

## Propriétés des élastomères

Les propriétés d'un élastomère sont déterminées principalement par le choix du polymère de base. Ces propriétés dépendent cependant de la composition du mélange et peuvent être adaptées, dans certaines limites, à chaque application. Le tableau ci-dessous permet de trouver un compromis en fonction des différentes propriétés recherchées.

Grâce à la diversité des élastomères de base disponibles et aux nombreux mélanges spéciaux déjà élaborés par FREUDENBERG, nous pouvons vous fournir des pièces dans le matériau approprié à votre application.

Le caoutchouc naturel conserve ses propriétés mécaniques sur une large plage de températures (de  $-45^{\circ}\text{C}$  à  $+70^{\circ}\text{C}$ ) ; il reste le principal composant de base pour l'isolation des vibrations. L'augmentation de la raideur d'un ressort à base de caoutchouc naturel pour des températures de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $-45^{\circ}\text{C}$  est relativement faible, comparée à celle de la plupart des mélanges à base de caoutchoucs synthétiques. Il est de ce fait possible d'utiliser les éléments de construction fabriqués en caoutchouc naturel dans des zones climatiques extrêmes. En général, les éléments standard présentés dans ce catalogue sont fabriqués dans des mélanges à base de caoutchouc naturel.

Pour des cas d'utilisation spéciaux, d'autres élastomères sont disponibles.

Outre cet élastomère « classique », le NBR (Butadiène Nitrile-Acrylique) est utilisé non seulement pour un fonctionnement à hautes températures mais aussi en contact avec des huiles minérales. Les mélanges à base de caoutchouc Ethylène-acrylique (AEM) et Ethylène-propylène (EPDM) sont utilisés de plus en plus souvent.

Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques des élastomères de base utilisés couramment pour l'isolation des vibrations. A l'exception des températures limites, les propriétés respectives ne sont indiquées que qualitativement. En effet, les propriétés des élastomères varient considérablement en fonction de la dureté Shore, de la température et des sollicitations dynamiques. Nous tenons à la disposition de nos clients les caractéristiques techniques de tous ces mélanges.

Outre la gamme indiquée, il existe plus de 100 références de mélanges destinés à des applications spéciales.

Une équipe de spécialistes se tient à votre disposition pour tout renseignement.

### Choix

Dans la conception des suspensions à base d'élastomère, ainsi que dans le choix de cet élastomère, il faut tenir compte de la « rigidification dynamique » du matériau.

Il s'agit ici de l'augmentation du module d'élasticité et du module de cisaillement, c'est-à-dire de la raideur du ressort lors des sollicitations dynamiques.

Il est difficile de décrire avec précision ce phénomène de rigidification, dans la mesure où celui-ci dépend, d'une part, de la dureté et de l'amortissement interne de l'élastomère et d'autre part, de la fréquence, de l'amplitude d'excitation et de la température.

Le taux de rigidification dynamique augmente en général avec :

- une plus grande dureté,
- un amortissement interne plus important,
- une fréquence plus élevée,
- une amplitude plus faible,
- une température plus basse.

Dans le cas d'élastomères peu amortis (par exemple : un mélange de faible dureté à base de caoutchouc naturel), le taux de rigidification peut être négligé. Dans le cas d'un mélange à fort amortissement, ce taux est très élevé et doit alors être pris en considération.

## Propriétés de quelques mélanges

Elastomère de base	Caoutchouc Naturel	Caoutchouc-Butadiène Nitrile-Acrylique	Caoutchouc Ethylène-Acrylique	Caoutchouc Ethylène-Propylène
Désignation selon normes I.S.O. Références FREUDENBERG	NR 11 MN	NBR 17 MP	AEM 23 MA	EPDM 22 ME
Plage de duretés (Shore A)	35-80	45-85	55-85	40-80
Résistance à la rupture en traction	très bonne	bonne	bonne	bonne
Rebondissement	moyen jusqu'à très élevé	moyen	faible	moyen
Amortissement interne	très faible	moyen	élevé	moyen
Flexibilité aux basses températures ( $^{\circ}\text{C}$ )	- 45	- 20	- 20	- 40
Température maxi. en continu ( $^{\circ}\text{C}$ )	+ 70	+ 90	+ 120	+ 110
Température maxi. en pointe ( $^{\circ}\text{C}$ )	+ 90	+ 110	+ 150	+ 140
Résistance au vieillissement et aux intempéries	moyenne jusqu'à bonne	bonne	très bonne	très bonne
Résistance aux huiles minérales	faible	très bonne	moyenne	faible
Résistance en présence de :				
— acides	bonne	bonne	mauvaise	très bonne
— bases	bonne	bonne	mauvaise	très bonne

# Amortissement et isolation des vibrations

Lorsque des masses et des corps sont sollicités, ceux-ci engendrent inévitablement du bruit et des vibrations qui entraînent des efforts dynamiques supplémentaires aux éléments de construction.

Pour que naissent des vibrations, un système doit comporter au moins une masse et un ressort. Alors qu'en pratique la masse est facilement mesurable, le ressort est souvent difficilement identifiable.

Le but de l'amortissement et de l'isolation des vibrations est de réduire les amplitudes de vibrations par l'utilisation d'amortisseurs ou de ressorts, dont les caractéristiques dynamiques sont définies précisément.

Les bases théoriques de l'amortissement et de l'isolation des vibrations linéaires sont rappelées ici pour un système masse-ressort-amortisseur :

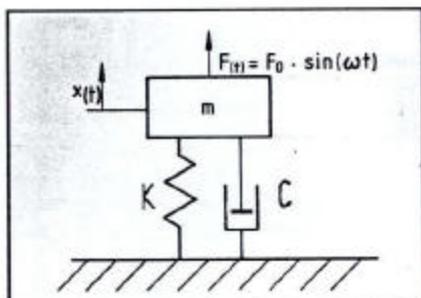


Fig. 1 : Modélisation d'un système masse-ressort amortisseur

En partant de l'équation fondamentale de la dynamique :

$$\begin{matrix} \text{Effort dû} & + & \text{Effort} & + & \text{Effort dû} & = & \text{Force} \\ \text{à l'inertie} & & \text{dû au} & & \text{à l'amor-} & & \text{d'exci-} \\ \text{de la masse} & & \text{ressort} & & \text{tissement} & & \text{tation} \end{matrix}$$

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = F(t)$$

Nous obtenons les courbes de transmissibilité qui nous indiquent le rapport de la force transmise (Ft) sur la force d'excitation (F0), en fonction du facteur d'amortissement ( $\alpha$ ) et du rapport de la fréquence d'excitation ( $f_e$ ) sur la fréquence propre du système ( $f_p$ ) :

$$\frac{F_t}{F_0} = \sqrt{\frac{1 + (2\alpha\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\alpha\lambda)^2}}$$

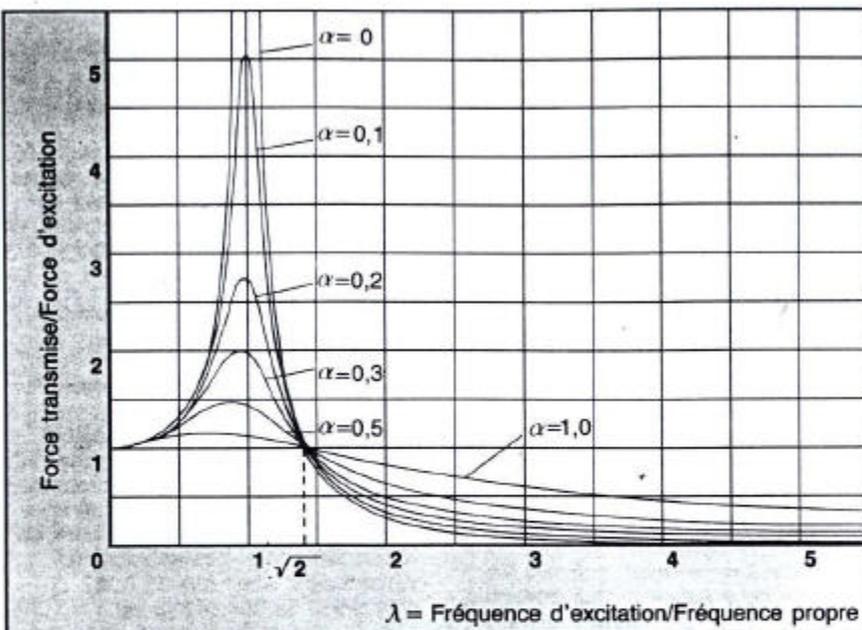


Fig. 2 : Courbe de transmissibilité

Grâce aux courbes de transmissibilité (fig. 2), il est possible de déterminer le comportement vibratoire du système Masse-Ressort-Amortisseur :

1. Quand la fréquence d'excitation est équivalente à la fréquence propre ( $\lambda = 1$ ), les forces transmises atteignent leur valeur maximale. Dans ce cas, on parle de résonance.
2. Dans la zone d'amplification ( $\lambda < 1$ ) ainsi que dans le domaine de la résonance, la force transmise est toujours supérieure à la force d'excitation. Seule l'augmentation de l'amortissement peut la réduire. Dans ce cas, on parle d'amortissement de vibrations.
3. Dans la zone d'atténuation à partir d'un rapport de fréquences ( $\lambda > \sqrt{2}$ ), la force transmise est inférieure à la force d'excitation. Dans ce domaine, il faut éviter l'amortissement car celui-ci entraîne une augmentation de la force transmise. Pour certaines applications, comme par exemple pour les suspensions de machines fonctionnant en régime stationnaire, des ressorts en élastomère avec un peu d'amortissement sont très bien adaptés.
4. Plus la fréquence propre est petite par rapport à la fréquence d'excitation, meilleure est l'isolation des vibrations du système.

Le degré d'isolation ( $i$ ) est un paramètre qui indique la part de force d'excitation transmise au sol et ainsi la qualité de l'isolation.

$$i = \frac{F_0 - F_t}{F_0} = 1 - \sqrt{\frac{1 + (2\alpha\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\alpha\lambda)^2}}$$

La fréquence propre d'un système linéaire masse-ressort se calcule en fonction de la déflexion statique, d'après la formule suivante (« s » exprimé en mm) :

$$f_p = \frac{950}{\sqrt{s}} \quad [\text{tr/mn}]$$

Le tableau ci-contre résulte des deux équations précédentes ( $\alpha = 0$ ). Il donne le degré d'isolation « i » souhaité, en fonction de la fréquence d'excitation donnée « fe » et de la déflexion statique « s ». Dans la plupart des cas, un degré d'isolation d'environ 80 % est satisfaisant, compte tenu des moyens techniques mis en œuvre.

### Légende :

m	Masse
C	Constante d'amortissement
$\alpha$	Facteur d'amortissement
K	Raideur du ressort
x	Déplacement de la masse
F0	Force d'excitation
Ft	Force transmise au sol
$\omega$	Pulsation ( $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ )
fp	Fréquence propre d'un système non amorti
fe	Fréquence d'excitation
$\lambda$	Rapport de fréquences ( $\lambda = f_e/f_p$ )
s	Déflexion statique
i	Degré d'isolation

# Choix de supports : exemple

Une machine, qui tourne à une vitesse de rotation de 1 200 tr/mn. à 2 500 tr/mn., doit être maintenue, tout en étant isolée des vibrations. Le but est de transmettre au sol au maximum 20 % ( $i \geq 80\%$ ) des forces d'excitation provoquées par des défauts d'équilibrage. Le centre de gravité n'est pas équidistant des points de fixation, de sorte que les 4 supports (disposés aux extrémités) sont soumis à des efforts différents. Les données sont  $a = 1\ 000\text{ mm}$ ,  $b = 450\text{ mm}$ ,  $c = 800\text{ mm}$ ,  $d = 320\text{ mm}$ . La masse de la machine est de 1 000 kg, soit un poids  $G$  de 10 000 N.

Solutions :

## 1. Recherche de la déflexion statique nécessaire pour $i = 80\%$

Les courbes de transmissibilité (fig. 2) montrent que le degré d'isolation, tout en gardant la même déflexion statique, se dégrade avec une plus petite fréquence d'excitation. Nous choisirons la fréquence d'excitation la plus faible pour déterminer la déflexion statique. A partir du tableau ci-dessous, nous obtenons pour le régime  $n = 1\ 200\text{ tr/mn.}$  et pour une isolation de 80 %, une déflexion statique  $s \geq 3,7\text{ mm.}$

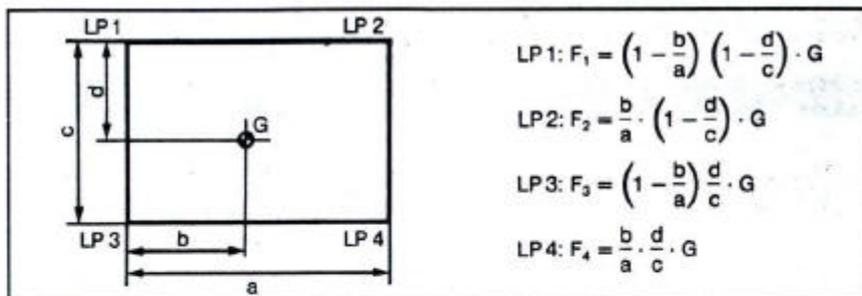


Fig. 3 : Exemple

## 2. Calcul des réactions aux points de fixation

En tenant compte de la masse et des dimensions ci-dessus, (voir fig. 3), on obtient :

$$\begin{aligned} F_1 &= 3\ 300\text{ N} \\ F_2 &= 2\ 700\text{ N} \\ F_3 &= 2\ 200\text{ N} \\ F_4 &= 1\ 800\text{ N} \end{aligned}$$

## 3. Choix des supports

En raison des charges données et de la déflexion statique exigée, les supports standard sont choisis selon l'encombrement et les exigences de fixation. Dans cet exemple, la machine doit être fixée sur les supports machines. Nous prendrons le support réf. 5018 001 (voir page 22) et nous choisirons les duretés de mélanges adaptées aux charges.

$$LP1: F_1 = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \left(1 - \frac{d}{c}\right) \cdot G$$

$$LP2: F_2 = \frac{b}{a} \cdot \left(1 - \frac{d}{c}\right) \cdot G$$

$$LP3: F_3 = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \frac{d}{c} \cdot G$$

$$LP4: F_4 = \frac{b}{a} \cdot \frac{d}{c} \cdot G$$

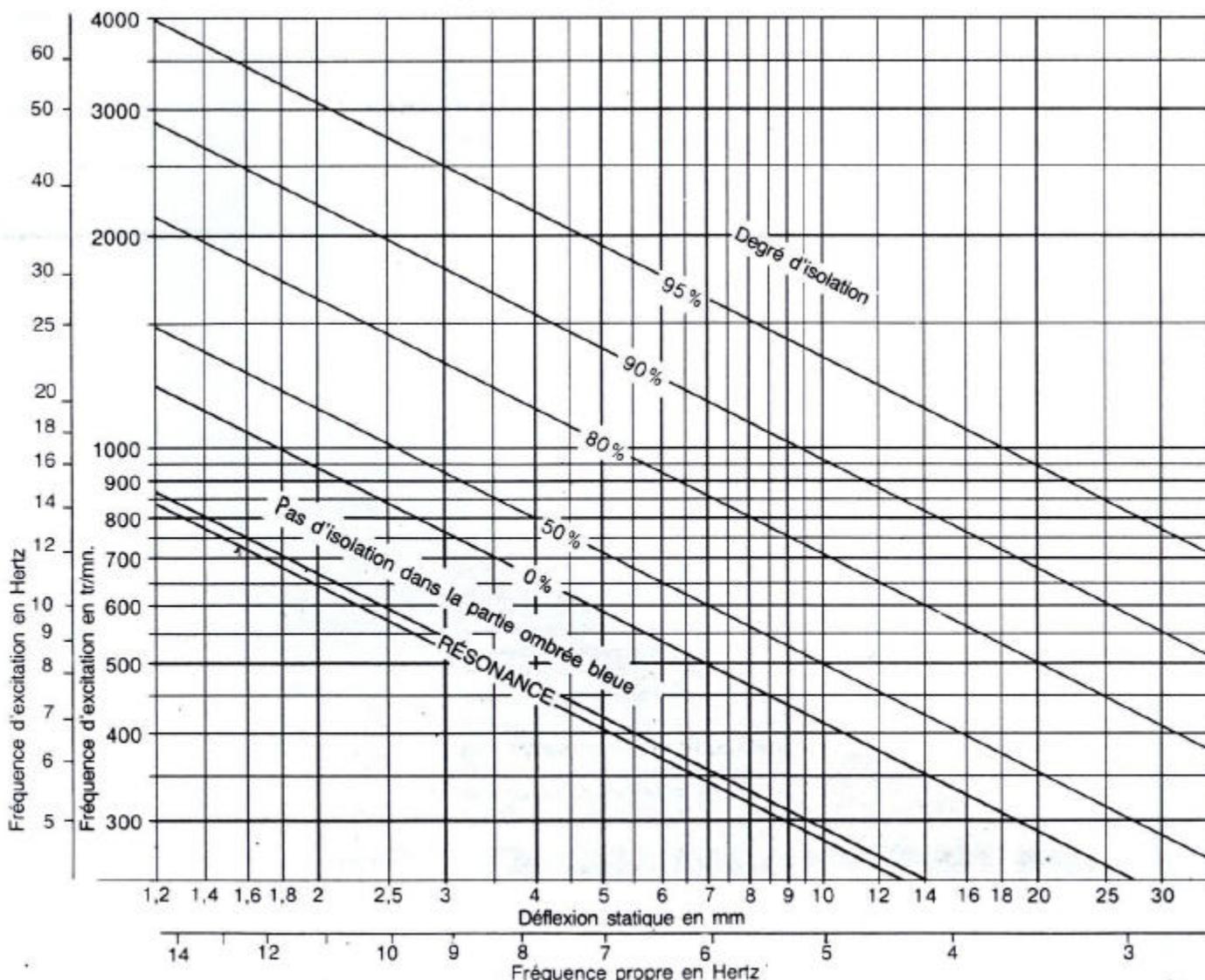
- Pour le point LP1 ou LP2, un support machine type A0
- Pour le point LP3 ou LP4, un support machine type A1.

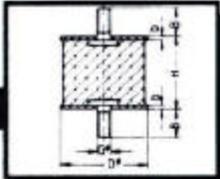
## 4. Contrôle de degré d'isolation

Grâce aux déflexions et charges maximales indiquées dans les tableaux de caractéristiques, la déflexion statique réelle peut être calculée :

$$S \approx \frac{S_{\max}}{F_{\max}} \cdot F$$

Pour la suspension choisie ci-dessus, on obtient selon le point de fixation un degré d'isolation  $i > 80\%$ .





## Supports cylindriques type A Freudenberg

Référence	Mélanges CF	D mm	H mm	b mm	Filetage	B mm	Valeurs nominales maximales			
							Cisaillement		Compression	
							F <sub>max</sub> N	s <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> N	s <sub>max</sub> mm
5218 242	11 MN 45	10	9	1	M 4	6	14	3	18	0,8
5218 129	11 MN 45	15	8	1	M 4	6/8	30	3	45	0,7
5218 058	11 MN 45	15	15	1	M 4	15	35	5	40	1,6
5218 057	11 MN 45	16	6	1,2	M 4	10	40	2	100	0,4
5218 039	11 MN 45	20	15	1,5	M 6	15	65	5	90	1,4
5218 149	11 MN 45	20	20	1,5	M 6	10	65	7	80	2,0
5218 061	11 MN 45	20	20	1,5	M 6	18,5	65	7	80	2,0
5218 095	11 MN 45	20	25	1,5	M 6	18,5	65	9	75	2,3
5218 132	11 MN 45	25	20	1,5	M 6	10	110	7	140	2,0
5218 086	11 MN 45	25	20	1,5	M 6	15	110	7	140	2,0
5218 125	11 MN 45	25	35	1,5	M 6	18,5	110	13	110	3,6
5218 151	11 MN 45	30	15	2	M 8	23	150	5	270	1,3
5218 099	11 MN 45	30	20	2	M 8	13	150	7	220	1,9
5218 163	11 MN 45	30	25	2	M 8	23	150	9	200	2,5
5218 067	11 MN 45	30	30	2	M 8	23	150	11	180	3,1
5218 123	11 MN 45	40	30	2,5	M 8	22,5	280	11	400	3,0
5218 070	11 MN 45	40	30	2,5	M 10	27,5	280	11	400	3,0
5218 153	11 MN 45	40	40	2,5	M 8	22,5	280	15	350	4,2
5218 089	11 MN 45	50	30	2,5	M 10	17,5	450	10	700	3,0
5218 040	11 MN 45	50	30	2,5	M 10	27,5	450	10	700	3,0
5218 072	11 MN 45	50	40	2,5	M 10	27,5	450	15	600	4,2
5218 174	11 MN 45	50	45	2,5	M 10	27,5	450	17	550	4,8
5218 110	11 MN 45	50	50	2,5	M 10	27,5	450	19	500	5,4
5218 206	11 MN 45	70	45	2,5	M 10	27,5	900	17	1400	4,8
5218 075	11 MN 45	70	60	3	M 12	37	900	22	1200	6,5
5218 078	11 MN 45	75	25	3	M 12	37	1000	8	2800	2,3
5218 272	11 MN 45	75	40	3	M 12	25	1000	14	1800	4,1
5218 210	11 MN 45	75	55	3	M 12	37	1000	20	1500	5,9
5218 113	11 MN 45	75	70	3	M 12	37	1000	26	1400	7,7
5218 131	11 MN 45	100	40	4	M 16	36	2000	14	4000	3,8
5218 016	11 MN 45	100	40	4	M 16	46	2000	14	4000	3,8
5218 100	11 MN 45	100	55	4	M 16	46	2000	20	3000	5,6
5218 083	11 MN 45	100	75	4	M 16	46	2000	28	2600	8,0
5218 242	11 MN 60	10	9	1	M 4	6	40	4	50	0,7
5218 129	11 MN 60	15	8	1	M 4	6/8	80	3	100	0,6
5218 058	11 MN 60	15	15	1	M 4	15	80	6	90	1,5
5218 057	11 MN 60	16	6	1	M 4	10	100	2	150	0,5
5218 039	11 MN 60	20	15	1,5	M 6	15	140	6	180	1,5
5218 149	11 MN 60	20	20	1,5	M 6	10	140	8	160	1,8
5218 061	11 MN 60	20	20	1,5	M 6	18,5	140	8	160	1,8
5218 095	11 MN 60	20	25	1,5	M 6	18,5	140	11	160	2,4
5218 132	11 MN 60	25	20	1,5	M 6	10	220	9	240	1,8
5218 086	11 MN 60	25	20	1,5	M 6	15	220	9	240	1,8
5218 050	11 MN 60	25	30	1,5	M 6	18,5	220	12	220	3,0
5218 125	11 MN 60	25	35	1,5	M 6	18,5	220	15	220	3,2
5218 151	11 MN 60	30	15	2	M 8	23	300	6	500	1,1
5218 099	11 MN 60	30	20	2	M 8	13	300	8	400	1,6
5218 051	11 MN 60	30	20	2	M 8	23	300	8	400	1,6
5218 163	11 MN 60	30	25	2	M 8	23	300	10	380	2,4
5218 067	11 MN 60	30	30	2	M 8	23	300	13	350	2,8
5218 123	11 MN 60	40	30	2,5	M 8	22,5	600	12	700	2,8
5218 018	11 MN 60	40	30	2,5	M 10	17,5	600	12	700	2,8
5218 070	11 MN 60	40	30	2,5	M 10	27,5	600	12	700	2,8
5218 153	11 MN 60	40	40	2,5	M 8	22,5	600	16	650	4,0
5218 168	11 MN 60	40	40	2,5	M 8	27,5	600	16	650	4,0
5218 116	11 MN 60	40	40	2,5	M 10	27,5	600	16	650	4,0
5218 232	11 MN 60	50	20	2,5	M 10	27,5	900	7	1800	1,7
5218 089	11 MN 60	50	30	2,5	M 10	17,5	900	11	1300	2,7
5218 040	11 MN 60	50	30	2,5	M 10	27,5	900	11	1300	2,7
5218 104	11 MN 60	50	40	2,5	M 10	17,5	900	15	1100	4,0
5218 072	11 MN 60	50	40	2,5	M 10	27,5	900	15	1100	4,0
5218 174	11 MN 60	50	45	2,5	M 10	27,5	900	17	1000	4,2
5218 110	11 MN 60	50	50	2,5	M 10	27,5	900	20	1000	4,5
5218 273	11 MN 60	60	45	2,5	M 10	19,5	1300	18	1600	4,5
5218 206	11 MN 60	70	45	2,5	M 10	27,5	1800	18	2400	4,5
5218 075	11 MN 60	70	60	3	M 12	37	1800	25	2100	6,0
5218 078	11 MN 60	75	25	3	M 12	37	2100	9	4500	2,0
5218 196	11 MN 60	75	40	3	M 12	37	2100	16	3000	3,7
5218 052	11 MN 60	75	50	3	M 12	37	2100	20	2400	4,8
5218 210	11 MN 60	75	55	3	M 12	37	2100	22	2400	5,3
5218 113	11 MN 60	75	70	3	M 12	37	2100	27	2000	6,5
5218 016	11 MN 60	100	40	4	M 16	46	3800	15	7000	3,5
5218 100	11 MN 60	100	55	4	M 16	46	3800	21	5000	5,4
5218 083	11 MN 60	100	75	4	M 16	46	3800	32	4200	7,5
5218 159	11 MN 60	160	75	4	M 16	46	10000	32	15000	8,0
5218 113	11 MN 80	75	70	3	M 12	37	5000	30	6000	7,2
5218 100	11 MN 70	100	55	4	M 16	46	7000	25	9000	5,4
5218 178	11 MN 70	160	114	6 u. 4x3	M 16	44	10000	28	100000	6,5

F<sub>max</sub> = Charge maximale admissible par support

s<sub>max</sub> = Déflexion sous charge maximale.