 Passant % tôle perforée
20	100
16	100
14	96
10	66
6,3	51
4	42
2	29
0,50	14
0,063	6,9



Recommandations d'utilisation à titre indicatif

Domaine d'utilisation : → Couche de base ou de fondation

Application d'une couche d'accrochage : → 250g au moins de bitume résiduel au m² .

Epaisseur moyenne d'utilisation : → 8 à 14 cm

Quantité : → Environ 23 kg au m² par centimètre d'épaisseur .

Température de fabrication : → 165 °C (+/- 10 °C)

Température minimale d'application : → 130 °C

Caractéristiques mécaniques au dos

EB14 assise 35/50

Référence interne: EC20006 GB 0/14 R20% **Norme :** NF EN 13108-1

ETUDE DE NIVEAU

Caractéristiques DURIEZ (NF P 98-251-1)

M.V.R de l'enrobé :	2,571
M.V.A hydrostatique :	2,338
% Compacité :	90,9
% de vides :	9,1

Résistance à sec R (Mpa)	13,6
Résistance avec Immers. r (Mpa)	11,5
Rapport r/R	0,85
% eau absorbée	2,5

1

Caractéristiques P.C.G (NF P 98-252)

Nombre de girations			5	15	25	40	60	100	120	200
% de vides moyen			23,3	18,6	16,5	14,5	12,9	11,0	10,3	8,6

Résultats		Spécifications
% de vides à 10 girations :	20,3%	
% de vides à 100 girations :	11,0%	
% de vides à 200 girations:	8,6%	

Pente K :	3,86
% vides à C1 :	28,8%
Coéf.cor. :	1,000
Régression à :	

Essai d'orniérage (NF P 98-253-1)

Nombre de cycles	Profondeur d'ornière en %	Spécifications
100	1,1	
300	1,6	
1000	2,1	
3000	2,7	
10000	3,3	
30000		

Epaisseur 101.7 mm	% vides avt essai	T°C essai	Nb jours avt. Essai
Moyenne	9,7%		

A = 2,12 (ornière à 1000 cycles)

b = 0,193 (pente de la droite)

2

Date de l'étude de la présente formulation : Janvier 2008 par le laboratoire SCREG IdFN

Document rédigé par
Bernard FILLEUL

Validé par le directeur d'exploitation
Jean-Denis PIERRE

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

Fabrication et vente d'enrobés à chaud et à froid, émulsions de bitume, matériaux traités aux liants hydrauliques, graves non traitées et granulats de recyclage.

ISO 14001 BUREAU VERITAS Certification

La reproduction du document est interdite

Société Parisienne de Matériaux Enrobés

Laboratoire

7 route de l'ile saint Julien
94388 Bonneuil / Marne cedex
☎ 01.43.39.73.91
🖷 01.43.99.05.12

Centrale S.P.M.E Bonneuil

7 route de l'ile saint Julien
94388 Bonneuil / Marne cedex
☎ 01.43.39.24.48
🖷 01.43.99.05.12

Fiche produit

EB 14 assise 35/50

Référence interne: A068 GB 4 0/14 *Norme :* NF EN 13108-1

Catégorie des Granulats	C III a	
Masse Volumique Réelle des granulats	2.720	
Module de Richesse de l'enrobé	2.9	> 2.9
Masse Volumique réelle de l'enrobé	2.540	

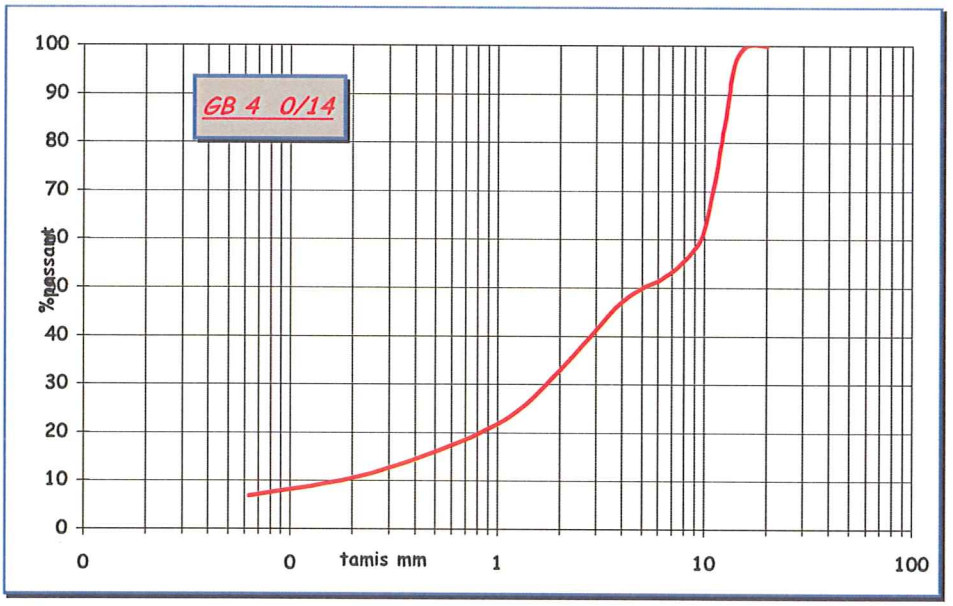
Conformément à la circulaire ministérielle du 03/10/2000
SPME, se réserve le droit, sous réserve de disponibilité, d'incorporer 10% d'agrégats d'enrobés dans ce produit.
Les caractéristiques techniques du produit sont maintenue

Composition Granulaire

10/14	Calcaire dur	CCM Wallers	37.0%
6/10	Calcaire dur	CCM Wallers	10.0%
4/6	Calcaire dur	CCM Wallers	10.0%
0/4	Calcaire dur	CCM Wallers	41.0%
Filler	Calcaire	Piketty	2.0%
Bitume 35/50			4.70 PCE — 4.50%

Granulométrie

Tamis (mm)		NF EN 933-1 Passant % tôle perforée
20	.....	100
16	.....	100
14	.....	96
12.5	.....	83
10	.....	62
8	.....	56
6.3	.....	52
4	.....	47
2	.....	33
1	.....	22
0.25	.....	12
0.063	.....	6.9



Recommandations d'utilisation

Domaine d'utilisation : → Couche de base ou de fondation
Application d'une couche d'accrochage : → 250g au moins de bitume résiduel au m² .
Epaisseur moyenne d'utilisation : → 8 à 14 cm
Quantité : → Environ 24 kg au m² par centimètre d'épaisseur .
Température de fabrication : → 165 °C (+/- 10 °C)
Température minimale d'application : → 130 °C

Caractéristiques mécaniques au dos

EB 14 assise 35/50

Référence interne: A068 GB 4 0/14 **Norme :** NF EN 13108-1

Caractéristiques DURIEZ (NF P 98-251-1)

M.V.R de l'enrobé :	2.540
M.V.A hydrostatique :	2.380
% Compacité :	93.7
% de vides :	6.3

Résistance à sec R (Mpa)	14.10	
Résistance avec Immers. r (Mpa)	10.5	
Rapport r/R	0.74	>0.70
% eau absorbée	1.80	

ETUDE DE NIVEAU 1

Caractéristiques P.C.G (NF P 98-252)

Nombre de girations			5	15	25	40	60	100	120	200
% de vides moyen			18.1	13.7	11.4	9.4	7.6	5.6	4.9	3.4

Résultats		Spécifications
% de vides à 10 girations :	15.4%	
% de vides à 100 girations :	5.6%	< 9
% de vides à 200 girations:	3.4%	

Pente K :	4.10
% vides à C1 :	24.5%
Coéf.cor. :	0.999
Régression à :	150

Essai d'orniérage (NF P 98-253-1)

Nombre de cycles	Profondeur d'ornière en %	Spécifications
100	1.5	
300	2.0	
1000	2.5	
3000	3.1	
10000	3.5	
30000	4.0	< 10%

Epaisseur 100mm	% vides avt essai	T°C essai	Nb jours avt. Essai
Moyenne	7.1%	60	7

A = 2.39 (ornière à 1000 cycles)

b = 0.170 (pente de la droite)

2

Essai de fatigue (NF P 98-261-1)

% de vides géométriques	7.1%	5 à 8
Estimation de fatigue à 10 6 cycles : ε6	113µ def	>100 µ def
Pente de la droite : P	-0.171	
Ordonnée de la droite : Ao	-6.7	
Intervalle de confiance d'ε6 : Δε6	4 E-6	
Ecart-type de la dispersion résiduelle :S x/y	0.373	
Module par flexion (Mpa)	18.15	

Essai MAER (NF P 98-260-1)

% de vides	7.5%	5 à 8
Module à 15°c -0.02sec-100µdef :	12.51 GPa	> 11 GPa

3

Date de l'étude de la présente formulation : Mars 2004

Document rédigé par
Bernard FILLEUL

Validé par le directeur d'exploitation
Jean-Denis PIERRE

La reproduction du document est interdite

Annex 4. Estudi de la repetibilitat i reproductivitat dels assaigs creuats amb la grava bituminosa de classe 4

vti

PM

Infrastructure maintenance
Mats Wiklund

19.4.2010

A procedure for an interlaboratory experiment beween road labratories according to ISO 5725-2

The situation in this case is not ideal, since it is not possible to exactly fix the level at which the test is conducted. Consider the data from a round Robin test with three laboratories given in Figure 1. There are 12 observations from VTI and 13 each from the other two laboratories, where the intitial total deformation ranges from 60 to 470 $\mu\varepsilon_0$. The test variable is the number of load cycles (Nf).

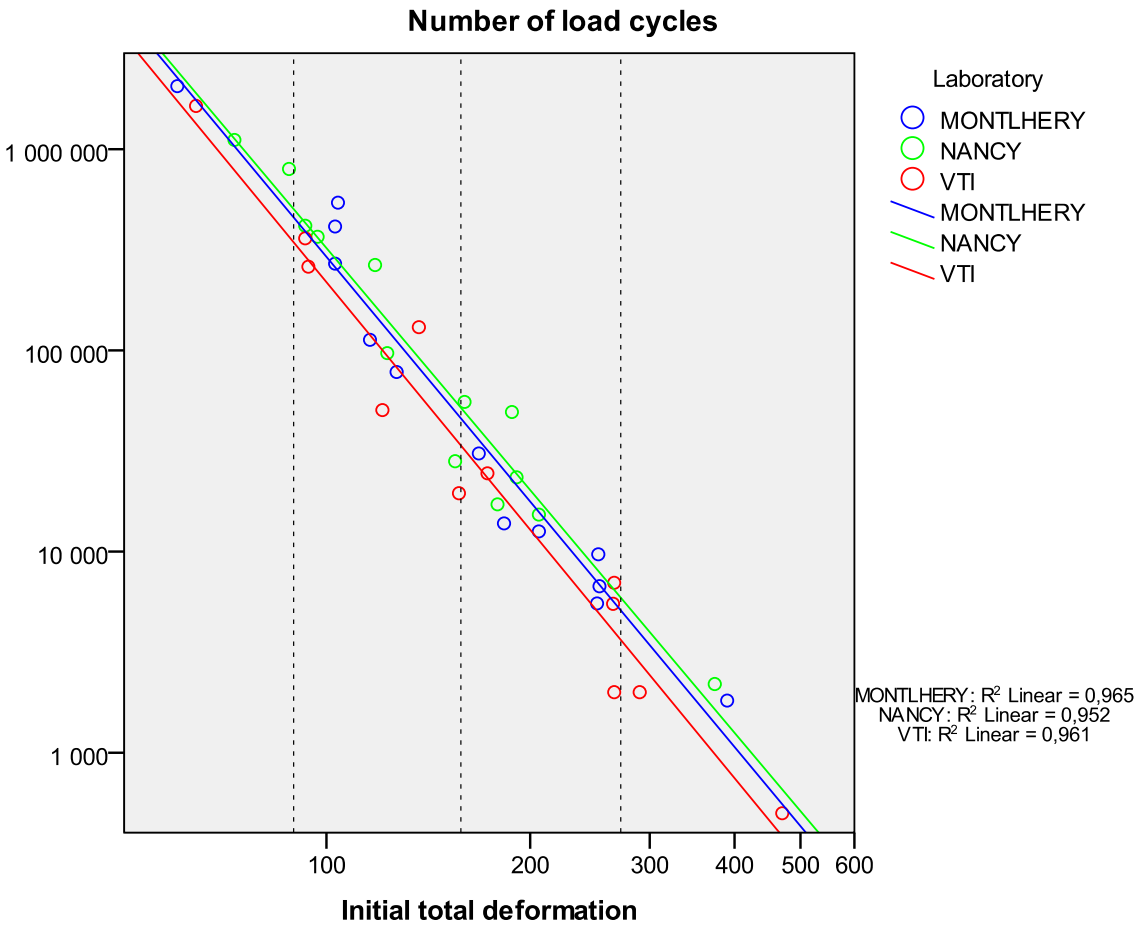


Figure 1. Data from a round Robin test.

Now, assume that the objective is to determine the repeatability and the reproducibility of the test variable for the three laboratories at three levels of the intitial total deformation, 89.4, 158 and 272 $\mu\varepsilon_0$, which are given as vertical dashed lines in Figure 1. In order to determine the reproducibility, s_R, one needs estimates of the between-laboratory standard deviation, s_L, of the test variable at each of the target levels of intitial total deformation.

Method 1

Since the observations are scatterad around the target levels the estimation of the reproducibilities are not straightforward. One way to get around that problem is to predict the test variable for each laboratory at the target levels by fitting regression equations to the data from the respective laboratories.

From Figure 1 a power relationship beween the number of loads and the initial deformation seems suitable, i.e.

1. $\log_{10}(\text{number of loads}) = a + b \times \log_{10}(\text{initial deformation})$,

where the coefficients a and b are estimated trough linear regression of $\log_{10}$(number of loads) on $\log_{10}$(initial deformation). The square roots of the mean square error (residuals) from the linear regression analyses are estimates of the within-laboratory standard deviation, s_W. Figure 1 shows the fitted regression equations for respective laboratory and Table 1 shows the estimated regression coefficients according to formula 1 and the within-laboratory standard deviations.

Table 1. Estimated regression models.

Laboratory	Intercept (a)	Slope (b)	s_W
MONTLHERY	13.5	-4.04	0.179
NANCY	13.5	-4.00	0.180
VTI	13.5	-4.09	0.219

Using the estimated coefficients from Table 1 in formula 1 results in predicted means for the number of load cycles at each target level and each laboratory as shown in Table 2.

Table 2. Predicted number of loads at target levels using method 1.

Laboratory	Initial total deformation ($\mu\varepsilon_0$)		
	89.4	158	272
MONTLHERY	458 000	46 100	5 080
NANCY	505 000	52 100	5 880
VTI	345 000	33 800	3 620

It's esaier and presumably more proper to estimate repeatability and reproducibility for the logarithm of the number of loads rather than for the absolute number of loads. Those estimates then corresponds to the relative repeatability and reproducibility for the the number of load cycles.

The between-laboratory standard deviations, s_L, then are the standard deviations for the logarithm of predicted number of loads at each target level from Table 2. Since the simple linear regression analysis implies homoscedasticity, constant variance of the residuals, the estimates of within-laboratory standard deviations are the same for all target levels of initial deformation. The repeatability variance, s_r^2, is estimated by the the arithmetic mean of the within-laboratory variances, s_W^2. Finally the reproducibility variance, s_R^2, is

determined by the sum of the between laboratory variance ande the repeatability variance, i.e. $s_R^2 = s_L^2 + s_r^2$.

Table 3 shows the results. As indicated above, the repeatability standard deviations, s_r, are the same for all three target levels, 0.194, which refer to the logarithm of the number of loads. That can be interpreted as the relative repeatibility relatively the absolute number of loads, i.e. the (relative) repeatability is 19.4% in this case. Similary, Table 3 states that the (relative) reproducibilities, s_R, at the target levels 89.4, 158 and 272 $\mu\varepsilon_0$ are 21.2%, 21.7% and 22.2% respectivally.

Table 3. Reproducibility and repeatability at three target levels using mehtod 1.

	Initial total deformation ($\mu\varepsilon_0$)		
	89,4	158	272
s_r	0.194	0.194	0.194
s_L	0.0859	0.0972	0.108
s_R	0.212	0.217	0.222

Note that from Table 2 it's rather obvious that the absolute between-laboratory standard deviations is largest at target level 89.4 and smallest at target level 272 while Table 3 showes that that order is reversed when it comes to the relative between-laboratory standard deviations.

Method 2

The validity of the method 1 suggested above depends on the validity of the assumed regression equation and if the assumption of homoscedasticity holds. If one doubts those assumptions, one should choose an alternative procedure. Then one might divide the observations into subgroups, where the observations in each subgroup are designated for analysis regarding one of the target levels.

In this case the observations, according to Figure 1, are, for each laboratory, divided into three groups. For each laboratory the four observations with lowest initial total deformation form one group, the four observations with highest form another and the rest form a third group. Then for each laboratory there are a low-value group, a median-value group and a high-value group. The observations for each group are shown in scatter plots in Figure 2-Figure 4.

In order to estimate reproducibility and repeatability in this case method 1 is modified slightly. Here the number of load cycles (Nf) at initital total deformation 89.4 $\mu\varepsilon_0$ is predicted by fitting a power regression function to the low-value group of observations for each laboratory, see Figure 2. In the same way the median-groups of observations are used to predict the number of load cycles at 158 $\mu\varepsilon_0$ and the high-value groups at 272 $\mu\varepsilon_0$, see Figure 3 and Figure 4.

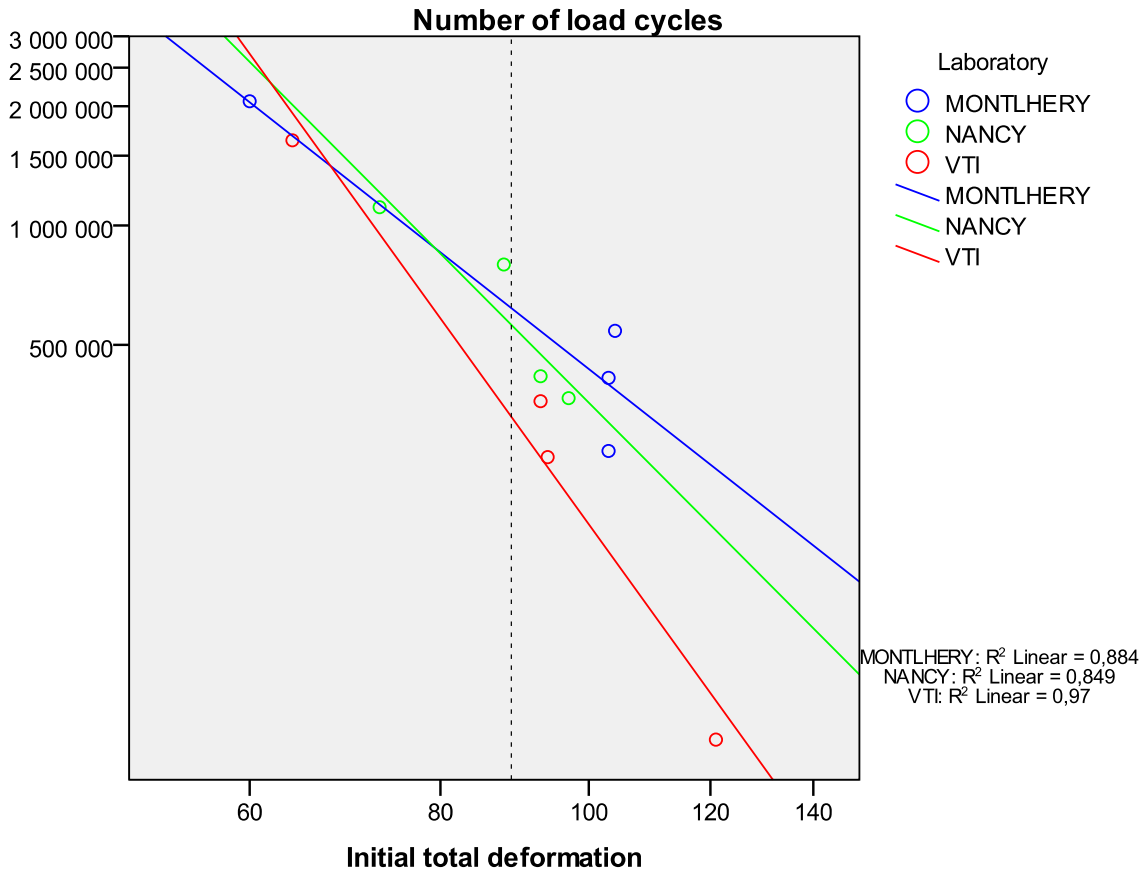


Figure 2. Low-value group

The procedure is similar to method. However, since separate regression equations are estimated for each laboratory at each target level, one change is that separate within-laboratory variances, s_W^2, are estimated for each target level, resulting different repeatability estimates for each target level. The estimated coefficients according to the power function in formula 1 and estimated within-laboratory variances, s_W^2, are shown in Table 4-Table 6 for respective target level.

Table 4. Estimated regression models for target level 89.4 $\mu\varepsilon_0$.

Laboratory	Intercept (*a*)	Slope (*b*)	s_W
MONTLHERY	11.7	-3.03	0.159
NANCY	13.3	-3.88	0.109
VTI	16.0	-5.36	0.133

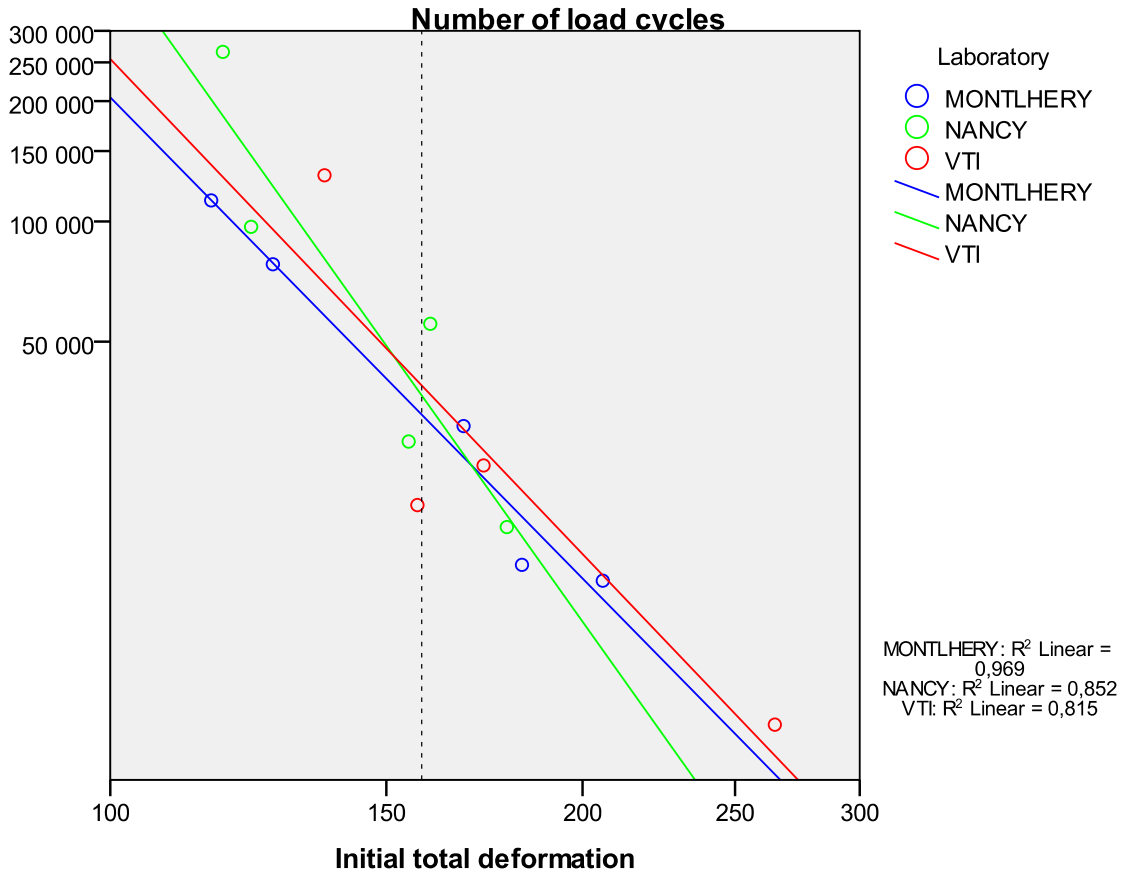


Figure 3. Median-value group

Table 5. Estimated regression models for target level 158 $\mu\varepsilon_0$.

Laboratory	Intercept (*a*)	Slope (*b*)	s_W
MONTLHERY	13.3	-4.00	0.0870
NANCY	16.7	-5.52	0.207
VTI	13.7	-4.12	0.298

Table 6. Estimated regression models for target level 272 $\mu\varepsilon_0$.

Laboratory	Intercept (*a*)	Slope (*b*)	s_W
MONTLHERY	11.3	-3.12	0.126
NANCY	13.3	-3.89	0.191
VTI	11.8	-3.42	0.285

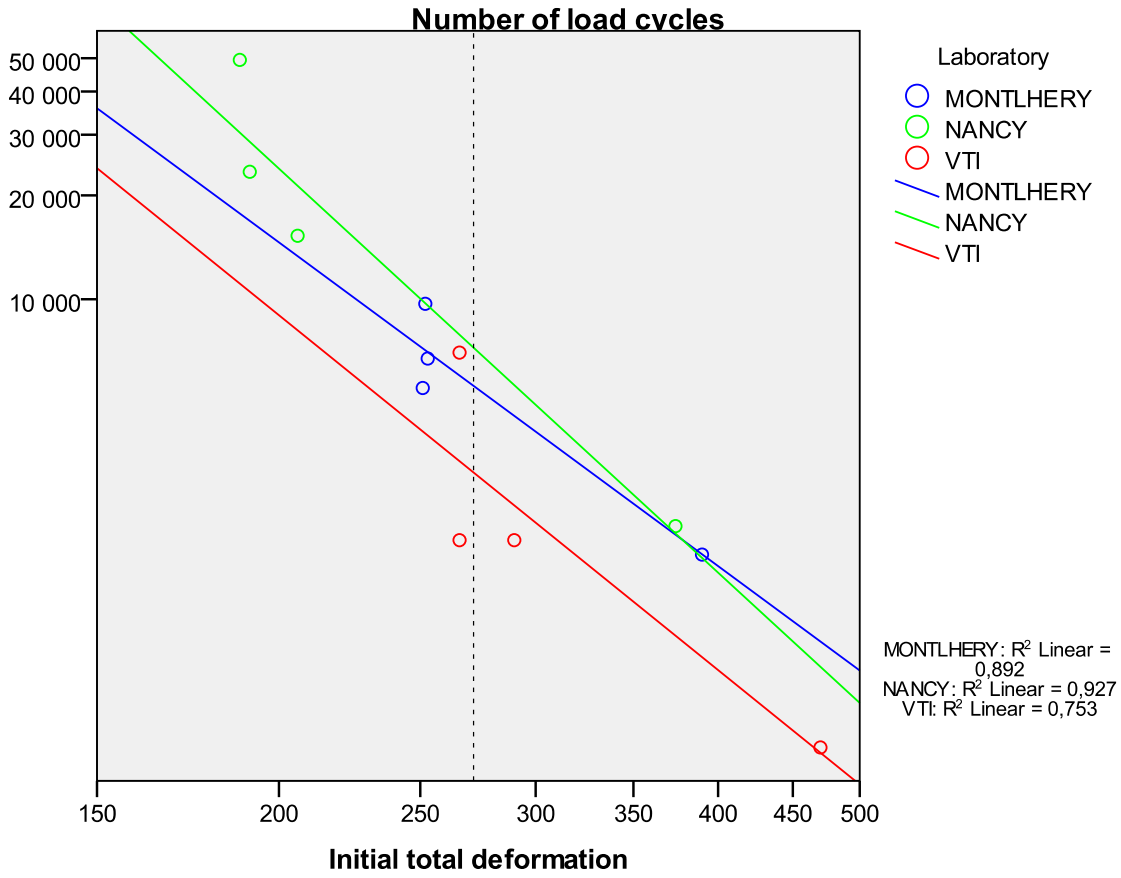


Figure 4. High-value group

Then respective regression equation from Table 4-Table 6 are used in order to predict number of load cycles (Nf) at each target level for respective laboratory, see Table 7. Those prediction might be compared with oned in Table 2.

Table 7. Predicted number of loads at target levels using method 2.

Laboratory	Initial total deformation ($\mu\varepsilon_0$)		
	89.4	158	272
MONTLHERY	611 000	33 000	5 580
NANCY	553 000	36 900	7 190
VTI	322 000	39 100	3 130

As in method 1 the between-laboratory standard deviations, s_L, then are the standard deviations for the logarithm of predicted number of loads at each target level from Table 7. However, as indicated above, in this case separate within-laboratory standard deviations are estimated at each target level of initial deformation. The repeatability variances, s_r^2, at each target level are estimated by the the arithmetic mean of the within-laboratory variances, s_W^2 at each target level. As before the reproducibility variance, s_R^2, at each

target level is determined by the sum of the between laboratory variance and the repeatability variance, i.e. $s_R^2 = s_L^2 + s_r^2$.

Table 8 shows the results. Also in this case the table shows relative repeatabilities and relative reproducibilites.

Table 8. Reproducibility and repeatability at three target levels using mehtod 2.

	Initial total deformation ($\mu\varepsilon_0$)		
	89,4	158	272
s_r	0.135	0.215	0.211
s_L	0.150	0.0373	0.185
s_R	0.202	0.218	0.281

Comment

Perhaps method 2 is closer to ISO 5725-2, but if the power relationship really holds, then it will result in unnecessary high uncertainty for the estimates of reproducibility and repeatability. On the other hand, if the power relationship is untrue, then method 1 might result in high systematic errors.

It is important that the range of variation for the observations of initial total deformation covers the target levels and to aim at observations as close to the target levels as possible. Especially, when using method 2 that might result in power regression equations with coefficients, particularly the slope, that seems unreasonable, but that really doesn't matter since the ability to predict at the target level is not affected.

Annex 5. Flash Info, abril 2010. Butlletí informatiu de l'empresa SCREG del mes d'abril del 2010

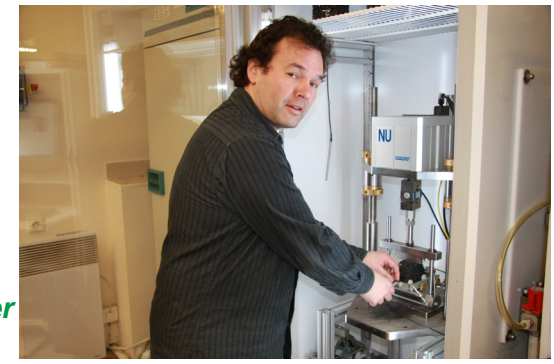
n°2 - 27 avril 2010

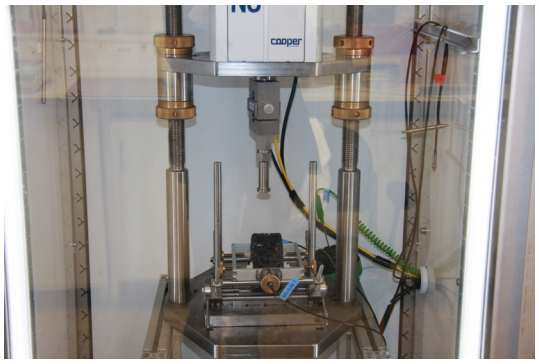
Flash Info

L'information en continu de Screg Ile-de-France Normandie

ACTU

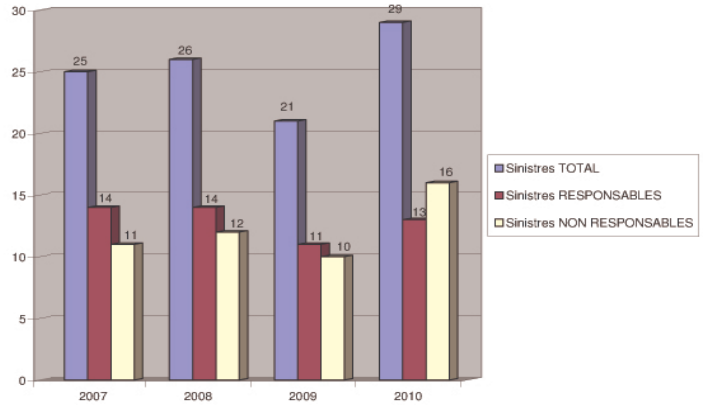
Des essais prometteurs au laboratoire de Montlhéry : optimiser nos structures de chaussées pour gagner des marchés



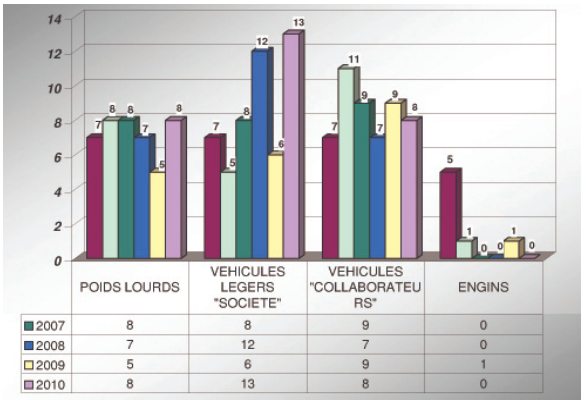


Manuel Vieira, chef du laboratoire de Montlhéry, règle la presse Cooper NU 14.

Sécurité Routière : retrouvez les chiffres de la sinistralité routière du mois de février 2010.



Comparatif - analyse sinistralité à fin février - (hors bris de glace)



	POIDS LOURDS	VEHICULES LEGERS "SOCIETE"	VEHICULES "COLLABORATEURS"	ENGINS
2007	8	8	9	0
2008	7	12	7	0
2009	5	6	9	1
2010	8	13	8	0

Comparatif fin février nombre de sinistres total / catégories de véhicule

Le groupe Colas remet chaque année le trophée sécurité routière à la filiale qui présente les taux les plus bas en termes de sinistralité routière entre le mois de septembre de l'année N et le mois de septembre de l'année N-1. C'est pourquoi les chiffres qui vous sont présentés ci-dessus exposent la sinistralité globale et non pas seulement la sinistralité responsable.

Un constat s'impose.

Le nombre de sinistres total a nettement augmenté par rapport à la même période de l'année dernière. Cette hausse est due à la forte progression du nombre de sinistres responsables et à l'augmentation du nombre d'accidents impliquant des véhicules légers (- 3,5 T).

Cet accroissement du taux de sinistralité doit cesser, nous devons nous ressaisir ! Au volant, sachez rester maître de votre véhicule en toutes circonstances.

La sécurité est un droit pour chacun, un devoir pour tous !

A suivre dans ce numéro

L'actu : des essais prometteurs au laboratoire de Montlhéry

La réunion des Relais RH

Pratique : le téléphone

SCREG

SCREG ILE-DE-FRANCE NORMANDIE

Screg Ile-de-France Normandie
Quartier Europe - 6 rue galilée - BP 61 - 78280 Guyancourt cedex.
Tel : 01 30 12 19 20 - www.screg-idfn.fr

Flash Info

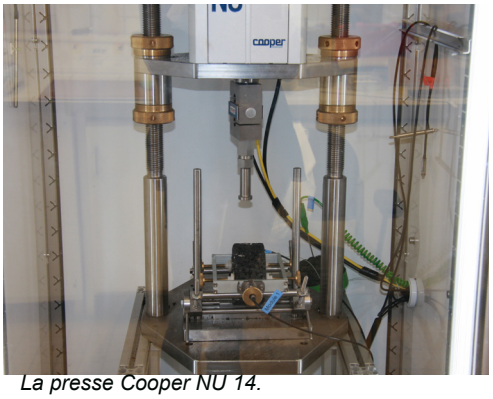
n°2 - 27 avril 2010

Toujours mieux vous accompagner dans votre vie professionnelle : la réunion des relais RH.

23 mars 2010. Agence de Montlhéry.

Première d'une longue série, la réunion des relais RH de Screg Ile-de-France Normandie autour de Jérôme Sourmail, arrivé le 1er décembre 2009, a permis d'échanger sur un certain nombre de thèmes. Après un point sur le projet Pharos, l'équipe des Ressources Humaines a traité les sujets suivants : recueil et tableau de bord RH, accords signés au niveau national, notamment sur le bien être au travail et la prévention du stress, accord Senior et Diagnostic Handicap. La journée a été ponctuée d'échanges et de finalisations de plans d'actions sur les différents thèmes abordés..

De gauche à droite. 1er rang : Nelly Picaud (G), Esther Ruhlmann (G), Jennifer Dezaubris (G), Jérôme Sourmail (DRH), Tiphaine de Pierrefeu (Cosson), Delphine Haraux (G), Caroline Rousseau (Yvelines), Christophe Perrin (SSD-VO) / Au 2ème rang : Suzy Grangeon (HDSP), Justine Le Delliou (Guyancourt), Cathy Scouarnec (Jouen), Nathalie Legrand (Essonne), Evelyne Dumazert (G), Sandrine Rinaldi (G), Céline Billard (VDM-SM), John Roisneaux (G).



La presse Cooper NU 14.

Eprouvette d'enrobé bitumineux.

Des essais prometteurs au laboratoire de Montlhéry : optimiser nos structures de chaussées pour gagner des marchés

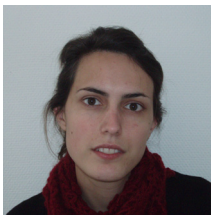
Le passage répété de charges roulantes sur les chaussées, tout particulièrement des poids lourds, entraîne des dégradations progressives des structures et des matériaux. La résistance à la fissuration des enrobés est en effet l'un des principaux facteurs qui influent sur la durée de vie des chaussées.

La connaissance du module de rigidité des enrobés est donc essentielle à l'accroissement de leur résistance et à l'augmentation de leur longévité. Le laboratoire de Montlhéry s'est équipé en 2006 d'une presse Cooper NU 14 pour mesurer le module de rigidité des enrobés.

Grâce à cet appareil, le Service Technique a mis au point une nouvelle méthode de calcul de la fatigue des enrobés dite « par compression diamétrale » : une éprouvette cylindrique de matériaux bitumineux compactés, fabriquée en laboratoire ou carottée dans une couche de chaussée, est soumise à des charges répétées constantes, par traction indirecte. La contrainte imposée par la succession de charges va provoquer la rupture verticale de l'éprouvette. Le nombre de charges successives avant cassure de l'éprouvette définit la durée de vie de l'enrobé.

Grâce à l'optimisation des nombreuses formulations mises en œuvre sur nos chantiers, les résultats de ces nouveaux essais concourent d'ores et déjà au dimensionnement des chaussées bitumineuses et guident nos équipes dans leur choix des matériaux enrobés les plus appropriés sur nos chantiers, notamment sur l'A29 - SAPN 2010 en Normandie.

A terme, le Service Technique sera en mesure de déterminer de manière précise la fatigue des enrobés de la marque Screg et donc de connaître le niveau d'endommagement d'une chaussée.de la gamme SCREG mais aussi de connaître le niveau d'endommagement d'une chaussée en enrobés dans le cas de chantiers en rechargement par exemple.



Cristina Mollet Torrella est espagnole. Elle a fait ses études à l'Université Polytechnique de Catalogne à Barcelone. Actuellement en master à l'ESTP, elle travaille sur les essais du laboratoire dans le cadre de son TFE Erasmus.

Pratique.

Jusqu'à présent, les abonnements téléphoniques de Screg Ile-de-France Normandie étaient chez Orange Business Service (OBS). Le groupe a décidé de changer d'opérateur pour Bouygues Telecom.

La migration téléphonique se fera par étapes : d'ici le mois de septembre 2010, toutes les agences de Screg IDFN auront leur abonnement de téléphonie fixe chez Bouygues Telecom. Chacune recevra en temps voulu un mail explicatif annonçant le calendrier des migrations.

Cette migration va permettre d'optimiser les coûts des communications téléphoniques, puisque quand votre agence sera passée chez Bouygues Telecom, les appels de votre poste fixe depuis votre bureau vers les mobiles Bouygues Tel des collaborateurs (fournis par l'entreprise) seront gratuits ainsi que les appels de poste fixe entreprise à poste fixe.

Pour plus d'informations : vous pouvez contacter Albéric HERAULT, le Responsable Achats au siège.

SCREG

SCREG ILE-DE-FRANCE NORMANDIE

A vous la parole ! Faites-nous partager votre quotidien !
Contactez-nous : 01 30 12 19 61 - *austry-millan@siegeidfn.screg.fr*