Utilisation du manège dans la construction d'un modèle de fatigue multi-essieux

D. Breysse, F. Homsi, S. Yotte, J.-M. Balay, D. Bodin

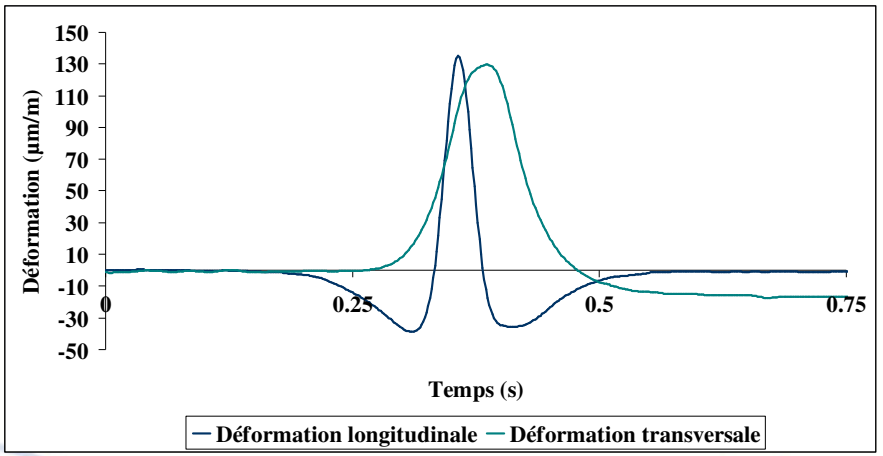
1978-2013

Un parcours d'expériences inédites

http://35ans-manege.ifsttar.fr

De nouvelles conditions de chargements des chaussées

Chaussées dimensionnées en fatigue sous essieu standard de 130 kN.



Quelles conséquences des configurations multi-essieux sur la durée de vie des enrobés ?

Les approches expérimentales possibles en fatigue

Essais de laboratoire sur éprouvettes normalisées		Essais sur site, sur chaussées réelles
Conditions contrôlées, essais simples		**Chargements réels**
Représentativité du chargement ?		Conditions non contrôlées (T, HR, trafic…)
Impose la section de rupture		Influence de PF, difficulté de séparer les facteurs explicatifs
Forte dispersion expérimentale		Difficultés d'interprétation à l'échelle matériau
Requiert un modèle matériau → chaussée		Difficultés métrologiques, durée des essais

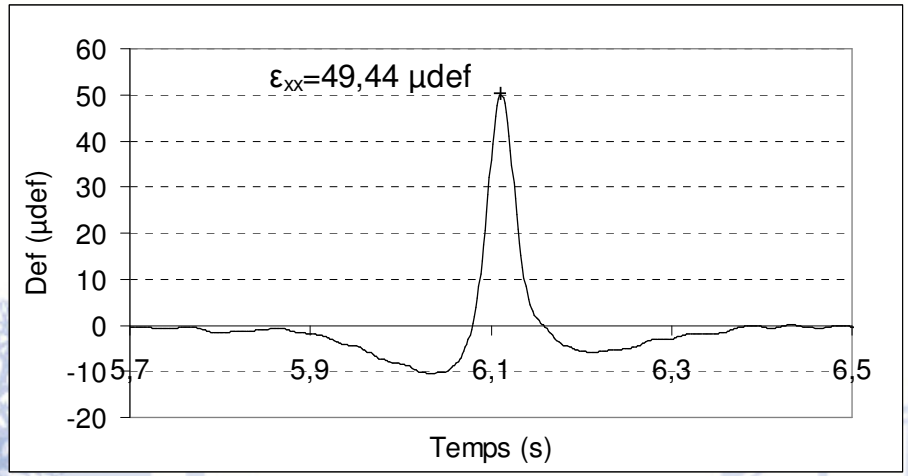
Les approches expérimentales possibles en fatigue

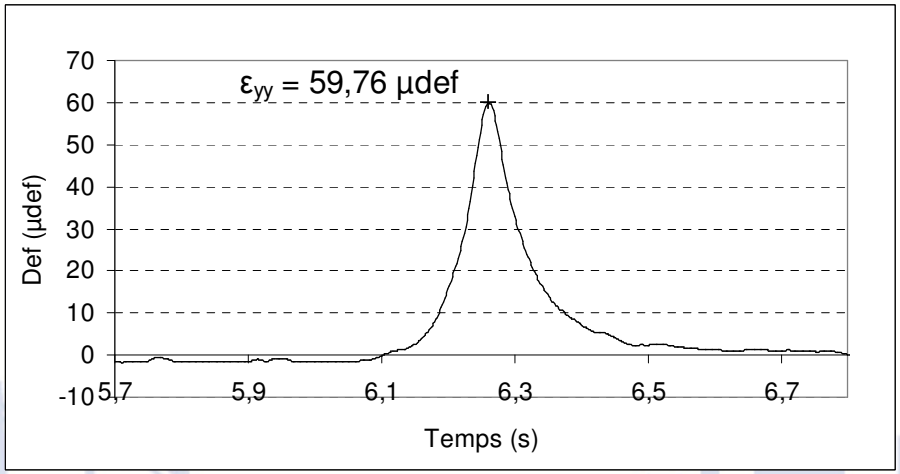
Essais de laboratoire sur éprouvettes normalisées	Manège de fatigue	Essais sur site, sur chaussées réelles
Conditions contrôlées, essais simples	**Compromis réalité / contrôle des conditions**	**Chargements réels**
Représentativité du chargement ?	**Compromis sur la durée**	Conditions non contrôlées (T, HR, trafic…)
Impose la section de rupture	Difficulté de séparer les facteurs explicatifs	Influence de PF, difficulté de séparer les facteurs explicatifs
Forte dispersion expérimentale	Difficultés d'interprétation à l'échelle matériau	Difficultés d'interprétation à l'échelle matériau
Requiert un modèle matériau → chaussée		Difficultés métrologiques, durée des essais

Comment estimer l'agressivité d'un multi-essieux ?

Un essieu tandem de 2 x 80 kN est-il plus (ou moins) agressif que deux essieux isolés de 80 kN ? Et qu'un essieu de 160 kN ?

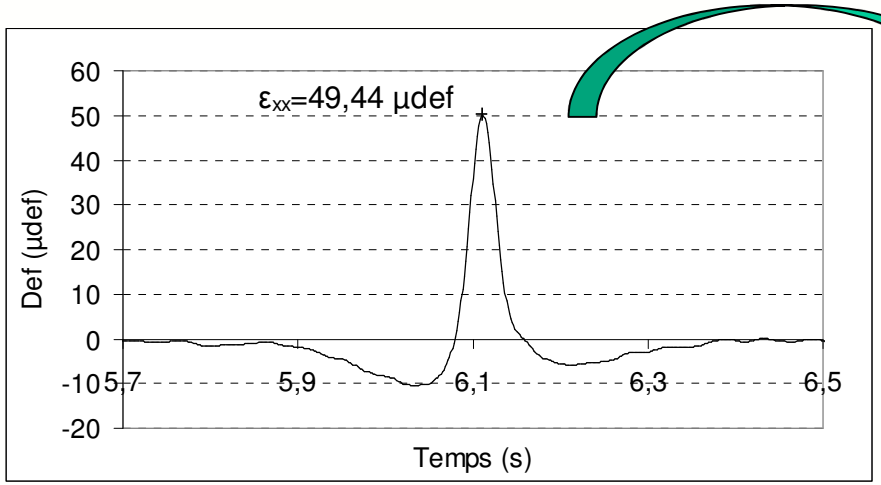
Dans l'approche usuelle de dimensionnement, on évalue l'effet de l'essieu isolé en calculant la déformation maximale ε qu'il engendre et en calculant la durée de service en fatigue $N(\varepsilon)$

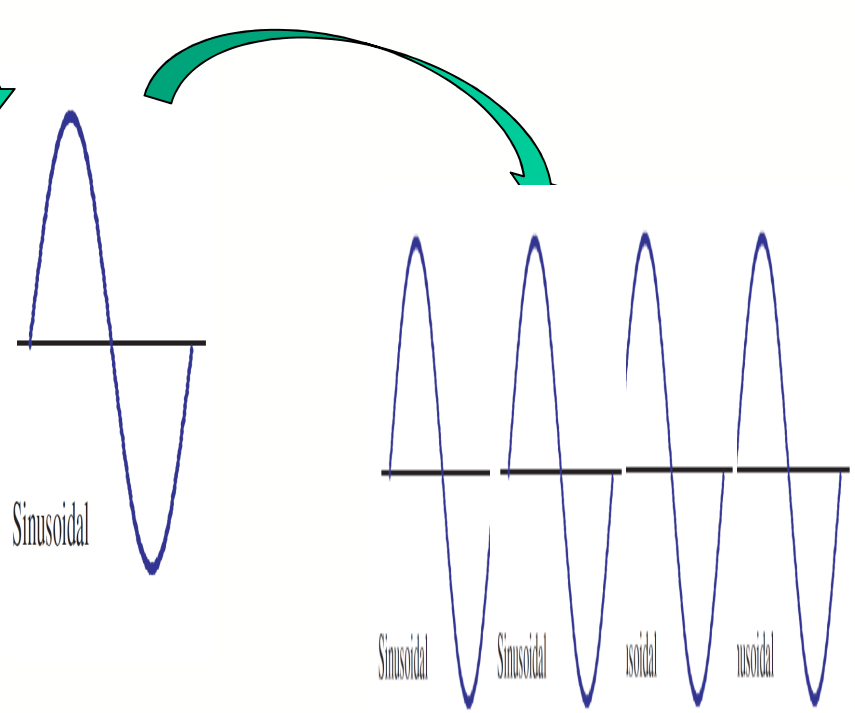




Déformations sous roue simple enregistrées au manège de fatigue v = 43 trs/min et t=8,6 °C

Principe du demi-sinus



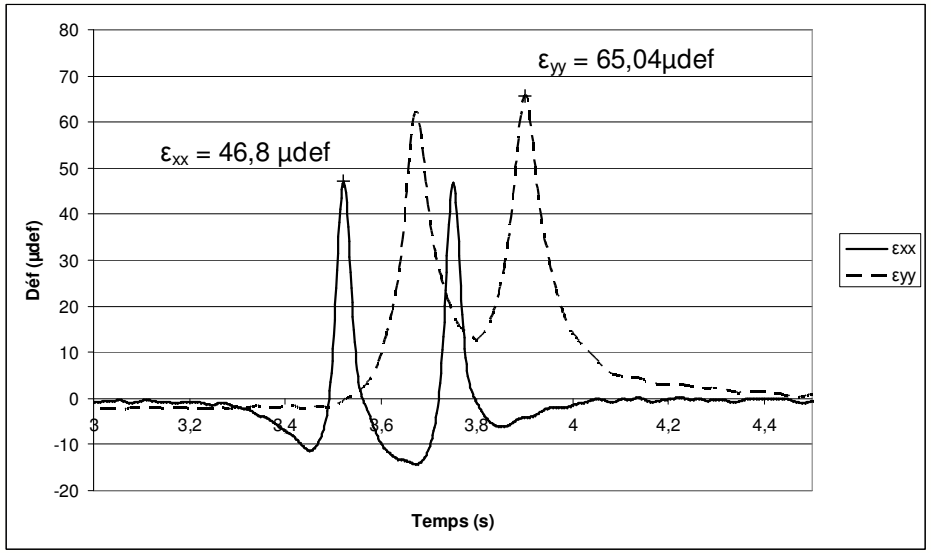


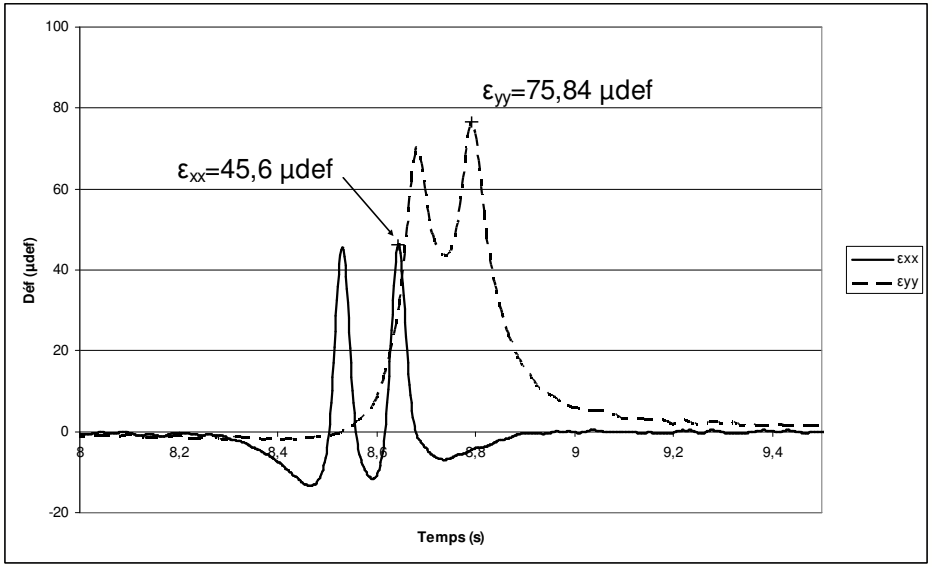
L'idée est que chaque demi-sinus a la même agressivité que le passage d'un essieu.

Reste t-elle valide pour un essieu composé où les roues se succèdent ?

Avec un essieu composé, les signaux sont complexes :

- longi vs transverse,
- fonction de l'empattement
- fonction de la vitesse (rôle de la viscosité)…





Comment :

- Identifier des signaux représentatifs des essieux composés ?
- Reproduire ces signaux dans des essais de laboratoire ?
- En quantifier les effets ?

(Breyse et al)

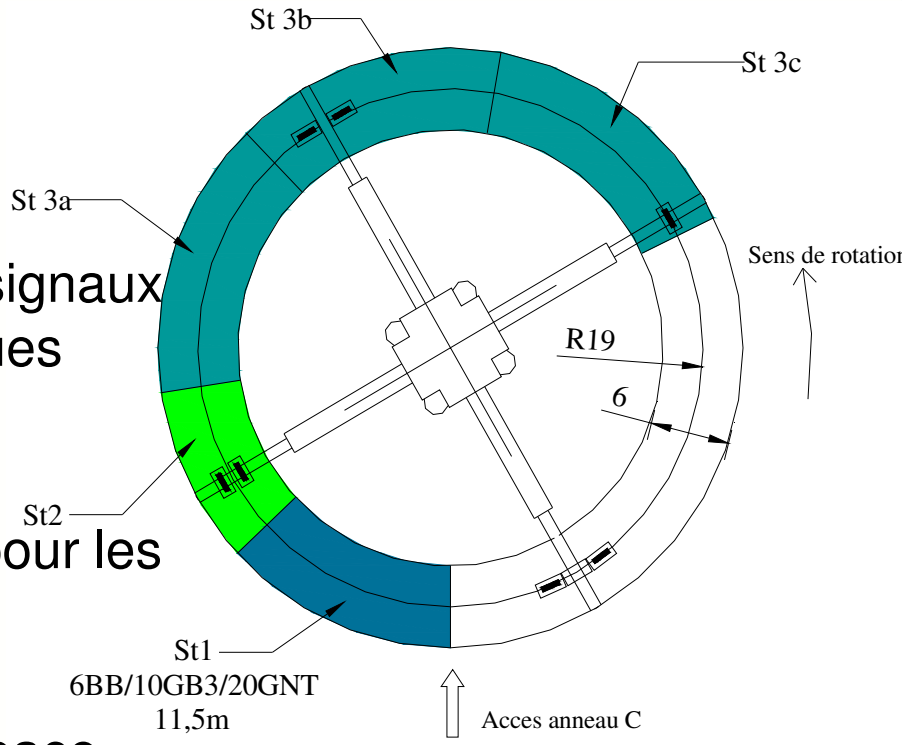
Démarche

1. Analyser une base expérimentale de signaux manège pour déduire les caractéristiques représentatives des signaux

2. Construire des signaux synthétiques pour les chargements de laboratoire

3. Mener un plan d'expérience dans l'espace des paramètres représentatifs des chargements réels

4. Identifier les lois de fatigue



Sur les quatre bras : roue simple, tandem, tridem, roues jumelées

1. Analyser une base expérimentale de signaux manège pour déduire les caractéristiques représentatives des signaux (1/3)

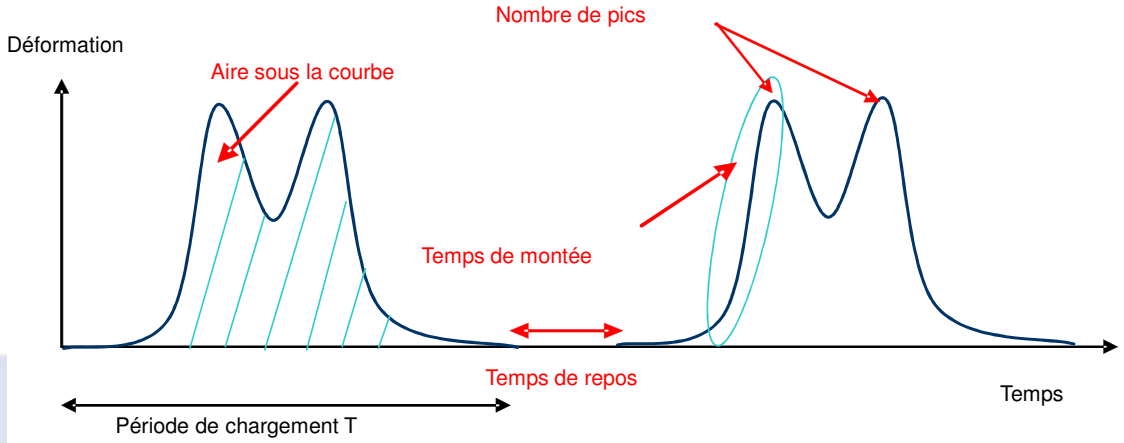
Paramètres caractérisant le chargement et influant sur la durée de vie en fatigue

- La fréquence de chargement
- Le temps de repos
- **La forme du signal**
- Le nombre de pics dans un cycle de chargement

Analyse :

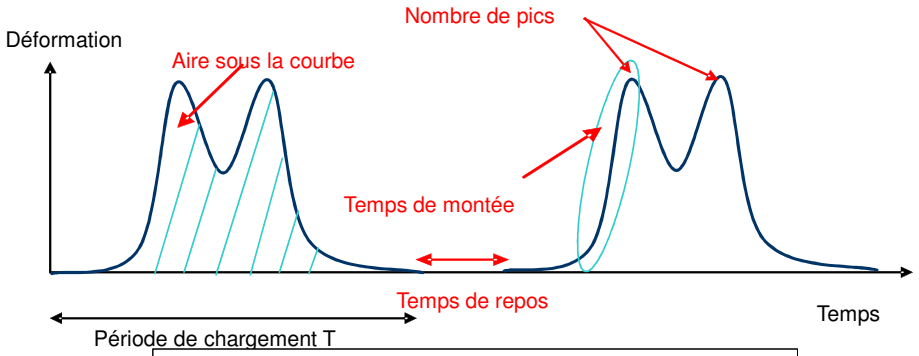
-de la forme des signaux ➔ identification de paramètres descriptifs

-des corrélations entre paramètres de forme (couplages possibles)



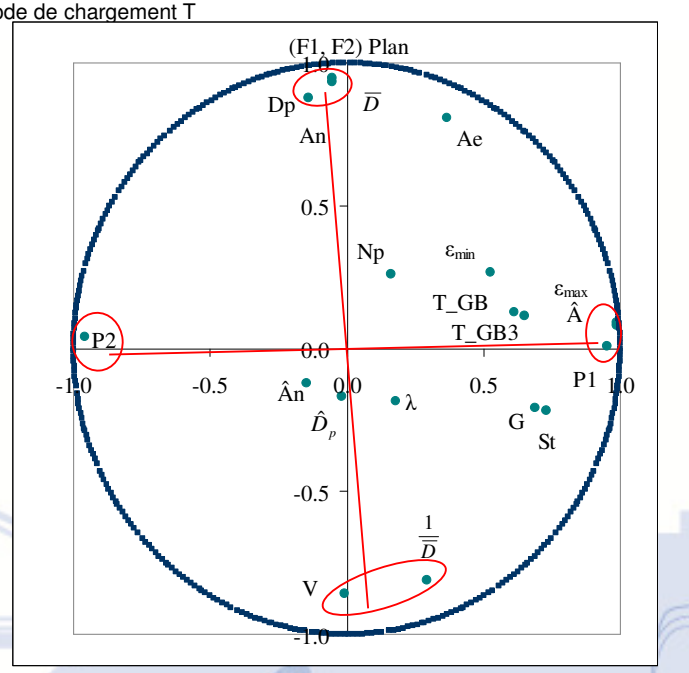
1. Analyser une base expérimentale de signaux manège pour déduire les caractéristiques représentatives des signaux (2/3)

Multitude de paramètres possibles



Analyse en composantes principales des signaux manèges (différentes configurations, vitesses, températures…) :

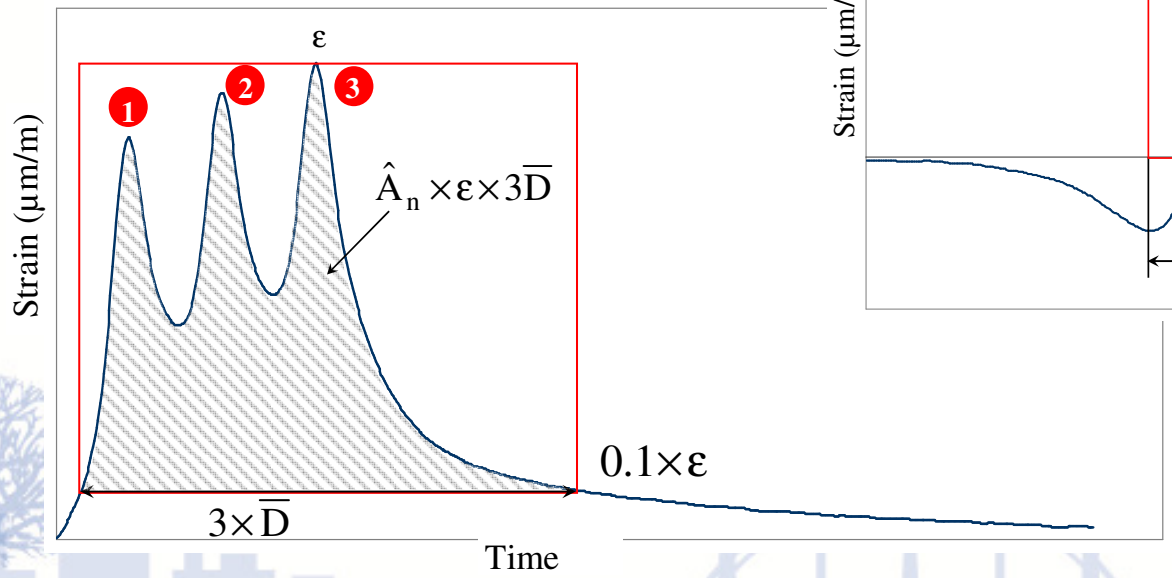
Sélection d'un nombre minimal de paramètres indépendants

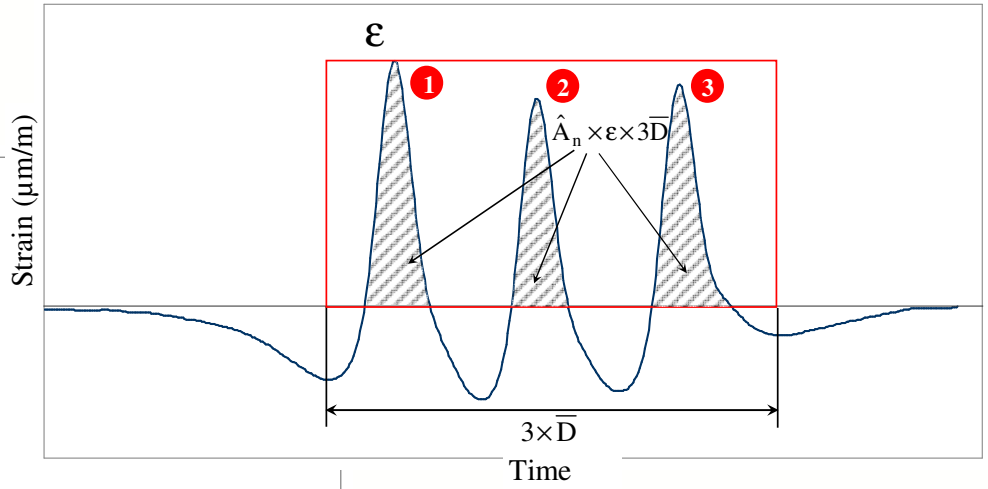


1. Analyser une base expérimentale de signaux manège pour déduire les caractéristiques représentatives des signaux (3/3)

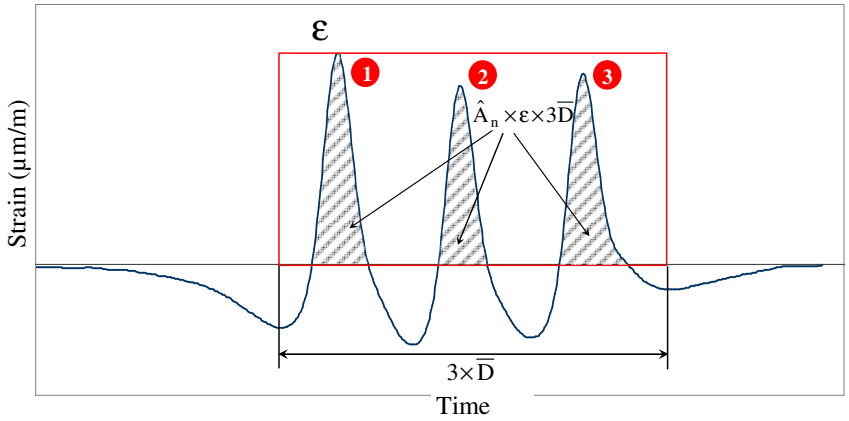
Modélisation de la forme des signaux longitudinaux et transverses :

nombre de pics N, amplitude des pics ε, durée du signal D, aire sous la courbe Â

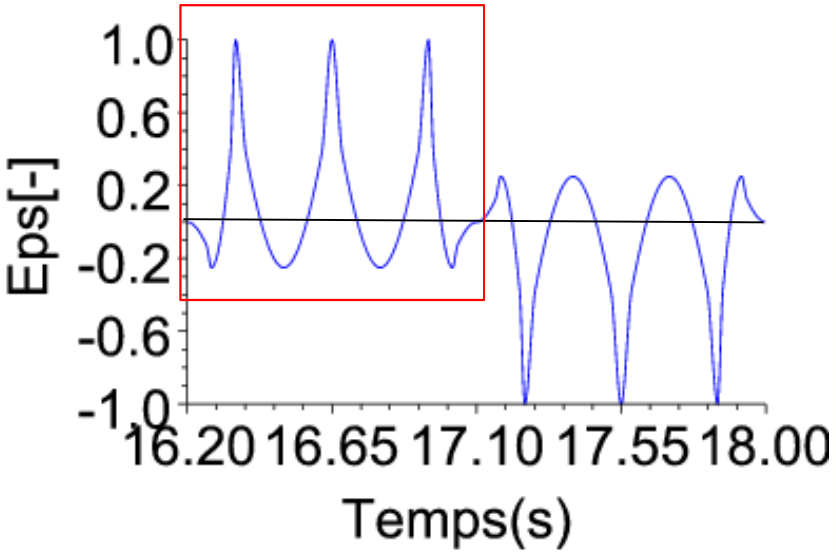




2. Construire des signaux synthétiques pour les chargements de laboratoire



Signal longitudinal réel



Signal longitudinal synthétique

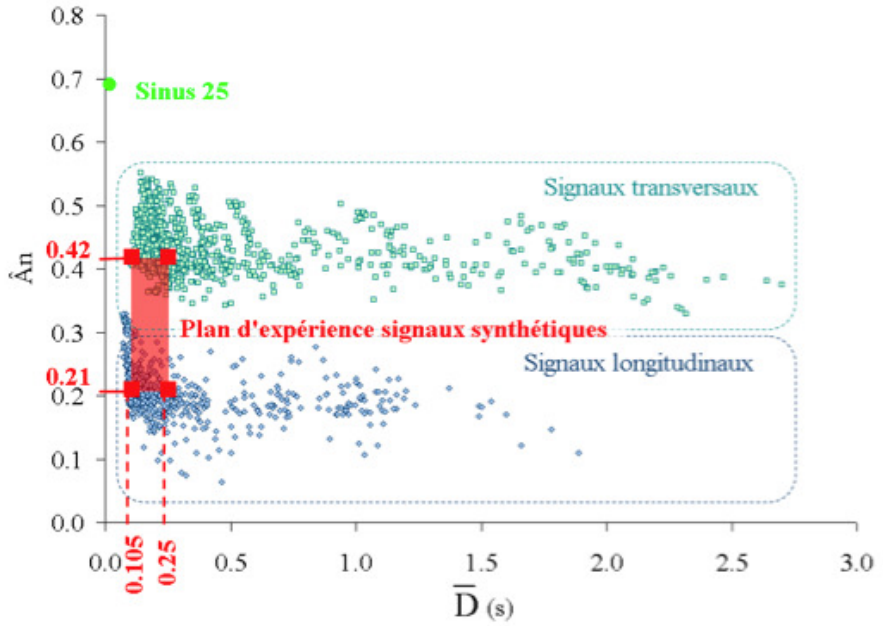
3. Elaboration d'un plan d'expérience (1/2)

ε : 450, 310, 215 et 145

N : 1 (Roue simple), 2 (Tandem) et 3 (Tridem)

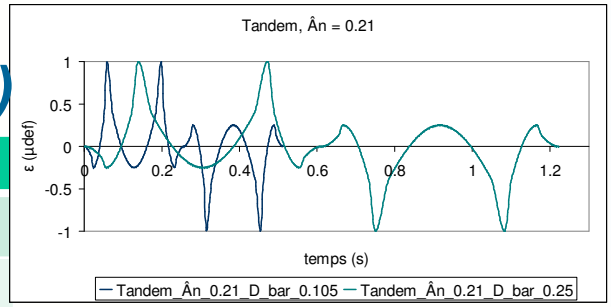
Â : 0.21 et 0.42 correspondant à des signaux longitudinaux et des signaux transversaux respectivement.

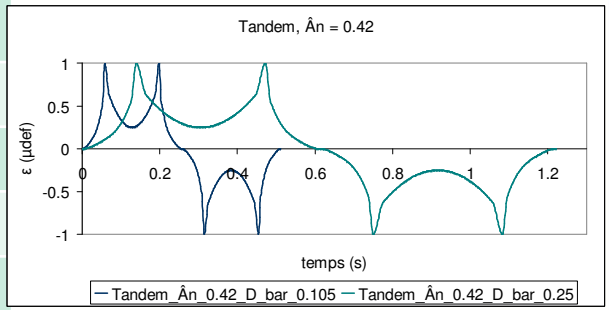
D : 0.105 et 0.25 (choisis de façon à correspondre à des vitesses de 20 à 150 km/h).

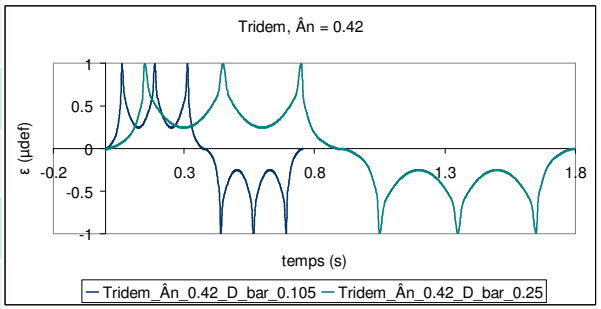


3. Elaboration d'un plan d'expérience (2/2)

Signal	N	D	A	Période (s)	Fréquence (Hz)
1	1	0.21	0.105	0.28	3.57
2			0.25	0.67	1.50
3		0.42	0.105	0.28	3.57
4			0.25	0.67	1.50
5	2	0.21	0.105	0.51	1.95
6			0.25	1.22	0.82
7		0.42	0.105	0.51	1.95
8			0.25	1.22	0.82
9	3	0.21	0.105	0.76	1.32
10			0.25	1.80	0.56
11		0.42	0.105	0.76	1.32
12			0.25	1.80	0.56







nombre de pics N,

amplitude des pics ε,
durée du signal D,
aire sous la courbe A

Attention aux paramètres !

Configuration d'essieu,
Vitesse du véhicule,
Épaisseur des couches,
Température…

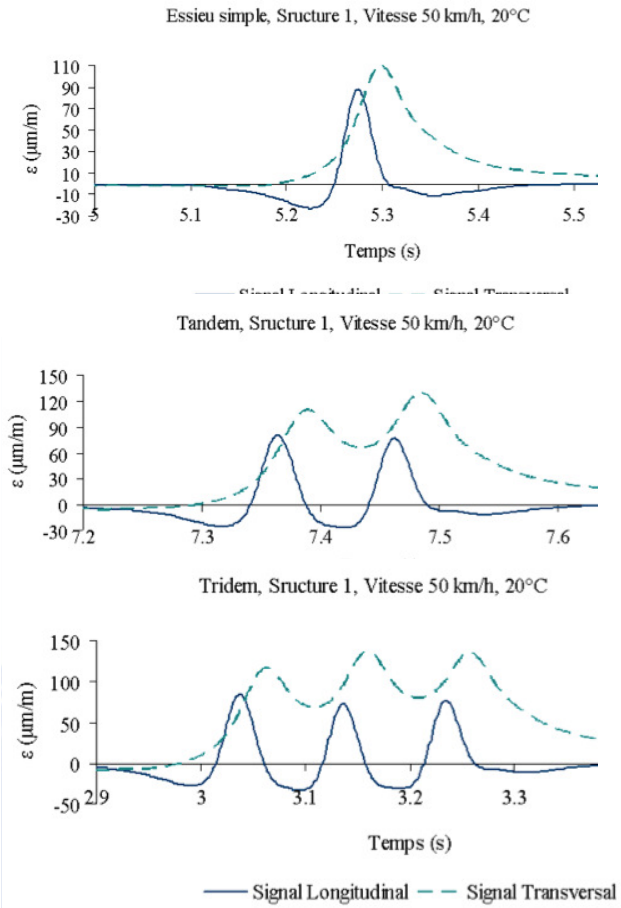
4. Identification de la loi de fatigue (1/3)

$$\text{Log}(N) = a \log(\varepsilon) + b (\log N_p) + c\,A + d\,D + e$$

	a	b	c	d	e
valeur	-4.58	-0.84	1.31	1.76	15.22
écart-type	0.16	0.11	0.20	0.29	0.40

4. Identification de la loi de fatigue (2/3)

Utilisation de la loi pour calculer la durée de vie sous différentes configurations



$\varepsilon(\mu m/m)$	N_p	$\widehat{A}_n$	$\overline{D}$	$\log N_f$	$N_f(cycles)$	CTR (10^7 t)	Rapport CTR : R	1/R
88	1	0,23	0,13	6,84	6,98E+06	3,07	1,00	1
79	2	0,24	0,11	6,78	6,06E+06	5,34	1,74	0,57
78	3	0,22	0,11	6,63	4,23E+06	5,59	1,82	0,55

TABLE 3.8 – Paramètres de forme et durée de vie en fatigue, effet du nombre d'essieux, direction longitudinale, $\varepsilon_{moyenne}$

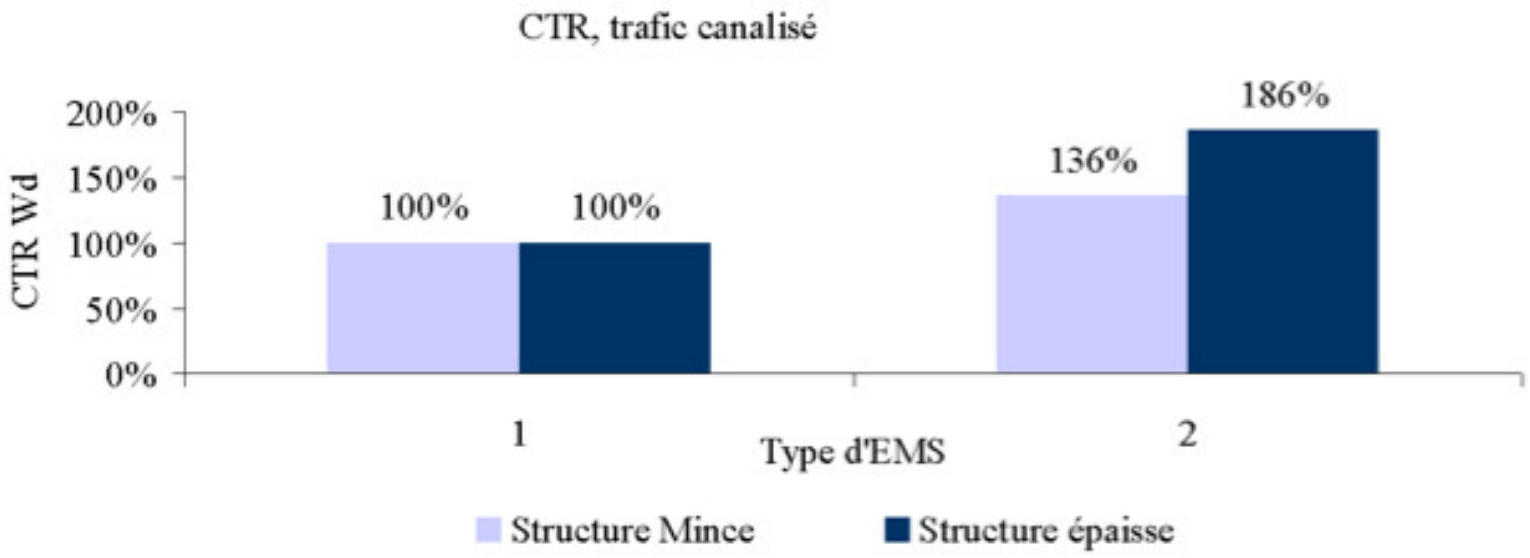
$\varepsilon(\mu m/m)$	N_p	$\widehat{A}_n$	$\overline{D}$	$\log N_f$	$N_f(cycles)$	CTR(10^7 t)	Rapport CTR : R	1/R
110	1	0,39	0,23	6,78	5,97E+06	2,63	1,00	1
120	2	0,43	0,19	6,34	2,19E+06	1,92	0,73	1,37
129	3	0,45	0,18	6,06	1,15E+06	1,52	0,58	1,72

TABLE 3.9 – Paramètres de forme et durée de vie en fatigue, effet du nombre d'essieux, direction transversale, $\varepsilon_{moyenne}$

4. Identification de la loi de fatigue (3/3)

Utilisation de la loi pour calculer la durée de vie sous différentes configurations

EMS 1 : 460 kN sur 7 essieux, EMS 2 : 500 kN sur 8 essieux



Exploitation des résultats – questions ouvertes

Le modèle établi permet d'estimer des durées de vie pour différentes configurations, mais:

- Pas de validation en fatigue sur le manège, qui n'a été utilisé ici que pour qualifier les signaux représentatifs de ces chargements complexes

- Combinaison des agressivités longi / transverse à apprécier pour les effets sur la fatigue (approche usuelle : considérer le seul maximum)

- Appliquer à une chaussée requiert de simuler (visco-élasticité) pour avoir les signaux de chargement

- Travaux sur les effets du balayage (en cours)

Des envies de manège ?

-Suivi saisonnier des dégradations : rôle de l'eau et de la portance de la plate-forme

-Maîtrise de l'effet des temps de repos : un vrai défi, traité au laboratoire

-Développement et calibration de méthodes CND de suivi de l'endommagement des chaussées

Merci pour votre attention