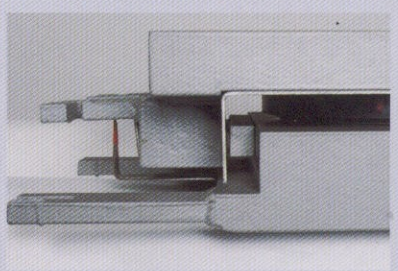
Systèmes de protection des structures

MAURER MSM® Appuis Glissants



MAURER MSM® – Un matériau de glissement innovateur

MAURER SÖHNE
forces in motion

Since 1876

Quel genre de produit est MSM®?

MSM® est un matériau de glissement breveté innovateur pour appareils d'appui de ponts. MSM® convient également pour d'autres applications comme les dispositifs de poussage, les dispositifs parasismiques ou les appareils d'appui pour le bâtiment.

- MSM® est composé de polyéthylène modifié dont les capacités de glissement et de charge ont été améliorées par différents additifs.
- MSM® ne contient ni matières de charge ni produits régénérés.
- MSM® est une matière thermoplastique, insensible aux charges chimiques ou au vieillissement et ne contenant aucun composant dangereux pour l'environnement comme le fluor ou le chlore.
- MSM® est une marque déposée bénéficiant d'une protection, dont le sigle signifie MAURER Sliding Material.
- MSM® est fabriqué exclusivement pour Maurer Söhne.

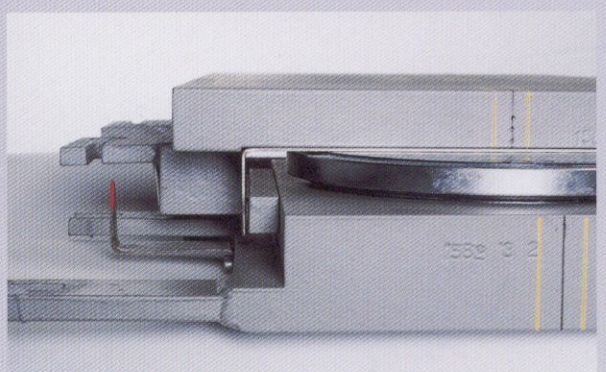
Les dimensions des appuis glissants MSM® sont moitié de celles des appuis classiques en PTFE.
Comme les feuilles de PTFE (blanc), les feuilles de MSM® sont encastrées dans une plaque support jusqu'à la moitié de leur épaisseur.
La lubrification s'effectue au moyen d'alvéoles remplies de graisse ordinaire à base de silicone.

Propriétés des matériau

- MSM® convient particulièrement aux vitesses de déplacement élevées. [Comparé au PTFE, il présente moins d'usure à des vitesses de déplacement 7,5 fois plus élevées]
- MSM® supporte des charges élevées. [Pressions doubles de celles du PTFE.]
- MSM® est utilisable à des températures pouvant atteindre 70 °C [Le PTFE n'est utilisable que jusqu'à 48 °C et sa capacité de charge diminue dès que la température dépasse 30 °C].
- MSM® cause peu de frottement. Jusqu'à -35 °C, son coefficient de frottement est de 2 % [3 % pour le PTFE].
- MSM® peut être utilisé à des températures descendant jusqu'à -50 °C avec un coefficient de frottement inférieur à 3 % [Le PTFE ne peut pas être utilisé en dessous de -35 °C].
- MSM® a une très longue durée de vie. [5 fois plus de longueur totale de déplacement que le PTFE sans signe d'usure apparent.]
- MSM® supporte les affaissements et les écarts de planéité du fait de sa capacité de déformation plastique [les matériaux de glissement rigides peuvent entraîner des tensions locales extrêmes et de l'usure].

La mise au point de MSM® a démarré avec les essais concernant les voies prévues pour le Transrapid. L'objectif visé au début était de concevoir un appareil d'appui pouvant supporter des vitesses de déplacement élevées et ayant une longue durée de vie. Le résultat a été MSM®, un matériau de glissement offrant à tous les points de vue et dans un dimensionnement nouveau des performances supérieures à celles du PTFE habituellement utilisé.

MSM® déploie toute l'étendue de ses propriétés supérieures dans la fabrication des appuis à calottes sphériques qu'il permet de rendre meilleur marché que les appareils à pot ou que les appuis glissants en élastomères (nécessairement plus grands).



MSM® peut aussi être utilisé dans les dispositifs de guidage latéral.

Qu'est-ce que MSM® peut faire?

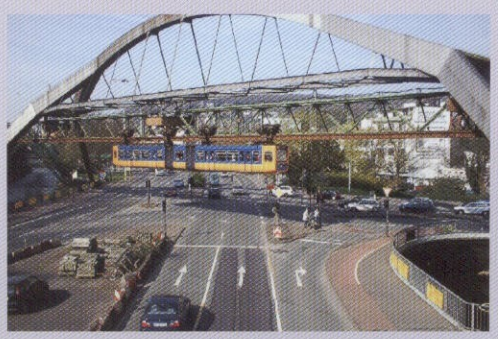
MSM® offre un énorme potentiel d'économies ainsi que de nouvelles possibilités pour la construction d'ouvrages d'art.

- **Un niveau de performance inégaléinégalé:** MSM® est le seul matériau de glissement qui, en présence de sollicitations extrêmes (vitesses de déplacement élevées, fortes pressions, longueurs totales de déplacement élevées, très hautes ou très basses températures), permet de répondre à toutes les exigences de performance. MSM® permet ainsi de combler un manque, notamment en ce qui concerne les voies de chemins de fer à grande vitesse, les structures souples et les ponts à grand trafic ou à grande portée.
- **De plus petites dimensions:** Compte tenu du fait que MSM® supporte des pressions doubles de celles du PTFE, les dimensions des appuis à calottes sphériques en MSM® peuvent être réduites de moitié.
- **Appareils d'appui à calottes sphériques au lieu d'appuis à pot:** Les appareils d'appui à calottes sphériques en MSM® pouvant être de dimensions inférieures à celles des appuis à pot ou des appuis en élastomères (obligatoirement plus gros), ils sont aussi bien souvent moins chers.
- **Des ouvrages plus économiques:** De plus petites dimensions donnent des constructions plus élancées et donc moins onéreuses compte tenu des énormes économies de matériau.
- **Plus de souplesse au niveau architectonique:** De plus petits appareils d'appui offrent une plus grande liberté au niveau architectonique.
- **Une durée de vie 40 fois plus élevée:** Compte tenu de toutes ses propriétés et de tous ses avantages, MSM® a une durée de vie au minimum 40 fois plus longue que le PTFE. Cela signifie une réduction sensible des coûts d'entretien et, à long terme, des économies substantielles. En règle générale, la durée de vie des appuis à calottes sphériques en MSM® étant égale à celle de l'ouvrage et d'au moins 50 ans, il est possible de renoncer aux installations auxiliaires fixes habituellement requises (par exemple les points d'ancrage). Cela, couplé à la réduction des dimensions des appuis, permet de réduire encore les coûts d'investissement, et augmente par ailleurs les degrés de liberté architecturale.

Bilan: Comparé au PTFE, le nouveau matériau de glissement MSM® offre de nombreux avantages et, même si ses performances supérieures ne sont pas prises en compte, MSM® est neutre en termes de coût.

REFER, E.P.

Pont du 25 Avril sur le Tage, Lisbonne/Portugal: Appuis à calottes sphériques MSM® – longueur de déplacement de 10 km/an à 15 mm/s



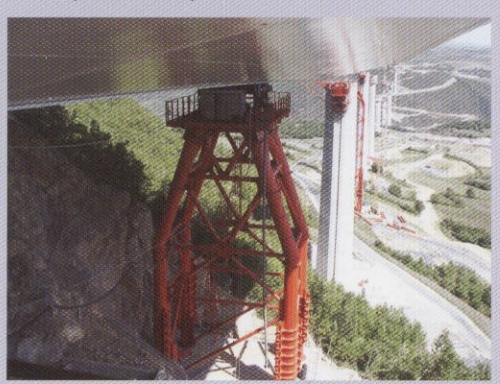
Horst-Peter Krause

Monorail suspendu de Wuppertal/Allemagne: Essai des éléments en MSM® – longueur de déplacement de 7 km/an à 30 mm/s

Références

Compte tenu des ses performances élevées, MSM® a été utilisé dans les projets suivants:

- Allianz Arena, Munich
- Appuis de poussage, Viaduc de Millau
- Métro de Moscou
- Monorail suspendu, Wuppertal
- Nouveau Musée de l'Acropole, Athènes
- Pont sur le Tage à Lisbonne
- Pont de Rügen à Stralsund
- Pont de Svinesund, Norvège/Suède
- Pont Tsing Ma, Hong Kong
- «Sarcophage» de Tchernobyl
- Trains à grande vitesse
  AVE en Espagne
  TGV en France
- Viaduc d'Enzenstetten, Füssen
- Voie d'essai du Transrapid (Maglev), Lathen



Eiffage TP

Viaduc de Millau/France: Appuis de poussage en MSM®, Système de poussage synchronisé composé de 64 balancelles

ALLIANZ Arena München Stadion GmbH

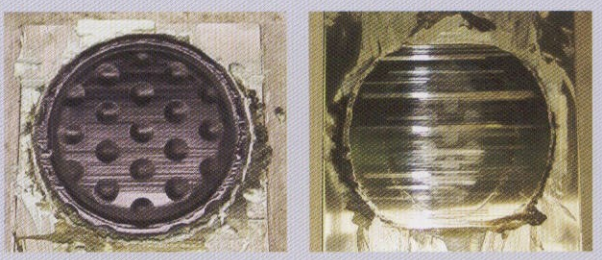
Allianz Arena, Munich/Allemagne: Appareil d'appui à calottes sphérique en MSM® supportant la structure du toit

MSM® à l'essai

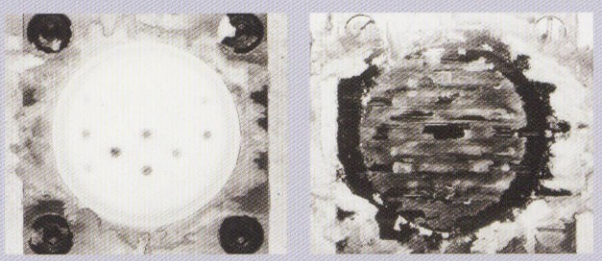
S'agissant de ses propriétés, MSM® a fait l'objet d'essais poussés à l'Institut national d'essai des matériaux de l'Université de technologie de Stuttgart (MPA). Les installations d'essai étaient les mêmes que celles qu'exige pour les essais de frottement la norme EN 1337 de qualification des appareils d'appui structuraux. Jusqu'à présent, les essais à long terme n'ont permis de démontrer aucun signe d'usure. Les données de ces deux pages décrivent donc la performance dans le cadre des essais. Les limites de MSM® n'ont à ce jour pas encore été atteintes.

La MPA de Stuttgart conclut:
«Pour finir, on retiendra que, compte tenu de la réglementation d'utilisation du PTFE blanc comme composant des appareils d'appui structuraux, aucune réserve ne peut être faite quant à l'emploi du matériau de glissement MAURER MSM®. Par ailleurs, MSM® peut satisfaire à des exigences de performance dans des domaines où le PTFE blanc ne donne visiblement pas satisfaction et qui ne sont par conséquent pas prévues par la réglementation. Même sous contraintes relativement élevées (pression de contact p de 200 N/mm² au maximum, statique ou dynamique à 60 N/mm², vitesse de glissement v jusqu'à 15 mm/s), seules des déformations minimes dues au fluage et de faibles coefficients de frottement ont pu être observés. Pratiquement aucun signe d'usure ou autre dommage notable n'a pu être décelé dans la zone de contact.»

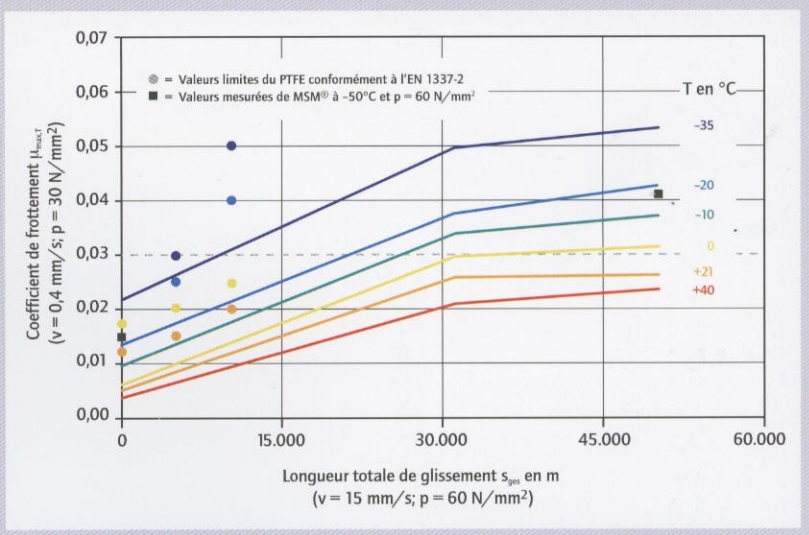
Les essais menés, de longue et de courte durée, ont été effectués sous charge statique ainsi que sous contrainte de glissement. Tous intégraient comme composantes constantes des appuis soumis



Photos d'une feuille de MSM® (à gauche) et d'une plaque de glissement (à droite) prises après ouverture d'un appareil d'appui échantillon après essai sur 50 km. Des rayures sont visibles (également au fond des alvéoles de lubrification) mais pas d'usure.

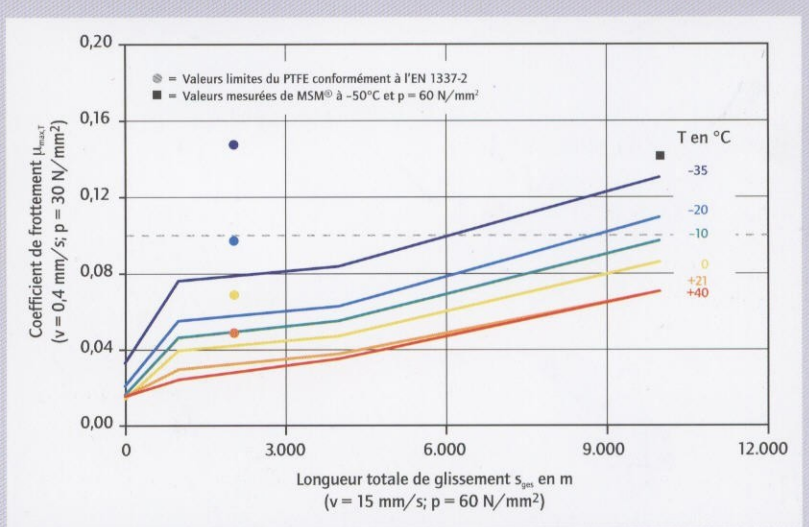


Contrairement aux précédentes, les photos du PTFE montrent clairement une abrasion du matériau. Ces photos ont été prises également à la MPA de Stuttgart après achèvement de l'essai de frottement à long terme sur 10 km conforme à la norme EN 1337-2.

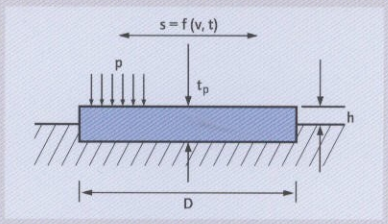


Graphique A: Feuilles de MSM® après essai de frottement à long terme (avec alvéoles)

Après achèvement de l'essai de frottement sur 10 km à la MPA de Stuttgart, il est à noter que les feuilles de MSM® et la plaque de glissement ne portent aucun signe d'abrasion.



Graphique B: Feuilles de MSM® après essai de frottement à long terme (sans alvéoles)



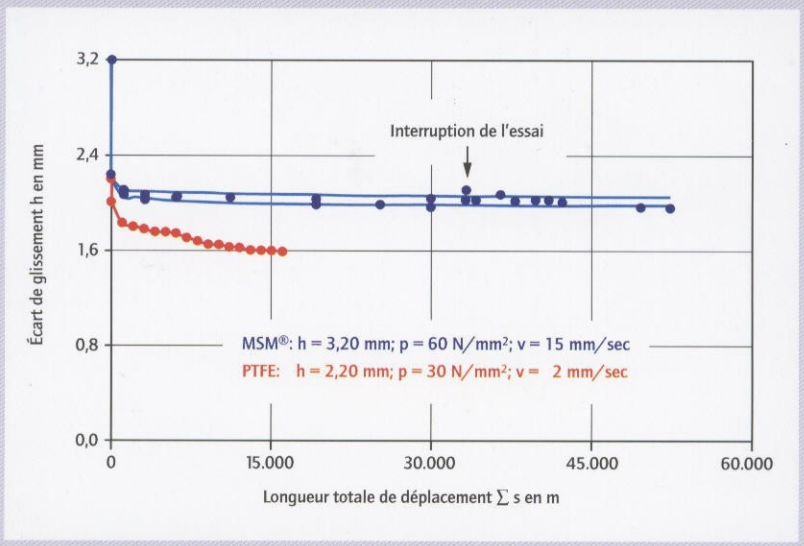
aux essais une plaque de glissement métallique et de la graisse à base de silicone de qualité appuis de pont.

Graphique A

Les échantillons soumis à essai étaient des feuilles de MSM® sous contrainte de glissement de longue durée. Le graphique A montre que le coefficient de frottement de MSM® reste en dessous des valeurs limites correspondantes du PTFE définies dans l'EN 1337-2. Même sur une longueur totale de déplacement de 50 km, MSM® ne dépasse qu'à peine les valeurs du PTFE (sur 10 km). Cet essai a été réalisé sur une longueur totale de déplacement supérieure, à température ambiante, avec une pression de contact moyenne de 60 N/mm² et une vitesse de glissement constante de 15 mm/s. (Pour le PTFE, conformément à l'EN 1337-2, les essais doivent se faire à une pression de contact de 30 N/mm² et avec une vitesse approximativement sinusoïdale de 2 mm/s). Comme c'est habituel pour le PTFE, les coefficients de frottement de MSM® ont été déterminés, en fonction de la température, à une pression de contact de 30 N/mm² et une vitesse de glissement de 0,4 mm/s). Le graphique A montre également que MSM® convient aussi à basses températures durables. Même à -50 °C, les valeurs de frottement demeurent inférieures à celles du PTFE mesurées à -35 °C, et le PTFE ne peut pas être utilisé sur de longues périodes à basses températures.

Graphique B

Les essais ont porté sur des feuilles de MSM® à lubrification initiale. Comme pour le graphique A, ils ont été réalisés à pressions de contact et vitesses de glissement plus élevées pour MSM® que pour le PTFE. Comme les guides atteignent des longueurs totales de déplacement moins grandes, MSM® n'a été exposé qu'à un cinquième de la longueur. Après 10 km, le coefficient de frottement de MSM® est toujours inférieur à celui du PTFE après 2 km. MSM® montre là encore qu'il peut être exposé à des températures qui descendent jusqu'à -50 °C.

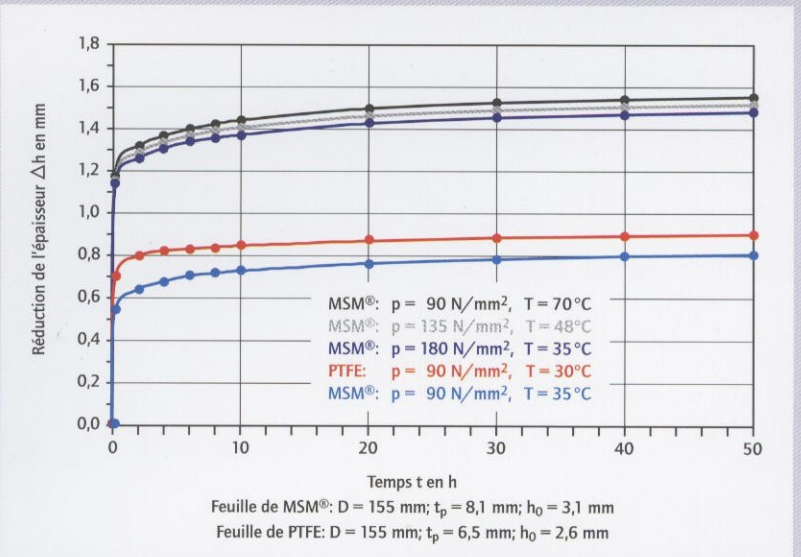


Graphique C: Usure pendant le même essai à long terme qu'au graphique A

Graphique C

Le graphique montre une diminution de l'écart de glissement lors de l'essai de longue durée décrit précédemment. On voit clairement que, sauf lors de la déformation élastoplastique initiale, l'écart de glissement ne bouge pratiquement pas sur toute la distance de glissement.

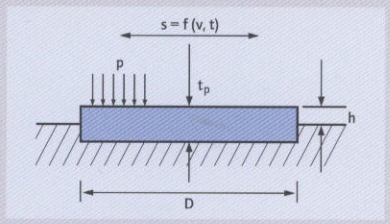
La diminution de cet écart peut être attribuée à la déformation des alvéoles de lubrification et à la formation d'un renflement. La stabilité de la courbe montre toutefois que MSM® n'est pas sujet à l'usure.



Graphique D: Essai de déformation statique de longue durée sous pression de contact constante

Graphique D

Les essais de charge statique à une température d'appui effective de 35 °C montrent une première déformation élastoplastique, fonction de la pression de contact, suivie d'un fluage à long terme qui disparaît après environ 48 h, même sous la pression de contact caractéristique de 180 N/mm² (courbe bleu foncé). L'augmentation de la température d'appui entraîne une diminution de la capacité de charge: les courbes grise et noire montrent l'évolution de la déformation en fonction du temps à 135 N/mm² et 48 °C, et à 90 N/mm² et 70 °C. Le PTFE présente un comportement à long terme semblable sous pression de 90 N/mm² (courbe rouge) et 30°C ou sous pression de 67 N/mm² et 48 °C. Exposés à la même pression, MSM® et le PTFE ont un comportement de déformation similaire. L'équilibrage compensateur de l'encastrement, avéré pour le PTFE, ne se perd donc pas avec MSM® (comparaison des courbes bleu clair et rouge).



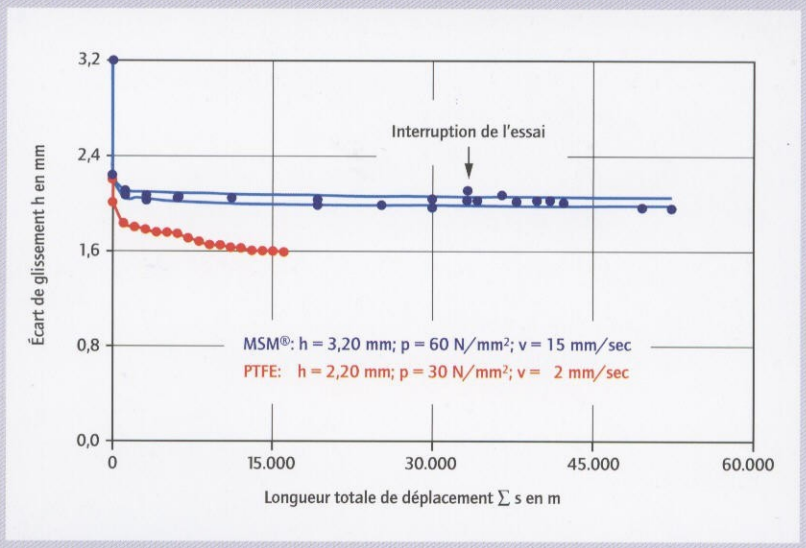
aux essais une plaque de glissement métallique et de la graisse à base de silicone de qualité appuis de pont.

Graphique A

Les échantillons soumis à essai étaient des feuilles de MSM® sous contrainte de glissement de longue durée. Le graphique A montre que le coefficient de frottement de MSM® reste en dessous des valeurs limites correspondantes du PTFE définies dans l'EN 1337-2. Même sur une longueur totale de déplacement de 50 km, MSM® ne dépasse qu'à peine les valeurs du PTFE (sur 10 km). Cet essai a été réalisé sur une longueur totale de déplacement supérieure, à température ambiante, avec une pression de contact moyenne de 60 N/mm² et une vitesse de glissement constante de 15 mm/s. (Pour le PTFE, conformément à l'EN 1337-2, les essais doivent se faire à une pression de contact de 30 N/mm² et avec une vitesse approximativement sinusoïdale de 2 mm/s). Comme c'est habituel pour le PTFE, les coefficients de frottement de MSM® ont été déterminés, en fonction de la température, à une pression de contact de 30 N/mm² et une vitesse de glissement de 0,4 mm/s). Le graphique A montre également que MSM® convient aussi à basses températures durables. Même à -50 °C, les valeurs de frottement demeurent inférieures à celles du PTFE mesurées à -35 °C, et le PTFE ne peut pas être utilisé sur de longues périodes à basses températures.

Graphique B

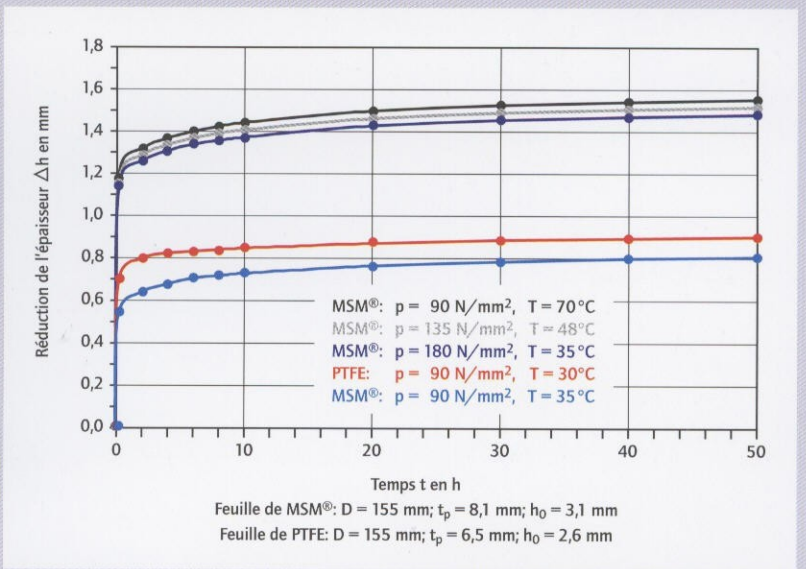
Les essais ont porté sur des feuilles de MSM® à lubrification initiale. Comme pour le graphique A, ils ont été réalisés à pressions de contact et vitesses de glissement plus élevées pour MSM® que pour le PTFE. Comme les guides atteignent des longueurs totales de déplacement moins grandes, MSM® n'a été exposé qu'à un cinquième de la longueur. Après 10 km, le coefficient de frottement de MSM® est toujours inférieur à celui du PTFE après 2 km. MSM® montre là encore qu'il peut être exposé à des températures qui descendent jusqu'à -50 °C.



Graphique C: Usure pendant le même essai à long terme qu'au graphique A

Graphique C

Le graphique montre une diminution de l'écart de glissement lors de l'essai de longue durée décrit précédemment. On voit clairement que, sauf lors de la déformation élastoplastique initiale, l'écart de glissement ne bouge pratiquement pas sur toute la distance de glissement. La diminution de cet écart peut être attribuée à la déformation des alvéoles de lubrification et à la formation d'un renflement. La stabilité de la courbe montre toutefois que MSM® n'est pas sujet à l'usure.



Graphique D: Essai de déformation statique de longue durée sous pression de contact constante

Graphique D

Les essais de charge statique à une température d'appui effective de 35 °C montrent une première déformation élastoplastique, fonction de la pression de contact, suivie d'un fluage à long terme qui disparaît après environ 48 h, même sous la pression de contact caractéristique de 180 N/mm² (courbe bleu foncé). L'augmentation de la température d'appui entraîne une diminution de la capacité de charge: les courbes grise et noire montrent l'évolution de la déformation en fonction du temps à 135 N/mm² et 48 °C, et à 90 N/mm² et 70 °C. Le PTFE présente un comportement à long terme semblable sous pression de 90 N/mm² (courbe rouge) et 30°C ou sous pression de 67 N/mm² et 48 °C. Exposés à la même pression, MSM® et le PTFE ont un comportement de déformation similaire. L'équilibrage compensateur de l'encastrement, avéré pour le PTFE, ne se perd donc pas avec MSM® (comparaison des courbes bleu clair et rouge).

Dimensionnement et construction

Au nom de l'Organisation européenne pour l'agrément technique (EOTA), le Deutsches Institut für Bautechnik (Institut allemand de génie civil, DIBt) a délivré à MAURER un agrément technique européen (ATE 06/0131) pour ses appareils d'appui à calottes sphériques MSM®. Cette certification qui permet d'apposer le marquage CE a été effectuée par la Gütegemeinschaft Konstruktiver Stahlbau e.V. (Association pour l'assurance qualité des ouvrages en acier). La fabrication des appareils d'appui à calottes sphériques MAURER MSM® s'effectue sous la surveillance de la MPA de Stuttgart. L'agrément technique européen est délivré sur la base des exigences de la norme européenne EN 1337 «Appareils d'appui structuraux».

L'agrément technique européen souligne l'aptitude à l'emploi de MSM® «notamment pour les structures souples subissant des déformations importantes et fréquentes dues à la circulation, pour les ouvrages subissant des mouvements de glissement rapides comme les ponts pour trains à grande vitesse ainsi que dans les régions connaissant pendant de longues durées des basses températures». MSM® est un matériau breveté. Les informations détaillées correspondantes se trouvent en dépôt confidentiel à la MPA de Stuttgart.

Appareil d'appui à calottes sphériques MAURER MSM® a avec guides: partie inférieure concave (photo du haut) and calotte mise en place (photo du bas).

Pressions admissibles

Pression caractéristique admissible f_k en N/mm² [T ≤ 35 °C]	Surface principale de glissement – Charges permanentes et charges variables	180
	Guides – Charges variables	
	Guides – Charges permanentes – Effets de la température, du fluage et du retrait	60
Coefficient partiel de sécurité γ_m conformément à l'EN 1990		1,4

Valeurs caractéristiques des pressions de contact admissibles pour MSM®

Les valeurs caractéristiques des pressions de contact admissibles de MSM® sont doubles de celles du PTFE et même six fois supérieures pour des charges permanentes dans les guides.
Le coefficient de frottement des feuilles MSM® alvéolées se calcule en fonction de la plage des températures d'utilisation selon les formules suivantes [Les valeurs correspondantes du PTFE sont données entre parenthèses].

$$T \geq -50\,°C:\ 0{,}027 \leq \mu_{max} = \frac{2{,}8}{30 + p} \leq 0{,}08$$

$$T \geq -35\,°C:\ 0{,}020 \leq \mu_{max} = \frac{1{,}6}{15 + p} \leq 0{,}08$$

$$[0{,}030 \leq \mu_{max} = \frac{1{,}2}{10 + p} \leq 0{,}08]$$

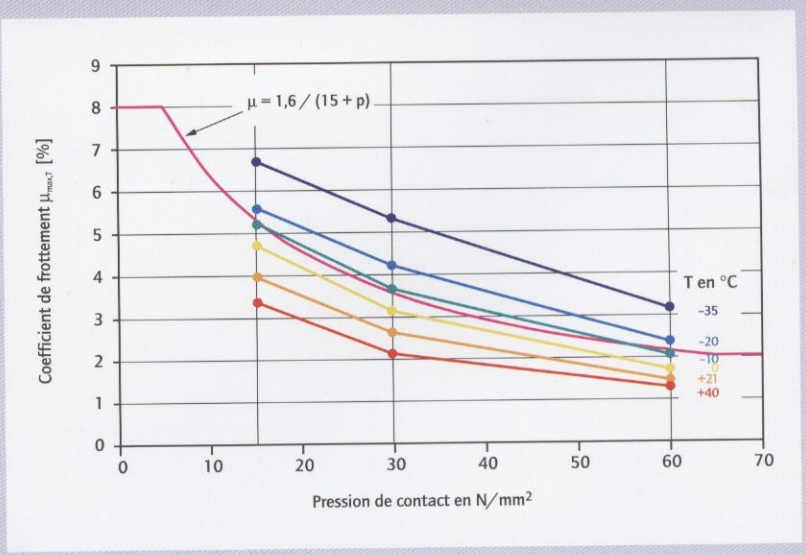
$$T \geq -5\,°C:\ 0{,}015 \leq \mu_{max} = \frac{1{,}2}{15 + p} \leq 0{,}06$$

$$[0{,}020 \leq \mu_{max} = \frac{0{,}8}{10 + p} \leq 0{,}06]$$

A noter que ces valeurs ont été déterminées à la vitesse de glissement extrêmement élevée de 15 mm/s ainsi que pour une longueur totale de déplacement énorme de 50 km. Pour les feuilles MSM® avec lubrification préalable dans les guides, les coefficients de frottement ont été définis indépendamment de la pression mais en fonction de la plage de température de la manière suivante:

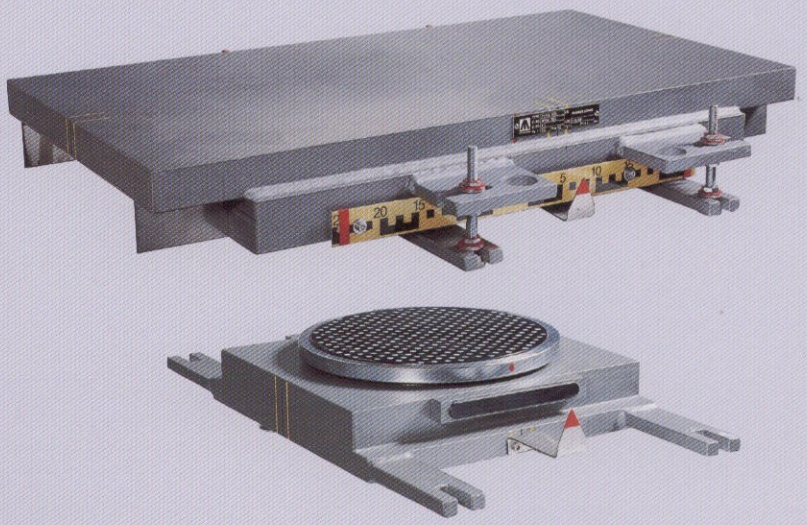
$T \geq -50\,°C \quad \mu = 12\,\%$
$T \geq -35\,°C \quad \mu = 10\,\%$
$T \geq -5\,°C \quad \mu = 7\,\%$

Ces coefficients sont également valables pour des vitesses extrêmes de glissement de 15 mm/s, une longueur totale de déplacement de 10 km et des basses températures fréquentes de -10 °C. Pour le PTFE, les spécifications définissent une valeur de 8 % mais, comme le montre le graphique B, cette valeur ne vaut que pour une longueur de 2 km, une vitesse de 2 mm/s et des températures supérieures à -35 °C. Dans ces conditions de sollicitation, la valeur correspondante de MSM® reste inférieure à 5 %.



Graphique E: Coefficients de frottement des feuilles MSM® alvéolées en fonction de la pression de contact

Dimensions des appuis

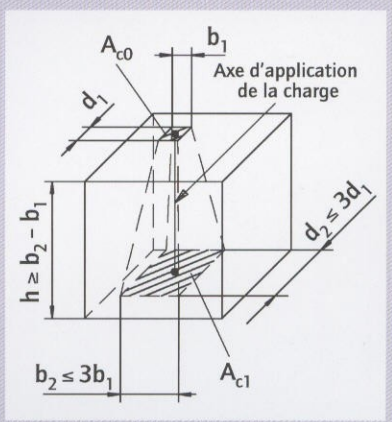


Compte tenu des pressions de contact élevées supportées par MSM®, il est possible de concevoir des appuis de pont compacts et donc économiques, notamment si l'on peut employer des appuis à calottes sphériques et si les parties structurelles adjacentes peuvent transférer ces pressions élevées. C'est généralement le cas pour les superstructures métalliques et le béton à haute résistance. Cela peut l'être également pour des bétons de classe inférieure si l'on utilise des éléments intermédiaires du type plaques en acier, couches de mortier ou socles à haute résistance ou encore armatures ou dispositifs de transfert des forces. Pour ce faire, il sera nécessaire de vérifier la pression sur la surface de contact partielle conformément au Rapport technique DIN 102:2003 à l'aide de la formule suivante:

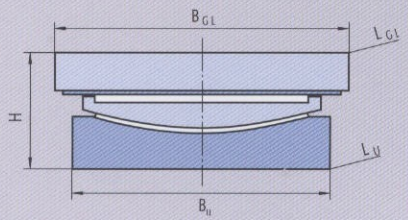
$$F_{Rdu} = A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3{,}0 \times A_{c0} \times f_{cd}$$

$$f_{cd} = \alpha \times f_{cd} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0{,}85 \times \frac{f_{ck}}{1{,}5}$$

(pour la combinaison de base et en cas d'action à long terme)



Répartition des charges pour le contrôle des pressions sur une surface de contact partielle



Les tableaux suivants donnent des valeurs indicatives des dimensions principales des appuis à calottes sphériques MAURER MSM® en fonction de la classe de résistance du béton utilisé.

Hypothèses:
tan φ ≤ 0,01
e_y = ±10 mm

Béton Classe de résistance C35/45										
Type d'appui MSM®	Charge V* kN	H mm	B_u L_u mm	B_{GL} mm	ex = 50 mm L_{GL} mm	ex = 50 mm Poids kg	ex = 100 mm L_{GL} mm	ex = 100 mm Poids kg	ex = 150 mm L_{GL} mm	ex = 150 mm Poids kg
KGa - 1	1000	110	170	200	310	35	420	45	530	55
KGa - 5	5000	115	330	360	470	110	580	125	690	140
KGa - 10	10000	130	450	480	590	210	700	230	810	250
KGa - 25	25000	170	690	730	840	650	950	690	1060	730
KGa - 50	50000	290	990	1020	1130	2200	1240	2300	1350	2400

Béton Classe de résistance C40/50										
Type d'appui MSM®	Charge V* kN	H mm	B_u L_u mm	B_{GL} mm	ex = 50 mm L_{GL} mm	ex = 50 mm Poids kg	ex = 100 mm L_{GL} mm	ex = 100 mm Poids kg	ex = 150 mm L_{GL} mm	ex = 150 mm Poids kg
KGa - 1	1000	110	170	200	310	35	420	45	530	55
KGa - 5	5000	115	320	350	460	100	570	115	680	125
KGa - 10	10000	130	440	470	580	200	690	220	800	240
KGa - 25	25000	165	670	700	810	600	920	640	1030	680
KGa - 50	50000	280	960	990	1100	2050	1210	2150	1320	2250

*Valeur de calcul de la combinaison de base des actions conformément à l'EN 1990

MAURER MSM® Appuis Glissants

Cliché aimablement prêté par Transrapid International

Projet Transrapid reliant l'aéroport de Munich au centre ville

MSM® est un matériau de glissement nouveau et innovateur. **En construction de ponts, les appuis glissants MAURER MSM®** surpassent les appuis PTFE traditionnels sur les aspects suivants:

- 7,5 fois plus de vitesse
- Une capacité de charge deux fois plus élevée
- 5 fois plus de longueur totale de déplacement
- Un coefficient de frottement inférieur à 3 % même à des températures inférieures à -50 °C

Résultat: Une **durée de vie 40 fois plus élevée**, une **réduction des dimensions** et une **méthode de construction plus économique**.

Faible coefficient de frottement

Vitesses élevées

Longue durée de vie

Fortes pressions

Siège de Maurer Söhne
Frankfurter Ring 193, 80807 Munich/Allemagne
P.O. Box 44 01 45, 80750 Munich/Allemagne
Téléphone +49 89 32394-0
Télécopie +49 89 32394-306
ba@maurer-soehne.de
www.maurer-soehne.com

MAURER France
75, Avenue Parmentier, 75011 Paris, France
Téléphone +33 1 43702660
Télécopie +33 1 43702594
maurerfrance@wanadoo.fr

412F.2000-04.2010